



ระบบตรวจวัดแรงบีบของมือหุ่นยนต์ด้วยเส้นใยนำแสง

นาย กิตติกร วิรัชวรพงศ์
นาย นรสีห์ สิงทลกะ

รพ.
ก6737
2536

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

612555277

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชา ฟิลิปปสประยุกต์
คณะ วิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา พ.ศ.2536

ROBOTIC GRIP STRESS OPTICAL FIBER SENSOR

Mr. KITTIKORN WIRATWORAPONG
Mr. NORASEH SINGHOLKA

**A SPACIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1993**

หัวข้อโครงการพิเศษ

ระบบตรวจวัดค่าแรงบีบของมือกลด้วยเส้นใยนำแสง

โดย

นาย กิตติกร วิวัชรพงศ์

นาย นรสิทธิ์ ลิงหลกษ

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ปรีชา ยุกาพิน

ผศ.สุวรรณ คูลำราญ

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับโครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

๒/๖๕

.....

หัวหน้าภาค

(ผศ. ปรีชา เทียนสมประสงค์)

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

.....

ประธานกรรมการ

(ดร. ปรีชา ยุกาพิน)

.....

กรรมการ

(ผศ.สุวรรณ คูลำราญ)

.....

กรรมการ

(ผศ.ดร.เสน่ห์ เอกะวิภาต)

.....

กรรมการ

(ผศ.อนุพงศ์ สรงประภา)

ลิขิตชื่อของภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	ระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์ด้วยตัวตรวจวัดที่ใช้เส้นใยนำแสง		
นักศึกษา	นาย กิตติกร	วิรัชวรพงศ์	33504002
	นาย นรสิทธิ์	สิงหลกะ	33504014
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ปรีชา	ยุพาพิน	
	ผศ.สุวรรณ	คุณารามู	
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์		
ปีการศึกษา	พ.ศ.2537		

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้นำเสนอการใช้เส้นใยนำแสงมาเป็นตัวตรวจวัด เพื่อใช้ในการควบคุมแขนกล ส่วนของแขนกลที่ทำการควบคุมคือ มือหนีบ(Grip) โดยจะทำการควบคุมการหนีบวัตถุซึ่งได้กำลังขับจาก Stepping motor ให้สัมพันธ์กับ ขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 780 nm ใช้ร่วมกับเส้นใยนำแสงแบบ Single mode ชนิดที่รักษาสภาพการโพลาไรซ์(Hi-Bi fiber) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 μ m. เริ่มจากแสงเลเซอร์จะถูกนำเข้าไป (launch) ไปในเส้นใยนำแสงจากนั้นจะผ่านหน่วยตรวจวัดทั้งหมดซึ่งก็คือ ความยาวของเส้นใยนำแสงแบบ Hi-Bi ค่ากำลังที่เอาท์พุท จะถูกตรวจจับที่ปลายของไฟเบอร์ผลที่ได้จากการตรวจจับโดยเปรียบเทียบจากค่ามาตรฐานของแรง ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังที่เอาท์พุทกับขนาดของแรงที่กระทำที่มือหนีบ ผลที่ได้จากการทดลองจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า การหนีบจับที่ละเอียดอ่อนโดยมือกลสามารถที่จะทำได้ และมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ โดยการที่ใช้เส้นใยนำแสงเป็นตัวตรวจวัด ร่วมกับระบบการควบคุมเชิงแสงแบบป้อนกลับ

กิติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ ถ้าหากจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ใดแล้วผู้เสนอโครงการพิเศษกราบขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่อบรมเลี้ยงดูมาและสนับสนุนทางด้านการศึกษา มาโดยตลอด อาจารย์ผู้ให้คำแนะนำดังรายนามต่อไปนี้

ดร. ปรีชา	ยุพาพิน	ให้คำแนะนำและข้อแก้ไขตลอดช่วงเวลาที่ทำโครงการพิเศษนี้จนงานสำเร็จ
ผศ. สุวรรณ	คุณสาราญ	ให้คำแนะนำในการทำงาน
ผศ. อนุพงศ์	สรงประภา	ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ
นายวิจิต	ศิริโชติ	ให้คำแนะนำทางด้านเทคนิคต่าง ๆ
นายอนุกิต	จารุณาวีวัฒน์	ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการและเทคนิค
นายวัชรชัย	ชาวประเสริฐ	ให้ความช่วยเหลือทางงานโลหะและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำงาน

อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้จัดทำมา

และเพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในด้านต่าง ๆ มาตลอดซึ่งมีอาจกล่าวได้หมดในที่นี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ. โยภาศน์ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญกราฟ	ช
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ROBOTIC GRIPPER	2
2.2 แหล่งกำเนิดแสง	7
- ธรรมชาติของแสง	7
- คุณสมบัติของแสงเลเซอร์	12
2.3 อุปกรณ์วัดแสง	19
2.4 สเต็ปป์มอเตอร์	23
- ทฤษฎีการทำงาน	25
- การกระตุ้นสเต็ปป์มอเตอร์	30
2.5 MOTOR DRIVER	33
2.6 A/D CONVERTOR	35
- ส่วนอานาลอก	37
- ส่วนดิจิตอล	39
2.7 FIBRE Hi-Birefringence	42
- การจัดวาง Polarizer และ Analyzer	52
2.8 SENSING SYSTEM	54
- Tactile sensing system	54
- Sensing touch	55
- Properties of a tactile sensor	55

- Binary tactile sensor	56
- Limit switches	56
- Whisker sensor	57
- Binary switch array	59
- Analog tactile sensor	60
- Conductive sensing sensor	60
- Conductive rubber	61
- Conductive foam	64
- Semiconductor sensor	65
บทที่ 3 การดำเนินงาน	67
3.1 ศึกษาและสร้างแขนหุ่นยนต์	68
3.2 ศึกษาและสร้างชุดแปลงข้อมูลอนุาลอกเป็นดิจิตอล	71
3.3 ศึกษาและสร้างระบบตรวจวัดค่าแรง	73
3.4 เขียนโปรแกรมควบคุมและประมวลผล	74
3.5 งานทดลองและเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์	76
- การใช้ชุดตรวจวัดแรงบีบโดยเส้นใยนำแสง	78
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	80
- วิจารณ์โครงการ	81
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	83
หนังสืออ้างอิง	
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้ในโครงการ	ก.1
ภาคผนวก ข. ลายวงจร PCB ที่ใช้ในโครงการ	ข.1
ภาคผนวก ค. แสดงส่วนประกอบของมือจับ	ค.1
ภาคผนวก ง. ข้อมูลจำเพาะของ	
CP-Z84C11	ง.1
PHOTODIODE	ง.2
ICL7109	ง.3

Hi-Birefringence Fibre

ง.4

ภาคผนวก จ. ประวัติผู้จัดทำ

จ.1

สารบัญรูป

			หน้า
รูปที่	2.1	แสดงตัวอย่างของฐานหุ่นยนต์	2
รูปที่	2.2	แสดงลักษณะของแขนหุ่นยนต์	3
รูปที่	2.3	แสดงลักษณะของข้อมือของแขนหุ่นยนต์	3
รูปที่	2.4	แสดงลักษณะมือหนีบแบบต่างๆ	4
รูปที่	2.5	แสดงระบบเฟืองแบบต่างๆ	5
รูปที่	2.6	แสดงรูปเฟืองหนอน	6
รูปที่	2.7	แสดงการทดลองของ Young เพื่อแสดงการแทรกสอดของแสง	7
รูปที่	2.8	แสดงการแทรกสอดแบบเลริมและหักล้าง	8
รูปที่	2.9	แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามหลัก Huygens	9
รูปที่	2.10	แสดงการกระจายแสงผ่านช่อง	9
รูปที่	2.11	แสดงการสะท้อนและหักเหของแสงในตัวกลางต่างชนิด	10
รูปที่	2.12	แสดงระนาบของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า	12
รูปที่	2.13	แสดงการเปรียบเทียบคลื่นที่มีโคฮีเรนซ์ที่ดี	12
รูปที่	2.14	แสดงลักษณะของบีมไดเวอร์เจนท์	14
รูปที่	2.15	แสดงบีมไดเวอร์เจนท์ของลำแสงเลเซอร์	14
รูปที่	2.16	แสดงลำแสงเลเซอร์และสปอร์ตไซส์	16
รูปที่	2.17	แสดงการกระจายแบบเกาส์เซียนของภาคตัดขวาง ของลำแสงเลเซอร์	17
รูปที่	2.18	แสดงออปติคัลควิตี้ที่ใช้ในการขยายแสง	19
รูปที่	2.19	แสดงโครงสร้างของโฟโตไดโอดชนิดต่างๆ	20
รูปที่	2.20	แสดงคุณสมบัติ Quantum efficiency ของโฟโตไดโอด	22
รูปที่	2.21	แสดงวงจรตรวจจับสัญญาณแสงที่ใช้ในโครงการพิเศษ	23
รูปที่	2.22	บล็อกไดอะแกรมของสแต็ปปีงมอเตอร์	24
รูปที่	2.23	แสดงการทำงานสแต็ปปีงมอเตอร์สี่เฟส	26
รูปที่	2.24	แสดงไบโพลาร์สแต็ปปีงมอเตอร์สองเฟส	27
รูปที่	2.25	แสดงยูนิโพลาร์สแต็ปปีงมอเตอร์	28
รูปที่	2.26	แสดงสแต็ปปีงมอเตอร์แบบแกนเหล็กอ่อน	29

รูปที่ 2.27	แสดงแผนภูมิเวลาของการกระตุ้นแบบต่างๆ	31
รูปที่ 2.28	แสดงวงจรขับมอเตอร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขับ	34
รูปที่ 2.29	แสดงการต่อสแต๊ปมอเตอร์แบบต่างๆ	34
รูปที่ 2.30	แสดงการต่อวงจร test circuit ของ ICL 7109	36
รูปที่ 2.31	แสดงส่วนติจิตอล	39
รูปที่ 2.32	แสดง timing diagram ของ status	40
รูปที่ 2.33	แสดงการทำงานของ RUN/HOLD	40
รูปที่ 2.34	แสดง timing diagram ของการติดต่อโดยตรง	41
รูปที่ 2.35	แสดงการต่อวงจร oscillator ที่ใช้ crystal	42
รูปที่ 2.36	แสดงการนำไปใช้งานทางด้านเซนเซอร์	42
รูปที่ 2.37	แสดงการใช้ Limit switch เป็นเซนเซอร์อย่างง่าย	57
รูปที่ 2.38	แสดงการใช้ Binary sensing plate	57
รูปที่ 2.39	แสดงการรวมเอา Whisker sensor เข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพ	58
รูปที่ 2.40	แสดงภายในระบบ Pneumatic whisker sensing	58
รูปที่ 2.41	แสดงเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจลักษณะพื้นที่	59
รูปที่ 2.42	แสดง Binary snap-switch tactile array	60
รูปที่ 2.43	แสดง Conductive rubber tactile array sensor ขนาด 4 x 4 จุด	62
รูปที่ 2.44	แสดงวงจรถอดรหัสของ Conductive rubber tactile array	63
รูปที่ 2.45	แสดงการประยุกต์ใช้เป็นคีย์บอร์ด	64
รูปที่ 2.46	แสดง Conductive foam tactile array sensor ขนาด 4 x 4 จุด	65
รูปที่ 2.47	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงแบบสารกึ่งตัวนำ	66
รูปที่ 3.1	แสดงแผนผังของโครงงานพิเศษ	67
รูปที่ 3.2	แสดงปากจับที่ออกแบบไว้ใช้ในโครงงาน	69
รูปที่ 3.3	แสดงลักษณะพื้นที่ที่ใส่เส้นใยนำแสง	70
รูปที่ 3.4	แสดงปากจับที่สร้างตามทีออกแบบไว้	70
รูปที่ 3.5	แสดงวงจร Analog to Digital, Laser Driver และ Photodetector	72

รูปที่ 3.6	แสดงเลเซอร์ไดโอด ไฟโตติเทคเตอร์และเส้นใยนำแสง ที่ใช้ในโครงการงาน	73
รูปที่ 3.7	แสดงชุดโครงการตรวจวัดแรงบีบโดยเส้นใยนำแสง	74
รูปที่ 3.8	ผังการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในโครงการงาน	75
รูปที่ 4.1	แสดงการทดลองหีบวัตถุ	80
รูปที่ 4.2	แสดงการทดลองที่ค่าแรงวิกฤติ	81

สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับความถี่ของมอเตอร์	30
กราฟ 2.2 แสดงผลตอบสนองของสแต็ปปีงมอเตอร์ต่อการกระตุ้นเฟสเดียว	32
กราฟ 2.3 แสดงผลตอบสนองของสแต็ปปีงมอเตอร์ต่อการกระตุ้นสองเฟส	32
กราฟ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและขนาดแอมพลิจูดที่เอาท์พุท	45
กราฟ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงกับแรงที่มากกระทำโดยใช้สายไฟเบอร์ชนิด Bow-tie	48
กราฟ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงกับแรงที่มากกระทำโดยใช้สายไฟเบอร์ชนิด E-series	49
กราฟ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงกับแรงที่มากกระทำโดยใช้สายไฟเบอร์ชนิด D-series	50
กราฟ 2.8 แสดงการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงต่อแรงที่มากกระทำโดยใช้ Bow-tie	52
กราฟ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความดันที่มากกระทำกับยางตัวนำ	61
กราฟ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความยาวของขดลวดสปริงกับน้ำหนักที่นำมาถ่วง	78

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 แสดงความแตกต่างของสเต็มปี้งมอเตอร์กับดีซีเซอร์โวมอเตอร์	25
ตาราง 2.2 ชื่อเรียก ความหมายทางกลและทางไฟฟ้าของสเต็มปี้งมอเตอร์	29
ตาราง 2.3 แสดงหน้าที่การทำงานของขาต่างๆของ ICL 7109	37
ตาราง 3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาค่าจลสปริง	77

บทที่ 1

บทนำ

การทำงานของแขนกลโดยทั่วไปมีจุดประสงค์ในการจับถือและเคลื่อนย้ายตำแหน่งของวัตถุเท่านั้น แต่ในบางกรณีที่ต้องรักษาสภาพของวัตถุที่จับที่มีลักษณะเปราะบาง เช่น หลอดแก้ว ไข่ไก่ ผลไม้ ฯลฯ ซึ่งต้องคำนึงถึงแรงที่กระทำต่อวัตถุให้มีความเหมาะสม และไม่เกิดความเสียหายกับวัตถุ และยังคงความสามารถในการจับถือวัตถุไว้ได้โดยไม่ร่วงหล่น จึงมีความจำเป็นที่ต้องทราบค่าแรงวิกฤตในวัตถุนั้น ๆ จากความจำเป็นดังกล่าว จึงมีการพัฒนาระบบตรวจสอบต่าง ๆ ออกมา เพื่อใช้หาค่าแรงวิกฤตนั้น

ในโครงการพิเศษนี้ ได้ทำการวิจัยและสร้างระบบตรวจสอบโดยใช้เทคโนโลยีทางด้านเส้นใยนำแสงชนิด Hi-Bi Fringence ซึ่งตัวเส้นใยแสงจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดขนาดแรงที่เกิดจากการหนีบ แล้วนำค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงมาวิเคราะห์และประมวลผลที่สัมพันธ์กับแรงบีบ

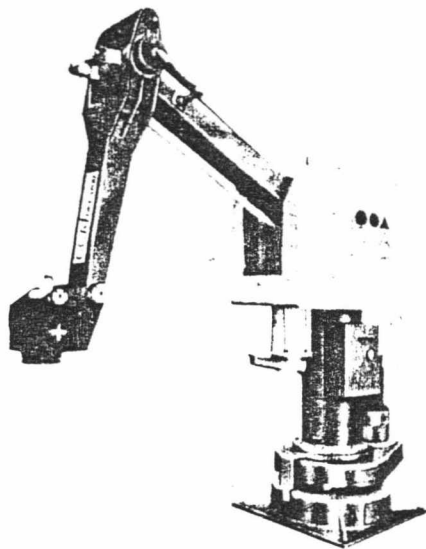
ในส่วนของแขนกลใช้สแตปปีงมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนให้ทำงาน โดยส่วนของมือจับใช้ระบบเฟืองหนอน (Worm Gears) เป็นตัวส่งผ่านกำลังขับและส่วนควบคุมแขนกล การรับส่งข้อมูลรวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วนำไปแสดงผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Z84C11 เป็นตัวควบคุมการทำงานและประมวลผลทั้งหมด

บทที่ 2

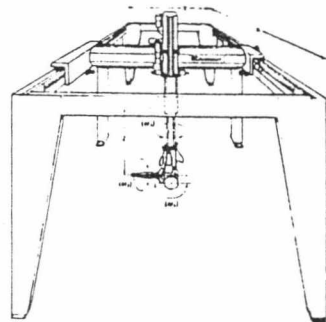
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ROBOTIC GRIPPER

ฐาน (Base) ฐานของหุ่นยนต์จะมีการออกแบบเพื่อรองรับกับอุปกรณ์ที่มาติดตั้ง
ฐานของหุ่นยนต์ไม่จำเป็นต้องมีลักษณะยึดติดอยู่กับที่ บางลักษณะอาจจะเป็นส่วนหนึ่ง



A. Base mounted to the floor



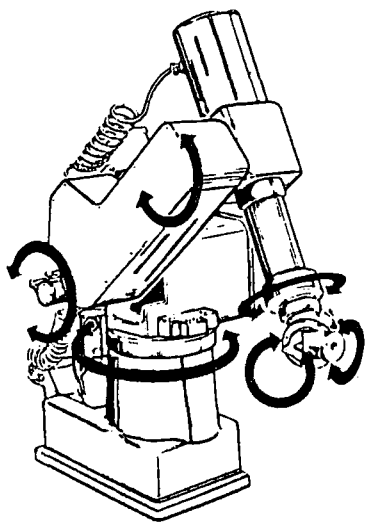
B. Base mounted on a gantry for moving over the work area from above

รูป 2.1 แสดงตัวอย่างฐานของหุ่นยนต์

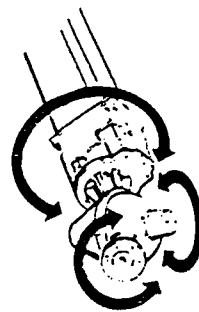
ในการทำงานที่อยู่ภายใต้การควบคุมหรืออาจจะรวมเข้ากับการเคลื่อนที่โดยการหมุนเลื่อน
เคลื่อนที่เชิงเส้นและไม่จำกัดเพียงติดตั้งกับพื้น แต่อาจจะติดตั้งกับเพดานหรือแคร่เลื่อน

ตามลักษณะงานนั้น ๆ การใช้ระบบรางก็สามารถทำได้เมื่อมีความต้องการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของหุ่นยนต์ การปรับเปลี่ยนฐานของหุ่นยนต์ในลักษณะใดนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการพื้นที่งาน และความเหมาะสมเป็นสำคัญ

แขน (Arms) แขนหุ่นยนต์จะพบในงานอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่ บางทีอาจเป็นข้อต่อหรือเลียนแบบแขนมนุษย์ หรือเพียงแต่เลื่อนเข้าและออกเพื่อเข้าหาและออกจากการจับวัตถุแขนแบบข้อต่อ จะประกอบด้วย แขนหมุนที่ฐาน, แขนหมุนไหล่, แขนหมุนข้อศอก แขนในลักษณะนี้จะให้ขอบข่ายการทำงานที่กว้างมากเทียบกับพื้นที่งานที่ต้องทำ ถ้าเป็นแขนแบบ 6 แขนหมุน จำเป็นจะต้องมีการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ แขนหุ่นยนต์ส่วนใหญ่ในปัจจุบัน จะมีลักษณะเป็นข้อต่อแบบนี้ ซึ่งความยุ่งยากในการควบคุมนั้นขึ้นกับลักษณะแขนที่มีความซับซ้อน



รูป 2.2 แสดงแขนหุ่นยนต์



รูป 2.3 แสดงข้อมือของแขนหุ่นยนต์

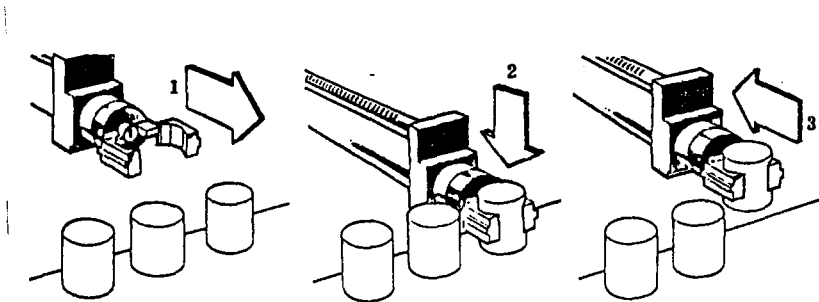
ข้อมือ (Wrist) ข้อมือจะเป็นส่วนที่ต่อกับแขนหุ่นยนต์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับข้อมือของมนุษย์ และสามารถออกแบบให้มีการเคลื่อนที่ ซึ่งรวมถึง การหมุน การบิด ได้มากแบบ หลายลักษณะ รับกับจุดประสงค์ในการใช้หุ่นยนต์เพื่อทำงานในพื้นที่งานที่มีความยากลำบากสำหรับมนุษย์ เช่น งานพ่นสีภายในยานยนต์ที่วางอยู่บนสายงานผลิต ช่วยงานอัดยี่ห่วยหมุดภายในท่อ

ความอ่อนตัวในการทำงานได้หลากหลายพื้นที่ ซึ่งมีส่วนในการปรับปรุงการผลิตให้ สะดวกรวดเร็วขึ้นได้ รวมถึงงานที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้

ปากจับ (GRIPPER) คือ ส่วนที่อยู่ต่อจากข้อมือของหุ่นยนต์ มีหน้าที่ยึดจับวัตถุ หยิบ และเคลื่อนย้ายจากสถานที่หนึ่งไปยังสถานที่หนึ่ง

หุ่นยนต์บางประเภทมีส่วนปลายเป็นเครื่องมือแทนที่จะเป็นปากจับ เช่นหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานพ่นสี ย้ำหัวหมด จึงไม่จำเป็นว่าตรงส่วนปลายจะต้องเป็นปากจับเสมอไป

ปากจับแบบธรรมดาที่สุด คือ ปากจับแบบ 2 นิ้ว ซึ่งหยิบเข้าออกได้ เพื่อจับและปล่อยวัตถุ ปากจับลักษณะอื่น ๆ ก็ทำขึ้นเพื่อลักษณะงานที่ใช้ เช่น งานที่ต้องยกแผ่นราบเรียบ เช่น แผ่นกระจก จะใช้ปากจับสูญญากาศ ที่มีสภาพเป็นสูญญากาศ เมื่อต้องการยกและเคลื่อนย้าย หมดสภาพสูญญากาศเมื่อวัตถุนั้นถูกวางในตำแหน่งที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว



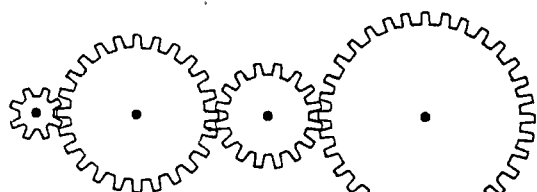
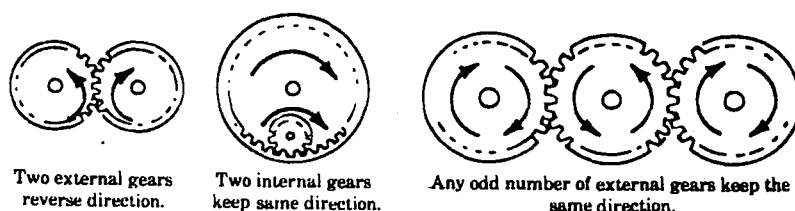
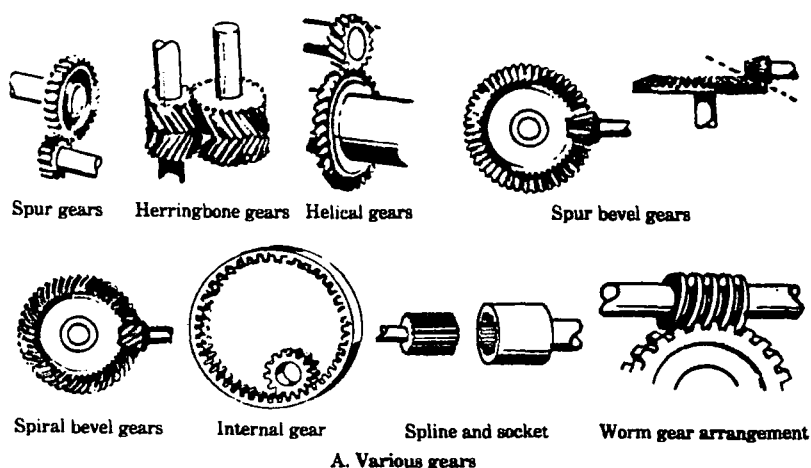
รูป 2.4 แสดงลักษณะมือหยิบแบบต่างๆ

เฟือง (Gears) คือ วิธีการส่งผ่านกำลังขั้วจากตัวขับไปยังตัวงานที่นิยมใช้กันมากคือ ระบบเฟือง กล่าวได้ว่าถ้ามีตัวขับระบบอยู่ท่ามกลางระบบงานแล้ว จะต้องใช้วิธีการส่งผ่านกำลังขั้วไปยังตัวงานต่าง ๆ แม้ระบบเฟืองไม่ใช่วิธีการเดียวที่ทำได้ แต่ระบบเฟืองก็เป็นวิธีที่คนส่วนใหญ่ใช้

เฟืองถูกผลิตออกมาหลายขนาดและจำนวนฟันเฟืองก็มีมากมายหลายแบบ ซึ่งออกแบบมาเพื่อประโยชน์ทางกลศาสตร์และความเร็ว

ความเร็วจากมอเตอร์ไฟฟ้าโดยส่วนมากแล้วจะเร็วเกินกว่าที่จะนำไปใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้ จึงมีการนำเฟืองมาใช้ลดความเร็วให้ได้ตามความต้องการเพียงสามารถเพิ่มหรือลดความเร็ว ซึ่งรับมาจากมอเตอร์ได้

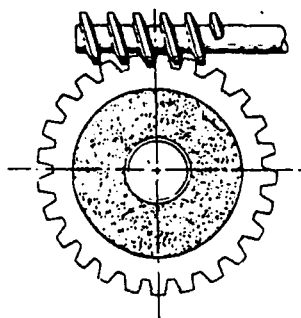
เฟืองถูกนำไปใช้งานในหลายลักษณะ สามารถทำงานที่ส่งผ่านให้กับเฟืองอีกตัวหนึ่งหรือทำงานภายในเฟืองอีกตัวหนึ่ง เฟืองสามารถทำงานได้หลายลักษณะ เมื่อมีการจัดเรียงขึ้นเฟืองอย่างเหมาะสม เช่น เปลี่ยนงานที่เกิดจากการหมุนไปเป็นงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่เชิงเส้น โดยขับรางที่มีร่องบากด้วยเฟืองหมุนที่มีฟันเฟืองขบกับร่องบากของรางไว้ในตัวงานจะใช้เฟืองในลักษณะต่าง ๆ กัน และทำการขับตามส่วนต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ ยังมีปากจับ และนิ้วอีกหลายแบบที่ใช้เฟืองเพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่และกำลังขับออกมาในรูปแบบของงาน



Simple, ordinary gear train consists of driver gear, idler gear, idler gear, and driven gear.

B. Gear trains

รูป 2.5 แสดงระบบเฟืองแบบต่างๆ



รูป 2.6 แสดงรูปเฟืองหนอน

เฟืองหนอน (Worm Gears)

เฟืองหนอนถูกนำมาใช้มากในงานขับเคลื่อนพื้นฐานของหุ่นยนต์ เฟืองหนอนมีการวางตัว เพื่อให้ได้ความเร็วและทิศทางที่ตั้งฉากกัน โดยตัวหนอนที่มีลักษณะเหมือนสกรูที่มีเกลียวเดียวหรือหลายเกลียว และมีแกนวางตัวในแบบเดียวกับรางขาก (rack) ส่วนฟันของล้อเฟืองหนอนจะมีลักษณะพิเศษที่มีลักษณะรับกับเกลียวของตัวหนอน

เฟืองหนอนถูกนำมาใช้งานแปลงการเคลื่อนที่เป็นวงกลมในแกนหนึ่ง ไปสู่การเคลื่อนที่ของวงกลมในอีกแกนหนึ่ง งานลักษณะนี้มีความสำคัญมากในระบบแขนหุ่นยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า มอเตอร์ลม หรือมอเตอร์ไฮดรอลิกก็ใช้เฟืองหนอนเพื่อเป็นกำลังขับเคลื่อนให้กับระบบงาน

คีย์บอร์ด (Keyboard)

เป็นส่วนอินพุทของระบบ ทำหน้าที่รับคำสั่ง และเลือกโหมดการทำงานโครงสร้างเป็นคีย์บอร์ดแบบเมตริก 3 x 4 โดยคีย์บอร์ดต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ Z84C11 ซึ่งมีพอร์ตสำหรับคีย์บอร์ดต่อเอาไว้อยู่แล้ว โดยพอร์ตสำหรับคีย์บอร์ดใช้พอร์ต D ในการติดต่อ

ต่อและมี R-PULL-UP ขนาด 10 กิโลโห์ม ต่ออยู่ด้วย จากนั้นเขียนโปรแกรมสแกนการกอดคีย์บอร์ด

สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือคีย์บอร์ดขนาด 3x4 จึงมี 1 บิทที่ต้องเลื่อนฟรี 1 ครั้งในขณะที่ทำการสแกน เพื่อให้ได้ค่าการกอดคีย์ที่ถูกต้อง โดยแสดงไว้ในโปรแกรมในภาคผนวก

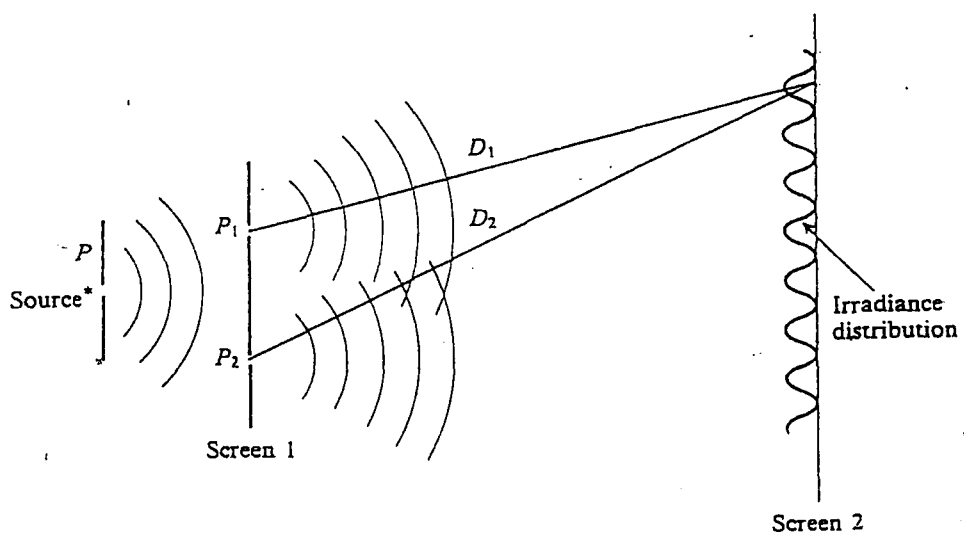
2.2 แหล่งกำเนิดแสง (LIGHT SOURCE)

2.2.1 ธรรมชาติของแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือ LASER ซึ่งย่อมาจาก Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation เพื่อให้เข้าใจสมบัติของแสงเลเซอร์จะขอกล่าวถึงเรื่องธรรมชาติของแสงก่อน

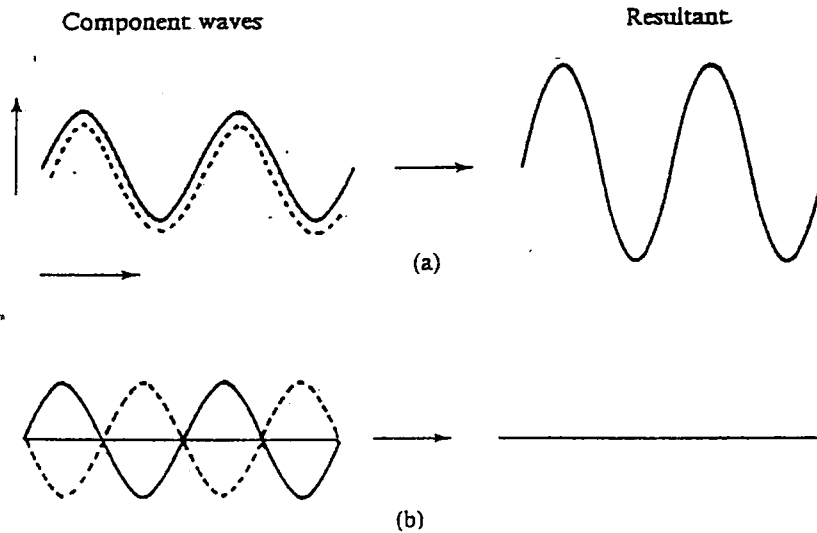
ปรากฏการณ์โดยทั่วไปที่เกิดขึ้นกับแสงมี การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน

การแทรกสอด (Interference) เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่มากกว่าหนึ่งแหล่งเคลื่อนที่มาพบกันจะทำให้การแทรกสอดเกิดเป็นแถบมืด-สว่างซึ่งจะอธิบายโดยการทดลองของ Young ดังรูป



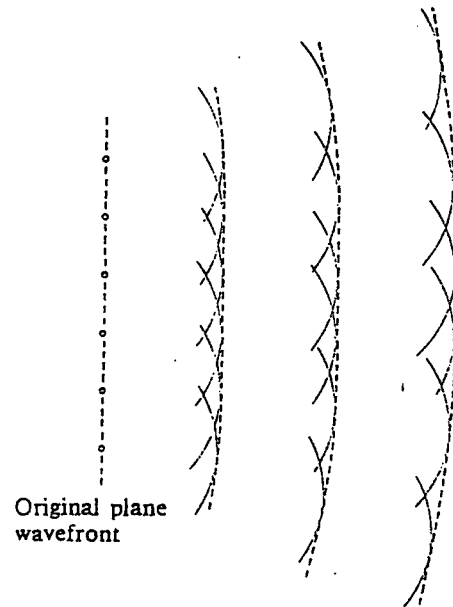
รูป 2.7 การทดลองของ Young เพื่อแสดงการแทรกสอดของแสง

จากรูป แสงจากแหล่งกำเนิดจะผ่าน screen ซึ่งประกอบด้วยรู 2 รู เมื่อแสงผ่าน P1 และ P2 จะเกิดรูปแบบของการแทรกสอด โดยแถบสว่างเกิดเนื่องจากคลื่นแสงเกิดการรวมกัน โดยมีเฟสตรงกัน แถบมืดเกิดจากแสงที่มีเฟสต่างกันจะหักล้างกันไป

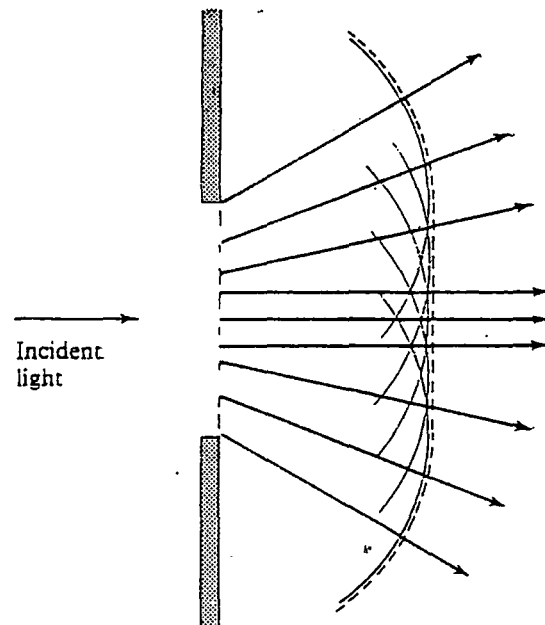


รูป 2.8 แสดงการแทรกสอดแบบเสริมและหักล้าง

การเลี้ยวเบน (diffraction) อธิบายได้จากหลักของ Huygens ที่ว่าทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ และหน้าคลื่นใหม่ ก็สามารถกำเนิดคลื่นใหม่ได้อีก ซึ่งจะทำให้คลื่นสามารถเคลื่อนที่ไปได้ดังรูป 2.9 โดยที่หน้าคลื่นที่ออกจาก Point Source จะเป็นผิวของทรงกลม การกระจายแสงที่ผ่านช่องจะเป็นดังรูป 2.10



รูป 2.9 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามหลัก Huygens



รูป 2.10 แสดงการกระจายแสงผ่านช่อง

การสะท้อนและการหักเห (Reflection and Refraction)

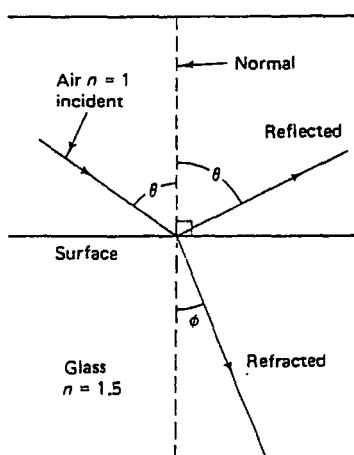
เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เปลี่ยนไป จะเกิดการสะท้อนและหักเห ซึ่งค่าดัชนีหักเห n เป็นค่าที่เปรียบเทียบความเร็วของแสงในสุญญากาศ กับความเร็วของแสงในตัวกลาง

$$n = c/v$$

n = ดัชนีหักเห

c = ความเร็วของแสงในสุญญากาศ

v = ความเร็วแสงในตัวกลาง



รูป 2.11 แสดงการสะท้อนและหักเหของแสงในตัวกลางต่างชนิด

จากรูป เมื่อลำแสงตกกระทบกับผิวแก้วที่เรียบจะเกิดการแตกออกเป็น 2 ลำ โดยลำหนึ่งเคลื่อนที่สะท้อนออกจากผิว อีกลำหนึ่งจะเคลื่อนที่เข้าไปในแก้ว โดยให้รังสีตกกระทบ (incident ray) แทนลำแสงตกกระทบและลำแสงสะท้อน (reflect beam) แทนรังสีสะท้อน (reflect ray) และรังสีทะลุผ่าน (transmitted ray) แทนลำแสงทะลุผ่าน (transmitted beam) คุณสมบัติของรังสีทั้งสามอธิบายโดยมุมที่ทำกับเส้นปกติที่ตั้งฉากกับผิวกระจก โดยที่มุมของรังสีตกกระทบและรังสีสะท้อนจะมีค่าเท่ากัน มุมของรังสีทะลุผ่านจะถูกกำหนดโดยมุมของรังสีตกกระทบและค่าดัชนีหักเหโดยสมการ

$$\sin \phi = n/n' (\sin \theta)$$

โดย $\sin \phi$ คือค่า sine ของมุมหักเห

n คือค่าดัชนีหักเหของวัสดุที่รังสีเริ่มต้นตกกระทบ

n' คือค่าดัชนีหักเหของวัสดุที่รังสีได้เกิดการหักเห

$\sin \theta$ คือค่า sine ของมุมตกกระทบ

แสงมีลักษณะเป็นคลื่นตามขวาง Transverse คือการสั่นของคลื่นแสงจะตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่

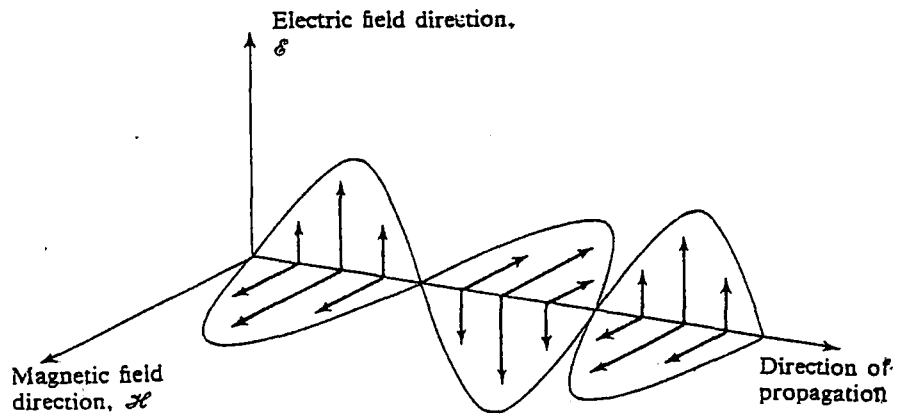
แมกซ์เวลล์ ได้รวบรวมงานของ ฟาราเดย์ ออยสแตท และ เอนรีชี่ ที่เกี่ยวข้องกับ ไฟฟ้า และแม่เหล็ก และสรุปเป็นสมการโดยพิจารณาความเร็วของคลื่นตามขวางซึ่งมีความเร็วในอวกาศอิสระเป็น c โดย

$$c = (1/\epsilon \mu)^{1/2}$$

μ คือค่า magnetic permeability ของ free space

ϵ คือค่า electric permittivity ของ free space

และ Maxwell ได้เสนอว่า แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความเร็วประมาณ $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ มีความถี่ประมาณ $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ และความยาวคลื่นประมาณ $5 \times 10^{-7} \text{ m}$ โดยประกอบด้วย สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกัน และตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของแสง



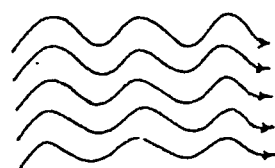
รูป 2.12 แสดงระนาบของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

2.2.2 คุณสมบัติของแสงเลเซอร์

ลักษณะเด่นที่สำคัญของแสงเลเซอร์คือเป็นแสงโคฮีเรนต์ แสงมีสีเดียวมีทิศทางที่แน่นอนและมีความเข้มสูง

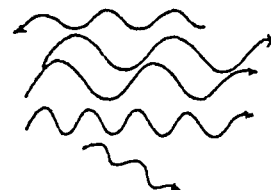
Coherency

คือความเป็นระเบียบของคลื่น โดยคลื่นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันและมีเฟสเหมือนกัน (In phase) จึงมีหน้าคลื่นพร้อมกัน ดังรูป



Coherent

(ก) คลื่นที่มี Coherency ดี



Incoherent

(ข) คลื่นที่ไม่มี Coherency

รูป 2.13 เปรียบเทียบคลื่นที่มีโคฮีเรนต์ที่ดี

ในอุดมคติ เราต้องการให้คลื่นแสงที่อยู่ใน ออปติคัลแควิตี มีโคฮีเรนที่สมบูรณ์แบบ แต่ในทางปฏิบัติ คลื่นแสงที่วิ่งผ่านตัวกลางของเลเซอร์หรือตัวกลางอื่น ๆ แล้วมักเกิดกิริยากับวัตถุเหล่านั้น อาจสูญเสียพลังงานโมเมนตัมหรือเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไปบ้างทำให้ความเป็นโคฮีเรนลดลง ระยะทางที่แสงยังคงความเป็นโคฮีเรนที่ได้สมบูรณ์แบบนี้เรียกว่า ระยะโคฮีเรนที่

Monochromaticity

แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติเป็นแสงสีเดียว เพราะเป็นแสงที่เปล่งออกมาจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานที่เป็นระดับพลังงานที่ไม่ต่อเนื่องในระบบอะตอมหรือโมเลกุลความถี่ของแสงมีค่าแน่นอนตามผลต่างของชั้นพลังงานทั้งสองและยังมีส่วนในการเร้าให้เกิดการแผ่โดยการกระตุ้น (Stimulated Emission) โดยอาศัยกลไกของการขยายสัญญาณแสงด้วยออปติคัลแควิตี จึงเกิดแสงที่มีความถี่เดียวกันอีกจำนวนมากนี้คือเหตุผลที่แสงเลเซอร์เป็นแสงสีเดียว

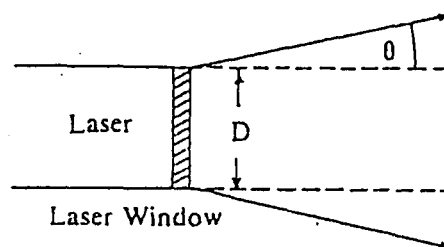
Directionality

เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงเป็นลำขนานแต่ไม่เสมอไป ความขนานของลำแสงจะมีบีบโดเวอร์เจนท์ เล็กน้อย ซึ่งกำหนดจากสูตร

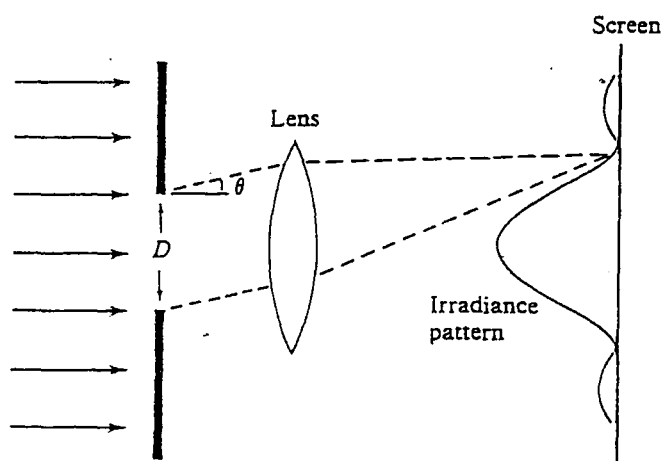
$$\theta = \lambda/D$$

โดย λ เป็นความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

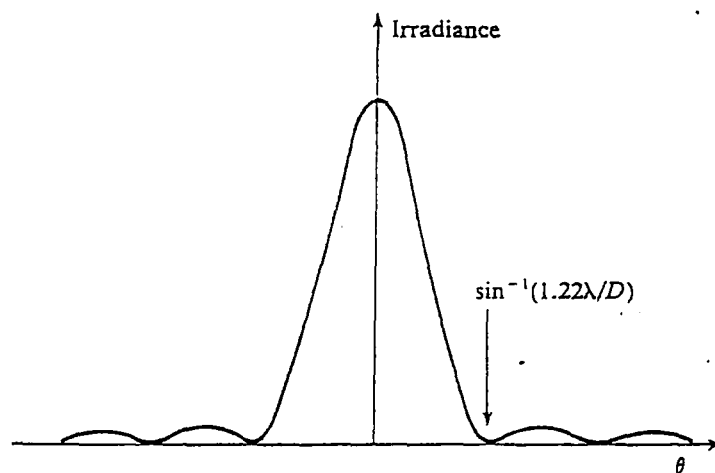
D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสง



รูป 2.14 แสดงลักษณะบีมโดเวอร์เจนท์



(a)



(b)

รูป 2.15 บีมโดเวอร์เจนท์ของลำแสงเลเซอร์

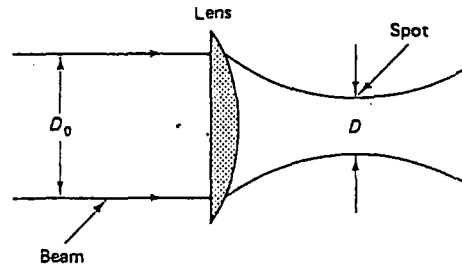
ลำแสงที่ขนานจึงมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่แน่นอนและชี้ไปยังทิศเดียวกันยังเป้าที่ต้องการได้ สาเหตุที่ลำแสงเลเซอร์มีทิศทางการเคลื่อนที่ที่แน่นอนเนื่องจากการขยายสัญญาณแสงภายในออปติคัลแควิตี โฟตอนที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ในออปติคัลแอกซิสเท่านั้นที่จะถูกขยายสัญญาณเป็นแสงเลเซอร์ ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงเป็นแสงที่อยู่ในแนวแกนแสง หรือตั้งฉาก กับกระจกที่ใช้เป็นออปติคัลแควิตี แต่เนื่องจากกระจกที่ใช้ทำออปติคัลแควิตีนั้นมีเสถียรภาพทางแสงดี ดังนั้นเลเซอร์ที่หลุดพ้นจากแควิตีออกมาจะมีมีโมเดเวอร์เจนท์ขึ้น

High Intensity

เนื่องจากหลักการของเลเซอร์ที่เป็นการขยายสัญญาณแสงภายในออปติคัลแควิตีด้วยกระบวนการแผ่โดยการกระตุ้น จึงทำให้เกิดแสงสีเดียวและมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่แน่นอนจึงทำให้แสงเลเซอร์มีความเข้มสูง แม้ประสิทธิภาพของเลเซอร์บางชนิดจะมีค่าต่ำ แต่พลังงานของระบบจะเปลี่ยนเป็นแสงที่มีความถี่เดียว หรือมีสเปกตรัมแคบได้ จำนวนโฟตอนที่ความถี่นั้นจึงมีค่าสูง ประกอบทั้งโฟตอนเหล่านั้นมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางเดียวกันหมดภายในพื้นที่หน้าตัดแคบ ๆ ที่กำหนดโดยออปติคัลแควิตี จำนวนโฟตอนต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยจึงสูงมาก หากมีการโฟกัสลำแสงด้วยแล้ว แสงเลเซอร์จะมีความเข้มสูงมาก

Laser Spot Size

แสงที่ออกจากเลเซอร์สามารถเกิดได้สองลักษณะคือ แบบต่อเนื่อง ซึ่งจะให้ค่าเอาต์พุตคงที่และพัลส์เลเซอร์ ซึ่งจะให้อาต์พุตที่มีลักษณะเป็นพัลส์ เอาต์พุตของเลเซอร์จะมีความยาวคลื่นค่าเดียวและสามารถโฟกัสให้เป็นจุดเล็ก ๆ (spot size) และมีความเข้มสูงมากดังรูป



รูป 2.16 แสดงลำแสงเลเซอร์และสปอตโฟกัสที่เล็กที่สุดโดย
สปอตโฟกัสที่เล็กที่สุดที่เป็นไปได้ จะมีค่าประมาณดังนี้

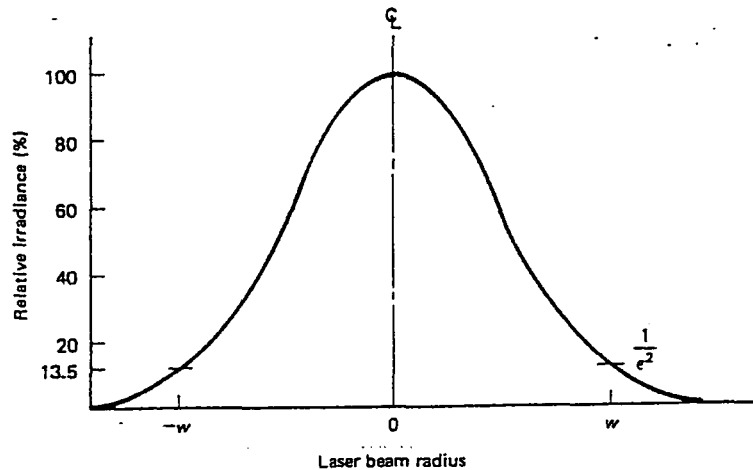
$$D = 16\lambda F / 3\pi w$$

เมื่อ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของสปอต

λ คือความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

F คือความยาวโฟกัสของเลนส์

w คือความกว้างของลำแสงเลเซอร์ ณ จุดที่ความเข้มมีค่า 13.5 %
ของความเข้มสูงสุด



รูป 2.17 การกระจายแบบเกาส์เซียนของภาคตัดขวางลำแสงเลเซอร์

เอาที่พิกของเลเซอร์ในอุดมคติจะมีลักษณะเป็น Gaussian transverse irradiance profile โดยจะมีค่าสูงสุดที่ศูนย์กลาง และจะไม่มีค่าที่ขอบของลำแสง

กลไกการเกิดเลเซอร์

ต้องมียุ่ประกอบที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. ตัวกลางเลเซอร์ (Laser Medium)
2. การป้อนพลังงานให้แก่ตัวกลางของเลเซอร์ (Energy Pumping)
3. การสร้างระบบป้อนกลับทางแสง (Optical Cavity)

ตัวกลางเลเซอร์ได้แก่ ระบบอะตอมหรือโมเลกุลของสสารที่ใช้ทำเลเซอร์ ซึ่งอาจจะมีสภาพเป็น ก๊าซ ของแข็ง หรือของเหลวก็ได้ เช่น ของแข็ง: ผลึกทับทิม ($AlO_3 : Cr^{3+}$) ผลึกเยเทิลียมมอลูมิเนียมแกลเนต ($YAG : Nd^{3+}$) ผลึกแก้ว (Glass: Nd^{3+}) ผลึกสารกึ่งตัวนำ แกลเลียมอาร์เซไนต์ แกลเลียมมอลูมิเนียมอาร์เซไนต์ คุณสมบัติของตัวกลางเลเซอร์ คือขึ้นพลังงานที่อยู่ในสภาพถูกกระตุ้นต้องมี relaxation time สูง เพื่อให้เกิดสภาพ population inversion ได้ง่าย ซึ่งจะทำ

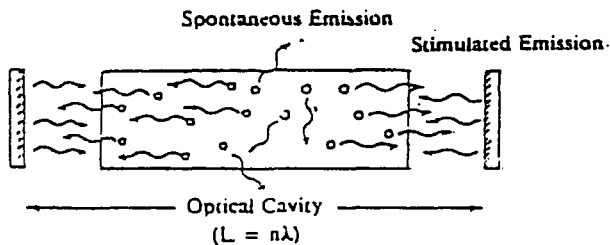
ให้เกิดการถ่ายเทพลังงานออกจากระบบในรูปของ Stimulated Emission หากระบบอะตอมหรือโมเลกุลใดที่ไม่มีคุณสมบัติดังกล่าวแล้ว การเก็บกักพลังงานจะไม่เกิดขึ้น ระบบจะมีการสูญเสียพลังงานของเลเซอร์เมื่อมีตัวกลางของเลเซอร์ที่เหมาะสมแล้ว จึงต้องหาวิธีการป้อนพลังงานให้แก่ตัวกลางนั้นอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้มีการเก็บกักพลังงานในรูปของ Population Inversion ในระบบวิธีการป้อนพลังงานแก่ตัวกลางของเลเซอร์มีได้หลายวิธี ได้แก่

1) การป้อนพลังงานแสง (Optical Pumping) โดยใช้หลอดไฟแสงสว่างกำลังสูง หรือ ใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ด้วยกันเป็นตัวป้อนพลังงานให้แก่เลเซอร์อีกชนิดหนึ่ง เช่น การใช้เลเซอร์ในโตรเจน เลเซอร์อาร์กอนในการป้อนพลังงานแก่เลเซอร์ของเหลว

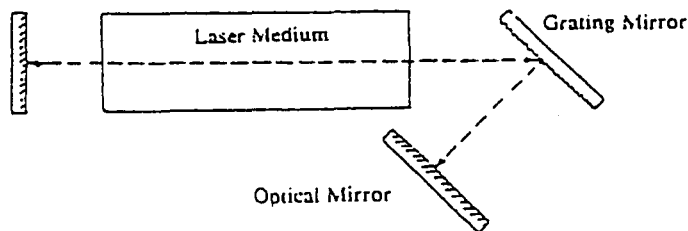
2) การป้อนพลังงานไฟฟ้า (Electrical Pumping) สำหรับสารกึ่งตัวนำใช้แบตเตอรี่ไฟฟ้าในการ forward bias เพื่อให้เกิดการฉีดกระแสหรือฉีดพาหะเข้าสู่หัวต่อพีเอ็นสำหรับสารกึ่งตัวนำ

3) การป้อนพลังงานด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron Beam Pumping) โดยใช้ลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงยิงเข้าไปกระตุ้นให้โมเลกุลของก๊าซเกิดการ Excitation เช่น กรณีของเลเซอร์เอกไซเมอร์ (Excimer laser) ชนิดต่าง ๆ

องค์ประกอบสุดท้ายที่ต้องมีเพื่อให้เกิดการขยายแสง ได้แก่ ออปติคัลแควิตี เพื่อทำให้เปล่งแสงออกมาจากตัวกลางสะท้อนกลับไปกลับมาภายใน ออปติคัลแควิตี นั้น โดยการกำหนดที่ความถี่เดียว



ก) แสดง ออปติคัลแควิตีเป็นส่วนขยายสัญญาณที่เกิดจากการแผ่โดยการกระตุ้น



ข) การใช้ออปติคัลเกรตติงเพื่อเลือกแสงที่มีความยาวคลื่นเฉลี่ยตามที่ต้องการ ในกรณีที่เลเซอร์สามารถให้แสง

รูป 2.18 แสดงออปติคัลแควิตีที่ใช้ในการขยายแสง

2.3 อุปกรณ์รับแสง (DETECTOR)

อุปกรณ์รับแสง คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของไฟฟ้า ซึ่งมี 2 วิธีคือ ทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้า เรียกว่า Photoelectric effect กับวิธีเปลี่ยนแสงให้เป็นความร้อนก่อนจากนั้นจึงเปลี่ยนความร้อนให้เป็นไฟฟ้า เรียกว่า Thermal effect

ในโครงงานนี้จะใช้อุปกรณ์รับแสงที่เป็นโฟโตไดโอด จึงจะขอกล่าวถึงเฉพาะโฟโตไดโอด เท่านั้น (ซึ่งเป็นแบบแรก)

โครงสร้างของโฟโตไดโอดมีหลายแบบ คือ แบบ Schottky Barrier แบบ P-N Junction และแบบ PIN ดังรูป

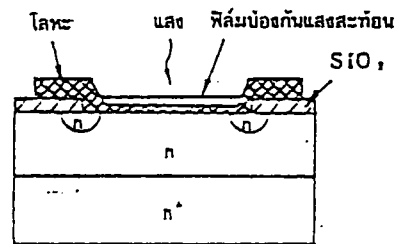


PHOTO DIODE แบบ
SCHOTTKY BARRIER

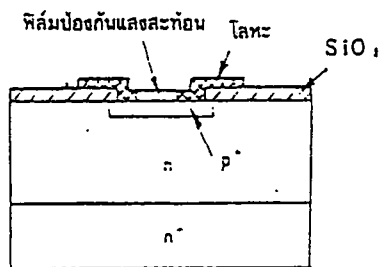


PHOTO DIODE แบบ PN

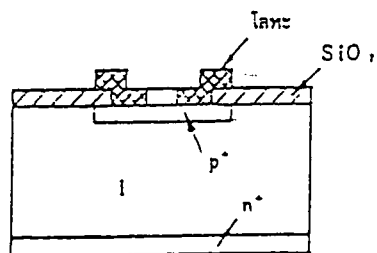


PHOTO DIODE แบบ PIN

รูป 2.19 แสดงโครงสร้างของโฟโตไดโอดชนิดต่างๆ

โฟโตไดโอดแบบ PIN เป็นแบบที่นำชั้นอินทรีนลิก ซึ่ง เป็นชั้นที่มีปริมาณของสารไม่บริสุทธิ์น้อยมากไปคั่นระหว่าง PN Junction และเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกรณีที่ต้องการล้มประสิทธิภาพการดูดแสงต่ำ และแสงสามารถเข้าไปได้ลึกเช่นเดียวกับซิลิกอน แสง Infrared ที่เข้าไปในผลึกของซิลิกอนนั้นสามารถเข้าไปได้ลึกมากกว่าหลายสิบไมโครเมตร สำหรับ PN-Junction ปกติทั่วไป เนื่องจากความกว้างของชั้นดีพลีชั่นมีค่าหลายไมโครเมตร ดังนั้นส่วนใหญ่การดูดแสงจะเกิดขึ้นที่บริเวณ neutral region ในกรณีเช่นนี้พาหะที่ถูกกระตุ้นที่ neutral region จะเกิดการรวมตัวกันและหมดไปได้ง่าย ดังนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพ Quantum efficiency (อัตราการเกิดอิเล็กตรอนต่อจำนวนโฟตอนที่เข้ามากระทบ) เลวลง นอกจากนั้นพาหะที่ไหลจาก neutral region เข้าไปที่ชั้นดีพลีชั่นกลายเป็น diffusion current ที่มีความเร็วต่ำ ทำให้คุณสมบัติทางความถี่ลดลง ในการปรับปรุงแก้ไขข้อเสียของโฟโตไดโอดแบบ PN นี้ สำหรับแบบ PIN นั้นมีโครงสร้างที่ทำการดูดแสงที่ชั้นอินทรีนลิกซึ่งสามารถทำให้ได้ชั้นดีพลีชั่นที่กว้างมากแม้จะให้แรงดันไบอัสต่ำก็ตาม เนื่องจากแรงดันไบอัสเป็นสัดส่วนกับผลคูณของความกว้างของชั้นดีพลีชั่น กับความเข้มข้นของสารไม่บริสุทธิ์ ดังนั้นแม้ว่าจะมีแรงดันเท่ากัน แต่ถ้าความเข้มข้นของสารไม่บริสุทธิ์ยิ่งน้อย จะทำให้ความกว้างของชั้นดีพลีชั่นกว้างมากขึ้น สำหรับซิลิกอนนั้นสามารถทำให้ความเข้มข้นของชั้นอินทรีนลิกมีค่าน้อยประมาณ $10^{14} / \text{cm}^3$ ดังนั้นจะได้ความกว้างของชั้นดีพลีชั่นหลายสิบไมโครเมตร ที่แรงดันหลายสิบลโวลต์

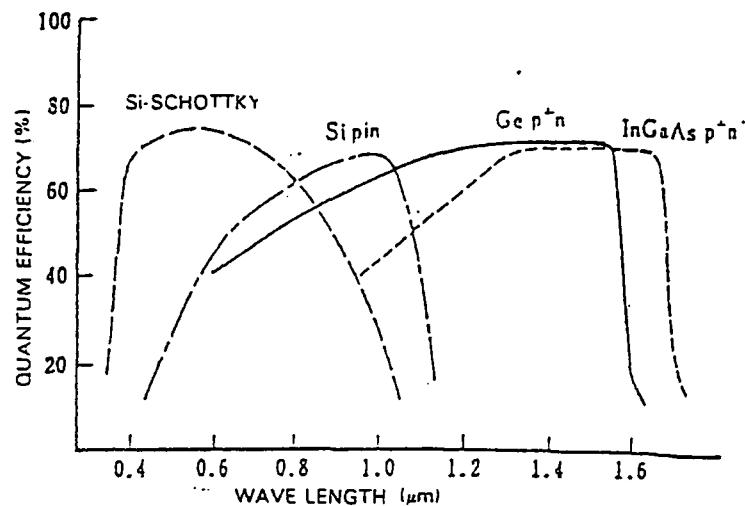
ความไวของโฟโตไดโอดนั้นแสดงด้วยปริมาณที่เรียกว่า Quantum efficiency (η) เป็นตัวบอกประสิทธิภาพของ photoelectric conversion ดังแสดงด้วยสมการต่อไปนี้

$$\eta = \frac{\text{จำนวนอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิด Photo current}}{\text{จำนวนโฟตอนที่ป้อนเข้าไป}}$$

$$= \frac{I_p / q}{P_o / h}$$

ในที่นี้

- I_p เป็น Photocurrent
- q เป็น ประจุของอิเล็กตรอน
- P_o เป็น Optical power
- h เป็น พลังงานของโฟตอน

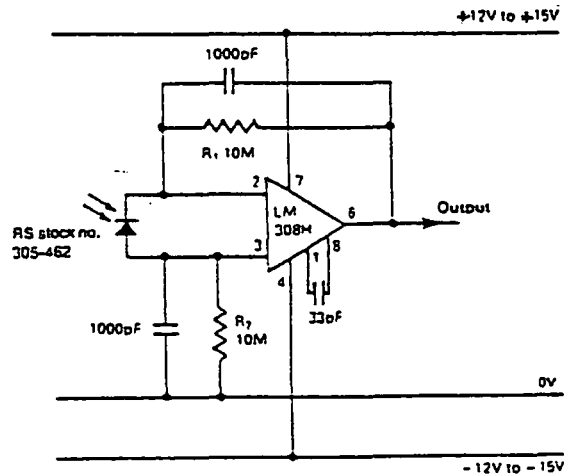


รูป 2.20 แสดงคุณสมบัติ Quantum efficiency ของโฟโตไดโอด

สำหรับโฟโตไดโอดที่มีชั้นอินทรีนลิกหนานั้น จะเห็นว่า Quantum efficiency ทางด้านความยาวคลื่นยาวจะดี และ Quantum efficiency ทางด้านความยาวคลื่นสั้น จะเห็นว่าแบบ Schottky นั้นดีกว่าแบบ junction ขีดจำกัดการตรวจจับแสงของตัวตรวจจับชนิดซิลิกอนตรวจจับแสงได้ถึง 1.1 μm ส่วนเจอร์เมเนียมโฟโตไดโอดทำการตรวจจับแสงได้ถึง 1.6 μm นอกจากนี้ยังมีสารที่สามารถใช้ตรวจจับแสงได้ถึง far infrared ด้วย สำหรับย่านความยาวคลื่นหลายไมโครเมตรนั้น มีอินเดียมอาร์เซไนด์ อินเดียมแอนติโมนี โฟโตไดโอดและสามารถได้ความเร็วในการตอบสนองต่ำกว่า 1 μsec สำหรับย่าน

ความยาวคลื่น near infrared ที่มีความยาวคลื่นหลายสิบล้านไมโครเมตรนั้นได้มีการพัฒนาโฟโตไดโอดที่ทำจากสารประกอบ 3 ชนิด เช่น HgCdTe PbSse เป็นต้น

การประยุกต์ใช้ในการตรวจจับสัญญาณแสง



รูป 2.21 แสดงวงจรตรวจจับสัญญาณแสงที่ใช้ในโครงการพิเศษ

2.4 STEPPING MOTOR

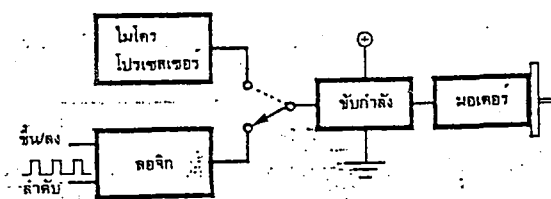
ทฤษฎีและหลักการของสเต็ปปีงมอเตอร์

สเต็ปปีงมอเตอร์ เป็นมอเตอร์กระแสตรงที่มีการทำงานโดยเคลื่อนที่ไปละสเต็ป การควบคุมจะทำได้โดยการกระตุ้นทีละเฟสเรียงกันไปซึ่งการกระตุ้นครั้งหนึ่งจะทำให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่งสเต็ป ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้คือ ที่วงจรควบคุมไม่ต้องมีอุปกรณ์ป้อนกลับเหมือนมอเตอร์กระแสตรงทั่วไป สเต็ปปีงมอเตอร์มีใช้งานอยู่ในอุปกรณ์จำพวกดีสไดรฟ์และพลอตเตอร์ ในระบบคอมพิวเตอร์ หรือใช้ควบคุมแขนขาของตัวหุ่นยนต์

ส่วนประกอบของสแต็ปปีงมอเตอร์

- จะมีเพลาหมุนเป็นสแต็ป
- ป้อนอินพุตที่มีความถี่ค่าหนึ่ง
- จะสแต็ปไปที่ละสแต็ปในแต่ละพัลส์
- ขนาดของสแต็ป ขึ้นกับการออกแบบสแต็ปปีงมอเตอร์
- สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยความถี่และความกว้างของพัลส์

การทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับพัลส์ที่ป้อนให้กับขดลวดแต่ละเฟสของมอเตอร์ในลำดับที่ถูกต้องด้วยวงจรจัดลำดับลอจิก (Sequencer Logic) ด้วยกระแสที่พอเพียงจากวงจรขับ (driver) การควบคุมการหมุนของสแต็ปปีงมอเตอร์สามารถควบคุมได้โดยวงจรจัดลำดับลอจิก ดังรูป 2.22



รูป 2.22 บล็อกไดอะแกรมของสแต็ปปีงมอเตอร์

จากรูป 2.22 สแต็ปปีงมอเตอร์จะทำงานเมื่อมีการป้อนสัญญาณนาฬิกา (clock pulse) และมีอินพุตสำหรับควบคุมทิศทาง

ข้อแตกต่างของสแต็ปปีงมอเตอร์กับดีซีเซอร์โวมอเตอร์แสดงดังตารางที่ 2.1

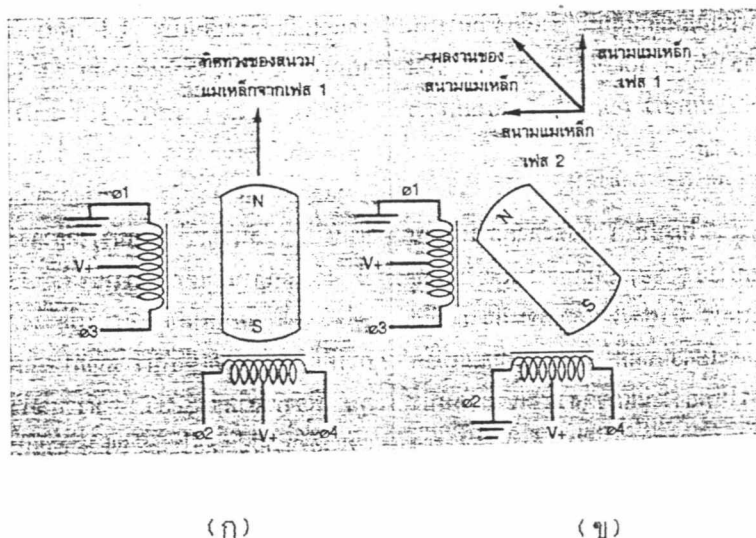
สแต็ปเปอร์มอเตอร์	ดีซีเซอร์โวมอเตอร์
มีการควบคุมที่ซับซ้อน	การควบคุมง่าย
ไม่ต้องมีการป้อนกลับ (open control loop)	จำเป็นต้องมีการป้อนกลับ (อาศัยตัวต้านทานปรับค่าได้, เอนโคเดอร์, กำเนิดการนับรอบ)
กำลังงานเมื่อเทียบกับขนาดรูปร่างยังไม่เหมาะสม	กำลังงานเมื่อเทียบกับขนาดรูปร่างเหมาะสม
แรงสั่นสะเทือนสูง	การสั่นสะเทือนต่ำ เพราะใช้แปรงถ่าน
คุณสมบัติในการบล็อกกิ้งดี	การบล็อกกิ้งต้องอาศัยการเบรกที่พิเศษ

ตาราง 2.1 แสดงความแตกต่างของสแต็ปปีงมอเตอร์กับดีซีเซอร์โวมอเตอร์

ทฤษฎีการทำงาน

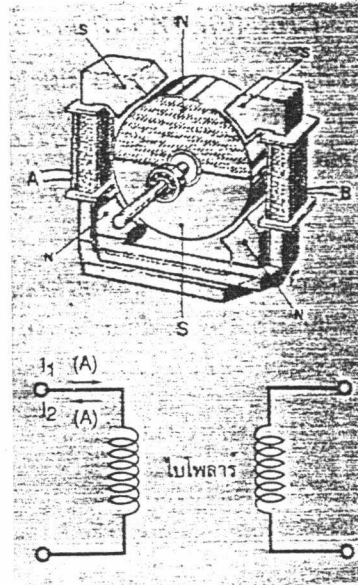
การทำงานคล้ายขั้วขั้วของมอเตอร์ คือ มีสนามแม่เหล็กหมุนเหมือนกัน โดยชนิดของสแต็ปปีงมอเตอร์จะแบ่งตามสนามแม่เหล็กหมุนนี้ ซึ่งเกิดจากการพันขดลวดบนตัวสเตเตอร์ แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

- ยูนิโพลาร์ (unipolar)
- ไบโพลาร์ (bipolar)



รูป 2.23 เป็นสแต็ปปึงมอเตอร์ 4 เฟส เมื่อ $\phi 1$ ทำงาน โรเตอร์จะเป็นรูป (ก) และเมื่อ $\phi 1$ และ $\phi 2$ ทำงานพร้อมกัน โรเตอร์ จะเป็นดังรูป (ข)

ในรูป 2.23 แสดงหลักการทำงานแบบง่าย ๆ ของสแต็ปปึงมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ 4 เฟส ตัวโรเตอร์จะเป็นแม่เหล็กโดยจะเปลี่ยนทิศทางไปตามสนามแม่เหล็ก การให้พลังงานแก่ขดลวดโดยขดลวดหนึ่ง โรเตอร์ก็จะหมุนไป 90 องศา ดังรูป (ก) แต่ถ้าให้ทีเดียวลองขดพร้อมกัน โรเตอร์ก็จะหมุนเพียง 45 องศา ดังรูป (ข) ซึ่งแบบหลังจะสร้างแรงบิดได้มากกว่าแบบแรก สแต็ปปึงมอเตอร์จะมีมุมของการเคลื่อนที่แต่ละสแต็ปเป็น 1.8 องศา ดังนั้นที่โรเตอร์ต้องมีขั้วแม่เหล็ก 50 ขั้ว $(90 / 50) = 1.8$



รูป 2.24 ไบโพลาร์สแต็ปซิงมอเตอร์สองเฟส สนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนเมื่อกลับทิศทางการไหลของกระแส

รูป 2.24 เป็นขดลวดชนิด ไบโพลาร์เมื่อขดลวด A และ B ในรูปมีกระแสไหลผ่านสเตเตอร์ จะเกิดขั้วแม่เหล็กตามรูป เป็นผลให้โรเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กต่างกับสเตเตอร์ถูกดูด ต่อมาเมื่อกระแสที่ไหลในขดลวด A เปลี่ยนทิศทางกลับ ($I_2 (A)$) จึงเป็นผลให้ขั้วแม่เหล็กที่แกน A เปลี่ยนขั้วจาก S เป็น N และจาก N เป็น S โรเตอร์จึงถูกผลักให้หมุนวนเพิ่มไป 90 องศา ลำดับการหมุนใน 1 รอบ เป็นสแต็ปดังนี้

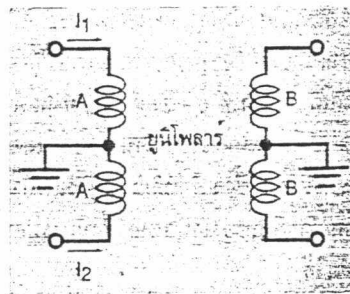
AB-- AB-- AB-- AB-- AB มี 4 สแต็ป ๆ ละ 90 องศา

จะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อเวลากลับขั้วแม่เหล็กในแต่ละเฟสจะต้องมีการหยุดกระแสก่อน แล้วกระแสจึงค่อยเปลี่ยนทิศทาง จึงสรุปเป็นสแต็ปได้คือ

AB-- B-- AB-- A-- AB-- B-- AB-- A-- AB

การทำงานเป็นแบบกึ่งสแต็ปนี้ เป็นผลให้ค่าโมเมนต์มีค่าน้อยกว่าปกติ เพราะมีช่วงเวลาทีกระแสไหลแค่เฟสเดียว ส่วนสแต็ปซิงมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ก็คล้าย ๆ กับไบโพลาร์

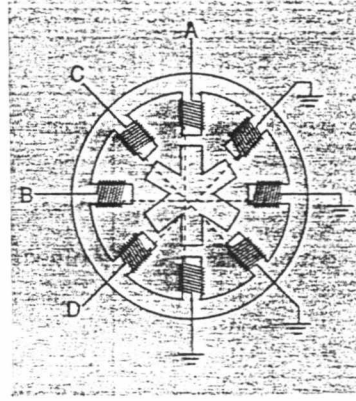
คือคิดเพียงขดเดียว ในแต่ละเฟสของยูนิโพลาร์จะมีแทปกลาง ซึ่งจะแบ่งเป็นสองขด ดังรูปที่ 2.25 ดังนั้นเมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงกระแสจะไม่เปลี่ยนทิศทางการไหล เป็นที่แน่นอนว่า ถ้าจำนวนของขดลวดของยูนิโพลาร์พันเหมือนแบบไบโพลาร์ แต่ยูนิโพลาร์มีแทป จึงเป็นผลให้แอมแปร์เทิร์น ซึ่งเป็นค่าฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าน้อยกว่าไบโพลาร์ เพราะฉะนั้นสนามแม่เหล็กที่ได้ก็น้อยตาม แรงบิดที่ขึ้นกับสนามแม่เหล็กก็น้อยกว่าด้วย เมื่อเทียบกับไบโพลาร์ขนาดเดียวกัน



รูป 2.25 ยูนิโพลาร์สแต็ปป์มอเตอร์การเปลี่ยนขั้วสนามแม่เหล็กใช้การไหลของกระแสที่ต่างขดกัน กระแสจะไม่ไหลที่เดียวพร้อมกัน 2 ขด ในตัวสเตเตอร์เดียวกัน

ความต้องการในการให้มันมีการหมุนที่เที่ยงตรงและถูกต้อง การหมุนในแต่ละรอบต้องมีสเตปมากขึ้น เราจึงต้องสร้างตัวโรเตอร์ และสเตเตอร์ให้มีหลายขั้น โดยแยกขดลวดแต่ละเฟสออกจากกัน ซึ่งในเวลาทำงานเฟสแต่ละเฟส จะต้องต่างเฟสกันเล็กน้อย

จำนวนสเตปที่มากที่สุดของมอเตอร์ ถูกกำหนดโดยส่วนประกอบของโรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็ก ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเร็วแรงดันของขดลวดในสเตเตอร์ นิยมใช้เหล็กอ่อนเป็นตัวโรเตอร์ มีขั้วแม่เหล็กน้อยกว่าสเตเตอร์ และเป็นแบบยูนิโพลาร์



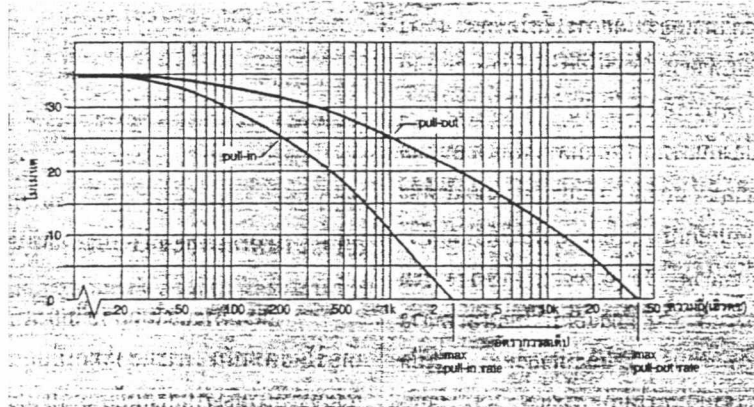
รูป 2.26 สเต็ปป์มอเตอร์ที่ใช้แกนเหล็กอ่อน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อใช้เป็นมอเตอร์ที่ ความถี่ 50 Hz และขั้วแม่เหล็กบนโรเตอร์น้อยกว่าขั้วบนสเตเตอร์

ชื่อทางกล	ความหมาย	ชื่อทางไฟฟ้า	ความหมาย
● สเต็ปเปอร์แองเกิล	มุมที่หมุนไปใน 1 สเต็ป มีค่า 360/จำนวนสเต็ปในการหมุนไป 1 รอบ	● ยูนิโพลาร์กับไบโพลาร์	เป็นชนิดของการพันขดลวดบนตัวสเตเตอร์
● เบรกกิ้งโมเมนต์	เป็นค่าโมเมนต์มากสุดในการบล็อกโรเตอร์ไม่ให้หมุน	● ค่าความเหนี่ยวนำ (L)	เป็นตัวกำหนดขนาดของกระแสที่อัตราความเร็วสเต็ปสูงซึ่งสัมพันธ์กับฟลักซ์แม่เหล็ก
● โมเมนต์ (ทอร์ค)	เป็นผลคูณระหว่างระยะทางที่ตั้งฉากกับแรงที่มากกระทำ	● ค่าความต้านทาน (R)	เป็นตัวจำกัดกระแสที่ขดลวดบนสเตเตอร์กับที่โรเตอร์
● pull-in rate	ความถี่ที่เริ่มสตาร์ท โดยที่ยังไม่มีแรงสูญเสีย	● กระแสสเตเตอร์มากที่สุด	ขึ้นอยู่กับขนาดของขดลวดที่พัน
● pull-out rate	อัตราของสเต็ปป์เมื่อความเร่งที่แล้ว		
● โมเมนต์เฉื่อย (I)	เป็นการวัดแรงต้านของวัตถุต่อความเร่งเชิงมุม		

ตาราง 2.2 ชื่อเรียกและความหมายทางกลและทางไฟฟ้าของสเต็ปป์มอเตอร์

ในตารางที่ 2.2 จะบอกถึงความหมายของข้อมูลแต่ละอย่างของมอเตอร์ แบ่งประเภทของความหมายได้ 2 ประเภท คือ ทางไฟฟ้า และทางกล ข้อมูลทางกลเป็นสิ่งที่เราต้องการใช้ ส่วนข้อมูลทางไฟฟ้าใช้สำหรับในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมตัวแปรที่มีความสำคัญที่จะต้องทราบคือ pull in rate เป็นค่ามากที่สุดที่ยอมให้เกิดอัตราเร่งสเต็ป ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวโรเตอร์ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจะเพิ่มขึ้นได้ด้วยการถูกหมุนโดยตัวมอเตอร์ แล้วผลที่ตามมาจะทำให้ pull in rate ลดลง ดังกราฟที่ 2.1



กราฟ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับความถี่ของมอเตอร์

กราฟ 2.1 เป็นกราฟลักษณะคุณสมบัติระหว่างโมเมนต์กับความถี่ จะเห็นได้ว่า เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ค่าโมเมนต์จะลดลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า เมื่อความถี่ที่เข้ามาสูงขึ้น จะทำให้ค่า inductance ที่ขดลวดบนสเตเตอร์สูงขึ้น กระแสจะไหลได้น้อยลง และเป็นผลให้ค่าสนามแม่เหล็กน้อยลงด้วย นอกจากนี้ กระแสที่ไหลในขดลวดสเตเตอร์ ก็ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วด้วย ซึ่งจากกราฟ ได้แสดงถึงค่าโมเมนต์ 2 โมเมนต์คือ กราฟ pull-in และกราฟ pull-out กราฟ pull-in ควรจะใช้เมื่อขับมอเตอร์ด้วยความถี่คงที่ ค่าของโมเมนต์ก็จะอยู่ที่ค่าหนึ่ง ส่วนกราฟ pull-out ใช้กับการเร่งและการหน่วงความเร็วที่ราบรื่น ไม่กระตุก ซึ่งค่าโมเมนต์จะสูงกว่ากราฟ pull-in แต่วงจรมุมซับซ้อนกว่า

การกระตุ้น (Stepping Motor Excitation)

แบบที่นิยมใช้มีอยู่ 3 แบบ คือ

- 1) กระตุ้นเฟสเดียว (one phase excitation)
- 2) กระตุ้นสองเฟส (two phase excitation)
- 3) กระตุ้นครึ่งสเตป (half step excitation)

Three-phase motor

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█			█			█		
Phase 2		█			█			█	
Phase 3			█			█			█

a) one phase excitation

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█	█	→	█			█		
Phase 2			█	→	█			█	
Phase 3	█		█			█			█

b) two phase excitation

Clock state (A)	R	1	2	3	4	5
Phase 1	█	█			█	█
Phase 2		█	█			█
Phase 3			█	█		█

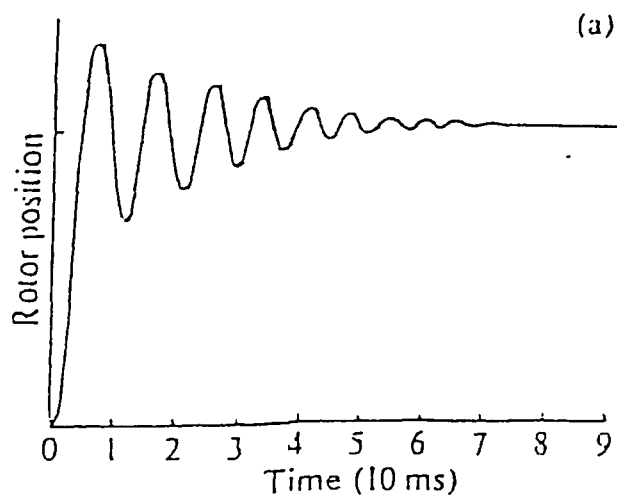
Clock state (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Phase 1	█	█				█	█	█		
Phase 2		█	█				█	█	█	
Phase 3			█	█				█	█	█

c) half step excitation

รูป 2.27 แสดงแผนภูมิเวลาของการกระตุ้นแบบต่าง ๆ

1) one phase excitation

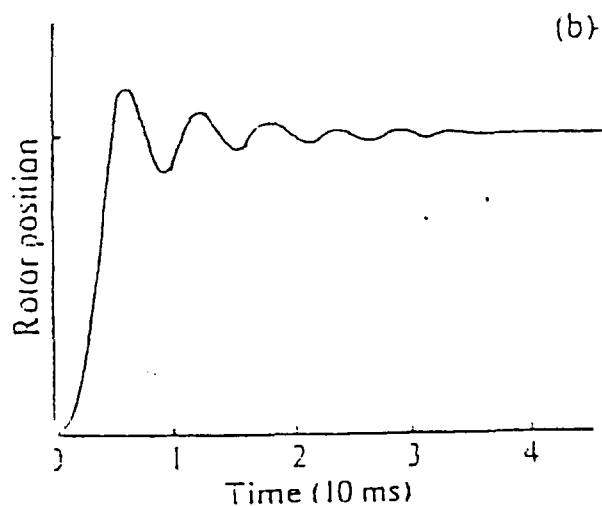
แบบนี้จะมีแรงบิดน้อยที่สุดทั้งในขณะที่เริ่มเคลื่อนที่และเคลื่อนที่อยู่มี over shoot สูง เข้าสู่ตำแหน่งแต่ละสเต็ปช้า แต่เมื่อเข้าสู่สภาวะ steady state แล้ว จะไม่มีการ oscillate



กราฟ 2.2 แสดงผลตอบสนองของสแต็ปิ่งมอเตอร์ต่อการกระตุ้นเฟสเดียว

2) two phase excitation

การกระตุ้นแบบนี้มีแรงบิดขณะเริ่มต้นสูง มี over shoot ต่ำ และมี oscillate เล็กน้อยในสภาวะ steady state



กราฟ 2.3 แสดงผลตอบสนองของสแต็ปิ่งมอเตอร์ต่อการกระตุ้นสองเฟส

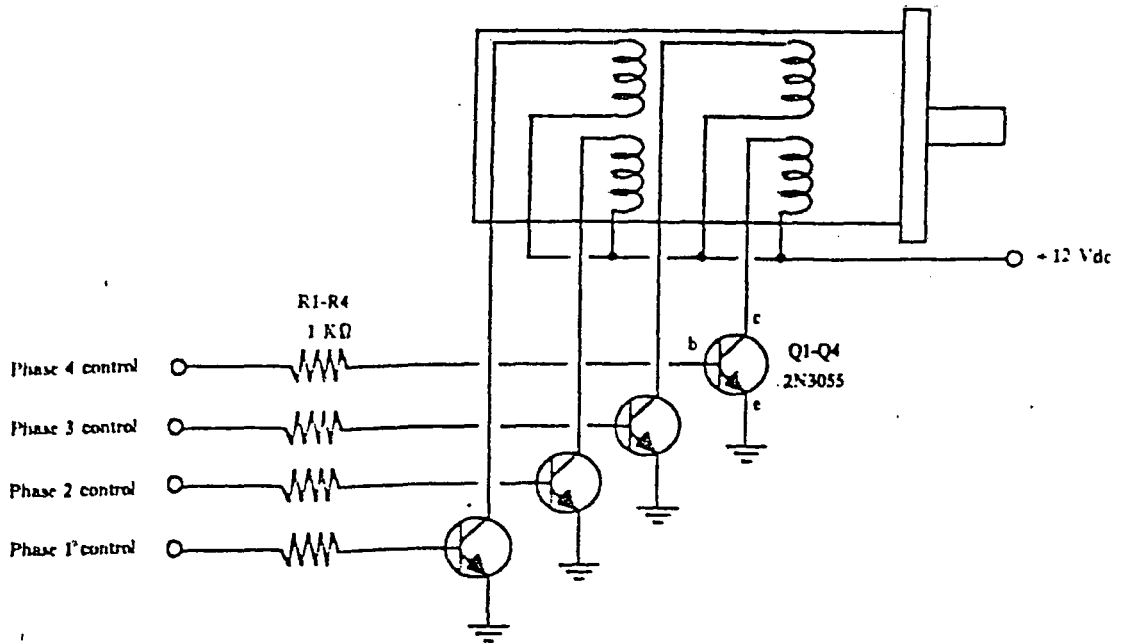
3) half step excitation

สำหรับสแต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้ในการกระตุ้นแบบ half step excitation จะทำให้มุมมองค่าในแต่ละสแต็ปจะมีค่าลดลงจากค่าที่กำหนดไว้ครึ่งหนึ่งจากค่ามุมมองค่าที่กำหนดไว้ที่ Data ของสแต็ปปีงมอเตอร์ตัวนั้น การกระตุ้นแบบนี้ จะรวมข้อดีของทั้ง 2 แบบ ไว้โดยขณะเริ่มต้นจะกระตุ้นแบบสองเฟส ทำให้ได้แรงบิดสูงที่สุด และเมื่อเข้าสู่สภาวะ steady state จะกระตุ้นเพียงเฟสเดียว ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดการ oscillate แต่ข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ one phase excitation กล่าวคือในขณะ steady state ค่าแรงบิดจะมีค่าน้อย

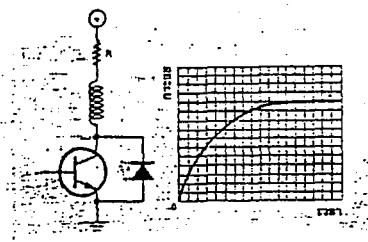
2.5 MOTOR DRIVER

เป็นส่วนขับเคลื่อนสแต็ปปีงมอเตอร์ให้ทำงาน สามารถใช้งาน IC ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนมอเตอร์โดยเฉพาะ หรือใช้ทรานซิสเตอร์ขับ โดยมีส่วนรับสัญญาณกระตุ้น ซึ่งส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ Z84C11 ดังรูปข้างล่าง

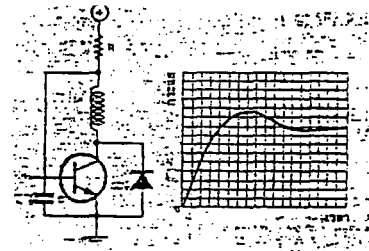
ในโครงงานพิเศษนี้ ใช้ทรานซิสเตอร์ 2N3055 จำนวน 4 ตัว ตัวละ 1 เฟส ทำหน้าที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ซึ่งรับความต่างศักย์สามโวลต์และกระแส 2.7 แอมป์แปร์



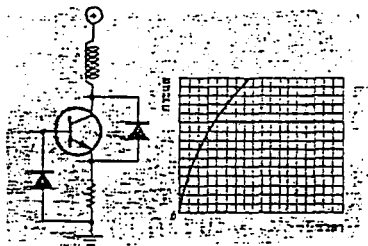
รูป 2.28 วงจรขับมอเตอร์ โดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขับ



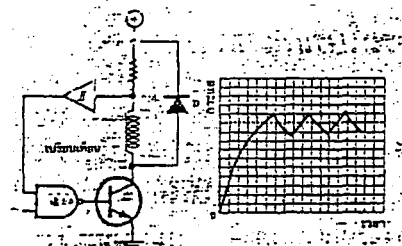
(ก) วงจรขับสเต็มป์มอเตอร์



(ข) R-C ชุดช่วยค่าอินดักแตนซ์



(ค) การทำงานที่มีความถี่ของสวิทซ์มาก



(ง) วงจรขับมอเตอร์ที่ต่ำที่สุด

รูป 2.29 แสดงการต่อสเต็มป์มอเตอร์แบบต่างๆ

รูปที่ 2.29 (ก) ถึง (ง) จะเป็นวงจรขั้วลบเต็มปีมอเตอรืโดยจะมีกราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของกระแสที่สแตเตอร์ ซึ่งรูป 2.29 (ก) ตัวต้านทานที่อนุกรมเข้าไปนั้น จะไปลดค่าของคาบเวลาในการสวิตซ์ทำงานของทรานซิสเตอร์ให้น้อยลง สำหรับโหลดที่มีค่าเหนี่ยวนำน้อย ซึ่งก็แน่นอนว่าจะต้องมีการสูญเสียกำลังงานไปบางส่วน

ในรูปที่ 2.29 (ข) เป็นวงจรขดเคยค่าอินดักแตนซ์ โดยใช้วงจร RC ซึ่งวงจรมีจะกำเนิดแอมป์ออสซิเลชันดังรูป และก็จะทำให้ค่าคงที่ในการแตรมพ์น้อยที่สุดที่จะทำได้ด้วยค่า R และ C ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตสแตปีมอเตอรื

ในรูปที่ 2.29 (ค) จะใช้ทรานซิสเตอร์เป็นแหล่งจ่ายกระแส ซึ่งจะทำความชื้นของการเป็นสวิตซ์ทำงานมีความชื้นมาก และจะต้องป้อนแรงดันให้สูงอย่างเพียงพอด้วยโดยเมื่อขณะเวลาที่กระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ในระดับต่ำแล้ว ตัวทรานซิสเตอร์จะไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวนานนัก ซึ่งในวงจรมีจะกินกำลังมาก ดังนั้นจึงต้องการระบายความร้อนออกมาในช่วงจังหวะนี้

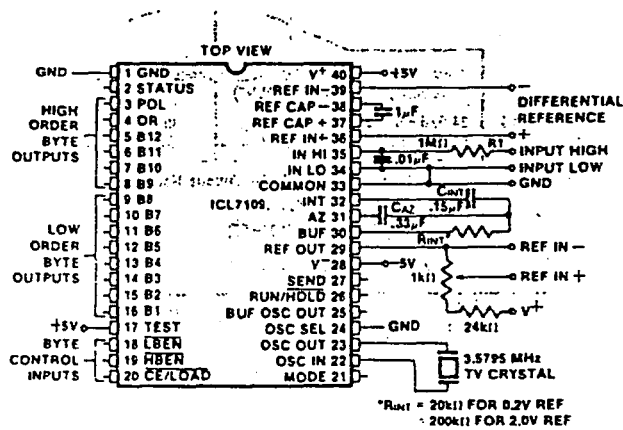
ในรูปที่ 2.29 (ง) เป็นวงจรแหล่งจ่ายกระแสที่ดีมากเพราะเมื่อกระแสไหลจนถึงค่า ๆ หนึ่งในส่วนของการคอมพาราเตอร์สวิตซ์ ทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดทำงานและจะทำให้สนามแม่เหล็กลดลงโดยผ่านไดโอดอย่างช้า ๆ แล้วเมื่อกระแสตกคร่อมมอเตอร์ลดต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ คอมพาราเตอร์ก็จะสวิตซ์ให้ทรานซิสเตอร์ทำงานอีกครั้ง ดูได้จากกราฟในกรณีนี้ทรานซิสเตอร์ก็จะไม่กินกำลังงานมากเหมือนใน รูปที่ 2.29 (ค)

2.6 A/D CONVERTOR

เป็นส่วนอินพุตอีกส่วนหนึ่งป้อนข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดที่รับสัญญาณแผลงจากเส้นใยนำแสงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Z84C11

ในส่วนของการ ADC ใช้ ADC เบอร์ ICL7109 ซึ่งเป็น ADC ขนาด 12 bit โดย ICL7109 เป็น IC CMOS ซึ่งกินกำลังไฟต่ำ และสามารถติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้

ง่าย โดยข้อมูลเอาท์พุท 12 บิต (bit polarity และ bit overrange) สามารถควบคุมได้โดยขาอินพุท 2 ขาและ chip select input สำหรับการติดต่อแบบง่ายๆ และยังมีการ handshake แบบ UART อีกแบบหนึ่ง รูปที่ 2.30 แสดงการต่อวงจรทดสอบของ ICL7109



รูป 2.30 แสดงการต่อวงจร test circuit ของ ICL7109

หน้าที่การทำงานของขาต่าง ๆ ของ ICL7109 แสดงดังตาราง 2.3

Pin	Symbol	Description
1	GND	Digital Ground, 0V. Ground return for all digital logic.
2	STATUS	Output High during integrate and deintegrate until data is latched. Output Low when analog section is in Auto-Zero configuration.
3	POL	Polarity — HI for Positive input.
4	OR	Overrange — HI if Overranged.
5	B12	Bit 12 (Most Significant Bit)
6	B11	Bit 11
7	B10	Bit 10
8	B9	Bit 9
9	B8	Bit 8
10	B7	Bit 7
11	B6	Bit 6
12	B5	Bit 5
13	B4	Bit 4
14	B3	Bit 3
15	B2	Bit 2
16	B1	Bit 1 (Least Significant Bit)
17	TEST	Input High — Normal Operation. Input Low — Forces all bit outputs high. Note: This input is used for test purposes only. Tie high if not used.
18	LBEN	Low Byte Enable — With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates low order byte outputs B1 — B8. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a low byte flag output used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.
19	HBEN	High Byte Enable — With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates high order byte outputs B9 — B12, POL, OR. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a high byte flag output used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.
20	CE/LOAD	Chip Enable/Load — With Mode (Pin 21) low, CE/LOAD serves as a master output enable. When high, B1 — B12, POL, OR outputs are disabled. With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a load strobe used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.

Pin	Symbol	Description
21	MODE	Input Low — Direct output mode where CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19) and LBEN (Pin 18) act as inputs directly controlling byte outputs. Input Pulsed High — Causes immediate entry into handshake mode and output of data as in Figure 10. Input High — Enables CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19), and LBEN (Pin 18) as outputs, handshake mode will be entered and data output as in Figures 8 and 9 at conversion completion.
22	OSC IN	Oscillator Input
23	OSC OUT	Oscillator Output
24	OSC SEL	Oscillator Select — Input high configures OSC IN, OSC OUT, BUF OSC OUT as RC oscillator — clock will be same phase and duty cycle as BUF OSC OUT. Input low configures OSC IN, OSC OUT for crystal oscillator — clock frequency will be 1/58 of frequency at BUF OSC OUT.
25	BUF OSC OUT	Buffered Oscillator Output
26	RUN/HOLD	Input High — Conversions continuously performed every 8192 clock pulses. Input Low — Conversion in progress completed, converter will stop in Auto-Zero 7 counts before integrate.
27	SEND	Input — Used in handshake mode to indicate ability of an external device to accept data. Connect to +5V if not used.
28	V ₋	Analog Negative Supply — Nominally -5V with respect to GND (Pin 1).
29	REF OUT	Reference Voltage Output — Nominally 2.8V down from V ⁺ (Pin 40).
30	BUFFER	Buffer Amplifier Output
31	AUTO-ZERO	Auto-Zero Node — Inside foil of C _{AZ}
32	INTEGRATOR	Integrator Output — Outside foil of C _{INT}
33	COMMON	Analog Common — System is Auto-Zeroed to COMMON
34	INPUT LO	Differential Input Low Side
35	INPUT HI	Differential Input High Side
36	REF IN +	Differential Reference Input Positive
37	REF CAP +	Reference Capacitor Positive
38	REF CAP -	Reference Capacitor Negative
39	REF IN -	Differential Reference Input Negative
40	V ⁺	Positive Supply Voltage — Nominally +5V with respect to GND (Pin 1).

Note: All digital levels are positive true.

ตาราง 2.3 แสดงหน้าที่การทำงานของขาต่าง ๆ ของ ICL7109

ส่วน อนุบาลอก

ICL7109 จะทำงานเมื่อป้อนไฟ +5 โวลต์ และ -5 โวลต์ โดยจะสามารถแปลงค่าได้สูงสุด 4 โวลต์เต็มสเกลทั้งทางด้านบวกและลบ

ในการเลือกค่าอุปกรณ์เพิ่มเติมที่ต้องต่อกับ ICL7109 มีดังนี้

-Integrating Resistor สำหรับ 4.096 โวลต์เต็มสเกล ใช้ค่า 20 กิโลโอห์ม แต่สำหรับค่าเต็มสเกลอื่น ๆ หาค่า R_{INT} ได้จาก

$$R_{INT} = \frac{\text{full scale voltage}}{20\mu\text{A}} \quad \text{โอห์ม}$$

-Integrating Capacitor สำหรับ ICL7109 ที่จ่ายไฟ +5 V และ analog common ต่อลง GND สำหรับการแปลงข้อมูลด้วยอัตรา 7.5 ครั้งต่อวินาที (ความถี่นาฬิกา 61.72 kHz) จะใช้ C_{INT} และ C_{AZ} เท่ากับ 0.15 μF และ 0.33 μF ตามลำดับ สำหรับความถี่นาฬิกาอื่น ๆ สามารถหาค่า C_{INT} ได้จาก

$$C_{INT} = \frac{(2048 \times \text{clock period})(20\mu\text{A})}{\text{integrator output voltage swing}} \quad \mu\text{F}$$

-Auto-Zero สามารถหาค่าได้จาก

$$C_{AZ} = 2C_{INT}$$

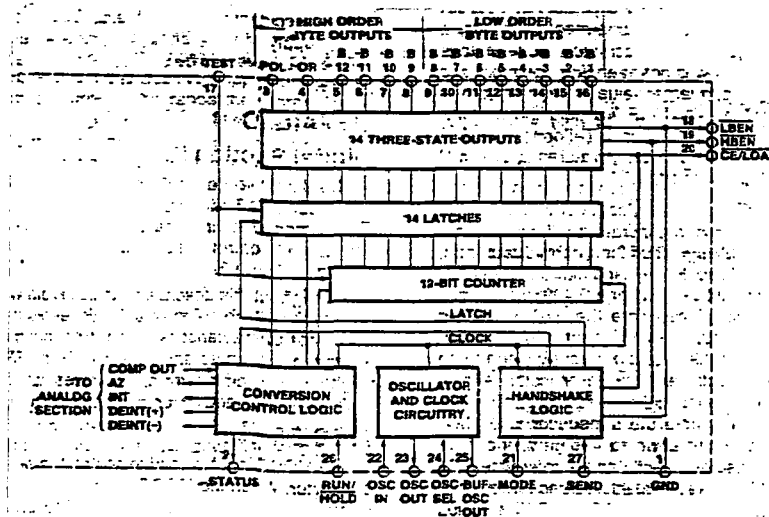
-Reference Capacitor ให้ใช้ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 1 μF

-Reference Voltage ในการกำหนดค่า reference voltage นั้นจะขึ้นอยู่กับค่า input voltage เต็มสเกล โดย $V_{REF} = 2V_{REF}$ เช่นถ้าใช้ 4.096 V เต็มสเกล จะให้ $V_{REF} = 2.048$ V

-Reference Source reference voltage นั้นจะต้องมีค่าเสถียรเพื่อที่จะให้การแปลงสัญญาณเป็นไปอย่างถูกต้องที่สุด ซึ่ง ICL7109 มีขา reference output (ขา 29) เพื่อสร้าง reference voltage ขึ้นโดยขานี้จะรับกระแสเข้าได้สูงสุดประมาณ 20 mA โดยปกติขานี้จะให้ voltage เท่ากับ 2.8 V ซึ่งจะต้องต่อขา REF OUT เข้า

กับขา REF- และ REF+ ต่อกับขากลางของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยวงจรสำหรับ reference 204.8 mV ใช้ตามวงจร test circuit สำหรับ reference 2.048 V นำตัวต้านทานคงที่ออก และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 25 กิโลโอห์ม แทน

ในส่วน ดิจิตอล



รูป 2.31 แสดงส่วนดิจิตอล

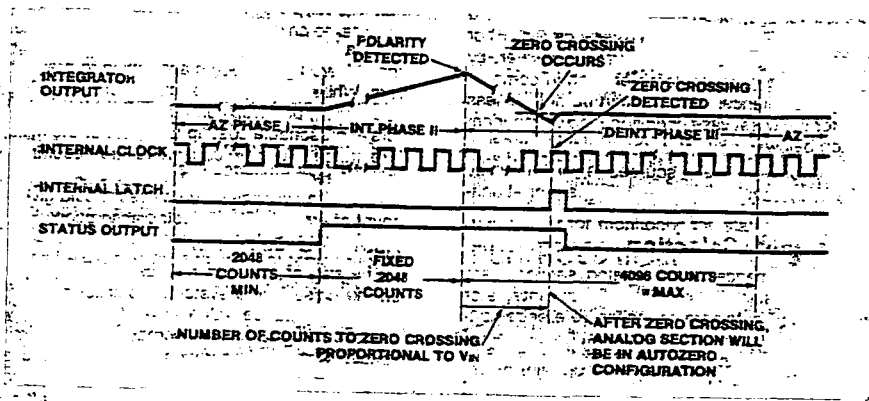
ในส่วนนี้จะมีส่วน ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (clock oscillator) สัญญาณข้อมูลต่าง ๆ และสัญญาณควบคุมต่าง ๆ ด้วย ดังนี้

-Mode input ใช้เลือกโหมดในการแปลง เมื่อขา mode เป็น low หรือ open ตัวแปลงสัญญาณจะเป็นโหมด direct เมื่อให้เป็น pulse high ตัวแปลงสัญญาณจะเป็นโหมด UART handshake และข้อมูลเอาท์พุทเป็นแบบ 2 ไบท์ จากนั้นจะกลับไปเป็นแบบโหมด direct เมื่อให้โหมดเป็น high ตัวแปลงสัญญาณจะให้ข้อมูลเอาท์พุทในแบบโหมด handshake ในทุก ๆ วงรอบของการแปลงเสร็จ

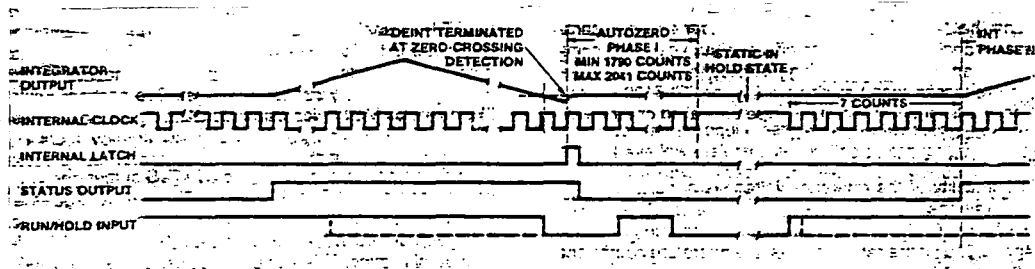
-STATUS output ระหว่างวงรอบของการแปลงสัญญาณ status จะเป็น high ตอนเริ่มแรกและจะตกเป็น low หลังจากข้อมูลใหม่ที่ได้จากการแปลงสัญญาณ ตามรูปที่

2.32 เป็น timing ของ status

-RUN/HOLD input เมื่ออินพุตเป็น high หรือ open วงจรจะทำการแปลงข้อมูลอย่างต่อเนื่องถ้า RUN/HOLD เป็น low ที่เวลาใดระหว่างการติอินทิเกรต วงจรจะไปทำงานแบบ auto-zero แทนคือจะไม่แปลงข้อมูลใหม่ ตามรูปที่ 2.33

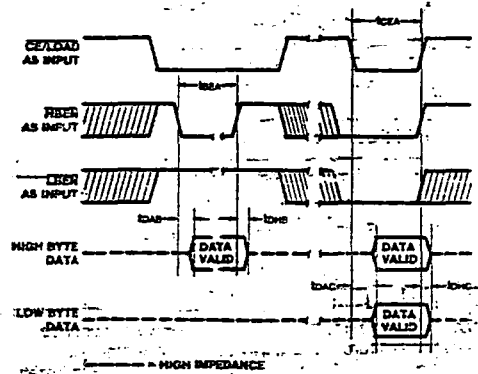


รูป 2.32 เป็นแผนภูมิเวลาของ status



รูป 2.33 แสดงการทำงานของ RUN/HOLD

-Direct Mode เมื่อ MODE เป็น low จะเป็นการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์แบบโดยตรง ดังแสดงดังรูปที่ 2.34 และตารางที่ 2.4

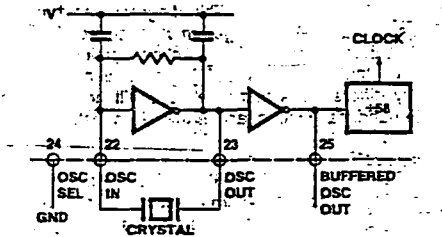


รูป 2.34 แสดง timing diagram ของการติดต่อโดยตรง

SYMBOL	DESCRIPTION	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{BEA}	Byte Enable Width	350	220		ns
t _{DAB}	Data Access Time from Byte Enable		210	350	ns
t _{DHB}	Data Hold Time from Byte Enable		150	300	ns
t _{CEA}	Chip Enable Width	400	260		ns
t _{DAC}	Data Access Time from Chip Enable		260	400	ns
t _{DHC}	Data Hold Time from Chip Enable		240	400	ns

ตาราง 2.4 แสดงเวลาของขนาดของสัญญาณต่าง ๆ ของโหมดโดยตรง

-Handshake Mode เป็นการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ที่จะต้องมีการทำ handshake ซึ่งมีอยู่หลายแบบด้วยกันดังแสดงดังรูป 2.35

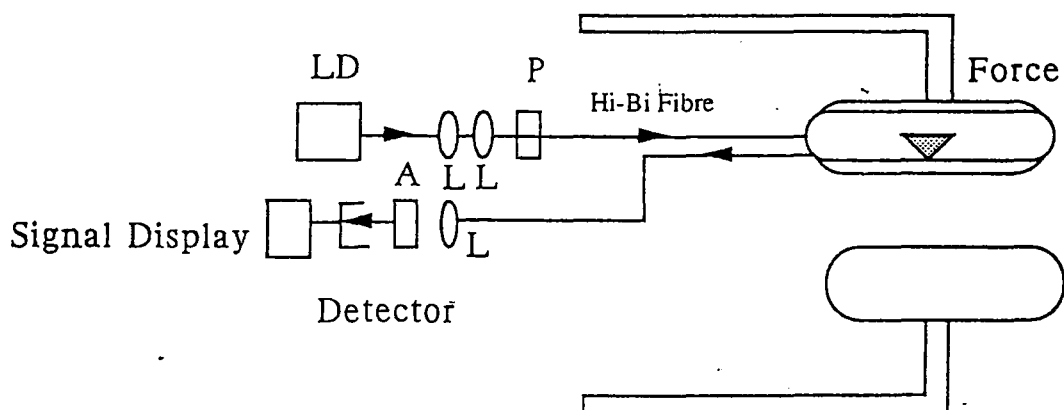


รูป 2.35 แสดงการต่อวงจร oscillator ที่ใช้ crystal

-Test Input เมื่อ test input มีระดับแรงดันเป็นครึ่งหนึ่งของ V^+ เทียบ GND ทำให้ counter output latch จะทำงานซึ่งสามารถทดสอบได้ทุกเวลา เมื่อ test ต่อกับ GND จะทำให้ counter output เป็น high state และ internal clock จะไม่ทำงาน และเมื่ออินพุทกลับไปเป็นครึ่งหนึ่งของ V^+ เทียบ GND และให้ clock เข้าไป 1 ลูก counter output จะกลับเป็น low ทำให้ตรวจสอบได้ง่าย

2.7 FIBRE OPTIC Hi-Birefringence

การวัด Force/Pressure Sensor



รูป 2.36 แสดงการนำไปใช้งานทางด้านเซนเซอร์

จากรูปเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเป็นเลเซอร์ไดโอดออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง จะมีการแผ่กระจายออกทำให้ความเข้มแสงลดลง จึงใช้เลนส์ปรับแสงให้เป็นลำแสงขนาน แล้วผ่านแผ่นโพลาไรซ์ ซึ่งเรียกว่า Polarizer (P) จะทำให้แสงเป็นโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linear Polarized) แล้วผ่านเลนส์นูนอีกชั้นหนึ่ง จากนั้นส่งเข้าไปยัง Hi-Bi Fibre

เส้นใยนำแสงชนิดนี้จะรักษาสภาพของการโพลาไรซ์ได้ และเมื่อแสงออกจากเส้นใยนำแสงจะถูกปรับให้เป็นแสงขนานโดยผ่านเลนส์นูนแล้วผ่านแผ่นโพลาไรซ์อีกตัวหนึ่งซึ่งเรียกว่า Analyzer (A) เพื่อบังคับการโพลาไรซ์ของแสงหลังจากนั้นจึงนำแสงเข้าสู่ Detector

ถ้ายังไม่มีการกระตุ้นด้วยพลังงานใด ๆ ลงบนเส้นใยนำแสงจะพบว่า สัญญาณขาออกที่วัดได้ เมื่อเราปรับ Analyzer (A) เป็นมุม θ องศาเมื่อเทียบกับ Polarizer (P) หรือเมื่อแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองขนานกันแล้วจะพบว่า ความเข้มของการส่งผ่านของแสงจะมากที่สุด

แต่ถ้าเราปรับแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองให้ตั้งฉากกันจะพบว่าความเข้มของการส่งผ่านของแสงจะต่ำที่สุดที่จุดที่ความเข้มของแสงต่ำที่สุด (Minimum) นี้ เมื่อทำการให้แรงลงไปทีจุดคัปปลิงแล้วจะเกิดปรากฏการณ์ Birefringence ขึ้นโดย

$$B = n_f - n_s$$

โดยที่ n_f คือ ดัชนีหักเหที่เกิดจาก Fast Axis

n_s คือ ดัชนีหักเหที่เกิดจาก Slow Axis

และขณะเดียวกันก็เกิดการเปลี่ยนเฟสระหว่างโหมดทั้งสองของการโพลาไรซ์

$$\phi = (2\pi/\lambda) BL$$

โดยที่ B คือ Birefringence

L คือ ความยาวของเส้นใยนำแสง

λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง

ส่วนสัญญาณขาออกที่อุปกรณ์รับแสงเป็นดังสมการ

$$I = [K(1-K)^{1/2}]$$

$$\text{โดยที่ } K = G[\sin 2\theta \sin(\pi BW/\lambda)]^2 f^2 \quad \dots\dots(*)$$

โดยที่ I คือ ขนาดของสัญญาณโดยเฉลี่ย

K คือ อัตราการค้ำปลีง

G คือ ค่าคงที่

θ คือ มุมระหว่างทิศของแรงที่กระทำกับแกน Fast Axis

W คือ ความกว้างของจุดค้ำปลีง

f คือ แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

จากสมการ (*) อัตราการค้ำปลีงสูงสุดโดยมุมของแสงที่กระทำมีค่าดังสมการ

$$\theta = (2n+1)\pi/4$$

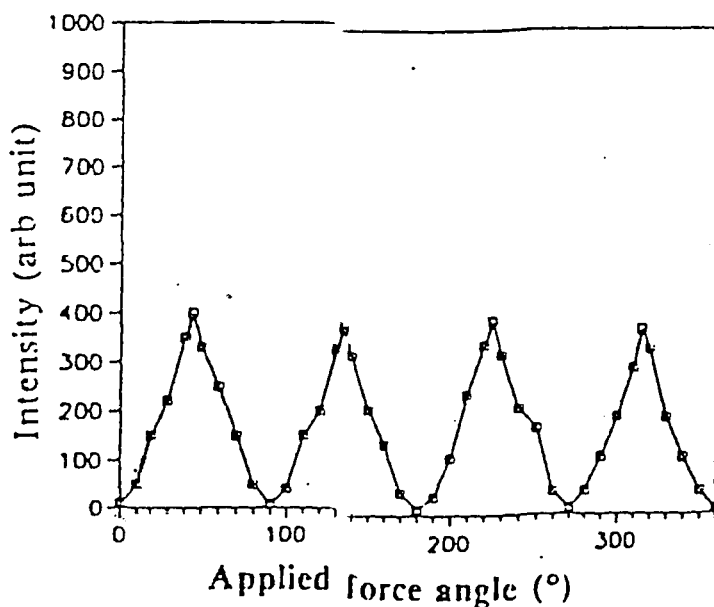
และความกว้างของจุดค้ำปลีงคือ

$$W = (2n+1)L_B/2 \quad \text{: เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots$$

L_B คือ Beat Length ของเส้นใยนำแสง โดย Beat Length ของแสงเป็นตัวบอกความสามารถของการวัด "Polarization-Holding" ถ้าเส้นใยนำแสงที่มีค่า L_B นั้นจะมีคุณสมบัติของการอนุรักษ์สถานะทาง Polarization ได้ดี

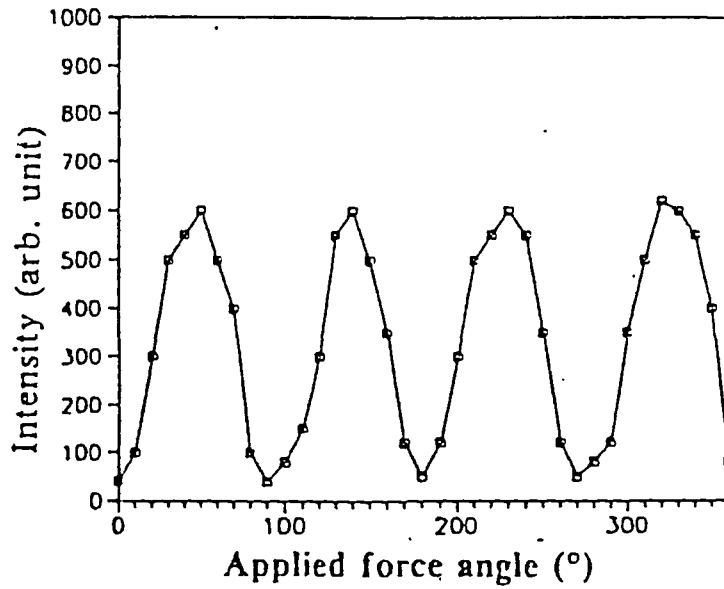
$$L_B = \alpha/B$$

หมายความว่าความเข้มของแสงที่เอาท์พุทจะมีค่ามากที่สุดเมื่อปรับให้มุมที่แรงกดกระทำกับแกน Fast Axis ของเส้นใยนำแสงเป็นมุม $\theta = 45$ องศา และความกว้างที่จุดที่คัปปลิง $W = L_p/2$ และจากสมการ (*) จะพบว่า ความเข้มของแสงที่วัดได้อันเกิดจากการคัปปลิงจะแปรผันตามแรงที่ใช้กระทำเมื่อเทอมอื่น ๆ คงที่

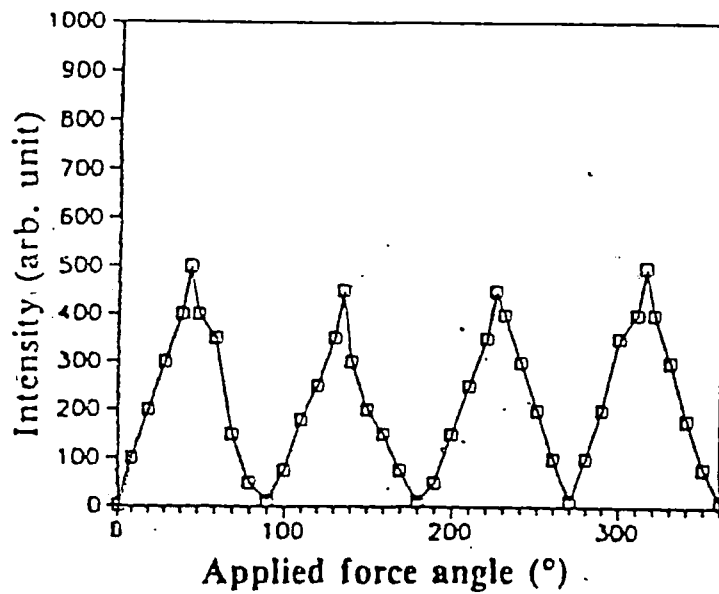


a) Bow-tie fiber

กราฟ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและขนาดแอมพลิจูดที่เอาท์พุท



b) E-series fiber

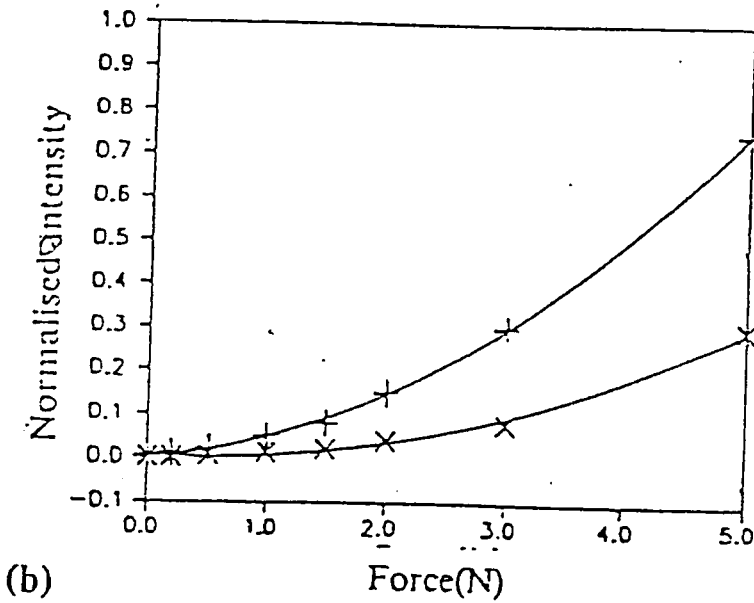
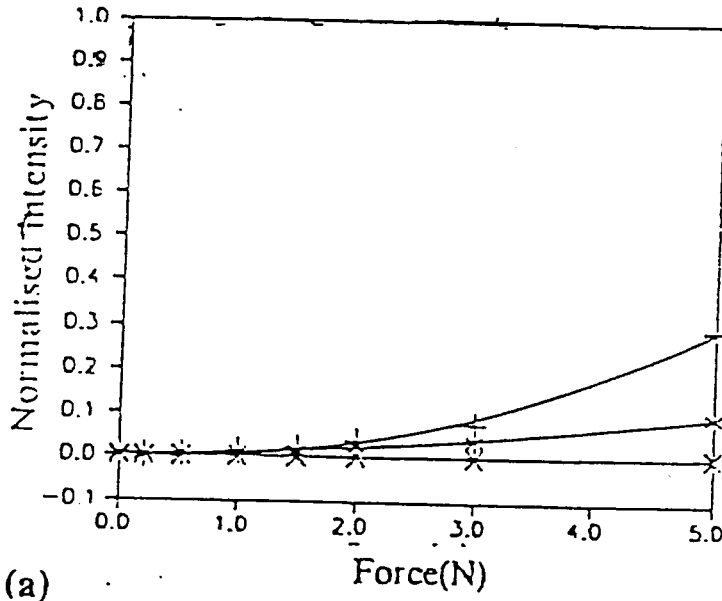


c) D-series fiber

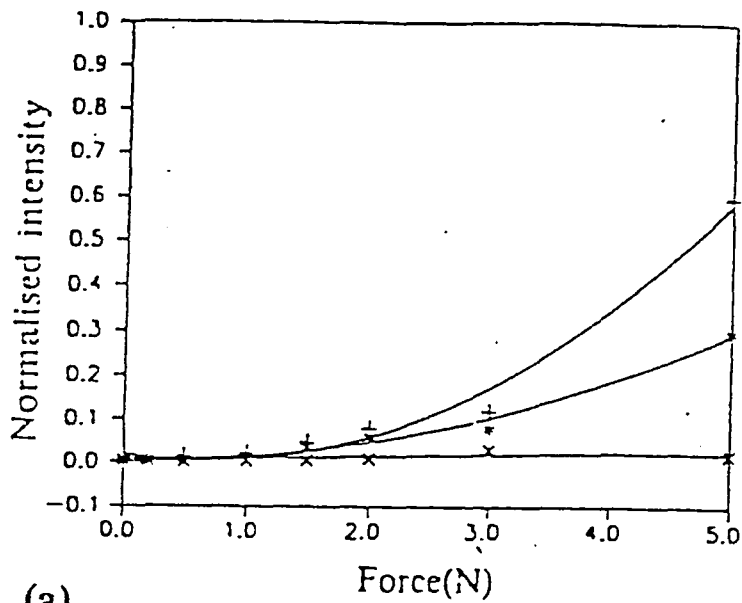
กราฟ 2.4(ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและขนาดแอมพลิจูดที่เอาท์พุท

จากรูป (a) ถึง (c) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แรงกดกับเออาร์พทแอมพลิฟิไคด สำหรับชนิด Bow-Tie, E-Series และ D-Series

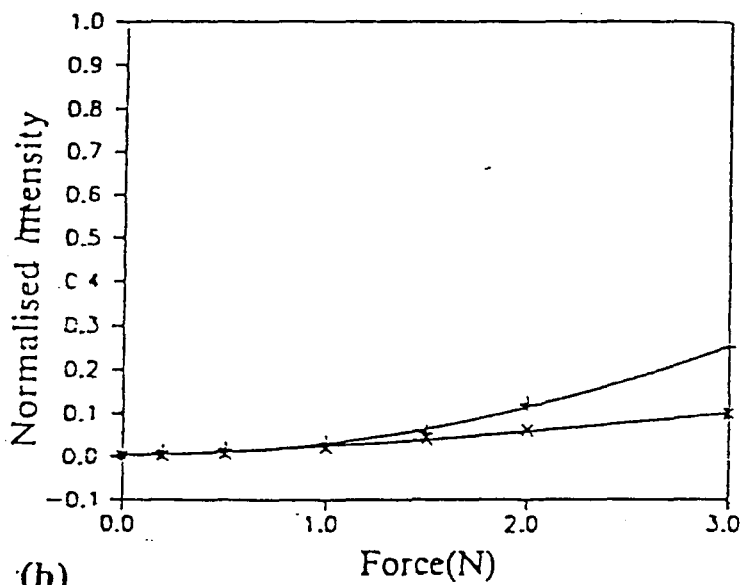
ถ้าใช้ความกว้างของจุดที่ค้ำปลี้ง $W = 2.5 \text{ mm}$. และให้แรงกดคงที่ 2 นิวตัน จากรูปแสดงให้เห็นว่ามุมที่แรงกระทำมีค่า $\theta = 45, 135, 225$ และ 315 องศา เป็นมุมที่ให้ค่ากำลังมากที่สุด และจากการทดลองมุมที่หมุนไปเพียงหนึ่งองศาจะให้ค่าแรงที่แตกต่างกันแล้ว



กราฟ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเออร์มอลไลซ์ความเข้มแสงกับแรงที่มากระทำ โดยใช้สายไฟเบอร์ชนิด Bow-tie

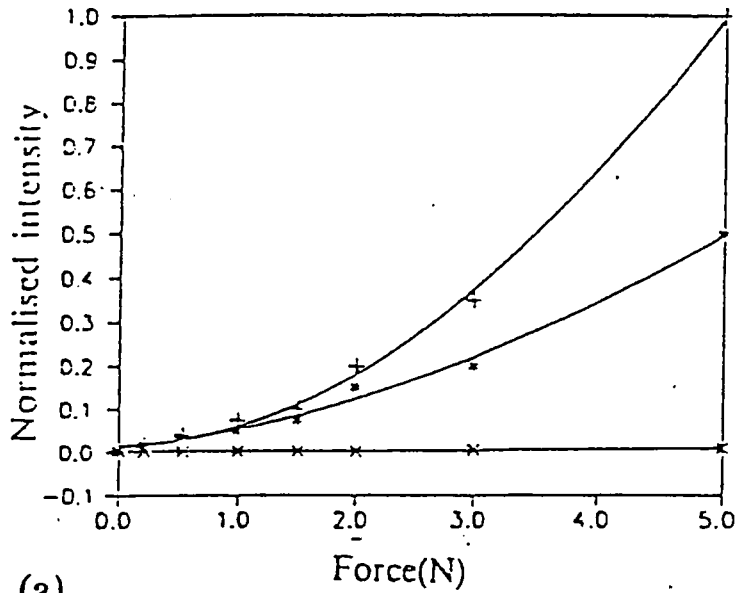


(a)

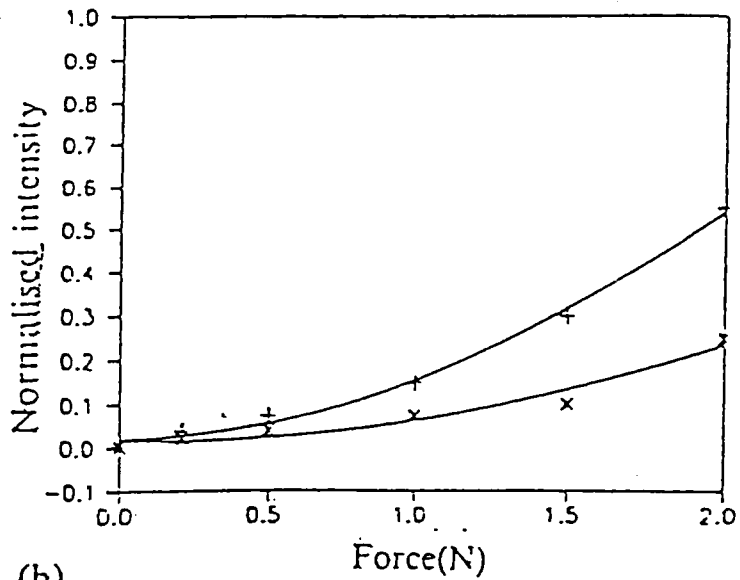


(b)

กราฟ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงกับแรงที่มากกระทำ โดยใช้สายไฟเบอร์ชนิด E-series



(a)



(b)

กราฟ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงกับแรงที่มากกระทำ โดยใช้สายไฟเบอร์ชนิด D-series

จากกราฟที่ 2.5 (a), (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงกับแรงพบว่าเมื่อใช้ Bow-Tie Fibre ที่มี $\delta = 45$ องศา การนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงจะมีค่ามากที่สุด คือการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้นถึง 30 % เมื่อกระตุ้นด้วยแรงประมาณ 5 นิวตันที่มี $\delta = 45$ องศาและ $W = 2.5$ mm. ส่วนรูป (b) ถ้าให้ $W = 0.5$ mm. ในเงื่อนไขเดิมทุกอย่างจะได้กำลังของการค้ำปลั่งสูงสุดถึง 70 %

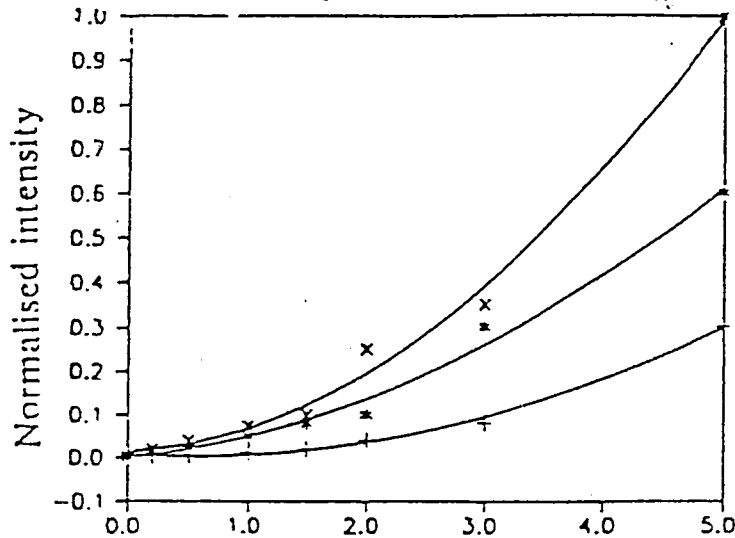
เมื่อกระทำแบบเดิมเพียงแต่เปลี่ยนเป็น Fibre ชนิด E-Series ใช้ $W = 2.5$ mm ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20 องศา) พบว่าที่มี $\delta = 45$ องศา กำลังที่กระตุ้นสูงสุดเท่ากับ 60 % ที่ $F = 5$ นิวตัน ดังกราฟที่ 2.6 (a)

ส่วนกราฟ (b) ค่า $W = 0.5$ mm. จะให้ค่ากำลังที่กระตุ้นสูงสุดมากกว่า 2.5 mm เช่นกันแต่ทนแรงได้ไม่เท่าแบบ Bow-Tie คือสามารถทนแรงได้สูงสุดประมาณ 3 นิวตัน

จากกราฟที่ 2.8 (a) ใช้ Fibre ชนิด D-Series Hi-Bi Fibre ใช้ $W = 2.5$ mm. พบว่าที่มี $\delta = 45$ องศา กำลังที่กระตุ้นสูงสุดที่ $F = 5$ นิวตันคือ 100% (มากกว่าชนิดอื่น ๆ) และถ้าเกินกว่า 5 นิวตันจะเกิดความเสียหายกับเส้นใยนำแสง

ส่วนกราฟ (d) เปรียบเทียบความกว้างของจุดที่ค้ำปลั่ง W ซึ่งเท่ากับ 0.5 mm. จะให้กำลังที่กระตุ้นสูงสุดมากกว่า 2.5 mm. เหมือนเดิม แต่ในทางปฏิบัติพบว่าความกว้าง W ที่เล็ก ๆ มักจะทำให้ Fibre ชาติได้ง่าย

ดังนั้นจึงเปรียบเทียบให้ทราบว่า Hi-Bi Fibre ทั้งสามชนิดเมื่อมี $\delta = 45$ องศาและ $W = 2.5$ mm. ที่อุณหภูมิห้องเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงกับแรง (N) เป็นดังกราฟที่ 2.8



กราฟ 2.8 แสดงการนอร์มอลไลซ์ความเข้มแสงต่อแรงที่มากกระทำโดยใช้ Bow-tie

พบว่า E-Series มีค่าความเข้มแสงที่ถูกกระตุ้นมากกว่าชนิดอื่น ๆ เมื่อพิจารณาที่ $F = 5$ นิวตัน และแสดงให้เห็นว่าค่า W ที่เล็ก ๆ นี้เท่ากับครึ่งหนึ่งของ Fibre Beat Length

$$W = L_p / 2$$

และจะให้ค่ากำลังที่ถูกคัปปลิงดีที่สุดที่สุดแสดงดังกราฟ 2.5(b), 2.6(b) และ 2.7(b) สำหรับ Fibre แต่ละชนิด

การจัดวาง Polarizer และ Analyzer

ในการใช้ Birefringence Fibre เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด เนื่องจากมีคุณสมบัติทาง Polarization ของแสงเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (ต่างจาก Fibre ชนิดอื่น ๆ) ดังนั้นจึงต้องมีแผ่น Polarizer มาใช้เป็นส่วนประกอบในการจัดเรียง ในที่นี้ใช้ Polarizer 2 แผ่นคือ Polarizer (P) และอีกแผ่นอยู่ด้านหลังเป็น Analyzer (A)

ส่วนของตัววัด (Birefringence Plate) สามารถหมุนพลิกได้ให้แกนทั้ง Slow

และ Fast Axis ทำมุม 45 องศา กับแผ่น Polarizer (ขณะนั้นได้มีพลังงานมา กระตุ้นแล้วตัวอย่างเช่นมีแรงกดลงไป 45 องศา) ดังนั้นจะเกิด Birefringence ($n_1 - n_2$) ขึ้น และเกิด Phase Retardation ($\Delta\phi$)

$$\Delta\phi = (2\pi/\lambda)(n_1 - n_2)L$$

สมมติแสงตกกระทบบมีค่าความเข้มค่าหนึ่งเมื่อผ่านแผ่น Polarizer (P) แล้วความเข้มแสงจะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งและแสงที่ส่งผ่านออกมาสุดท้ายจะสังเกตเห็นได้ถ้าเรา ปรับ Analyzer (A) ให้ขนานกับ Polarizer (P) ฉะนั้นเทอมของ Intensity (I) จะเป็นดังสมการ

$$I = (1/2)\text{Cos}^2[\pi(n_1 - n_2)(l/\lambda)]$$

เมื่อ $= (n_1 - n_2)l, (n_1 - n_2)l/2, (n_1 - n_2)l/3, \dots$ จะมีสเปกตรัมที่ผ่านสูงสุด

และยังขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลง Birefringence ($n_1 - n_2$) จะทำให้ความเข้มของแสงเปลี่ยนไปแต่ถ้าหมุน Analyzer (A) ทำมุม 90 องศา กับ Polarizer (P) แล้วลำแสงที่ผ่านออกมาเมื่อถูก Polarized แล้วจะอยู่ในแนวอน (Horizontally) และค่าความเข้มของแสงจะเป็นดังสมการ

$$I = (1/2)\text{Sin}^2[\pi(n_1 - n_2)(l/\lambda)]$$

เมื่อ $= 2(n_1 - n_2)l, 2(n_1 - n_2)l/3, 2(n_1 - n_2)l/5, \dots$ จะมีสเปกตรัมที่ผ่านสูงสุด

ความยาวคลื่นดังกล่าวจะก่อให้เกิด Phase Retardation $\pi, 3\pi, 5\pi, \dots$

I ประมาณ 30 dB.m วัดได้ที่ 90 องศา

2.8 SENSING SYSTEM

Tactile Sensing

2.8.1 Tactile Sensing System

การรับรู้สถานะแวดล้อมภายนอกของหุ่นยนต์นั้นมีสองแบบ คือ การรับรู้โดยไม่สัมผัส และการรับรู้โดยการสัมผัส ชนิดแรกก็เช่น การวัดคุณสมบัติของแสง เสียง สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า ชนิดที่สองก็ได้แก่การวัดแรง ความดัน ทอร์ก ปริมาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการกระทำระหว่างหุ่นยนต์และสภาพแวดล้อม

Need for tactile sensing

ถึงแม้ว่าการที่หุ่นยนต์จะสามารถมองเห็นได้แต่บางกรณีการที่สามารถสัมผัสได้จะเพิ่มรายละเอียดมากกว่าและบางครั้งมีความจำเป็นมากกว่า ทั้งยังง่ายในการใช้และราคาถูกกว่า การที่สามารถสัมผัสได้ที่พบบ่อยก็เช่น Switch, Strain Gauge หรือ Pressure transducer ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เหล่านี้ง่ายในการวิเคราะห์และยังเก็บได้ง่ายด้วย (ขนาดของข้อมูลเล็กกว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยไม่สัมผัส) บางครั้งในการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพจะใช้เวลามากกว่าการใช้ข้อมูลจากการสัมผัสถึงจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงก็ตาม ทำให้ใช้กับระบบที่ต้องชิงโครไนซ์ไม่ได้

Tactile Sensing จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับจุดสัมผัสระหว่างมือจับของหุ่นยนต์และชิ้นงาน ข้อมูลที่ได้นี้จะเป็นตัวบอกจุดวิกฤติในระบบของเราเพื่อใช้ในการควบคุมในระบบอุตสาหกรรม เช่น การเจาะ การกัด การไส ซึ่งระบบที่ใช้การมองเห็นจะไม่สามารถให้ข้อมูลเหล่านี้ได้ อย่างเช่นระบบที่ใช้การมองเห็นจะไม่สามารถบอกได้ว่าวัตถุนั้นแข็งหรือนิ่ม หรือชิ้นงานถูกกัดอย่างถูกต้องหรือชิ้นงานประกอบกันเข้าได้อย่างดี

2.8.2 Sensing Touch

การวัดแรงที่ข้อต่อหรือข้อของมือหุ่นยนต์สามารถบอกถึงตำแหน่งของปลายมือเมื่อเทียบกับชิ้นงาน ถ้าเปรียบเทียบกับมือคนซึ่งเป็นการรวมกันของการวัดแรงและวัดอุณหภูมิแล้วส่งข้อมูลไปให้สมองเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งที่มีอยู่บนวัตถุ เช่นเดียวกับมือหุ่นยนต์สามารถจำลองการทำงานอันนี้ของมนุษย์มาได้ แต่ข้อมูลที่ได้นี้ต้องเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งการที่จะทำเช่นนี้ได้มันตัววัดนี้จะต้องมีขนาดเล็ก มีความไวสูง และยืดหยุ่นได้

Properties of a tactile sensor

ถึงแม้ว่าในการสัมผัสของหุ่นยนต์จะต้องจำลองความสามารถของมือมนุษย์เกือบทุกอย่าง แต่บางคุณสมบัติอาจไม่จำเป็นสำหรับงานบางอย่าง เช่น ในงานบางอย่างอาจไม่จำเป็นต้องวัดอุณหภูมิก็จะใช้เพียงการวัดแรงเพียงอย่างเดียว ถ้างานของเราต้องการรู้เพียงรูปร่างของชิ้นงานหรือตำแหน่ง เราก็จะใช้เพียงการวัดแรงที่เกิดขึ้นกับมือหุ่นยนต์มาวิเคราะห์ซึ่งจะใช้คุณสมบัติดังนี้

1. ชุดของตัววัด เพื่อใช้วัดแรงดัน
2. ชุดของตัววัดต้องบาง ยืดหยุ่น
3. มีความไวในการตอบสนองในหน่วยของ $1/1000$ ของวินาที
4. ความไวของตัววัดต้องมีความไวอย่างน้อยที่สุด 1 กรัม และสามารถวัดได้มากที่สุดอย่างน้อย 1 กิโลกรัม

5. การคืนตัวต้องคงที่ให้มากที่สุดเมื่อมีการปล่อยวัตถุหรือลดแรงที่มากระทำ

6. ตัววัดต้องสามารถใช้ได้ในงานหลายลักษณะ

- ตัววัดนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ออกไป นั่นคือ Binary tactile sensor และ Analog tactile sensor ดังชื่อของมันคือ อย่างแรกจะให้ข้อมูลที่เป็นสองสภาวะ อย่างหลังจะให้ข้อมูลที่เป็นต่อเนื่อง

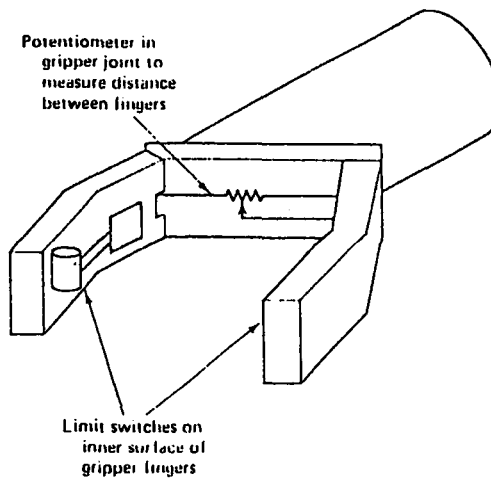
Binary tactile sensor

ระบบนี้เป็นระบบที่ง่ายที่สุดของตัววัดการสัมผัส เช่น ตัววัดที่ง่ายที่สุดได้แก่ ตัววัดที่ให้เอาต์พุตเพียง 2 สถานะคือ เปิดหรือปิด เมื่อมันสัมผัสกับวัตถุโดยการจำกัดค่าไว้เมื่อต้องการให้แสดงผล การนำมาใช้โดยการนำตัววัดนี้มาใส่ไว้ในพื้นที่ ๆ หนึ่งหลาย ๆ ตัว เมื่อวางวัตถุลงไปวัตถุจะกดทับตัววัดทำให้ทราบถึงตำแหน่งและขนาดของวัตถุและรูปร่าง

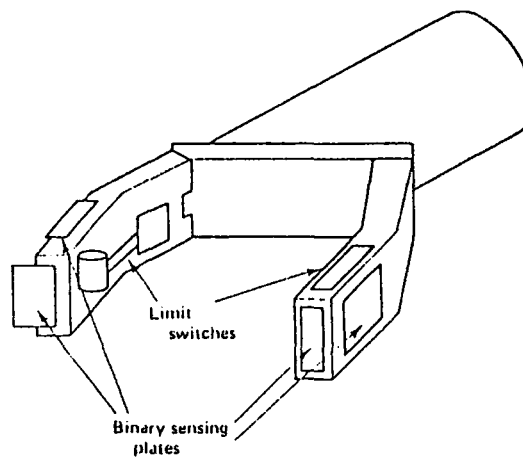
Limit switches

อย่างที้ง่ายที่สุดสามารถสร้างโดยการใช้ Limit switches 2 ชุด ใส่ไว้ที่สองข้างของมือคืบดังรูป 2.37 การจัดแบบนี้จะบอกค่าที่กระทำกับมือเมื่อบีบ จะเกิดเหตุการณ์ดังนี้ จะมี Potentiometer อยู่ในข้อของมือคืบดังรูป 2.37 เพื่อที่จะวัดระยะห่างระหว่างนิ้วคืบเมื่อคืบจนถึงค่าที่จำกัดไว้ ค่าเอาต์พุตที่ออกมาจาก Potentiometer จะแปรผันตามระยะห่างระหว่างนิ้วคืบทั้งสองโดยถ้าหากเอาต์พุตเป็น 0 นั่นคือ ไม่มีวัตถุอยู่ระหว่างนิ้วคืบ

ถ้าเรานำ Binary Switch มาติดเพิ่มที่ด้านข้างของมือคืบจะทำให้สามารถทำการหยิบวัตถุและนำไปวางไว้ที่ต่าง ๆ ได้ แต่ระบบมือคืบนี้จะไม่สามารถรู้ถึงรูปร่างของวัตถุได้มากนัก



รูป 2.37 การใช้ Limit switches เป็นเซนเซอร์อย่างง่าย

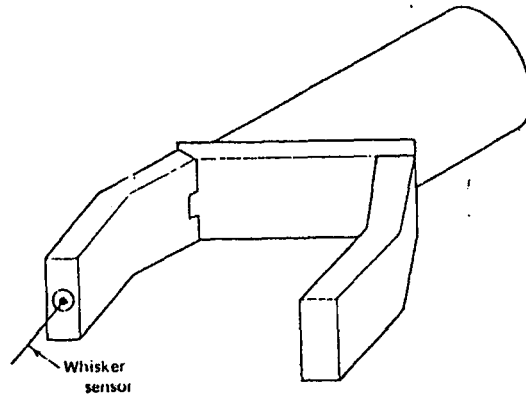


รูป 2.38 การใช้ Binary sensing plate

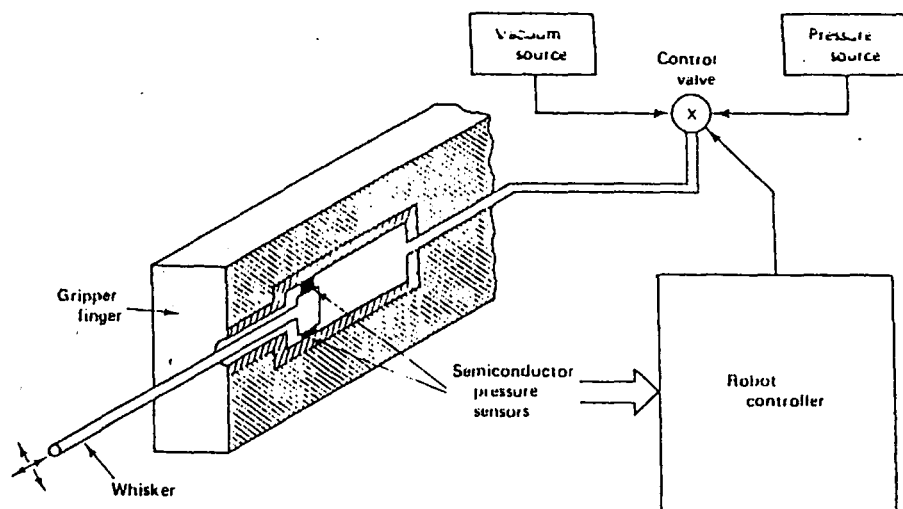
Whisker Sensor

คือการนำแท่งเล็กๆที่มีน้ำหนักเบาติดไว้ที่ปลายปากคิบบเพื่อตรวจว่ามีวัตถุอยู่ในตำแหน่งหนึ่ง ๆ หรือไม่ โดยให้การสัมผัสนี้เบาจนไม่เป็นการรบกวนวัตถุ ถ้ามีวัตถุอยู่จะเกิดแรงขึ้นไปกระทำกับตัววัดความดันแบบสารกึ่งตัวนำแบบทำให้รู้ว่ามีวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งใดแล้วจึงเข้าไปคิบบ รูปที่ 2.39 แสดง Pneumatic whisker sensor system ซึ่งส่วนของหมวด

(Whisker) อยู่ในส่วนนิ้วของมือหุ่นยนต์และระบบนี้จะใช้ส่วนที่เป็นสูญญากาศและส่วนที่มีความดัน ซึ่งหนวดจะเคลื่อนที่เข้าออกทำให้เกิดความดันขึ้นเมื่อมีการกระทบกับวัตถุในขณะที่ทำงานทำให้สามารถหาขอบของวัตถุได้ รูปที่ 2.40 แสดงส่วนประกอบภายใน



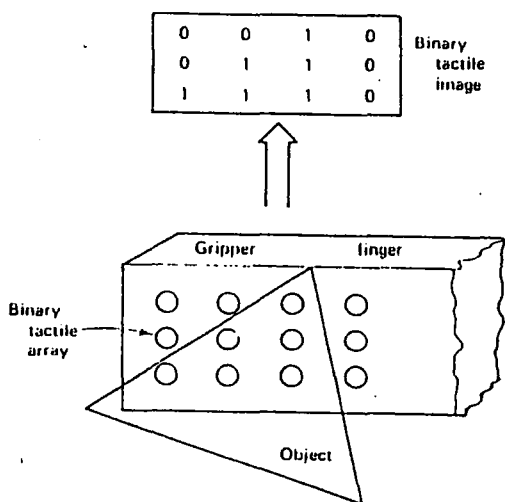
รูป 2.39 การรวมเอา Whisker Sensor เข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพ



รูป 2.40 แสดงภายในระบบ Pneumatic whisker sensing

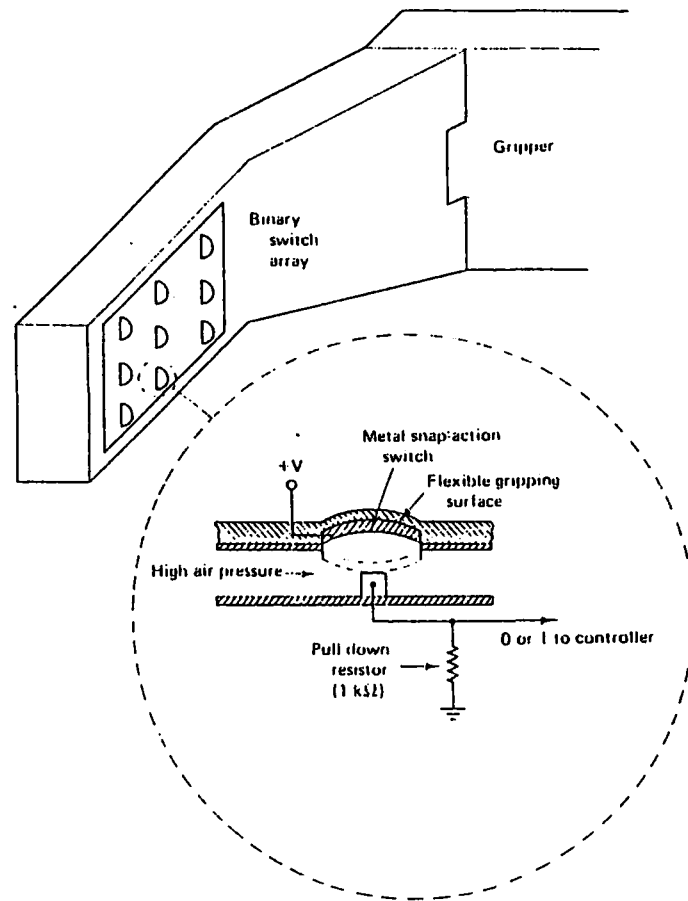
Binary Switch Array

เราสามารถนำ Binary Switch หลาย ๆ ตัวมาไว้บนผิวของปลายนิ้วมือหุ่นให้เต็มพื้นที่บริเวณหนึ่งๆดังแสดงในรูปที่ 2.41 เมื่อมือคืบๆวัตถุแล้วจะมีพื้นที่ ๆ หนึ่งที่จะถูกกดโดยวัตถุทำให้มีตัวตรวจจับภายในพื้นที่นี้เท่านั้นที่จะถูกกดแล้วส่งลอจิกออกไปเป็น "1" ส่วนที่ไม่ถูกกดจะส่งลอจิกออกไปเป็น "0" ทำให้สามารถตรวจถึงลักษณะรูปร่างของวัตถุที่จับได้ทั้งยังสามารถตรวจสอบการลื่นของวัตถุเมื่อยกขึ้นได้โดยการตรวจรูปร่างที่จับอยู่เป็นช่วง ๆ



รูป 2.41 แสดงเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจลักษณะพื้นที่

การสร้างชุดของตัวตรวจจับก็ทำได้โดยใช้ชุดของ Snap-action pressure switch ดังรูปที่ 2.42 จากรูปจะใช้แผ่นเหล็กที่ขางนำมาปั๊มเป็นโดมเล็ก ๆ และต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟและถูกประกบด้วยฉนวนที่ยืดหยุ่นและอากาศที่มีความดันสูงเล็กน้อย เมื่อยังไม่มีการสัมผัสอากาศจะกันไม่ให้แผ่นโลหะแตะกับคอนแทคทำให้ได้ลอจิกขาออกเป็น "0" จนกว่าจะมีแรงมากพอที่จะเอาชนะแรงดันอากาศภายในจนทำให้แผ่นโลหะแตะกับคอนแทคทำให้ได้ลอจิกขาออกเป็น "1" ข้อมูลที่ได้นำไปมัลติเพล็กซ์แล้วส่งไปวิเคราะห์เหมือนกับวิเคราะห์ข้อมูลจากคีย์บอร์ด ความไวของระบบนี้ทำได้โดยการปรับความดันอากาศภายในแผ่นโลหะ หรือใช้ตัวตรวจจับแบบสารกึ่งตัวนำมาใช้ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 2.42 Binary snap-switch tactile array

Analog Tactile sensor

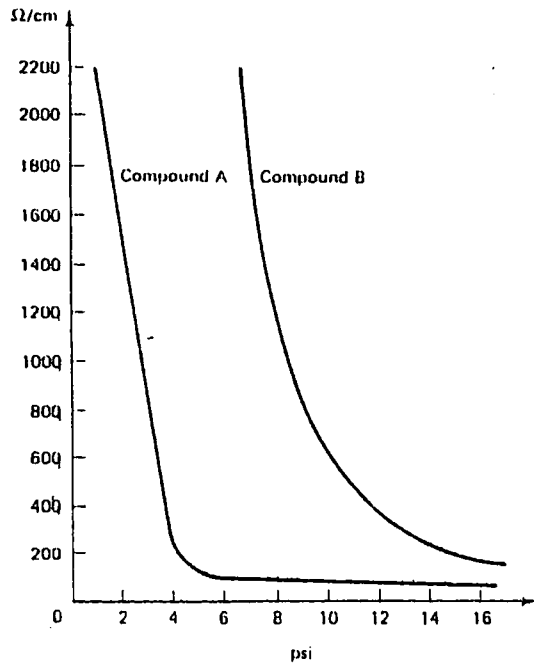
แตกต่างจาก Binary sensor เนื่องจาก Analog sensor จะให้เอาต์พุตเป็น ความต่างศักย์หรือกระแส โดยทั่วไปจะใช้การเปลี่ยนแปลงความต้านทานแปรตามแรงที่ มากกระทำ เมื่อความต้านทานเปลี่ยนความต่างศักย์หรือกระแสก็จะเปลี่ยนไปด้วยตามกฎ ของโอห์ม ตัวตรวจจับกลุ่มนี้มีหลายอย่างดังจะกล่าวถึงต่อไป

Conductive sensing sensor

มีวัสดุตัวนำที่ยืดหยุ่นบางชนิดซึ่ง เมื่อมีแรงมากกระทำแล้วความต้านทานจะเปลี่ยนแปลง

วัสดุตั้งกล่าวที่มีใช้กันอยู่มี 2 อย่างคือ conductive rubber และ conductive foam

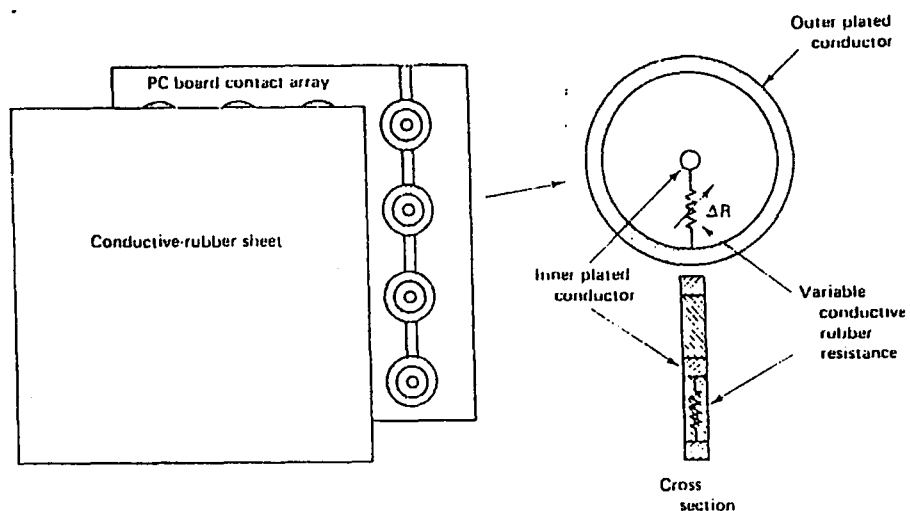
Conductive Rubber ส่วนใหญ่จะทำมาจากยางซิลิกอน (silicon rubber) ผสมกับสารประกอบของโลหะ ซึ่งจะยึดหยุ่นและสามารถควบคุมความนำโดยการควบคุมสารประกอบโลหะ ความนำของยางจะลดลงเมื่อมีแรงหรือความดันภายนอกมากกระทำ โดยจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามกราฟในกราฟที่ 2.9 กราฟแสดงความต้านทานต่อความยาว (โอห์ม/เซนติเมตร) กับความดัน (ปอนด์/ตารางนิ้วหรือปาสคาล psi) ของยางตัวนำแต่ละชนิด สังเกตว่าจะแปรผกผันกัน ถ้านำไปพล็อตบนกราฟลอการิทึมจะพบว่า ยางชนิด B จะเป็นเส้นตรงและมีช่วงกว้างกว่า A แต่มีความไวน้อยกว่า



กราฟ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความดันที่มากกระทำกับยางตัวนำ (conductive rubber)

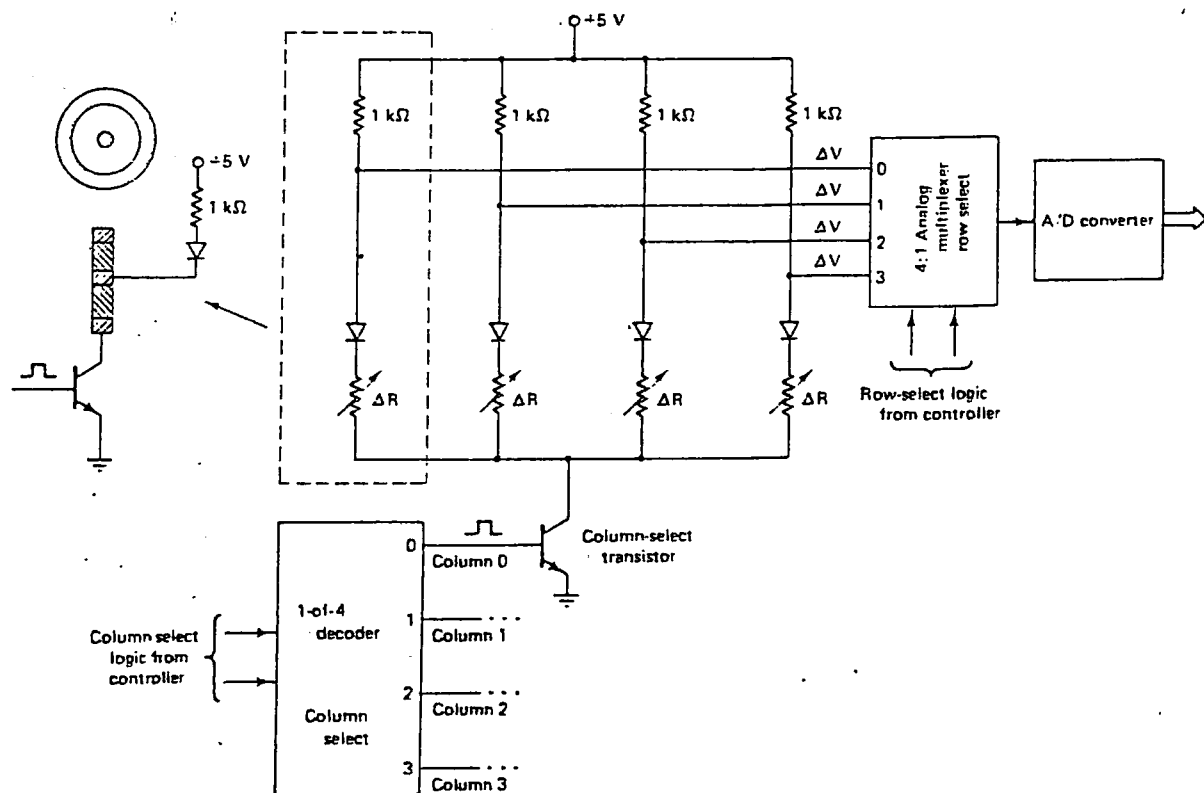
การนำไปใช้ก็โดยการนำแผ่นยางตัวนำมาวางบนพีซีบอร์ดที่ถูกกดให้มีชุดของวงกลมเป็นคู่ดังรูปที่ 2.43 วงกลมแต่ละคู่จะทำหน้าที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำให้ความต้านทานเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากยางตัวนำวางอยู่ติดกับวงกลมทำให้มีความต้านทานระหว่างวงกลมวงนอกกับวง

ในสิ่งจะเปลี่ยนแปลงตามแรงที่มากกระทำกับยางตัวนำที่วงกลม ลังเกตว่าวงกลมวงนอกจะ
ต่อกันเป็นหลัก ๆ และวงในจะต่ออยู่กับไดโอดเพื่อนำไปตัดโค้ดแล้วส่งไปวิเคราะห์



รูป 2.43 แสดง conductive rubber tactile array sensor ขนาด 4 X 4 จุด

วงจรดังกล่าวสำหรับหลักหนึ่งหลักแสดงในรูปที่ 2.44

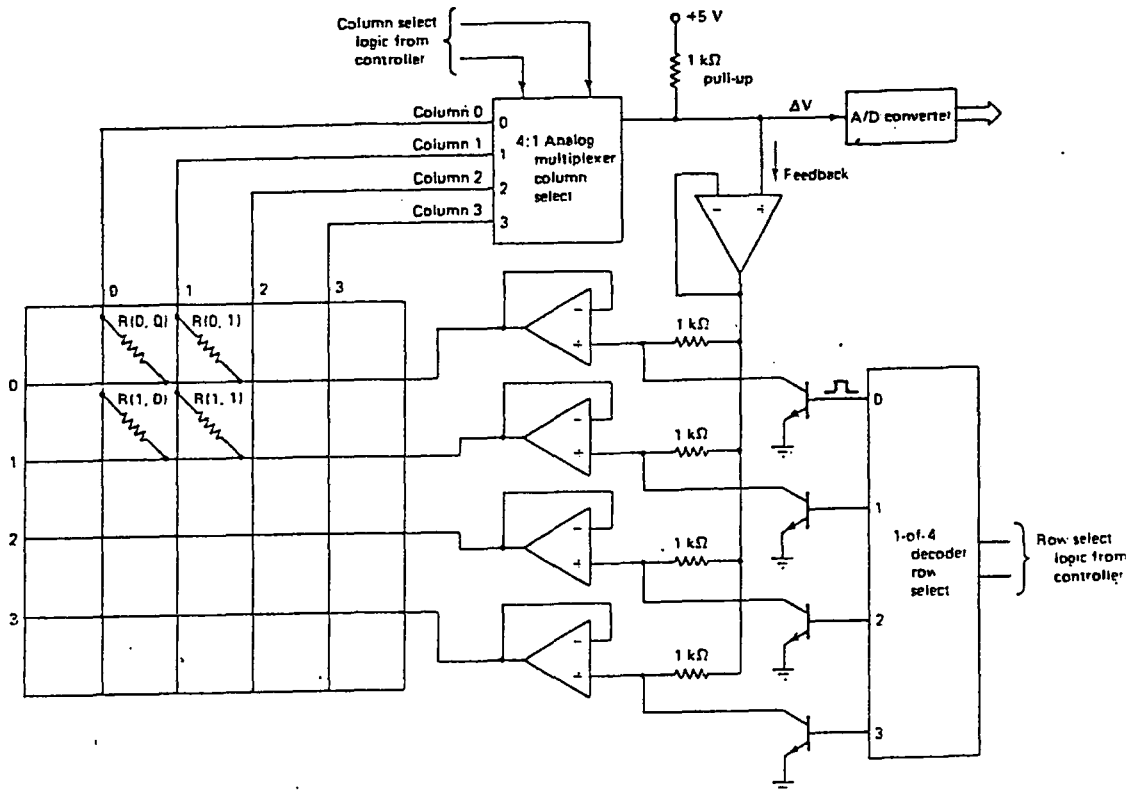


รูป 2.44 วงจรถอดรหัสของ conductive rubber tactile array

วงกลมนอกในหลักจะต่อกันและต่อไปยังขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวเลือกหลักที่จะส่ง

เมื่อหลักใดถูกเลือกกระแสจะวิ่งจาก +5 โวลต์ ผ่านความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม ผ่านไดโอด ผ่านวงกลมวงใน ผ่านยางตัวนำเข้าวงนอก แล้วจึงผ่านทรานซิสเตอร์ลงกรานต์ โดยปริมาณกระแสที่ผ่านลงกรานต์จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของยางตัวนำ

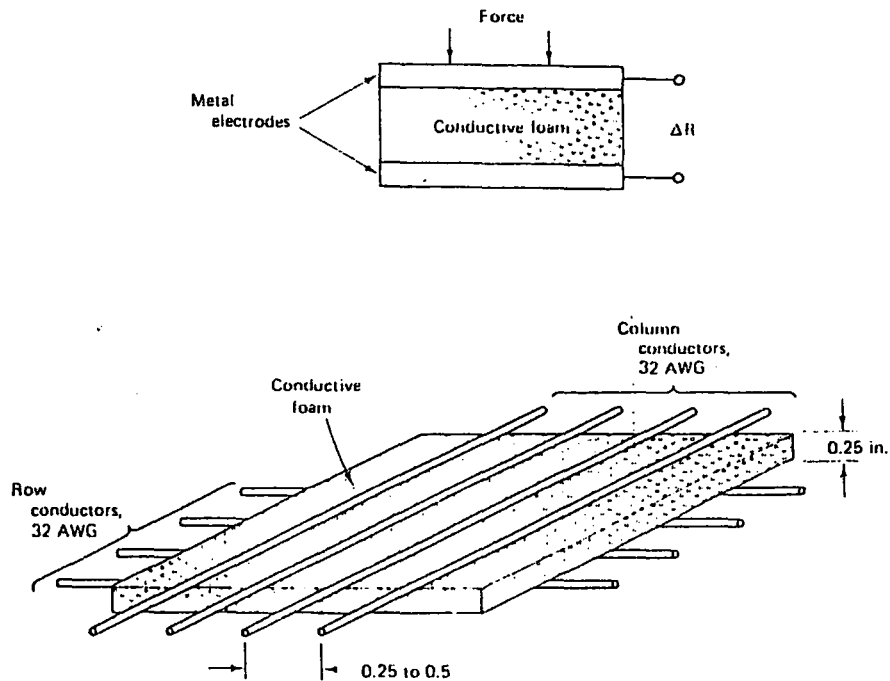
จะสังเกตได้ว่าเมื่อกระแสไหลผ่านแต่ละหลักจะมีการแบ่งความต่างศักย์ระหว่างความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม และยางตัวนำ ดังนั้นความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นบนยางตัวนำจะแปรตามความต้านทานของตัวมันเอง ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในแต่ละหลักจะถูกเลือกมาด้วยสวิตช์ส่งไปเก็บเป็นเมตริกซ์ tactile matrix ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ภาพที่เป็น Gray-scale



รูป 2.45 การประยุกต์ใช้เป็น คีย์บอร์ด

Conductive Foam

เป็นโฟมที่ผ่านการเติมคาร์บอนเข้าไปเพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าได้ มักพบมากกับไอซี ซีมอสเพื่อกันไฟฟ้าสถิตย์ เช่นเดียวกับยางตัวนำคือ มันจะมีความต้านทานลดลงเมื่อมีแรงมากกระทำ จากรูปที่ 2.46 โฟมถูกประกบด้วยแผ่นโลหะตัวนำ ความต้านทานระหว่างแผ่นโลหะจะลดลงเมื่อถูกบีบและความต้านทานของมันจะขึ้นอยู่กับความหนาของโฟมด้วย



รูป 2.46 แสดง conductive foam tactile array sensor ขนาด 4 X 4 จุด

เราสามารถสร้างชุดของตัววัดได้โดยการประกบโฟมตัวนำนี้ด้วยตัวนำที่เป็นแนวและหลักดังรูปที่ 2.46 ซึ่งเป็นชุดของตัววัดขนาด 4X4 ทำให้เกิดจุดจำนวน 16 จุด ยิ่งใช้จำนวนแนวและหลักมากเท่าไรจะยิ่งได้ความละเอียดของภาพมากยิ่งขึ้น เช่น 16X16 จะได้จุดถึง 256 จุด โดยที่ระยะห่างระหว่างแต่ละตัวนำควรมากพอที่การเปลี่ยนแปลงความต้านทานในหนึ่งจุดจะไม่มีผลต่ออีกจุดหนึ่ง การเก็บข้อมูลก็เช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลในชนิดของยางตัวนำจึงใช้วงจรในรูปที่ 2.45 ได้เช่นเดียวกัน

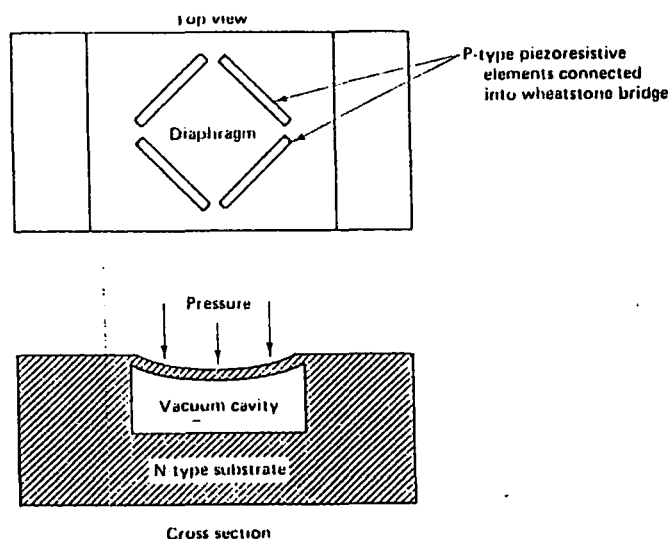
Semiconductor Sensor

ข้อได้เปรียบของตัววัดชนิดนี้ก็คือความไวในการวัด ความน่าเชื่อถือ ความต่อเนื่องที่ดี ฮิสเทอรีซิสต่ำและราคาที่ถูก การสร้างก็ใช้กระบวนการที่เหมือน ๆ กับการทำไอซีชนิดอื่น ๆ ตัวสร้างสัญญาณจะอยู่บนตัวชิป

รูปที่ 2.47 เป็นตัววัดแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่ถูกนำมากัดให้เป็นร่องที่เป็นสัญญาณภาคแล้วนำแผ่นไดอะแฟรมที่บางมากมาติดลงไปซึ่งจะโค้งงอเมื่อมีความดันมากกระทำบนแผ่นไดอะแฟรม และมี Piezoresistive เกิดขึ้นด้านบนหรือด้านที่รับแรงดันโดยการแพร่สารกึ่งตัวนำชนิดพีเข้าไปหรือโดยการไล่ความต้านทานชนิดฟิล์มหนาลงบนไดอะแฟรม ตัวต้านทานเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นตัววัดความเครียดแล้วแสดงออกโดยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเมื่อมีความดันมากกระทำกับไดอะแฟรม

ตัว piezoresistive ทั้งสี่ต่อกันในลักษณะของวงจร Wheatstone bridge ซึ่งจะเพิ่มความไวของตัววัดและยังเป็นการชดเชยอุณหภูมิภายในด้วย เนื่องจากแต่ละคู่ติดอยู่ด้านตรงข้ามกันใน bridge บางครั้งในวงจรรวมจะมี differential amplifier อยู่ด้วยเพื่อส่งสัญญาณให้กับ Analog to Digital Converter

เมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์แบบยางตัวนำและโฝมเซนเซอร์ พบว่า เซนเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก มีการตอบสนองที่เร็ว สัญญาณรบกวนน้อย และมี Hysteresis ต่ำกว่า จึงคาดกันว่าจะมีการนำไปใช้ในอนาคต ข้อเสียของมันคือ การทำให้สารตัวนำมีความยืดหยุ่นนั้นทำได้ยาก

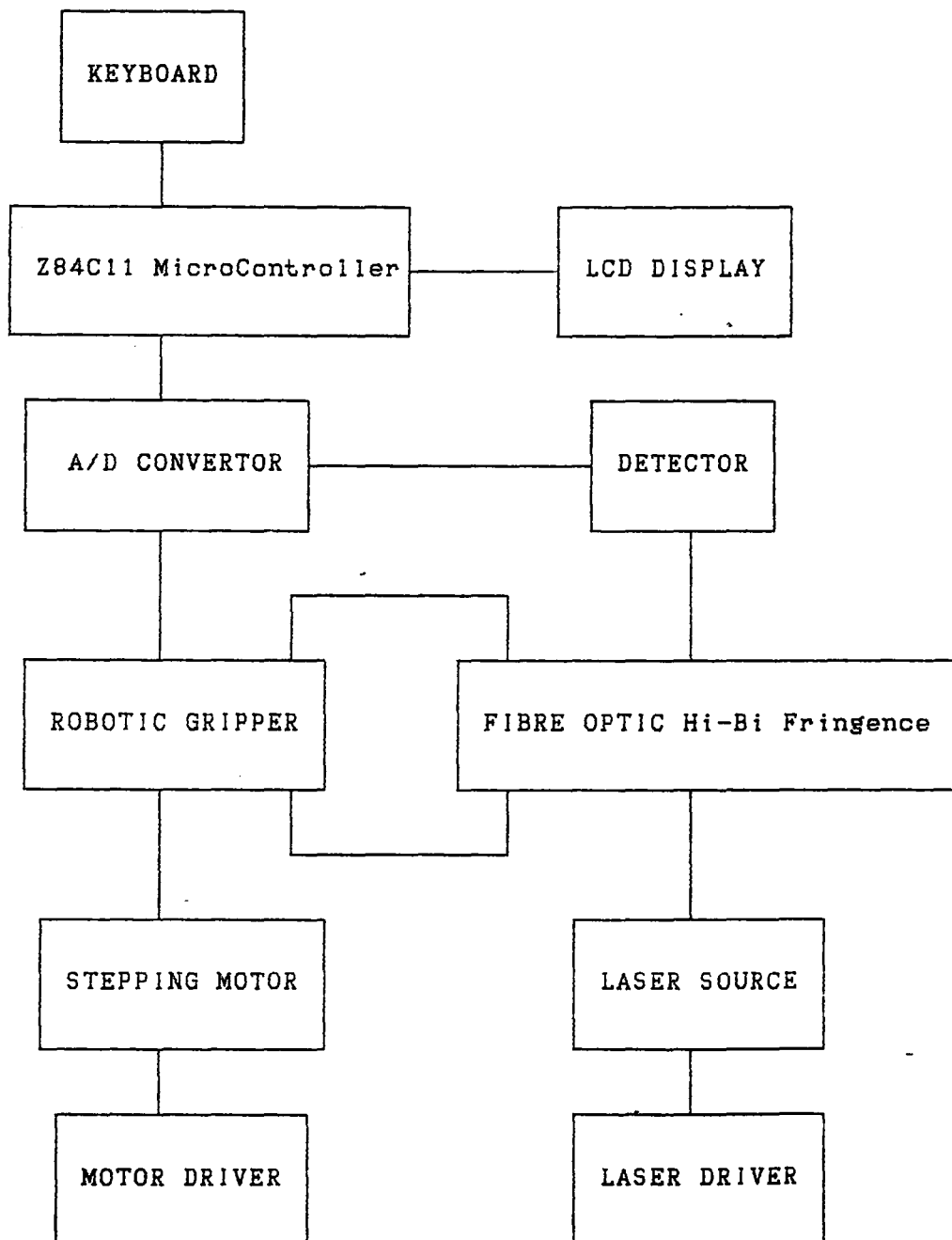


รูป 2.47 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงแบบสารกึ่งตัวนำ

บทที่ 3

การดำเนินงาน

ส่วนประกอบของโครงการพิเศษ



รูป 3.1 แสดงแผนผังของโครงการพิเศษ

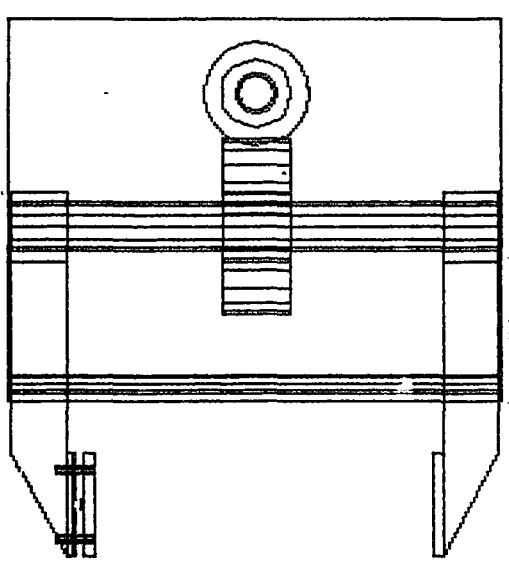
จากแผนผังข้างต้นแสดงโครงสร้างของระบบเซนเซอร์ซึ่งประยุกต์ใช้กับแขนหุ่นยนต์ โดยมี ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งเป็น 5 ส่วน

- 1) ศึกษาและสร้างแขนหุ่นยนต์
- 2) ศึกษาและสร้างชุดแปลงข้อมูลอนาลอกเป็นดิจิตอล
- 3) ศึกษาและสร้างระบบตรวจวัดค่าแรง
- 4) เขียนโปรแกรมควบคุมและประมวลผล
- 5) งานทดลองและเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

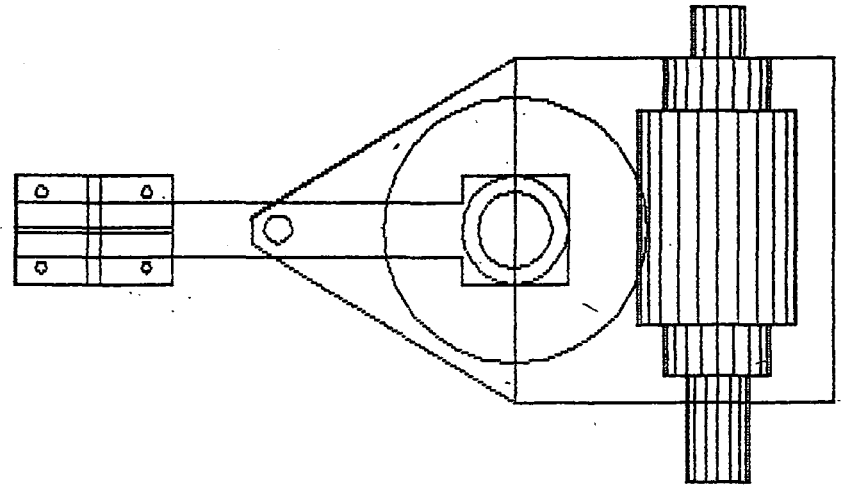
1) ศึกษาและสร้างแขนหุ่นยนต์

จุดประสงค์ในส่วนนี้ คือ มือหีบจับต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงอย่างต่อเนื่อง และมีกำลังพอที่จะทำให้เกิดแรงกระทำต่อเส้นใยที่ใช้ตรวจสอบถึงค่าวิกฤติได้

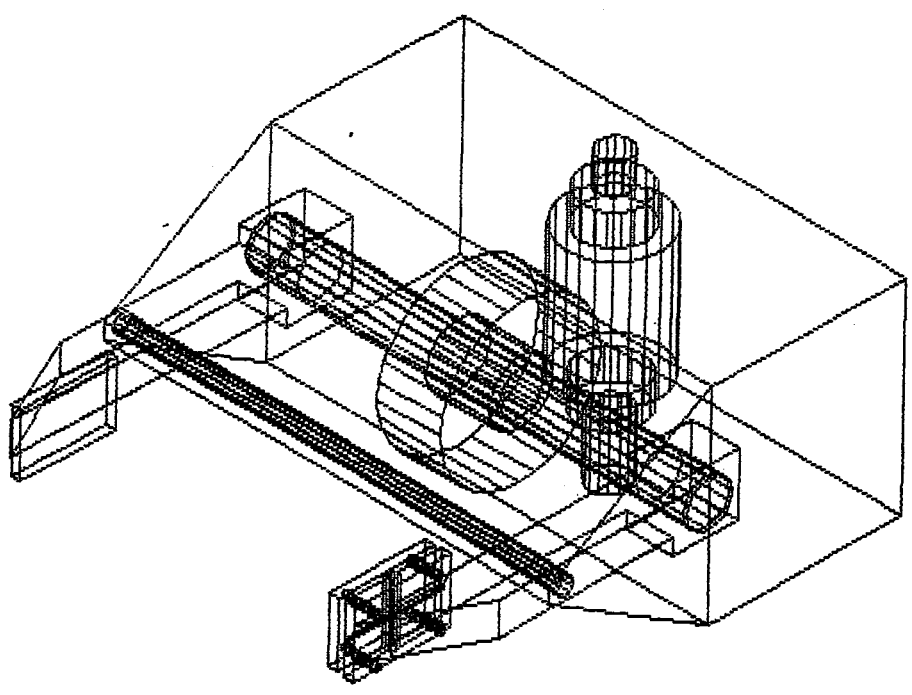
จากนั้นเป็นส่วนของการออกแบบตามจุดประสงค์ที่วางไว้ จึงเลือกลักษณะปากจับ (gripper) เป็นดังรูป 3.2 มีระบบเฟืองหนอนเป็นตัวถ่ายทอดกำลังจาก Stepping Motor มาสู่งาน คือ การหีบและปล่อย ในส่วนพื้นที่ที่แรงกระทำต่อเส้นใยมี ลักษณะดังรูป 3.3 ค่าความกว้าง W ที่กดทับเส้นใยมีความสำคัญมาก ต้องละเอียดถูกต้องที่สุด



TOPVIEW

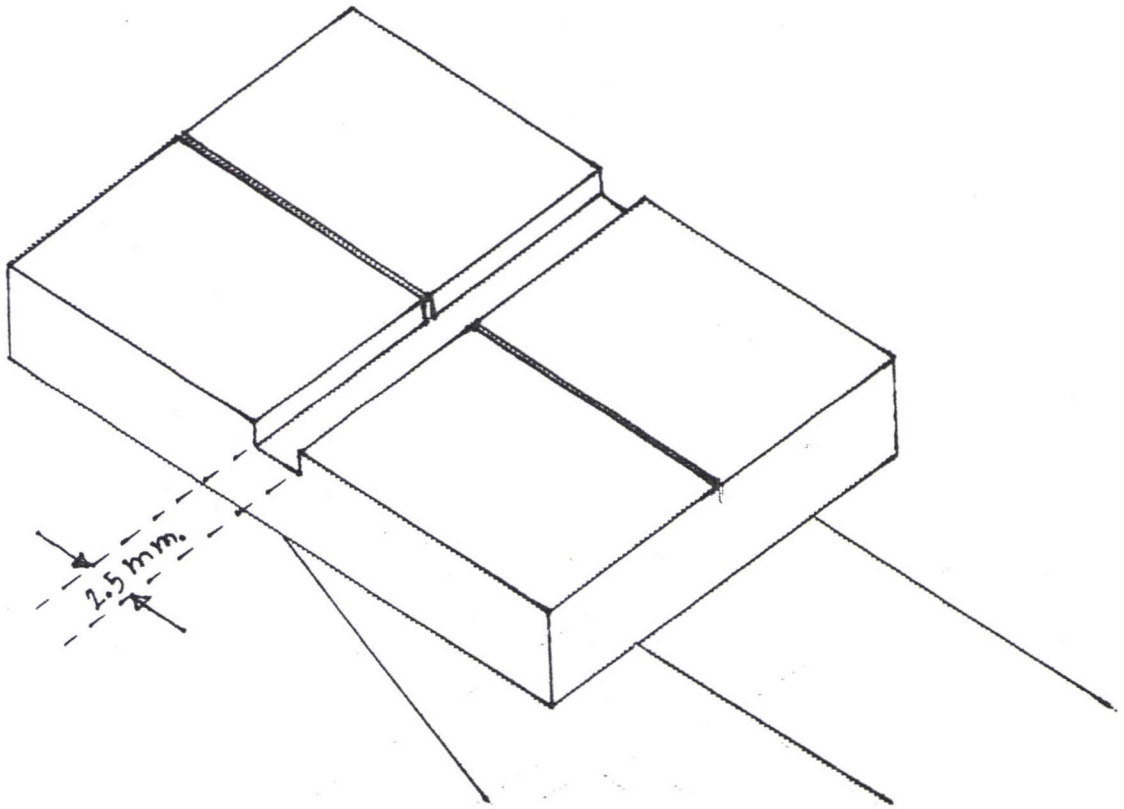


SIDE VIEW

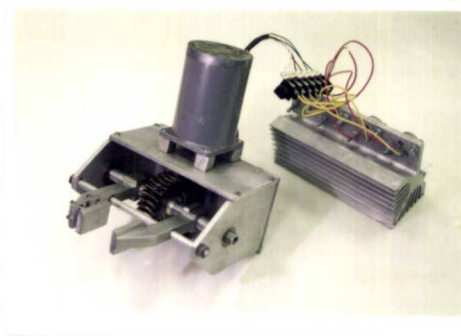


ISOMETRIC

รูป 3.2 แสดง ปากจับที่ออกแบบไว้ใช้ในโครงการ



รูป 3.3 แสดงลักษณะพื้นที่ที่ใส่เส้นใยนำแสงเพื่อวัดแรง



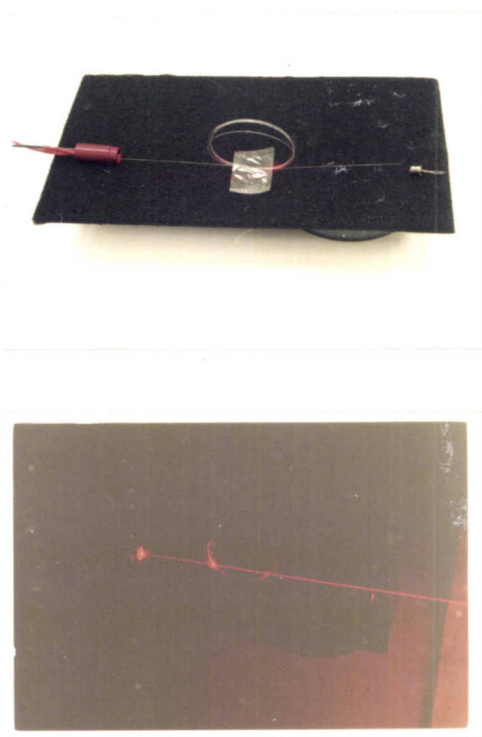
รูป 3.4 แสดง ปากจับที่สร้างตามทีออกแบบไว้

2) ศึกษาและสร้างชุดแปลงข้อมูลอนาลอกเป็นดิจิตอล

เป็นส่วน A/D converter เนื่องจากงานทางด้านระบบตรวจวัด ต้องการความละเอียดสูง จึงเลือกใช้ ICL 7109 ขนาด 12 bit ซึ่งรายละเอียดในการทำงานได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งรับอินพุตศูนย์ถึงสี่โวลท์ คือใช้เพียงด้านบวกเพียงด้านเดียว เพราะสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด ซึ่งเป็นอินพุตของ ADC มีช่วงสัญญาณในช่วงบวกเท่านั้น โดยสัญญาณจะมีค่าสูงสุด เมื่อมือหนีขยับไม่ได้สัมผัสกับวัตถุ และมีค่าต่ำสุดเมื่อเกิดการหนีบจับด้วยค่าแรงวิกฤติของเส้นใยที่ใช้เป็นตัวตรวจสอบ

3) ศึกษาและสร้างระบบตรวจวัดค่าแรง (Sensing)

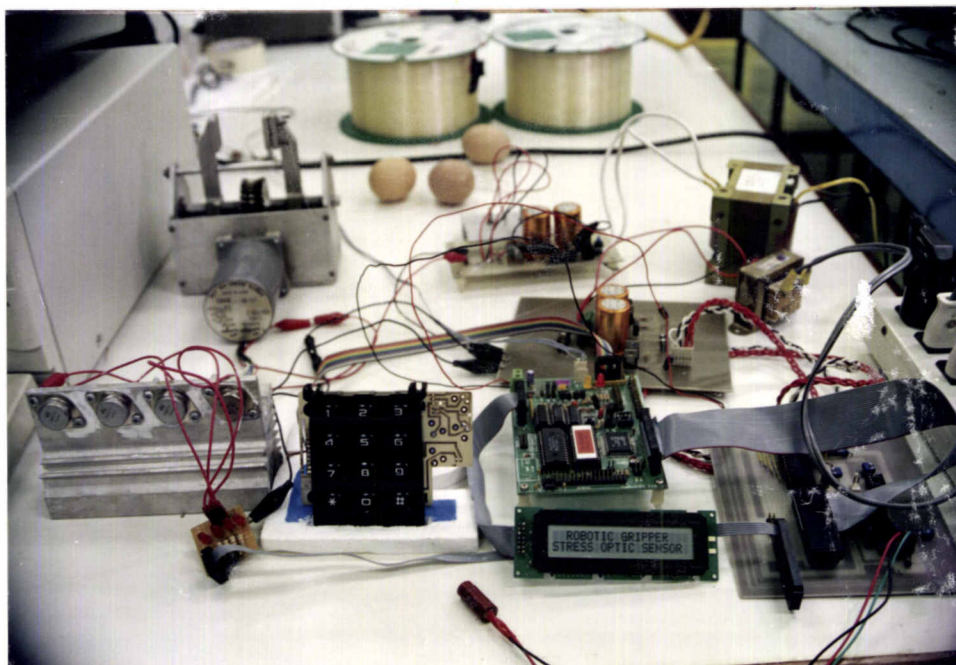
ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญในโครงงานนี้ โดยเลือกแหล่งกำเนิดแสงเป็นเลเซอร์ไดโอดและตัวรับแสง โฟโตดีเทคเตอร์ ในการเลือกใช้อุปกรณ์ทั้งตัวส่ง และ ตัวรับ ต้องคำนึงถึงค่ากำลังที่ได้ให้เหมาะสมกับตัวรับ และต้องคำนึงถึงช่วงความยาวคลื่น ณ. จุดทำงาน (Wavelength Operation) ของอุปกรณ์ทั้งสองด้วย เพราะอุปกรณ์จะทำงานได้ถูกต้องและดีที่สุดที่ความยาวคลื่นค่าดังกล่าว



รูป 3.6 แสดง เลเซอร์ไดโอด โฟโตดีเทคเตอร์ และ เส้นใยนำแสง ที่ใช้ในโครงงาน

ส่วนของตัวขับเลเซอร์ไดโอด (Laser driver) ต้องมีเสถียรภาพทางกระแสสูงมาก เพราะค่าตัวเลเซอร์ไดโอดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสมาก ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสอย่างฉับพลัน อาจทำให้ตัวเลเซอร์ไดโอดเสียหายได้ จึงต้องระมัดระวังในส่วนนี้ให้มาก

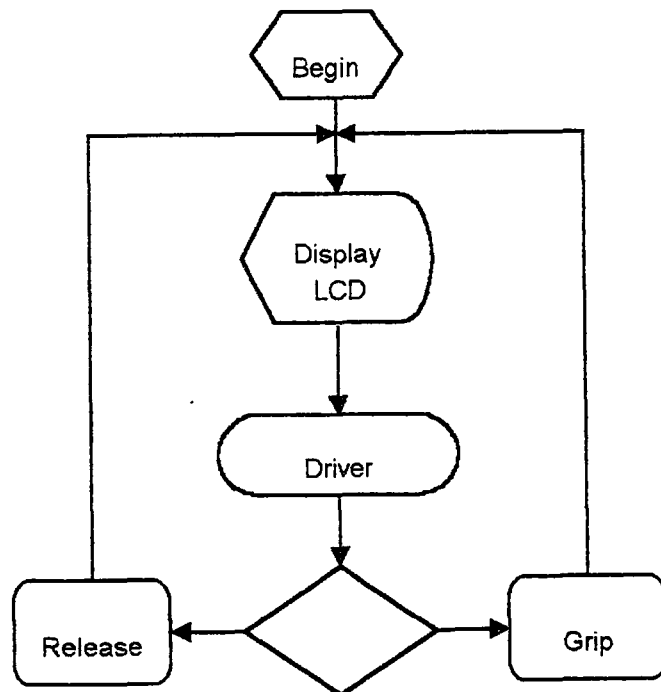
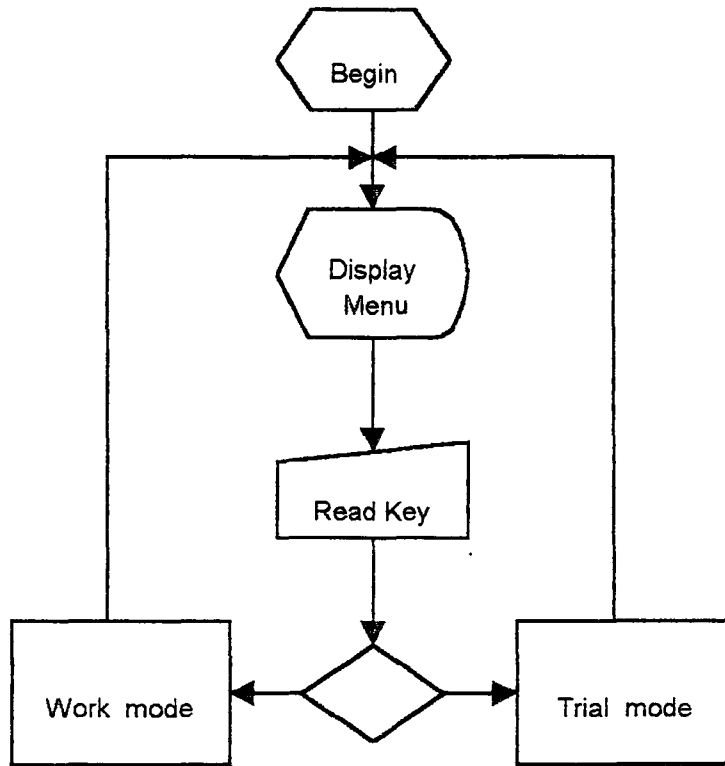
ส่วนของตัวรับแสง ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณแสงจากเส้นใยนำแสง นับเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่ง ค่าสัญญาณที่ได้จากตัวรับแสงต้องผ่านการขยาย ซึ่งควบคุมอัตราขยายด้วยตัวต้านทานส่วนควบคุมอัตราขยาย (Operation Amplifier) มีความสำคัญต่อสัญญาณที่จะนำไปวิเคราะห์ เพราะตัวควบคุมอัตราขยายจะควบคุมและรักษาระดับของสัญญาณให้อยู่ในช่วงที่ ADC ยอมรับได้ และไม่เกิดความผิดพลาดในการแปลงข้อมูล



รูป 3.7 แสดงชุดโครงงานตรวจวัดแรงบีบโดยเส้นใยนำแสง

4) เขียนโปรแกรมควบคุมและประมวลผล

ในโครงงานนี้ใช้บอร์ด Z84C11 เป็นส่วนควบคุมระบบทั้งหมด ในการทำงานควบคุมและประมวลผลใช้ภาษา แอสเซมบลี Z80 เป็นเครื่องมือในการพัฒนางาน



รูป ๓.๘ ผังการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในโครงงาน

5) งานทดลองและเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

ในส่วนนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่าอ้างอิงมาตรฐาน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับเข้ามา และแปลงเป็นค่าแรง

การหาค่าอ้างอิงมาตรฐานหาได้จากการนำขดสปริงที่ทราบค่านิจสปริงมาแทนวัตถุที่ใช้หับ และให้ทำการหับพร้อมกับบันทึกค่าข้อมูลทุก ๆ ระยะที่ขดสปริงถูกหับเข้า ค่าข้อมูลที่ได้นั้นจะเป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ซึ่งมีสมการสำหรับหาค่าแรง เมื่อทราบค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ขดสปริง คือ

$$\begin{aligned}
 F &= ma = k\Delta x \\
 (M + m)g &= k\Delta x \\
 Mg + mg &= k\Delta x \\
 \Delta x &= (Mg + mg)/k \\
 \Delta x &= (g/k)M + (mg)/k
 \end{aligned}$$

เทียบกับสมการ

$$Y = mX + C$$

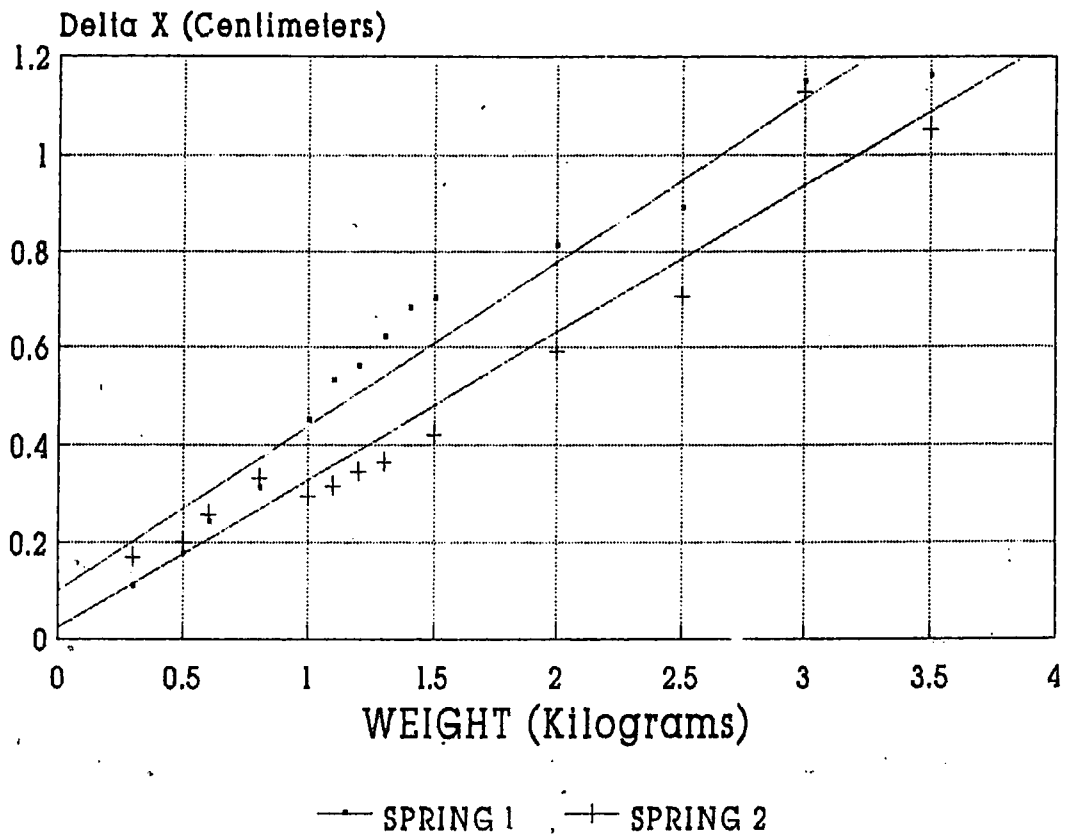
ดังนั้นเมื่อสร้างกราฟจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาค่านิจของสปริงในแต่ละตัว โดยให้แกนตั้ง (Y-axis) เป็นการเปลี่ยนแปลงความยาวของขดลวดสปริงมีหน่วยเป็น เมตรและแกนนอน (X-axis) เป็นมวลที่ใช้ทดลองมีหน่วยเป็น กิโลกรัม ความชันของกราฟที่ได้ คือ ค่า (g/k)

$$\text{slope} = g/k$$

$$k = g/\text{slope}$$

ความยาวเริ่มต้น				
มวล(Kg.)	5.56 X 10 ⁻² m. X _{o1}		2.56 X 10 ⁻² m. X _{o2}	
M	วัดได้ X ₁	เปลี่ยนไป ΔX ₁	วัดได้ X ₂	เปลี่ยนไป ΔX ₂
0.30	5.452	0.108	2.390	0.170
0.50	5.384	0.176	2.360	0.200
0.60	5.318	0.242	2.304	0.256
0.80	5.250	0.310	2.230	0.330
1.00	5.110	0.450	2.266	0.294
1.10	5.030	0.530	2.246	0.314
1.20	5.000	0.560	2.216	0.344
1.30	4.940	0.620	2.200	0.360
1.40	4.880	0.680	-	-
1.50	4.860	0.700	2.140	0.420
2.00	4.750	0.810	1.970	0.590
2.50	4.670	0.890	1.854	0.706
3.00	4.410	1.150	1.430	1.130
3.50	4.400	1.160	1.510	1.050

ตาราง 3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาค่าโมดูลสปริง



กราฟ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความยาวของขดลวดสปริง
กับน้ำหนักที่นำมาถ่วง ($K_1 = 2952.7$, $K_2 = 3282.9$)

การใช้ชุดตรวจวัดแรงบีบโดยเส้นใยนำแสงชนิด มัลติโหมด เป็นตัวตรวจวัด

- 1) กดปุ่ม # เพื่อเข้าสู่ส่วนแสดงโหมดในโปรแกรมทำการวัดค่าแรงบีบ
- 2) กดปุ่ม * เพื่อผ่านเข้าสู่การเลือกโหมด ตามความต้องการ ซึ่งมีโหมดต่างๆดังนี้
 - 2.1) W_mode : work mode เป็นโหมดที่ใช้ในการทำการวัดค่าแรง โดยจะแสดงค่าแรงที่เกิดจากการบีบด้วยมือหีบ ที่จอ LCD และคอยเปรียบเทียบกับค่าแรงวิกฤติที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ
 - 2.2) T_mode : trial mode เป็นโหมดที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาค่าขีดจำกัดที่วัตถุแต่ละชนิดจะยังคงรักษาสภาพเอาไว้ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย แล้วบันทึกเอาไว้ในหน่วยความจำ เพื่อนำไปใช้ในโหมดทำการวัดต่อไป

- 3) ทำการเลือกโหนดโดยการกดปุ่ม ตามหมายเลขที่อยู่ข้างหน้าโหนด
- 4) เมื่ออยู่ในโหนด จะมีการควบคุมทิศทางการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์
 - ปุ่มหมายเลข 4 : ทำการหนีวัตถุโดยกดปุ่มค้างไว้ เมื่อหยุดกดปุ่มจะมีสภาพล็อค
 - ปุ่มหมายเลข 5 : ทำการปล่อยวัตถุโดยกดปุ่มค้างไว้ เมื่อหยุดกดปุ่มจะมีสภาพล็อค
 - ปุ่มหมายเลข 6 : ทำการปลดล็อคทำให้สามารถหมุนแกนได้อย่างอิสระ

บทที่ 4

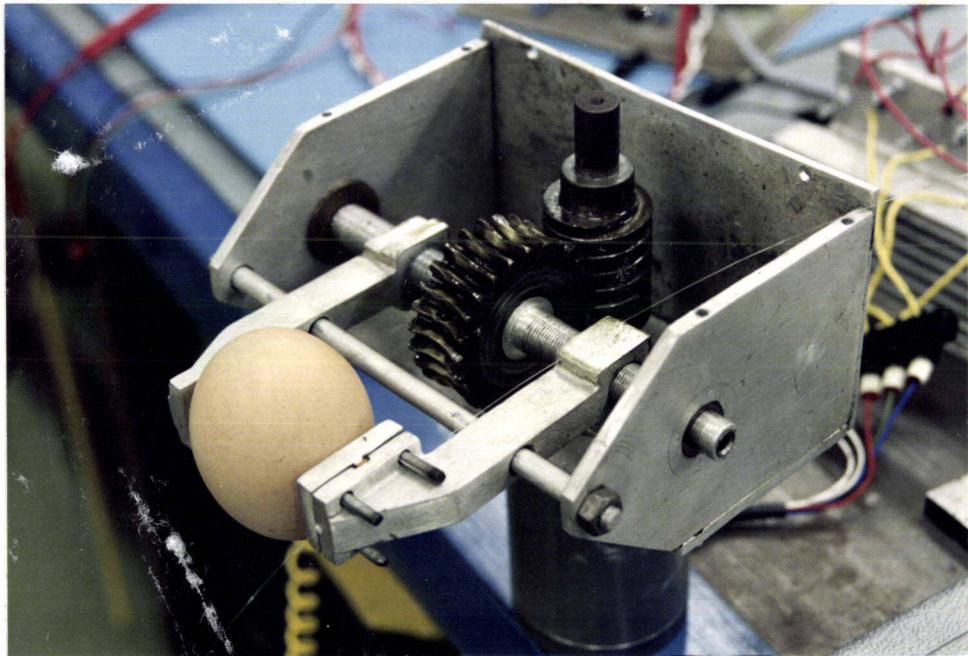
ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดลองและวิจัย

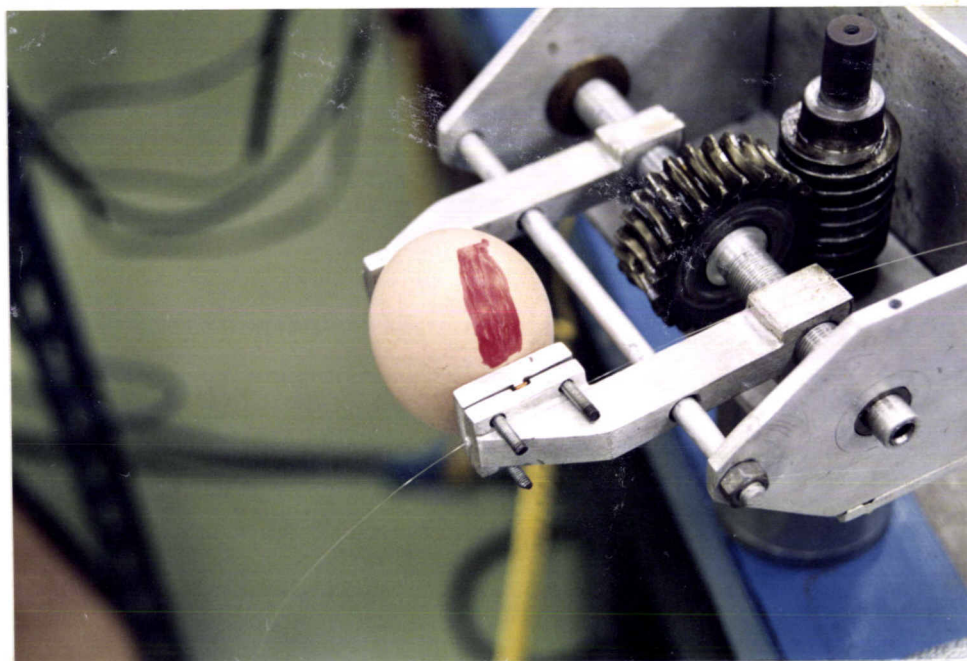
1. ไข่ไก่	ค่าแรงที่พอดีหนีบจับได้	8 นิวตัน
	ค่าแรงวิกฤติ	17 นิวตัน

ค่าแรงที่พอดีหนีบจับได้ : แรงที่กระทำกับวัตถุพอเพียงต่อการหนีบจับและเคลื่อนย้าย

ค่าแรงวิกฤติ : แรงที่พอดีที่จะรักษาสภาพของวัตถุเอาไว้ได้ ถ้าหากใช้แรงมากกว่าค่าแรงวิกฤตินี้แล้ว จะมีผลทำให้วัตถุเกิดความเสียหายได้



รูป 4.1 แสดงการทดลองหนีบวัตถุ



รูป 4.2 แสดงการทดลองที่ ค่าแรงวิกฤติ

วิจารณ์โครงการ

โครงการนี้มีอุปสรรคในบางด้าน ได้แก่

1. ทางด้านการออกแบบและสร้างมือหนีบ

ในการส่งแบบพบปัญหาในการอ่านแบบของช่างกลึง เนื่องจากไม่คุ้นเคยกับลักษณะงานทางด้านนี้ ประกอบกับงานทางด้านนี้ต้องการความละเอียดถูกต้องในด้านขนาดและลักษณะเป็นอย่างมาก ดังนั้น ชิ้นงานที่ได้จึงมีความผิดพลาดบ้างในบางส่วน ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าความผิดพลาดรวมอยู่ด้วย

2. ทางด้านการทดลองเพื่อเก็บค่าแรงอ้างอิง

ในการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลนั้น เนื่องจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดซึ่งสัมพันธ์กับแรงที่กระทำ มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น การเก็บข้อมูลจึงต้องมีความละเอียดสูง ผลที่ได้พบว่าค่าที่ได้จากการแปลงจาก ADC นั้นมีค่าความผิดพลาดปะปนมาด้วย โดยเปรียบเทียบจากการหนีบขดลวดสปริงที่มีขนาดต่าง ๆ กัน อีกสาเหตุหนึ่งอาจมาจาก ตำแหน่งที่นิ้วของมือหนีบที่สัมผัสกับขดลวดสปริงเกิดการเลื่อนออกจากตำแหน่งเดิม

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองระบบตรวจวัดแรงด้วยเส้นใยนำแสง ได้บทสรุปว่าระบบตรวจวัดด้วยเส้นใยนำแสงนั้น มีค่าการเปลี่ยนแปลงต่อแรงกดที่เปลี่ยนไปมาก กล่าวคือ เป็นระบบที่มีความไวต่อแรงที่กระทำสูงจึงเหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการ การควบคุมแรงซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ละเอียดมาก ดังเช่น ในโครงการนี้ได้ทดลองประยุกต์ใช้กับงานทางด้านการศึกษาหีบจับวัตถุของหุ่นยนต์ โดยรักษาสภาพของวัตถุเอาไว้มิให้เกิดความเสียหาย ได้แก่ การหีบและเคลื่อนย้ายสิ่งของจำพวกผลไม้ ฟองไข่ดิบของสัตว์ปีก หรืออุปกรณ์การทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีความเปราะบางจำพวก หลอดทดลอง ปีกเกอร์ เป็นต้น และสิ่งหนึ่งที่พบในการทดลองคือแม้เพียงแค่มัลล์ก็สามารถส่งผลต่อระบบได้ โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงในระดับมิลลิโวลต์ ดังนั้นถ้าจะนำคุณสมบัติทางด้านนี้ ไปประยุกต์ใช้จะเป็นประโยชน์มาก แต่อาจจะต้องควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้รัดกุมมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานทางโครงการพิเศษมีข้อเสนอแนะบางประการ

1. ทางด้านงานออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์ ยังขาดความรู้ทางด้านงานออกแบบเชิงกล รวมถึงการสร้างแขนหุ่นยนต์ให้มีความละเอียดปราณีต ควรจะมีความพร้อมในงานทางด้านนี้เป็นอย่างมาก

2. จากโครงการ สามารถตรวจวัดค่าแรงจากการบีบของมือกลได้ ในการพัฒนาเพิ่มเติมอาจจะทำให้ระบบการตรวจวัดสามารถทำการบันทึกค่าแรงวิกฤติของวัตถุแต่ละชนิดไว้ในหน่วยความจำ เพื่อใช้ในการทำงานจริง โดยมีการตรวจสอบค่าวิกฤตินี้ตลอดเวลาที่ทำการหีบจับวัตถุ เพื่อรักษาสภาพวัตถุเอาไว้ไม่ให้เกิดความเสียหาย

๓. ตัวขั้วมือหนีบที่ใช้คือสตั๊ปปิ้งมอเตอร์นั้น ควรจะเลือกชนิดที่มีกำลังขั้วมากกว่าที่ใช้อยู่ในโครงการ หรือเปลี่ยนวงจรขั้วมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

4. ความละเอียดของเกลียว ในโครงการนี้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงระยะที่บีบใน ขณะที่สั้มพัลส์วัตถุต้องเปลี่ยนอย่างช้า ๆ แต่พบกับปัญหาในด้านความเร็วที่มือหนีบเข้าหาวัตถุ นั้นช้าเกินไปจึงควรคำนึงถึงปัญหาทางด้านนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- 1) Staugard, Andrew C.JR., ROBOTICS AND AI(Tom Aloisi ed.)
Prentice-Hall, Inc., 1987., pp.295-298,311-328.
- 2) Shahinpoor, Mohsen., A robot engineering textbook (Thomas R. Farrell), Harper & Row, Publisher, Inc., 1987., pp.427.
- 3) Rex Miller, Fundamentals of industrial robots and robotics
(Marry Thomas ed.2), PWS-KENT Publishing Company, 1988.,
pp.24-27,57-58,70-7.
- 4) McComb, Gordon, The robot builder's bonanza, 1st.edition
.TAB BOOKS Inc., 1987., pp.111-125,153-155,
- 5) Eric Udd, Fibre Optic Sensors, An Introduction for Engineers
and scientis, A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 1991.
- 6) William J. Mooney, Optoelectronic Devices and Principle,
(Sharon Jacobus ed.), Prentice-Hall, Inc., 1991.
- 7) R.Valsler, S.KUsamran, S.Akavipat, P.V.P.Yupapin and
R.chitaree, Short Course on Fibre Optic Technology,
Department of Appied Physics, KMITL, THAILAND and
Department of Electrical, Electronic & Information
Engeneering, City University, London, U.K.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก- 1

CPU "Z80.TBL"

HOF "INT8"

ORG 8000H

***** PORT LCD *****

PDATA: EQU 80H ;PORT DATA FOR DISPLAY ON LCD

PSING: EQU 82H ;PORT INSTRUCTION FOR LCD

PREAD: EQU 84H ;PORT READ DATA FOR LCD

***** PORT ADC 7109 ****

PORT_A: EQU 50H ;FOR INPUT FROM ADC 7109 BIT1-BIT12,
;POL,OR

CONT_A: EQU 54H

PORT_B: EQU 51H ;FOR INPUT STATUS,OUTPUT LBEN,HBEN,
;RUN/HOLD

CONT_B: EQU 55H

***** PORT DRIVE STEPPING MOTOR *****

PORT_C: EQU 52H ;FOR OUTPUT 4 BITS TO DRIVE STEPPING
;MOTOR

CONT_C: EQU 56H

***** PORT KEYBOARD *****

PORT_D: EQU 30H ;PORT D FOR SCAN KEY BOARD

CONT_D: EQU 34H ;DIRECTION PORT D

***** MEMORY AREA *****

STACK_AREA: EQU 9000H

***** MAIN *****

START:CALL INIT_LCD ;INITIALIZED LCD

CALL INIT_PORT ;INITIALIZED PORT

CALL TITLE ;TITLE OF PROJECT

L: CALL MODE ;SELECT MODE 1)WORK MODE,2)TRIAL

;MODE

JR L ;

RST 18H

***** INITIALIZED PORT *****

;PORT_A AND PORT_B(PB.0 - PB.3) FOR ADC 7109

;PORT_C FOR DRIVE MOTOR

;PORT_D FOR KEYBOARD

;'0' FOR INPUT AND '1' FOR OUTPUT

```

INIT_PORT:LD A,00H          ;SET ALL BITS IN PORT A ARE 'INPUT'
OUT (CONT_A),A             ;BIT 1->BIT 8 : PA.0 -> PA.7,
                            ;BIT 9 - BIT12: PA.0 -> PA.3
                            ;OR : PA.4,POL : PA.5
LD A,0EH                   ;SET PORT B IS 'XXXX1110B'
OUT (CONT_B),A             ;STATUS : PB.0,(INPUT)
                            ;LBEN : PB.1,HBEN : PB.2,RUN/HOLD : PB.3,(OUTPU
LD A,OFFH                  ;SET DIRECTION PORT C
OUT (CONT_C),A
LD A,OFH                   ;SET DIRECTION PORT D
OUT (CONT_D),A

```

```
LD SP,STACK_AREA
```

```
RET
```

```
***** TITLE SYSTEM *****
```

```

TITLE:CALL  CLSLCD
        LD   HL,TAB1
        LD   A,00H
        CALL COLUMN
        CALL WRLINE
        LD   HL,TAB2
        LD   A,40H
        CALL COLUMN
        CALL WRLINE

```

```

CHKKEY: CALL SCAN_KEY          ;SCAN KEYBOARD TO ENTRANCE SYSTEM
        CALL CONVERT          ;CONVERT KEY NUMBER TO ASCII CODE
        CP    023H            ;023H = ENTER = '#'
        JR    NZ,CHKKEY       ;INCORRECT KEY, WAIT FOR CORRECT KEY
        RET                   ;CORRECT KEY RETURN TO MAIN ROUTINE

TAB1: DFB "  ROBOTIC GRIPPER  " ;STATEMENT FOR DISPLAY ON LCD
TAB2: DFB "STRESS OPTIC SENSOR "

;*****
;*** SELECT MODE *****
;*****

MODE: CALL CLSLCD
      LD HL,TAB3              ;"SELECT MODE(1-2)"
      LD A,00H
      CALL COLUMN             ;SET CURSOR POSITION
      CALL WRLINE            ;WRITE DATA ONE LINE
      LD HL,TAB4              ;"Press Enter Key"
      LD A,40H
      CALL COLUMN             ;
      CALL WRLINE            ;

CHK1: CALL SCAN_KEY          ;SCAN KEYBOARD TO MENU SELECT MODE
      CALL CONVERT          ;CONVERT KEY NUMBER TO ASCII CODE
      CP    02AH            ; 2AH = * FOR ENTER
      JR    NZ,CHK1

```

```

LD HL,TAB5           ;"1)WORK  MODE"
LD A,00H
CALL COLUMN
CALL WRLINE
LD HL,TAB6           ;"2)TRIAL  MODE"
LD A,40H
CALL COLUMN
CALL WRLINE

CHK2: CALL SCAN_KEY   ;SCAN KEYBOARD FOR SELECT MODE
      CALL CONVERT    ;CONVERT KEY NUMBER TO ASCII CODE
      CP 031H         ;PRESS KEY "1"
      CALL Z,W_MODE   ;YES,GO TO SUBROUTINE WORK_MODE
      CP 032H         ;PRESS KEY "2"
      CALL Z,T_MODE   ;YES,GO TO SUBROUTINE TRIAL_MODE
      JR  NZ,CHK2
      RET

TAB3: DFB " SELECT MODE(1-2) " ; STATEMENT FOR SELCT MODE
TAB4: DFB " (Press * Key) "
TAB5: DFB " 1)WORK  MODE "
TAB6: DFB " 2)TRIAL  MODE "

;***** SUBROUTINE WORK_MODE *****

;INPUT  : NONE
;OUTPUT : NONE

```

```

W_MODE:CALL CLSLCD
        LD HL,W_TABLE1
        LD A,00H
        CALL COLUMN
        CALL WRLINE
        LD HL,W_TABLE2
        LD A,40H
        CALL COLUMN
        CALL WRLINE
        CALL CURSOR_ON      ;ON CURSOR
        LD A,4CH            ;SET ADDRESS FOR CURSOR POSITION
        CALL COLUMN        ;CALL CURSOR POSITION ROUTINE
        CALL DRIVE         ;CALL DRIVE STEPPING MOTOR ROUTINE
        RET

W_TABLE1: DFB " >>> WORK MODE <<< " ; STATEMENT FOR WORK_MODE
          ; ROUTINE

W_TABLE2: DFB " FORCE =>>          N."

;***** SUBROUTINE TRIAL_MODE *****

;INPUT  : NONE
;OUTPUT : NONE

T_MODE:CALL CLSLCD
        LD HL,T_TABLE1
        LD A,00H
        CALL COLUMN

```

```

CALL WRLINE
LD HL,T_TABLE2
LD A,40H
CALL COLUMN
CALL WRLINE
CALL CURSOR_ON      ;ON CURSOR
LD A,4CH            ;SET ADDRESS FOR CURSOR POSITION
CALL COLUMN         ;CALL CURSOR POSITION ROUTINE
;CALL DRIVE         ;CALL DRIVE STEPPING MOTOR ROUTINE
RET

```

```

T_TABLE1: DFB " >>> TRIAL MODE <<< " ; STATEMENT FOR TRIAL_MODE
; ROUTINE

```

```

T_TABLE2: DFB " FORCE =>>      N."
;

```

```

;***** LCD SUBROUTINE *****

```

```

;INPUT : NONE

```

```

;OUTPUT : NONE

```

```

INIT_LCD:LD A,00111000B ;FUNCTION SET '38h'

```

```

OUT (PDATA),A

```

```

CALL DELAY1

```

```

LD A,00001100B ;CONTROL CURSOR

```

```

OUT (PDATA),A

```

```

CALL DELAY1

```

```

LD A,00000110B ;ENTRY MODE SET

```

OUT (PDATA),A

CALL DELAY1

CLSLCD: CALL DELAY1 ;CLEAR SCREEN ON LCD

LD A,00000001B

OUT (PDATA),A

CALL READ

RET

***** COLUMN SUBROUTINE *****

;INPUT : REGISTER.A STORE ADDRESS FOR CURSOR POSITION

;OUTPUT : NONE

COLUMN: SET 7,A ;indicate column

OUT (PDATA),A

CALL READ

RET

***** READ LCD SUBROUTINE *****

;INPUT :

;OUTPUT :

READ: IN A,(PREAD) ;CHECK STATUS ON LCD

BIT 7,A

JP NZ,READ

RET

```
;***** WRITE DATA ONE LINE SUBROUTINE *****
```

```
; INPUT : NONE
```

```
; OUTPUT : NONE
```

```
WRLINE: PUSH BC
```

```
LD B,20
```

```
TEST1: LD A,(HL) ;DATA ARE IN (HL)
```

```
LD D,A
```

```
CALL WRBYTE
```

```
INC HL
```

```
DJNZ TEST1
```

```
POP BC
```

```
RET
```

```
;***** WRITE DATA ONE BYTE SUBROUTINE *****
```

```
; INPUT :
```

```
; OUTPUT :
```

```
WRBYTE: LD A,D ;DISPLAY DATA ONE BYTE
```

```
OUT (PSING),A ;DATA ARE IN REGISTER.D
```

```
CALL READ
```

```
RET
```

```
; RESERVE FOR FUTURE USED
```

```
GOTOLCD:AND OFH ;read value and convert to
```

```
ADD A,30H ;ASCII for display on LCD
```

```

LD D,A                ;register.D for WRBYTE routine
LD A,E                ;indicate cursor position
CALL WRLCD
RET

```

```

;***** DISPLAY ON LCD *****

```

```

WRLCD: CALL COLUMN
        CALL WRBYTE
        RET

```

```

;***** CURSOR ON SUBROUTINE *****

```

```

; INPUT   : NONE
; OUTPUT  : NONE
CURSOR_ON: LD A,00001110B           ;CONTROL CURSOR ON
           OUT (PDATA),A           ;
           CALL DELAY1
           RET

```

```

;***** SUBROUTINE SCAN KEYBOARD ONE TIME *****

```

```

; INPUT   : NONE
; OUTPUT  : REGISTER.L FOR KEY NUMBER WHICH '0' TO '0C',0C MEAN NO
SCAN: LD B,4                ;COUNT = NUMBER OF ROWS
      LD D,3                ;GET NUMBER OF COLUMN
      LD E,11111110B       ;START SCAN PATTERN TO GROUND ROW ZERO

```

```

LD H,11100000B ;GET KEYBOARD MASKING PATTERN
LD L,OFFH      ;KEY NUMBER = -1

FROW:LD A,E          ;LOAD TO REGISTER.A FOR OUTPUT SCAN ROW
      OUT (PORT_D),A
      RLC E          ;SEEK ONE TIME FOR MSB(BIT7) FOR 3*4 KEYS
      IN A,(PORT_D) ;GET KEYBOARD COLUMN DATA
      RLA           ;UPDATE SCAN PATTERN FOR NEXT ROW
      AND H         ;MASKS COLUMN BIT
      CP H          ;ARE ANY COLUMN GROUNDED ?
      JR NZ,FCOL   ;YES,GO FIND WHICH ONE
      LD A,L        ;NO,UPDATE KEY NUMBER FOR NEXT ROW
      ADD A,D
      LD L,A
      DJNZ FROW    ;EXAMINE NEXT ROW IF ANY LEFT
      INC L        ;IDENTIFY CASE IN WHICH KEY NOT FOUND
      JR DONE

FCOL:INC L          ;INCREMENT KEY NUMBER
      RLA           ;IS THIS COLUMN GROUNDED ?
      JR C,FCOL    ;NO,EXAMINE NEXT COLUMN

DONE:LD A,L
      RET

```

***** SUBROUTINE SCAN KEYBOARD UNTIL ANY KEY HAVE PRESSED *

; INPUT : NONE

; OUTPUT : REGISTER.L WHICH STORE KEY NUMBER AND DON'T WAIT STATUS

SCAN_KEY:CALL SCAN

LD A,L

CP OCH ;ARE KEY PRESSED ?, 'OCH' MEAN WAIT FOR KEY

JR Z,SCAN_KEY ;NO,SCAN AGAIN

RET ;YES,RETURN TO MAIN ROUTINE

***** CONVERT KEYS TO ASCII *****

; INPUT : REGISTER.L FOR COUNT NUMBER OF KEY

; OUTPUT : REGISTER.A STORE ASCII KEY FROM SUBROUTINE CONVERT

CONVERT:INC I ;INCREMENT FOR COUNT IN DJNZ LOOP

LD B,L ;COUNT LOOP

LD HL,KEY_TABLE ;ADDRESS BEGIN FOR CONVERT

SUB_CON:INC HL

DJNZ SUB_CON

LD A,(HL) ;STORE ASCII CODE IN REGISTER.A FOR OUTP

RET

***** CONVERT HEXADECIMAL TO ASCII *****

; INPUT REGISTER.A

; OUTPUT REGISTER.A

```

ASDEC:CP 10                ;IS DATA A DECIMAL DIGIT ?
      JR C,ASCZ
      ADD A,7H             ;NO,ADD OFFSET FOR LETTERS

ASCZ: ADD A,30H           ;CONVERT DATA TO ASCII
      RET

```

```

SYS_SCAN:EX AF,AF'
      LD A,95H
      RST 10H
      RET

```

```

;***** DRIVE CYCLE FOR STEPPING MOTOR *****

```

```

;INPUT  : NONE
;OUTPUT : NONE
DRIVE:LD A,33H           ;FOR DRIVE STEPPING MOTOR 00110011B
DRIVE_CYCLE:
      EX AF,AF'
      CALL SCAN          ;CALL SUBROUTINE SCAN KEYBOARD
      LD A,L             ;REGISTER.L FROM SUB.SCAN
      CP 05H            ;FOR '4' ON KEYBOARD THAT MEANS GRIPPING
      JR Z,GRIP_INN
      CP 03H            ;FOR '6' ON KEYBOARD THAT MEANS RELEASIN
      JR Z,GRIP_OUTT    ;
      CP 04H            ;FOR '5' ON KEYBOARD THAT MEANS STOP MOV
      JR Z,STOPP

```

JR NZ,DRIVE_CYCLE ;PRESS KEY INCORRECT THEN GOTO DRIVE

GRIP_INN:CALL GRIP_IN

CALL ADC ;CONVERT DATA FROM FIBER TO DISPLAY

JR DRIVE_CYCLE

GRIP_OUTT:CALL GRIP_OUT

CALL ADC ;CONVERT DATA FROM FIBER TO DISPLAY

JR DRIVE_CYCLE

STOPP:CALL STOP_ROTATE

JR EXIT_DRIVE

EXIT_DRIVE: RET

***** RRCA ROUTINE *****

;THIS'S SUBROUTINE THAT GRIPS IN FOR GRIPPING COMPONENT

;INPUT :REGISTER.A BEFORE ROTATE

;OUTPUT :REGISTER.A AFTER ROTATE

GRIP_IN:EX AF,AF' ;RESTORE VALUE FROM ALTERNATE REGISTER

LOOP_IN:OUT (PORT_C),A

RRCA

CALL DELAY_TIME

RET

***** RLCA ROUTINE *****

;THIS'S SUBROUTINE THAT GRIPS OUT FOR RELEASING COMPONENT

;INPUT :REGISTER.A FROM POP INSTRUCTION

;OUTPUT :REGISTER.A FOR VALUE TO ROTATE

GRIP_OUT:EX AF,AF' ;RESTORE VALUE FROM ALTERNATE REGISTER

LOOP_OUT:OUT (PORT_C),A

RLCA

CALL DELAY_TIME

RET

***** STOP ROTATE *****

;INPUT : NONE

;OUTPUT : REGISTER.A FOR DRIVE STEPPING ON NEXT TIME

STOP_ROTATE:LD A,00H

OUT (PORT_C),A

LD A,33H

RET

***** RUN ADC 7109 *****

RUN_ADC:LD A,40H ; 0000 1110B

OUT (PORT_B),A ; RUN/HOLD=>HIGH

RET

```
;***** HOLD DATA FROM ADC 7109 *****
```

```
HOLD_DATA:LD A,6H          ;0000 0110B
           OUT(PORT_B),A    ;RUN/HOLD=>LOW
           RET
```

```
;***** FETCH HIGH BYTES ENABLE *****
```

```
HBEN:LD A,0AH           ;0000 1010B
      OUT(PORT_B),A ;HBEN=>LOW, LBEN=>HIGH
      RET
```

```
;***** FETCH LOW BYTES ENABLE *****
```

```
LBEN:LD A,0CH           ;0000 1100B
      OUT(PORT_B),A ;HBEN=>HIGH, LBEN=>LOW
      RET
```

```
;***** RECEIVE DATA FROM ADC 7109 *****
```

```
;***** OUTPUT :REGISTER PAIR 'DE':XXXX#### #####B *****
```

```
; BIT : 7 6 5 4 3 2 1 0
```

```
;      X X X X X X X X
```

```
ADC:PUSH AF
```

```
CALL HBEN          ;FETCH HIGH BYTES ENABLE
```

```
CALL HOLD_DATA     ;HOLD DATA AFTER CONVERT TO DIGITAL
```

```
CHECK_POLAR: IN A,(PORT_A) ;INPUT
```

```

        BIT 5,A           ;CHECK POLARITY :PA.5

GO_ON:   AND OFH         ;BIT.9->BIT.12;PA.0->PA.3

DATA_ADC: EQU 8FOOH     ;ADDRESS FOR ADC DATA(BIT 1 -> BIT 12

        LD IX,DATA_ADC

        LD (IX+0),A      ;STORE DATA(MSB) IN ADDRESS (DATA_A
                        ;NOW! REGISTER.A IS BIT.9->BIT.12(M

        CALL ASDEC       ;CONVERT HEXADECIMAL TO ASCII

        LD D,A           ;REGISTER.D FOR SUBROUTINE WRBYTE

        LD A,4CH         ;SET COLUMN FOR SUBROUTINE DISPLAY_

        CALL WRLCD       ;DISPLAY ON LCD

        CALL LBEN        ;RUN ADC AND FETCH LOW BYTES ENABLE

        CALL HOLD_DATA   ;HOLD DATA AFTER CONVERT TO DIGITAL

        IN A,(PORT_A)    ;INPUT BIT.1->BIT.8;PA.0->PA.7

        LD B,A

        LD (IX+1),A      ;STORE DATA(LSB) IN ADDRESS (DATA_A

        SRL A            ;SHIFT CONTENTS OF REGISTER RIGHT L

        SRL A            ; 4 BITS

        SRL A

        SRL A            ;NOW! REGISTER.A IS BIT.5->BIT.8(

        CALL ASDEC       ;CONVERT HEXADECIMAL TO ASCII

        LD D,A           ;REGISTER.D FOR SUBROUTINE WRBYTE

        LD A,4DH         ;SET COLUMN FOR SUBROUTINE DISPLAY_

        CALL WRLCD       ;DISPLAY ON LCD

        LD A,B

        AND OFH          ;NOW! REGISTER.A IS BIT.1->BIT.4(LS

        CALL ASDEC       ;CONVERT HEXADECIMAL TO ASCII

```

```
LD D,A           ;REGISTER.D FOR SUBROUTINE WRBYTE
LD A,4EH         ;SET COLUMN FOR SUBROUTINE DISPLAY_
CALL WRLCD       ;DISPLAY ON LCD
CALL CONVERT_TO_NEWTON ;SUBROUTINE FOR CONVERT TO
                  ;NEWTON FORCE

LD A,(NT_AREA)  ;DIGIT 3&4

LD B,A

SRL A

SRL A

SRL A

SRL A

CALL ASDEC       ;CONVERT HEXADECIMAL TO ASCII

LD D,A

LD A,45H         ;FOR SUBROUTINE COLUMN
CALL WRLCD       ;DISPLAY ON LCD

LD A,B

AND OFH

CALL ASDEC       ;CONVERT HEXADECIMAL TO ASCII

LD D,A

LD A,46H         ;FOR SUBROUTINE COLUMN
CALL WRLCD       ;DISPLAY ON LCD

LD A,(NT_AREA+1);DIGIT 1&2

LD B,A

SRL A

SRL A

SRL A

SRL A
```

```

CALL ASDEC      ; CONVERT HEXADECIMAL TO ASCII
LD D,A
LD A,47H       ; FOR SUBROUTINE COLUMN
CALL WRLCD     ; DISPLAY ON LCD
LD A,B
AND OFH
CALL ASDEC     ; CONVERT HEXADECIMAL TO ASCII
LD D,A
LD A,48H       ; FOR SUBROUTINE COLUMN
CALL WRLCD     ; DISPLAY ON LCD
POP AF
RET

```

```

;***** CONVERT ADC DATA TO NEWTON *****

```

```

; INPUT : ADDRESS ADC_DATA
; OUTPUT: REGISTER.A FOR NEWTON FORCE VALUE
; DIGIT POSITION   DIGIT  4321
;                XXXX
MAX_NT: EQU 9      ; THIS CAN CHANGE IT'S DEPENDT ON MAX
                  ; RANGE
NT_AREA: EQU 8F02H

```

```

; REGISTER PAIR 'HL' IS ADC DATA ,USED IN 'SBC' INSTRUCTION.

```

```

CONVERT_TO_NEWTON: XOR A      ; CLEAR REGISTER.A
                    LD (NT_AREA),A      ; CLEAR DIGIT 3&4(OOXX)
                    LD (NT_AREA+1),A    ; CLEAR DIGIT 1&2(O000)

```

```

LD (8F04H),HL
LD IX, TABLE_REF; INDEX FOR TABLE STORE IN 'IX'
LD B, 0           ;FOR COUNT LOOP DIGIT 4 & 3
LD C, 0           ;FOR COUNT LOOP DIGIT 2 & 1

```

```

;REGISTER PAIR 'DE' IS REFERENCE DATA FROM TABLE,
;USED IN 'SBC' INSTRUCTION

```

```

COMPARE_ADC:    LD A, (IX+0)      ;REFERENCE DATA IN REGISTER.A,
                ;NOW IS MSB
                LD D, A          ;NOW, REGISTER.D IS MSB(REFERENCE
                ;DATA)
                LD A, (IX+1)     ;REFERENCE DATA IS LSB
                LD E, A          ;NOW, REGISTER.E IS LSB(REFERENCE
                ;DATA)
                LD A, (DATA_ADC); LOAD MSB ADDRESS(DATA_ADC) INTO
                LD H, A          ;NOW, REGISTER.H STORE MSB(DATA_AD
                LD A, (DATA_ADC+1);
                LD L, A          ;NOW, REGISTER.L STORE LSB(DATA_AD
                XOR A            ;CLEAR CARRY FLAG
                SBC HL, DE       ;COMPARE 2 BYTES
                JR C, EXIT       ;ADC_DATA MORE THAN REF_DATA

```

```

;REGISTER.A FOR COUNT LOOP COMPARE, IT IS A 'NEWTON FORCE'

```

```

LD A, C
CP 99           ;IS IT FULL IN DIGIT 2 AND 1 ?

```

JR NZ,DIGIT_1_2;NO,STIL COUNT LOOP IN DIGIT 2 AN

```

DIGIT_3_4:   LD A,B           ;YES,LOAD DIGIT 4&3 FOR COUNT
              ADD A,1       ;COUNT IN DIGIT 4 AND 3
              DAA
              LD B,A        ;STORE DIGIT 4&3
              LD A,C        ;CLEAR REGISTER.A FOR COUNT NEXT
              XOR A

DIGIT_1_2:   ADD A,1       ;INCREMENT ONE
              DAA           ;CONVERT TO BCD FORM
              LD C,A        ;STORE DIGIT 2&1
              INC IX        ;NEXT REFERENCE DATA
              INC IX
              JR COMPARE_ADC ;ADC_DATA LESS THAN REF_DATA,
                          ;COMPARE NEXT
                          ;REF_DATA

EXIT:        LD A,B        ;STORE DIGIT 4 AND 3
              LD (NT_AREA),A ;
              LD A,C        ;STORE DIGIT 2 AND 1
              LD (NT_AREA+1),A
              RET

```

;REFERENCE DATA HAVE LENGTH 2 BYTES XXH,XXH

```

TABLE_REF: DFB 00H,00H,01H,00H,02H,00H,03H,00H,04H,00H,05H,00H,06
           ; 0----->1----->2----->3----->4----->5----->6--
           DFB 07H,00H,08H,00H,09H,00H,0AH,00H,0BH,00H,0CH,00H,0D
           DFB 0EH,00H,0FH,00H

```

```

;*****

```

```

SUPER_DELAY: LD B,0FH

```

```

SUBI:        PUSH BC
             CALL DELAY_TIME
             POP BC
             DJNZ SUBI
             RET

```

```

DELAY_TIME: LD B,0FH

```

```

SUB_DELAY:  PUSH BC
            CALL DELAY2
            POP BC
            DJNZ SUB_DELAY
            RET

```

```

DELAY1: PUSH BC                ; delay (10ms)
        LD B,80H

```

```

S_DELAY1: DJNZ S_DELAY1
          POP BC
          RET

```

```
DELAY2:PUSH BC ; delay (100ms)
```

```
LD B,OFFH
```

```
S_DELAY2:DJNZ S_DELAY2
```

```
POP BC
```

```
RET
```

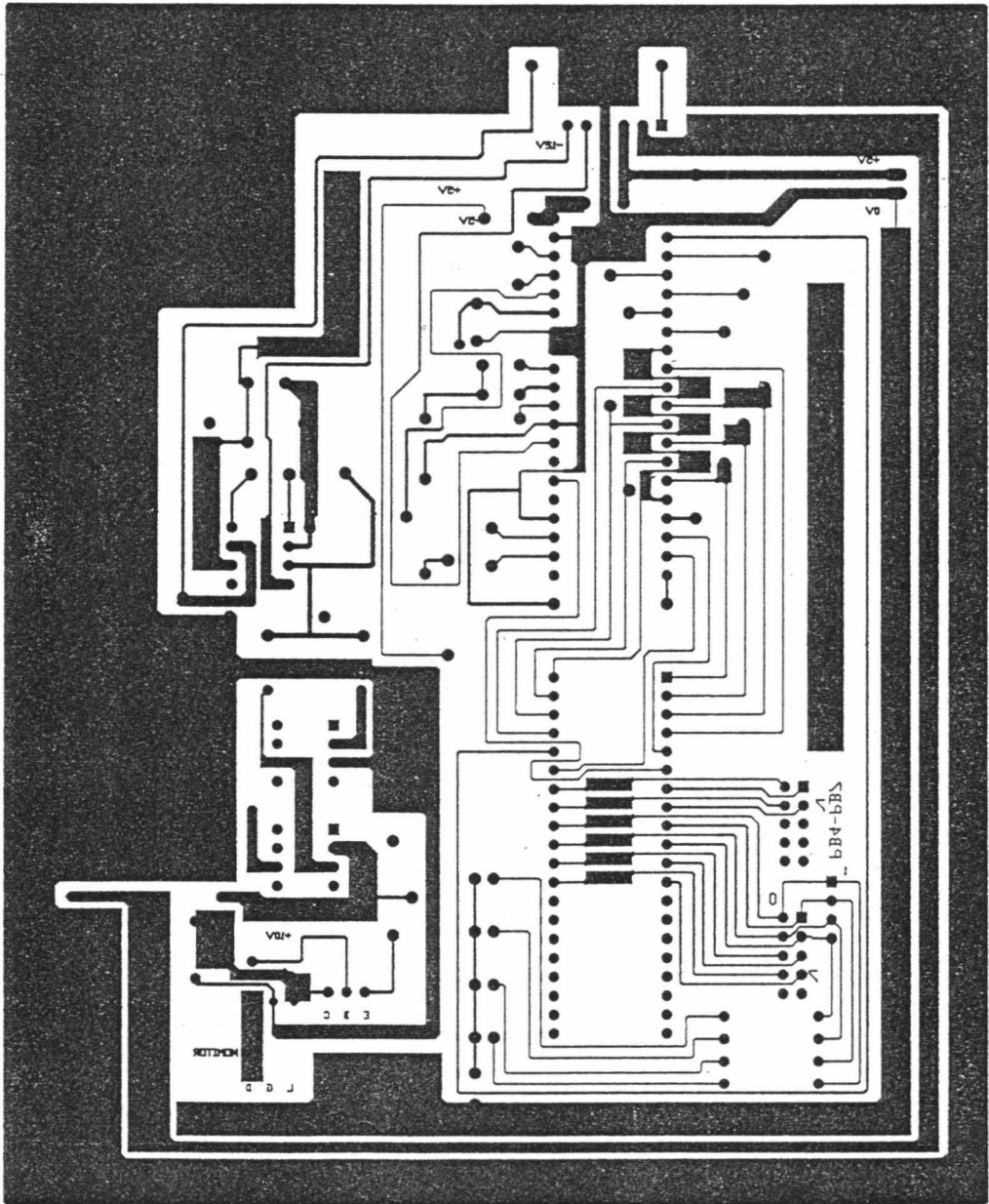
```
KEY_TABLE:DFB 00H,33H,32H,31H,36H,35H,34H,39H,38H,37H,23H,30H,2AH,
```

```
;FREE, 3 , 2 , 1 , 6 , 5 , 4 , 9 , 8 , 7 , # , 0 , * ,
```

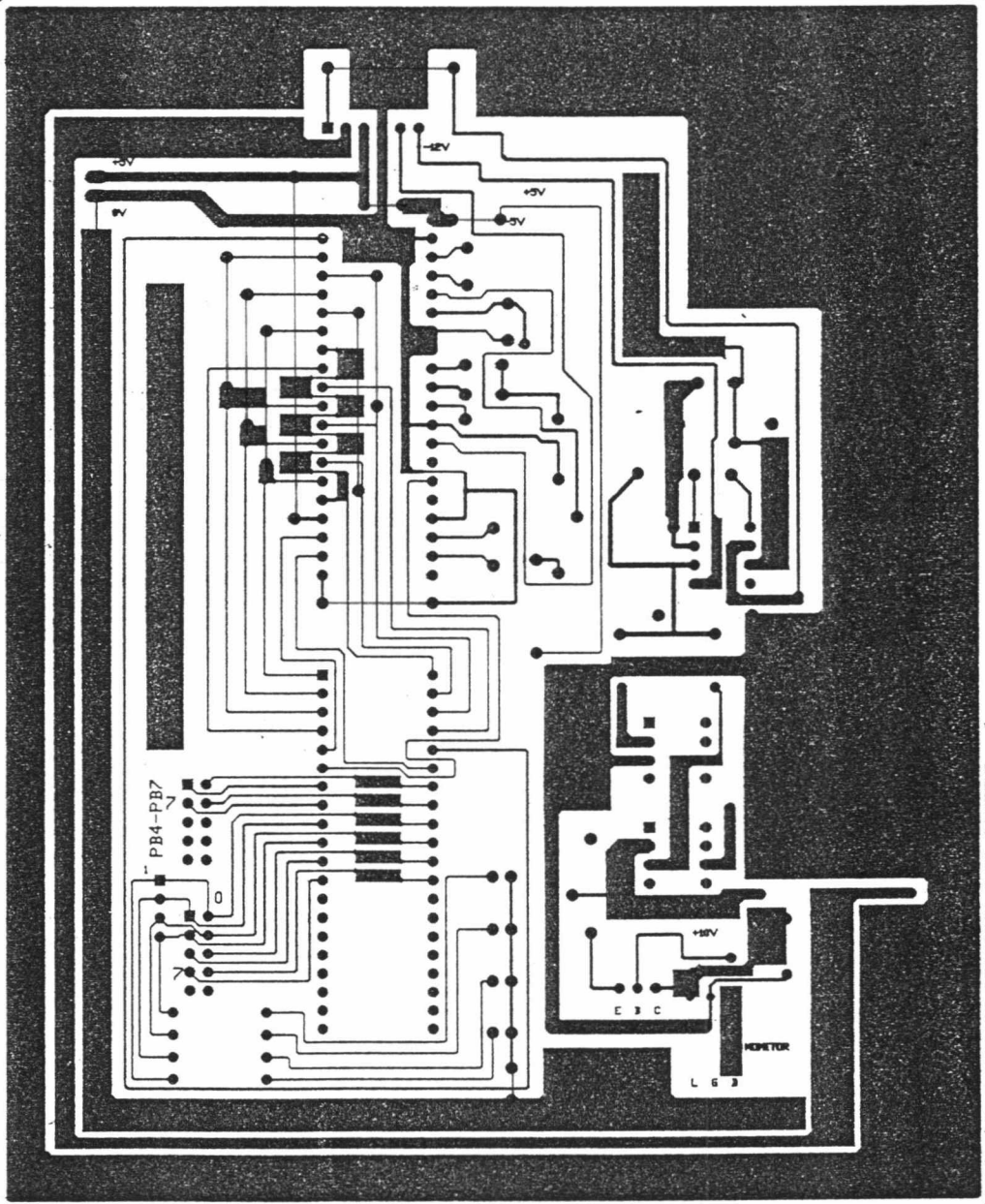
```
END
```

ภาคผนวก ข. 1

.KMITL FILECENTERAD JOB:01660 IPCS SCREEN[===]



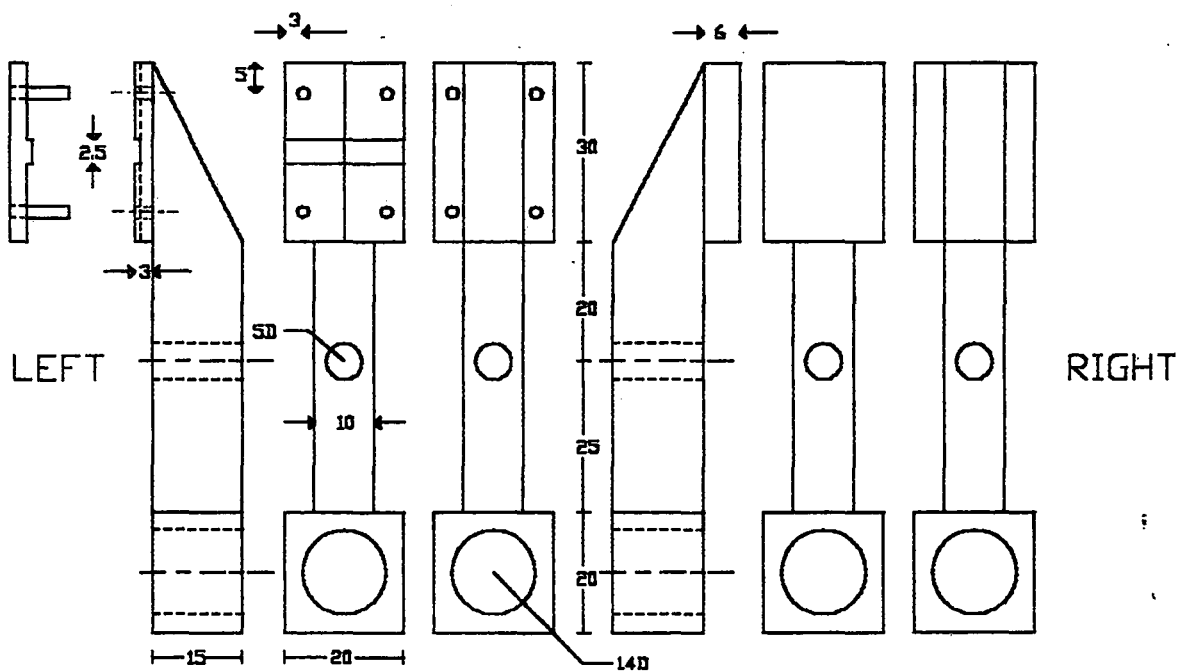
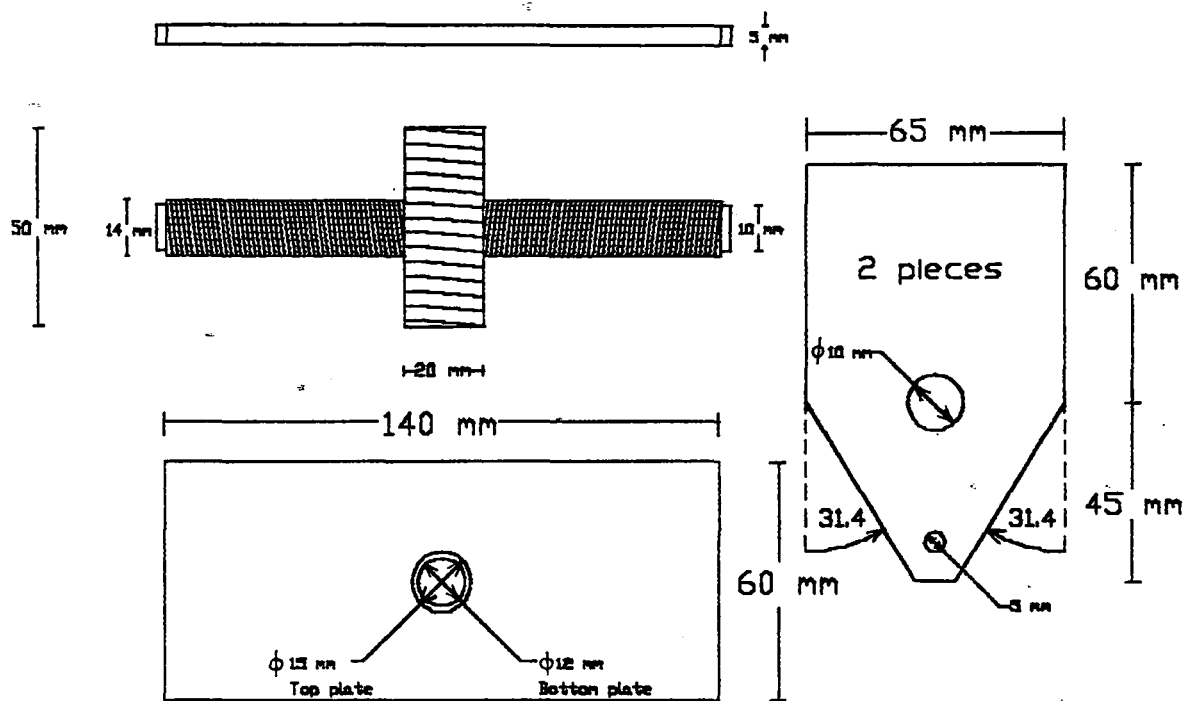
แสดงวงจรส่วนควบคุมการทำงาน ส่วนของวงจรแปลงค่าอนาลอกเป็นดิจิตอล ส่วน
ของวงจรขยายที่รับจากตัวตรวจวัดแสง และส่วนของวงจรขับเลเซอร์ไดโอด (Bottom Layer)



*КНИЛГ ЛІГЕСЕНІЕВУД 70901000 ТБС2 ЗСВБЕН(==1

แสดงลายวงจรเดิมแต่เป็นด้าน Top Layer โดยแสดงจุดที่ต้องเชื่อมกัน

ภาคผนวก ค. 1



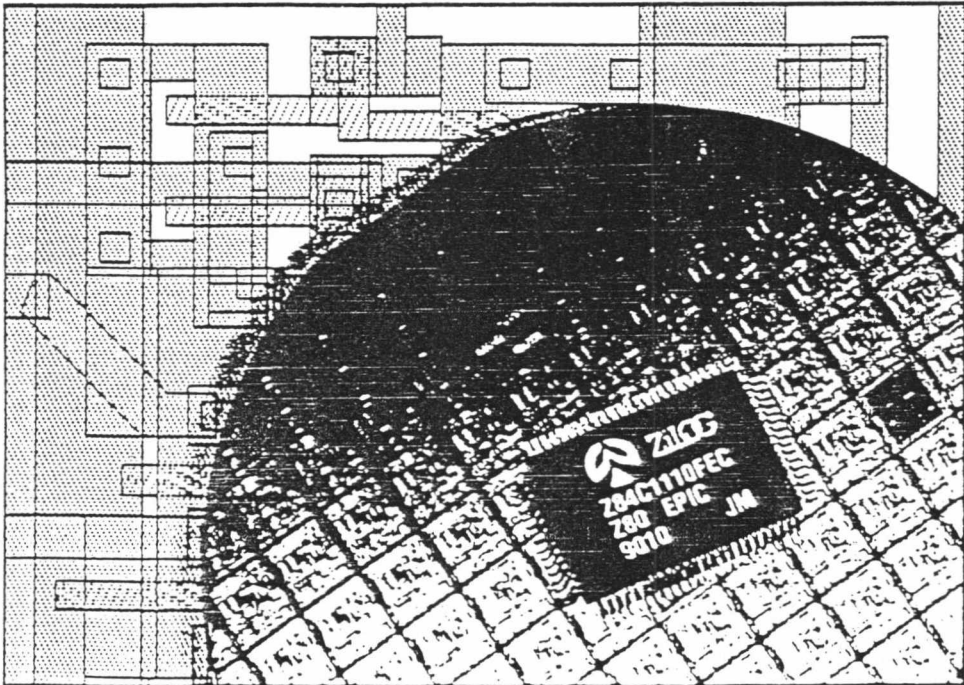
รูปบนแสดงส่วนประกอบของโครงสร้างที่ใส่เพลลา รูปล่างแสดงส่วนประกอบของนิวคิบ

ภาคผนวก ง. 1

CP-Z84C11
PARALLEL I/O CONTROLLER
BY ETT CO.,LTD.

Z84011/C11

PARALLEL I/O CONTROLLER



CP-Z84C11

บทนำ

บอร์ด CP-Z84C11 เป็นบอร์ดที่ใช้ CPU Z84C11 ของบริษัท ZILOG มาเป็น CPU ประจำ บอร์ด RUN ที่ SPEED 10 MHZ CPU Z84C11 นี้ก็คือ CPU ที่รวบรวมเอาชิพวงจรต่างๆของ ZILOG เข้าด้วยกันคือ :-

- Z84C00 เป็น CPU Z80 แบบ CMOS RUN ที่ 10 MHZ
- Z84C30 เป็น Z80 CTC แบบ CMOS RUN ที่ 10 MHZ
- CGC เป็น CLOCK GENERATOR CONTROL CIRCUIT
- WDT เป็น วงจร WATCH DOG TIMER
- POWER ON RESET เป็น วงจร RESET CPU เมื่อ VOIT VCC ต่ำกว่า 2.2V
- 40 BIT PARALLEL PORT เป็น PORT 8 BIT จำนวน 5 PORT ใช้งาน

(* รายละเอียดของ IC Z84C11 โดยละเอียดจะหาอ่านได้จากคู่มือ ZILOG DATA ของทางบริษัท อีทีที)

จะเห็นว่าบอร์ด CP-Z84C11 ก็คือ บอร์ดที่มี CPU เป็น Z80 พร้อมด้วยวงจรต่างๆเพิ่มเติมเข้ามาเหมาะสำหรับผู้ที่ใช้งาน Z80 ที่ต้องการขีดความสามารถสูงขึ้นอีกประมวลผลได้รวดเร็วขึ้น พร้อมทั้ง บอร์ด CP-Z84C11 นี้ยังสามารถต่อกับอุปกรณ์ต่างๆทั่วไปได้อีก เช่น LCD , PRINTER , KEYBOARD EEPROM

นอกจากนี้บอร์ด CP-Z84C11 ยังสามารถต่อร่วมกับ ET-DEBUGGER Z84C11 ทำให้สามารถพัฒนาแบบ Z84C11 นี้รวมกับเครื่อง PC ผ่านทาง RS232 PORT ได้ โดยสามารถสั่ง RUN , สั่ง RUN SINGLE STEP , ดูค่า REGISTER , LOAD FILE จากเครื่อง PC , หรือทำ ONE LINE ASM , DASM ได้ด้วย

กันยายน 2534

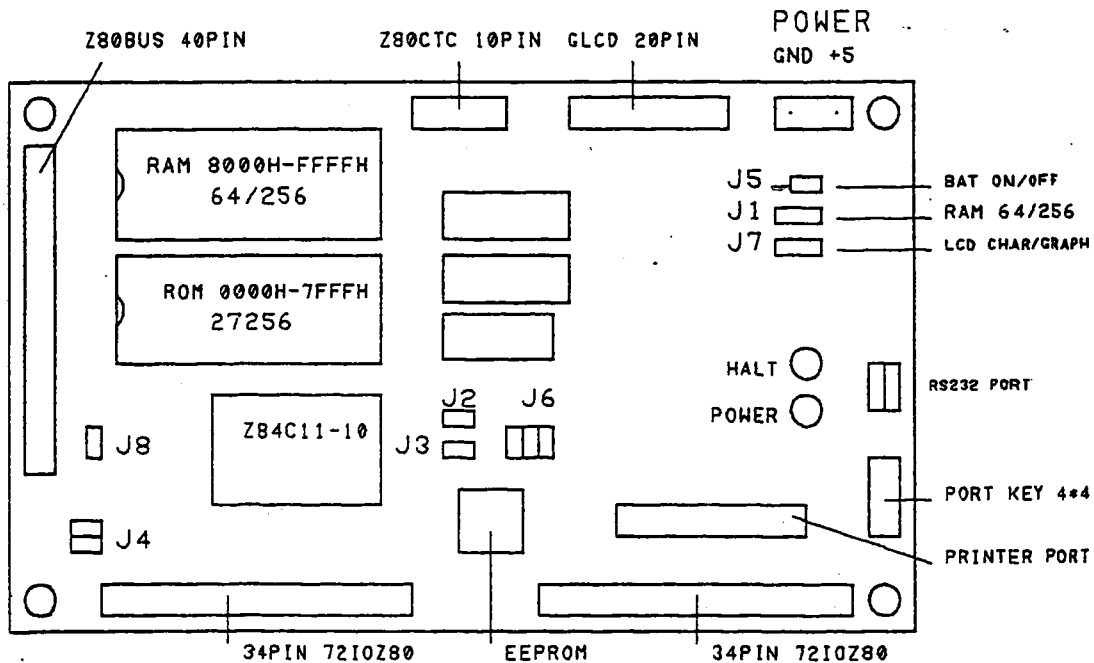
ทีมงาน EIT

ข้อมูลของ BOARD CP-Z84C11

CPU

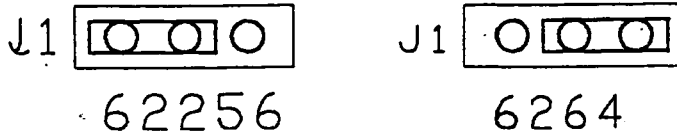
Z84C11 ของบริษัท ZILOG โดยเป็น HIGH SPEED OPERATION โดยมีให้เลือก 2 รุ่น คือ RUN ที่ความถี่ 6 MHz , และที่ RUN 10 MHz ในบอร์ดนี้เราใช้ CPU รุ่น RUN 10 MHz CPU เบอร์ดนี้ของ ZILOG จะเป็นแบบ CMOS ทำให้กินกระแสต่ำมากในขณะที่เรา SET ให้อยู่ใน STOP MODE จะกินกระแสเพียง 50 UA ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของ CPU ตัวนี้ก็คือ ถึงแม้จะ RUN 10 MHz ก็ตาม เราก็สามารถ SET ให้ออกมาเพียงครั้งเดียวก็ได้คือ 5 MHz ในกรณีที่ใช้ RAM หรือ ROM ที่มี ACCESS TIME ต่ำๆ โดยเมื่อ POWER ON แล้ว CPU จะ RUN เพียง 5 MHz เท่านั้นตอนเริ่มต้นและเมื่อเราต้องการ RUN 10 MHz ก็สามารถ SET ได้ด้วยโปรแกรม รูปแบบลักษณะของ CPU จะเป็น PACKAGE แบบ 100 PIN QFP

CP-Z84C11 PARALLEL I/O CONTROLLER



MEMORY

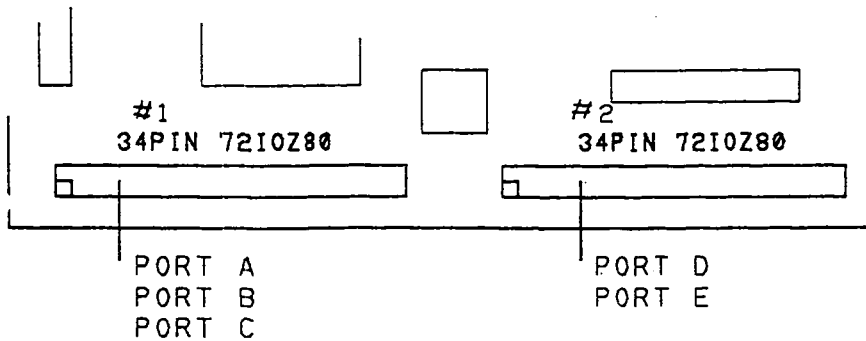
- CP-Z84C11 สามารถใส่หน่วยความจำได้สูงสุด 64 KBYTE โดยแบ่งเป็น
- SOCKET 1 EPROM สามารถใส่ EPROM ขนาด 32 KBYTE ได้โดยเป็นเบอร์ 27256 มีหน่วยความจำเริ่มจาก ADDRESS 0000H ถึง ADDRESS 7FFFH
- SOCKET 2 RAM สามารถใส่ RAM ขนาด 8-32 KBYTE ได้โดยเป็นเบอร์ 6264 หรือ 62256 มีหน่วยความจำเริ่มจาก ADDRESS 8000H ถึง FFFFH โดย SET ตำแหน่ง JUMPER ในการกำหนดเบอร์ไอซี ดังรูป :-



หน่วยความจำ RAM ส่วนนี้เราสามารถต่อ BATTERY 3.6V ใช้ BACKUP ข้อมูลของหน่วยความจำนี้ได้ด้วย

PORT

CP-Z84C11 จะมี PORT ใช้งาน 40 BIT I/O หรือ 5 PORT ด้วยกัน โดย 5 PORT นี้จะเป็น PORT ในตัว CPU โดยจะมีตำแหน่งต่อออกมาดังรูป :-



PORT ที่ต่อออกมานี้จะอยู่เป็น CONNECTOR 34 PIN (7210Z80) สามารถต่อร่วมใช้กับอุปกรณ์เสริมส่วนต่างๆของทาง ฮีทซี ได้มากมาย เช่น ชุด ET-SSRAC , ชุด ET-AD เป็นต้น

CHANNEL	PORT	ADDRESS	PORT
PORT A	DATA PORT	50	H
PORT B	DATA PORT	51	H
PORT C	DATA PORT	52	H
PORT D	DATA PORT	30	H
PORT E	DATA PORT	40	H

CHANNEL	CONTROL PORT	ADDRESS	PORT
PORT A	DATA DIRECTION REGISTER	54	H
PORT B	DATA DIRECTION REGISTER	55	H
PORT C	DATA DIRECTION REGISTER	56	H
PORT D	DATA DIRECTION REGISTER	34	H
PORT E	DATA DIRECTION REGISTER	44	H

เราสามารถสั่งให้ PORT ของ Z84C11 เป็น INPUT หรือ OUTPUT ได้โดยอิสระ BIT ต่อ BIT โดยถ้าเรา SET ค่าออกที่ PORT DATA DIRECTION REGISTER ถ้าให้ BIT ใดเป็น " 1 " ก็คือให้ PORT DATA ของ BIT นั้นๆเป็น OUTPUT PORT (ถ้า SET PORT นั้นเป็น OUTPUT PORT : ค่าเริ่มต้นจะเป็นศูนย์) และถ้าเราต้องการให้เป็น INPUT PORT ก็ SET ค่าออกที่ PORT DATA DIRECTION REGISTER เป็นค่า " 0 "

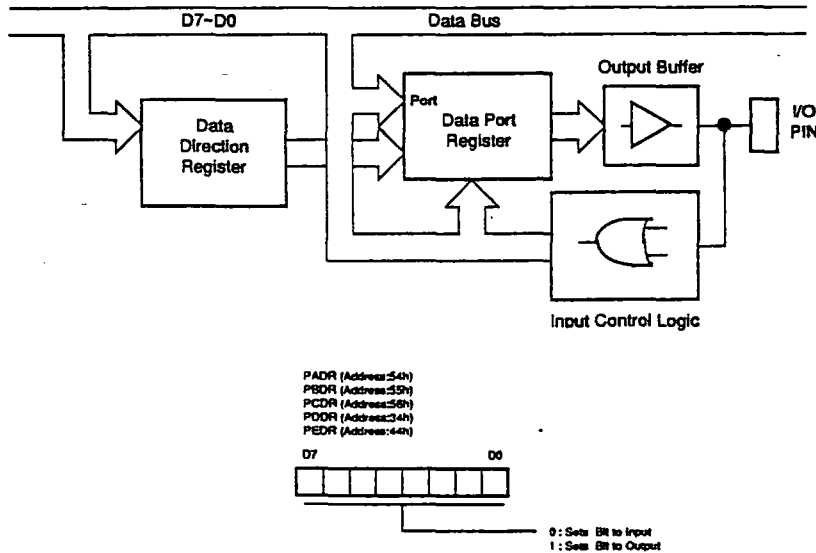
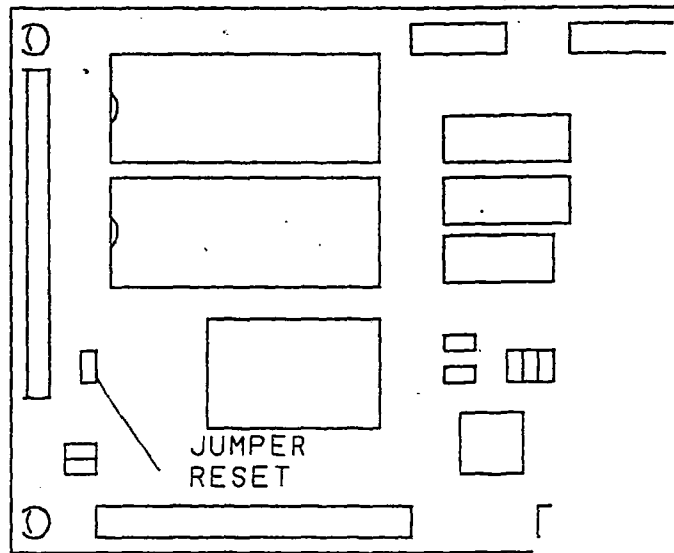
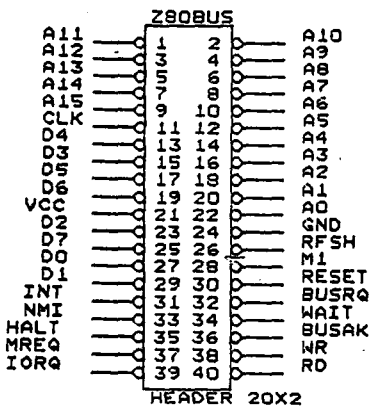


Figure 10. Port Direction Register

Z80 BUS

CP-Z84C11 จะมีส่วนขยายระบบได้ทาง Z80 BUS โดยมีลักษณะขาเหมือนกับ CPU Z80 40 PIN ทำให้เราสามารถต่อขยายบอร์ดได้เช่น ต่อขยาย PORT 8255 ได้อีกโดยใช้ บอร์ด 72IOZ80 เป็นต้น มีข้อพิเศษคือเนื่องจาก CPU Z84C11 นี้มีส่วนวงจร POWER ON RESET ในตัวอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องใช้วงจร POWER ON RESET ต่อจากภายนอก เช่น CPU เบอร์อื่นๆ ฉะนั้นถ้าเราไปต่อร่วมกับ Z80 BUS อื่นๆที่มี R, C ต่ออยู่แล้วอาจจะทำให้ CPU Z84C11 นี้อยู่ในสภาพ RESET ตลอดเวลาได้ บอร์ด CP-Z84C11 จึงมี JUMPER ในการเลือกไม่ให้ต่อ RESET จากภายนอกได้ ดังรูป โดยถ้ามีการต่อ R, C ที่ RESET PIN ภายนอกก็ให้ถอด JUMPER RESET ออก



CTC

CP-Z84C11 จะมีวงจร Z84C30 (Z80 CTC) ต่อร่วมกันอยู่ในตัวเรียบร้อยแล้วโดย บอร์ด CP-Z84C11 จะต่อขาใช้งานของ CTC ออกมาที่ CONNECTOR 10 PIN แล้วดังรูป ส่วนขา INT ของ CTC นั้นจะต่อกับขา INT ของ Z80 ในตัวโดยเป็นแบบ WIRED-OR เรียบร้อยในตัวแล้ว รายละเอียดของ CTC ในบอร์ดนี้จะเหมือนกับ Z80 CTC ทั่วไป

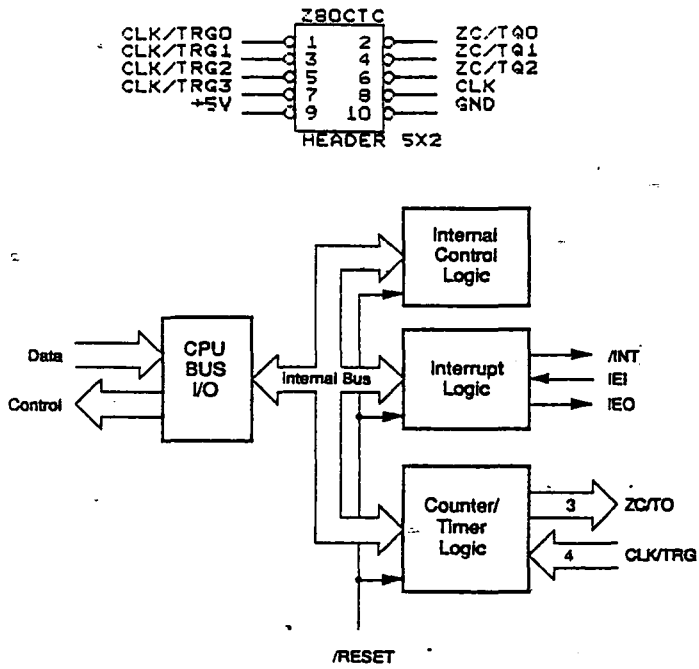


Figure 3. CTC Block Diagram

CHANNEL	CTC ADDRESS PORT	
	ADDRESS	PORT
CH 0	10 H	
CH 1	11 H	
CH 2	12 H	
CH 3	13 H	

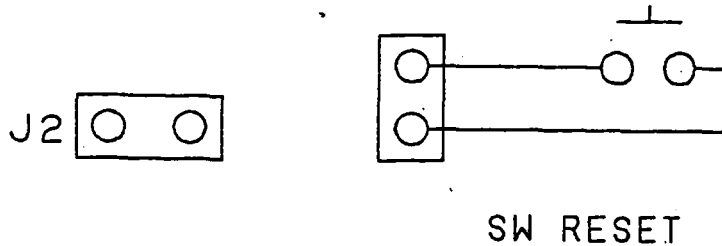
MS1 , MS2 (J4)

MS1 , MS2 จะเป็นขา INPUT ของ CPU Z84C11 โดยเป็นการ SET ให้ CPU ถ้าวอยู่
ในคำสั่ง HALT แล้วจะให้อยู่ในสภาพใด (RUN , IDLE1 , IDLE2 , STOP)

MS1	MS2	HALT STATE
1	1	RUN MODE
0	0	IDLE1 MODE
0	1	IDLE2 MODE
1	0	STOP MODE

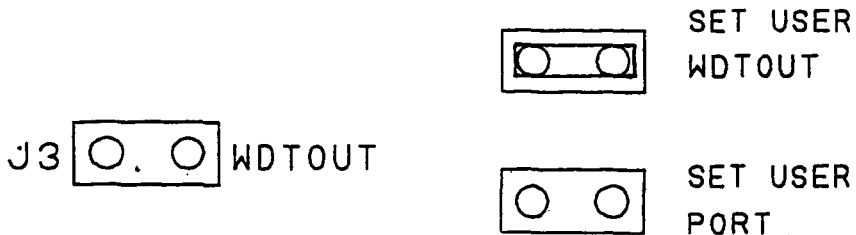
RESET (J2)

เป็น INPUT ต่อเข้ากับขา RESET CPU Z84C11 ห้ามต่อกับวงจรประเภท R , C RESET

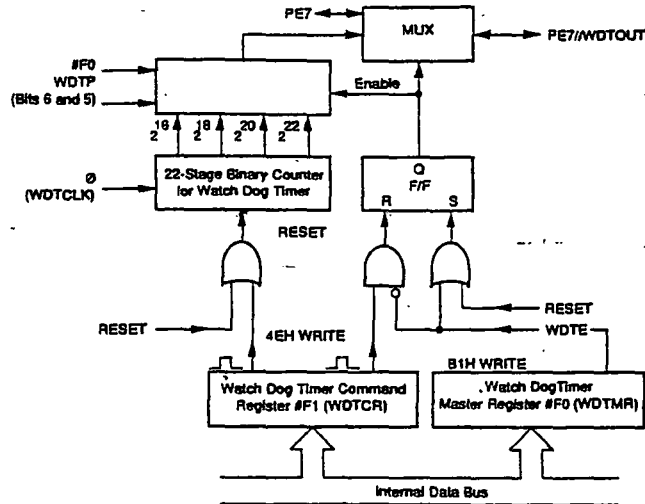


WDTOUT (J3)

เป็น PIN จาก PORT PE BIT 7 ซึ่งทำหน้าที่ 2 อย่างคือเป็น DATA PORT ที่ว่าไปแล้ว
ก็ยังเป็น WATCH DOG TIMER OUTPUT ด้วย โดยจะเป็น ODEN-DRAIN I/O เมื่อถูก SET ให้เป็น
WDTOUT โดย PIN นี้จะถูกต้องโดยตรงเข้ากับ PIN RESET ของ CPU โดยปกติถ้าเราไม่มีการ SET
WDTOUT แล้วให้ถอด JUMPER ออกห้ามต่อถ้าไม่มีการใช้ WDTOUT เพราะเมื่อเราใช้ PORT PE 7 จะ
ทำให้ CPU ถูก RESET ตามคำสั่ง OUT PORT PE 7 นั้นด้วย



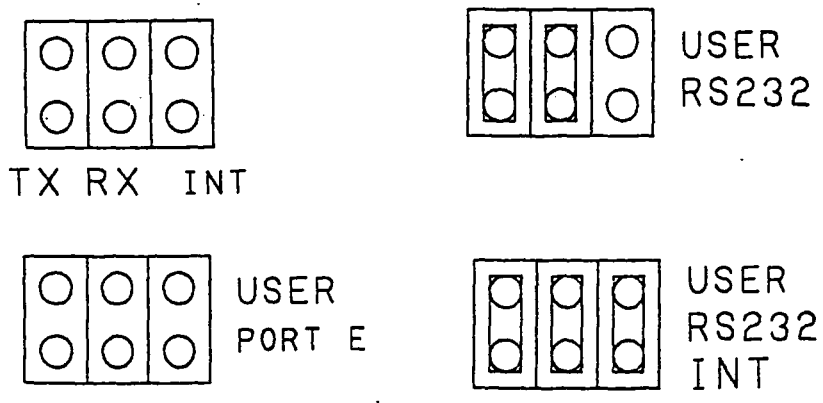
(* WATCH DOG เป็นลักษณะวงจรที่จะทำการ RESET CPU อยู่เสมอตามค่าเวลาที่เรากำหนด ซึ่งถ้าเราไม่ทำการ DISABLE WATCH DOG ภายในเวลาที่กำหนด CPU นี้ก็จะถูก RESET เช่นในโปรแกรมทำงานปกติเราจะ CALL DISABLE WATCH DOG อยู่เสมอ แต่ถ้า CPU กำลัง RUN อยู่ก็เกิดมีสัญญาณรบกวนขึ้น ทำให้ไม่อาจสามารถมา RUN โปรแกรมปกติที่ทำการเรียกใช้โปรแกรม CALL DISABLE WATCH DOG ได้ CPU ก็จะเกิดการ RESET ขึ้นทันทีเพื่อให้กลับไปเริ่ม RUN ใหม่อีก)



TX , RX , INT (J6)

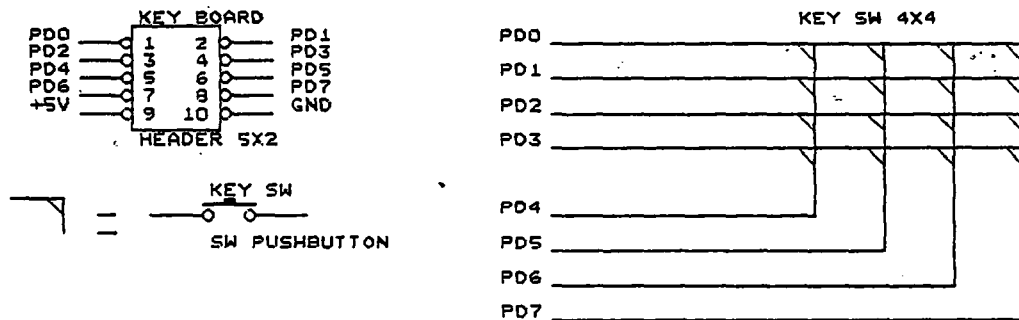
Figure 5. Watch Dog Timer Block Diagram

เป็น CONNECTOR 6 PIN ที่ต่อจากวงจร RS-232 ที่ใช้เปลี่ยนระดับสัญญาณต่อเข้า PORT PE 6 , PE 5 , และเข้าขา INT ของ Z84C11 โดยถ้าเราไม่ใช้ PORT RS-232 ก็ใช้ถอด JUMPER ออก เพื่อจะให้ PE 6 , PE 5 ได้อย่างอิสระ และอีกส่วนหนึ่งคือ JUMPER ของ INT นั้นเราสามารถ SET ให้ PORT RS-232 รับข้อมูลในรูปแบบของขบวนการ INTERRUPT เช่นเดียวกับการ INTERRUPT จาก RS-232 PORT ได้



KEYBOARD

เป็น CONNECTOR ขนาด 10 PIN ต่อจาก PORT PD โดยมี R-PULL-UP 10K ต่ออยู่ด้วย โดย CONNECTOR 10 PIN นี้จะสามารถต่อเป็นรูปแบบ KEY ขนาด 4X4 คือ 16 KEY โดยเขียนโปรแกรม SCAN KEY ขึ้นหรือจะนำไปใช้เป็น PORT อื่นๆในงานอื่นก็ได้



BAT ON/OFF (J5)

เป็น CONNECTOR 2 PIN โดยเราใช้ JUMPER ในการ ปิด , เปิดไฟจาก BATTERY 3.6V ถ้ามีการต่อใช้งาน BATTERY

64 , 256 (J6)

เป็น CONNECTOR 3 PIN ใช้ JUM เลือกว่าหน่วยความจำ RAM ของเราจะใช้หน่วยความจำไอซีเบอร์อะไร 6264 (8 KBYTE) หรือ 62256 (32 KBYTE)

LCD J7

เป็น CONNECTOR 3 PIN ใช้เลือกว่าเราจะต่อ LCD MODULE ประเภทใดคือ LCD MODULE แบบตัวอักษรหรือ LCD MODULE แบบ GRAPHIC



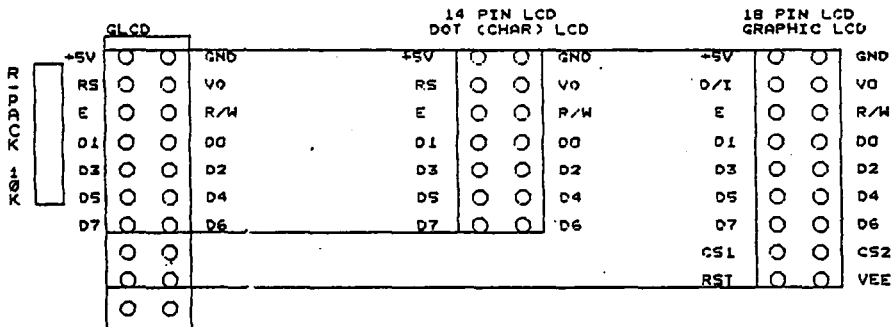
LCD GRAPHIC



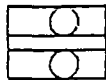
LCD DOT

GLCD

เป็น CONNECTOR ขนาด 20 PIN โดยสามารถต่อ LCD ได้ 2 แบบคือ DOT TYPE หรือ GRAPHIC TYPE โดยเราเลือกต่อได้ถ้าเป็น DOT TYPE คือ ตัวอักษรก็จะใช้ 14 PIN ต่อได้ ดังรูป หรือถ้าจะเลือกต่อแบบ GRAPHIC TYPE ก็จะต่อใช้งาน 18 PIN



CP-Z84C11



POWER



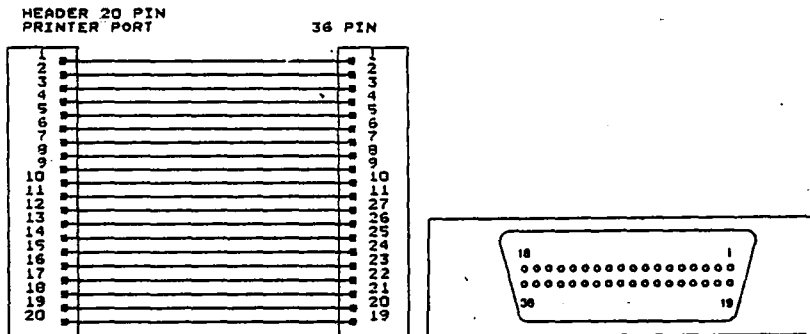
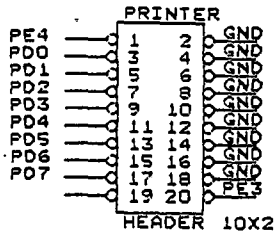
VR10K

เราสามารถปรับความคมชัดของ LCD ได้ด้วยการต่อ VR 10 K เข้าในบอร์ดหรือถ้าต้องการให้ชัดสุดก็ จะต่อ JUM VR ตามรูปเลขก็ได้ (BOARD CP-Z84C11 จะไม่ต่อ VR 10 K ให้)

LCD ADDRESS PORT	
CHANNEL PORT	ADDRESS PORT
WRITE DATA INSTRUCTION	80 H
WRITE DATA TO CG OR DD RAM	82 H
READ BUSY FLAG AND ADDRESS	84 H

PRINTER PORT

เป็น CONNECTOR 20 PIN ใช้ต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์ แบบ CENTRONICS ธรรมดาที่วาง
 ไม่ได้ โดย PRINTER PORT นี้จะต่อจาก PORT PE 3-4 และ PORT PD 0-8

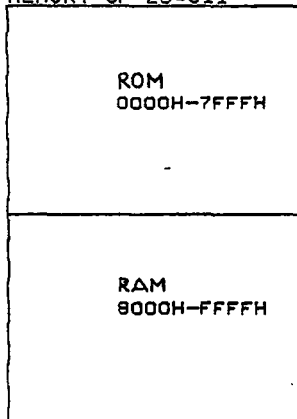


PRINTER ADDRESS PORT		
CHANNEL		ADDRESS PORT
DATA	(PD 0-8)	30 H
STB	(PE 4)	40 H (BIT 4)
BUSY	(PE 3)	40 H (BIT 3)

MEMORY MAP ADDRESS

CP-Z84C11 จัด MEMORY ออกเป็น 2 ส่วน คือ

MEMORY CP-Z84C11



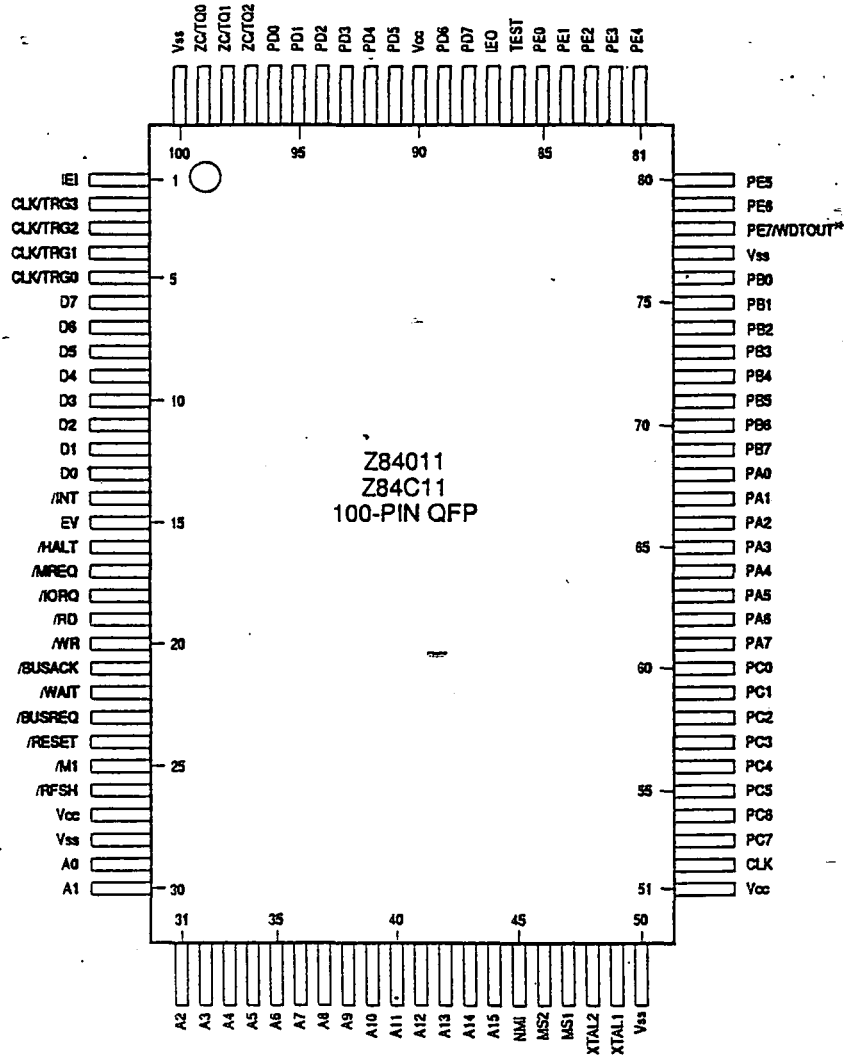
I/O PORT CP-Z84C11

CTC CH0	10H
CTC CH1	11H
CTC CH2	12H
CTC CH3	13H
PORT D DATA	30H
PORT D DIR	34H
PORT E DATA	40H
PORT E DIR	44H
PORT A DATA	50H
PORT B DATA	51H
PORT C DATA	52H
PORT A DIR	54H
PORT B DIR	55H
PORT C DIR	56H
PORT LCD	80H-9FH
SCRIP	EEH
WCR, MWR	EFH
WDMR	FOH
WDTCR	FIH

SPECIFICATION

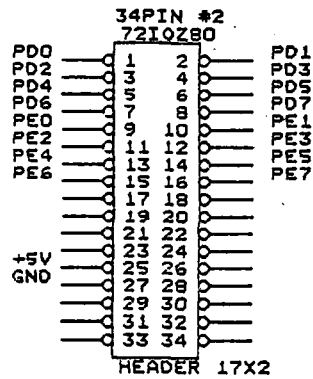
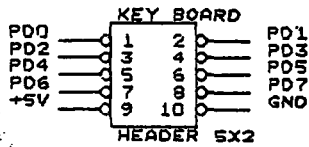
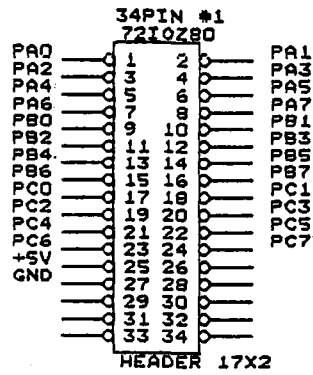
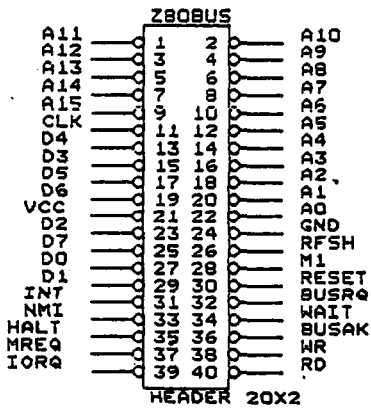
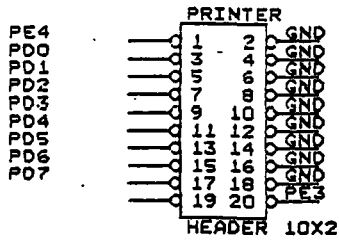
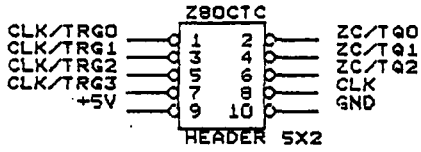
CPU : ZILOG Z84C11-10 CMOS TYPE
MEMORY : 27256 (32 KBYTE)
: 6264 / 62256 (32 KBYTE)
EEPROM : 93C46 (1 KBIT)
PORT : PA , PB , PC , PD , PE I/O PORT 40 BIT
PRINTER PORT : 1 PORT
SERIAL PORT : 1 CHANNEL RS232
LCD PORT : 1 LCD MODULE (DOT OR GRAPHI)
KEYBOARD : 1 PORT (8 BIT)
CTC PORT : 4 CHANNEL COUNTER TIMER CONTROLLER (Z80 CTC)
CLOCK RATE : 10 MHZ
POWER SUPPLY : COMSUMPTION 5V DC & TERMINAL 5V DC
CONNECTOR : 1 40 PIN EXPANSION HEADER-STRIP (Z80BUS)
: 2 34 PIN EXPANSION HEADER-STRIP (72IOZ80 ETT)
: 1 20 PIN EXPANSION HEADER-STRIP (PRINTER PORT)
: 1 20 PIN EXPANSION HEADER-STRIP (LCD PORT)
: 1 10 PIN EXPANSION HEADER-STRIP (Z80 CTC)
: 1 10 PIN EXPANSION HEADER-STRIP (KEYBOARD)
: 1 4 PIN EXPANSION (RS 232)
: 1 2 PIN JUMPER (WATCH DOG)
: 1 2 PIN JUMPER (RESET SW)
: 1 6 PIN JUMPER (TX , RX , INT)
: 1 4 PIN JUMPER (MS1 , MS2)
: 1 2 PIN JUMPER (ON/OFF BAT)
: 1 3 PIN JUMPER (6264 / 62256)
: 1 3 PIN JUMPER (DOT / GRAPHIC)
: 1 2 PIN JUMPER (RESET 40 PIN Z80 BUS)
LED : 1 POWER RED LED
: 1 HALT GREEN LED
PCB SIZE : 12.2 X 9 CM

รายละเอียดของ IC



* PE7 for Z84011

7188:188817 CONNECTOR



รายการอุปกรณ์ CP-Z84C11

1. CPU Z84C11	1	ตัว	2. RAM 6264	1	ตัว
3. TTL 74LS04	1	ตัว	4. TTL 74LS138	1	ตัว
5. TTL 74LS139	1	ตัว	6. TR BC547	3	ตัว
7. TR BC557	3	ตัว	8. DIODE 1N4148	11	ตัว
9. DIODE 1N4001	1	ตัว	10. DIODE ZENER 5.6V 1W	1	ตัว
11. X'TAL 10 MHZ	1	ตัว	12. LED สีแดงกลม	1	ตัว
13. LED สีเหลืองกลม	1	ตัว	14. C 0.1 UF MUTIL	16	ตัว
15. C 10 UF 16V TAN	2	ตัว	16. C 33 UF 16V	1	ตัว
17. C 22 PF 50V	2	ตัว	18. R PACK 10K 9 ๒๖	2	ตัว
19. R PACK 10K 5 ๒๖	1	ตัว	20. L 100 UH	4	ตัว
21. MINI SW.	1	ตัว	22. CONNECTOR 4 PIN ตัวผู้	1	ตัว
23. เทอร์มินอล 2 PIN	1	ตัว	24. JUMPER 2 PIN	10	ตัว
25. SOCKET 28 PIN	2	ตัว	26. SOCKET 16 PIN	2	ตัว
27. SOCKET 14 PIN	1	ตัว	28. SOCKET 8 PIN	1	ตัว
29. PCB CP-Z84C11	1	แผ่น	30. คู่มือ CP-84C11	1	เล่ม

R 1/4W + 5%

1. 220	1	ตัว
2. 560	2	ตัว
3. 1K	2	ตัว
4. 4.7K	6	ตัว
5. 10K	7	ตัว
6. 33K	1	ตัว
7. 51K	1	ตัว
8. 100K	1	ตัว

HEADER CONNECTOR

1. 40 PIN	1	ตัว
2. 34 PIN	2	ตัว
3. 20 PIN	2	ตัว
4. 10 PIN	2	ตัว
5. 6 PIN	1	ตัว
6. 4 PIN	1	ตัว
7. 2 PIN	2	ตัว

ภาคผนวก ง. 2

Data Library

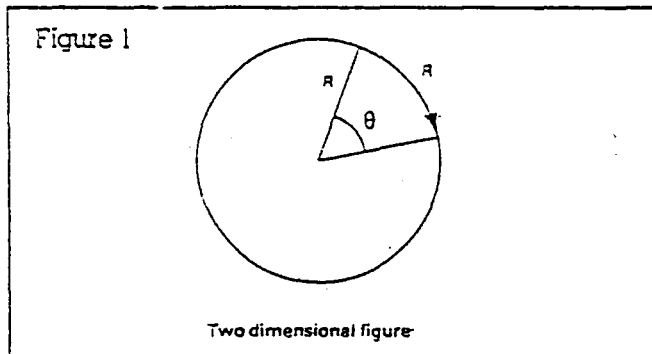
Basics of photometry

This is a brief introduction to the basics of photometry. To be able to understand this subject better a brief review of geometric principles utilised is required.

Geometric principles

Radian

In plane geometry the angle whose arc is equal to the radius generating it is called a radian. Therefore, if $C = 2\pi R$ (Circumference of a circle) $2\pi R = 360^\circ$. Radian = $180^\circ/\pi = 57.27^\circ$ (approx.).

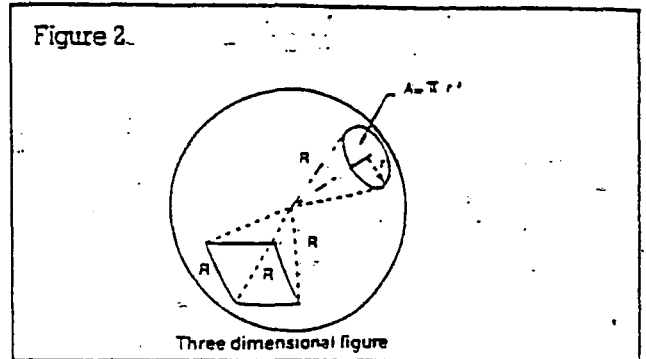


Other abbreviations used.

- A_e = Area of emitting (or reflecting) surface.
- A_p = Apparent area of an emitting source whose image is projected in space and viewed at some angle, θ .
- A_d = Detection area. Whether a physical target or merely a defined spatial area, it is the area of interest.

Steradian

In solid geometry one steradian is the solid angle subtended at the centre of a sphere by a portion of the surface area equal to the square of the radius of the sphere. Therefore, if $AREA/R^2 = 1 = 1$ steradian and the area on the surface of a sphere equals $4\pi R^2$, then $4\pi R^2/R^2$ or 4π steradians of solid angle ω about the centre of a sphere. The steradian is usually abbreviated as **STER**.



Photometric Terminology

Flux (Symbol F)

Any radiation, whether visible or otherwise, can be expressed by a number of **FLUX LINES** about the source, the number being proportional to the intensity of that source. This **LUMINOUS flux** is expressed in **LUMENS** for visible radiation.

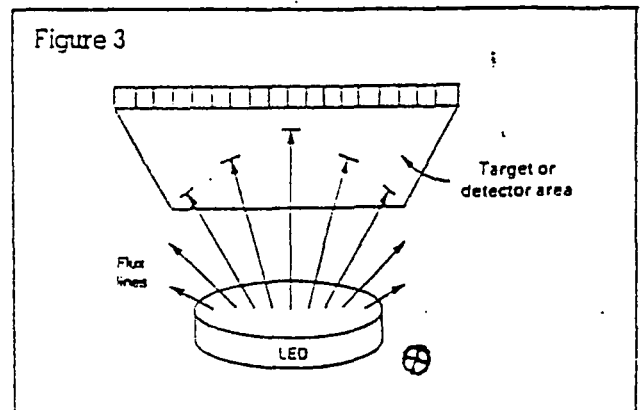
Luminous emittance (Symbol L)

A source measurement parameter. It is defined as the ratio of the luminous flux emitted from a source to the area of that source, or $L = F/A_e$. Typically expressed in units of:

- lumens/cm² or one **PHOT**.
- lumens/m² or one **LUX** (or one **METRE CANDLE**),
- lumens/ft² or one **FOOT CANDLE**.

Illuminance (Symbol E)

This is a target or detector area measurement parameter. It is the ratio of flux lines incident on a surface to the area of that surface or $E = F/A_d$. Typical measurement units are the same for **LUMINOUS EMITTANCE** i.e. lumen/cm² = one **PHOT**, lumen/m² = one **LUX**, and lumen/ft² = one **ft candle**.



ous intensity (Symbol I)
 atial flux density concept. It is the ratio of luminous
 of a source to the solid angle subtended by the
 detected area and that source. The LUMINOUS IN-
 TENSITY of a source assumes that source to be point
 rather than an area dimension. The LUMINOUS IN-
 TENSITY (or CANDLE POWER) of a source is mea-
 sured in LUMENS/STERADIAN which is equal to one
 CANDELA (or loosely, one CANDLE).

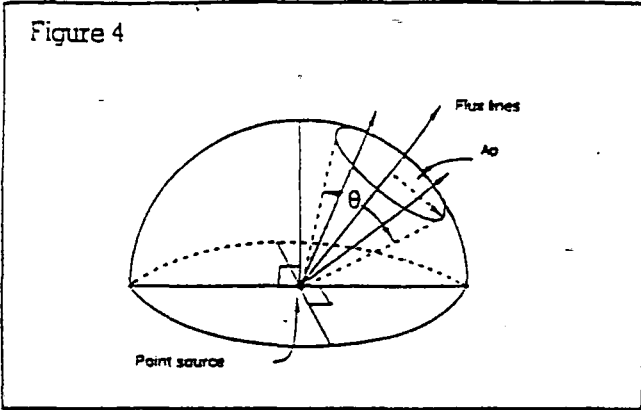
$$\frac{\text{LUMINOUS INTENSITY}}{A_p} = \frac{\text{LUMENS}}{\text{STERADIAN}} = \frac{\text{CANDELAS}}{A_e \cos \theta} \quad (\text{Sq. Unit})$$

And depending on the units used for area:

- 1 CANDELA/cm² = 1 STILB
- 1 CANDELA/m² = 1 NIT
- 1 CANDELA/in² = } no designator available.
- 1 CANDELA/ft² = }

Also:

- 1/π candela/cm² = LAMBERT
- 1/π candela/m² = APOSTILB (or BLONDEL)
- 1/π candela/in² = no designator available
- 1/π candela/ft² = FOOT LAMBERT



CIE curve

Photometric quantities are related to the corresponding radiometric quantities by the CIE Standard Luminosity Function which is often called the 'standard eyeball'.

The eye responds to the rate at which radiant energy falls on the retina, i.e., on the radiant flux density expressed as Watts/m². The corresponding photometric quantity is Lumens/m². The standard luminosity function is then, a plot of Lumens/Watt as a function of wavelength.

The function has a maximum value of 680 Lumens/Watt at 555nm and the 1/2 power points occur at 510nm and 610nm (Figure 6).

Luminance (Symbol B)

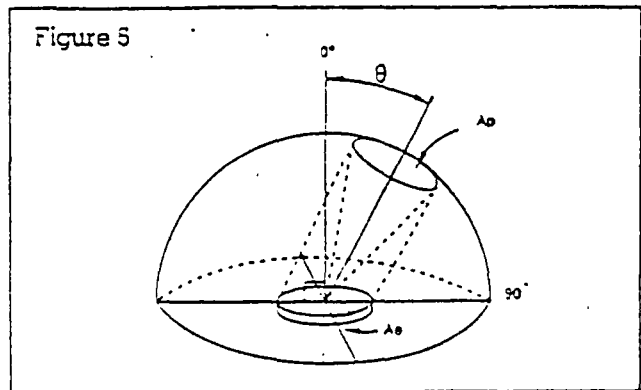
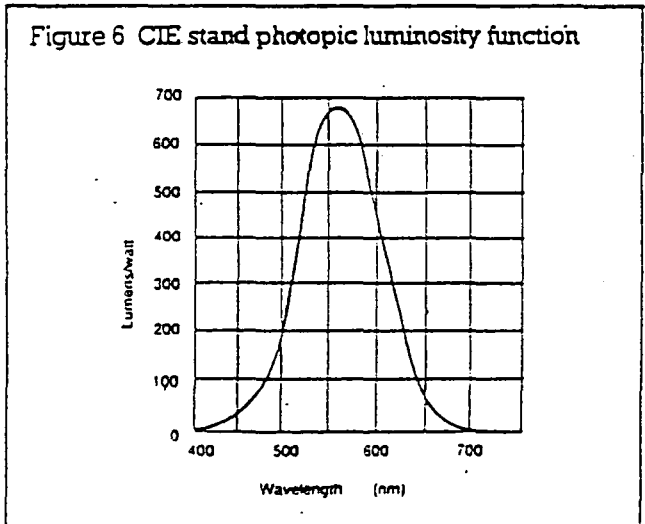
Sometimes called photometric brightness (although the term brightness should not be used alone as it encompasses other physiological factors such as colour, sparkle, texture, etc.) it is applied to sources of appreciable area size. Mathematically, if the area of an emitter (circular for example) has a diameter or diagonal dimension greater than 0.1 the distance to the detector, it can be considered as an area source. If less than this 10% figure, the source can be treated as point in nature. This one to ten ratio of source diameter to distance is offered as it MATHEMATICALLY very closely approximates results obtained when comparing an area source to its point equivalent. LUMINANCE presents itself as an extremely useful parameter as it applies a figure of merit to:

1. Apparent or projected area of the source (A_p).
2. Amount of luminous flux contained within the projected area of the source (A_p).
3. Solid angle the projected area generates with respect to the centre of the source.

Note. The projected area A_p varies directly as the cosine of θ i.e. max. at 0° or normal to the surface and minimum at 90°

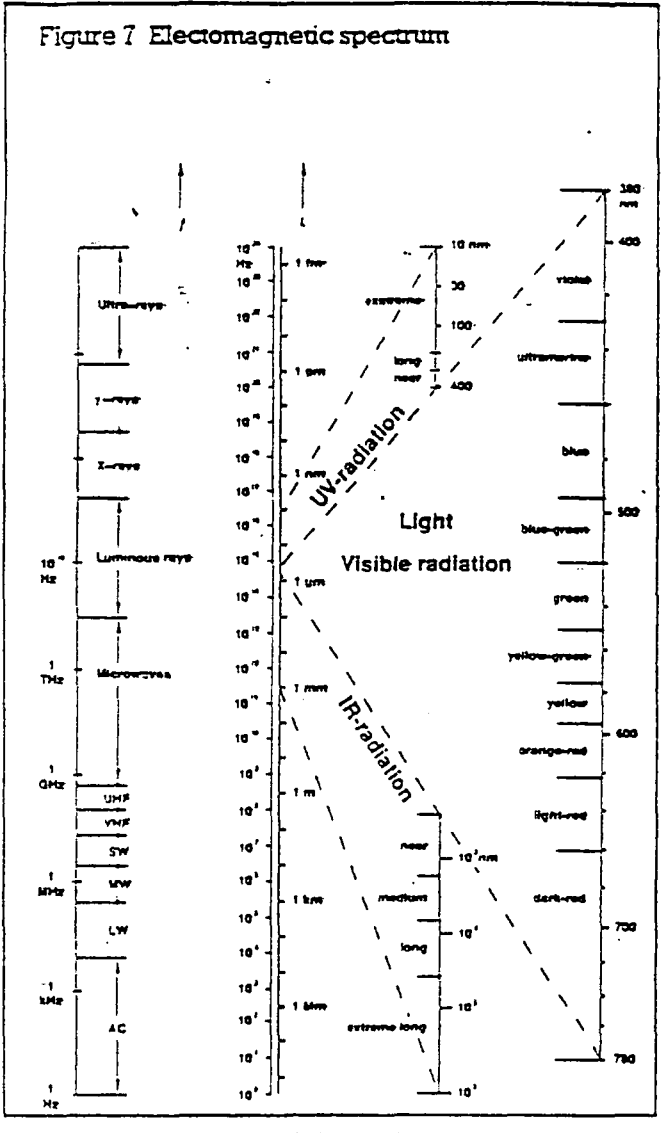
$$A_p = A_e \cos \theta$$

LUMINANCE is defined as the ratio of LUMINOUS INTENSITY to the projected area of the source A_p.



Electromagnetic radiation spectrum

The following range of discrete opto devices is described, each of which may be used in a variety of sensing applications.



Product	RS stock no.
General purpose photodiode	305-462
BPX 65 high speed photodiode	304-346
BPW21 photodiode	303-719
Quadrant silicon photodiode	652-027
15mm ² silicon photodiode	194-076
Medium area photodiode	651-995
Large area photodiode	303-674
Integral amplifier 5mm ²	308-067
Integral amplifier 100mm ²	590-963
5.8mm ² UV photodiode	564-021
33.6mm ² UV photodiode	564-037
100mm ² UV photodiode	564-043
16 element linear array	194-060

General purpose photodiode (RS stock no. 305-462)

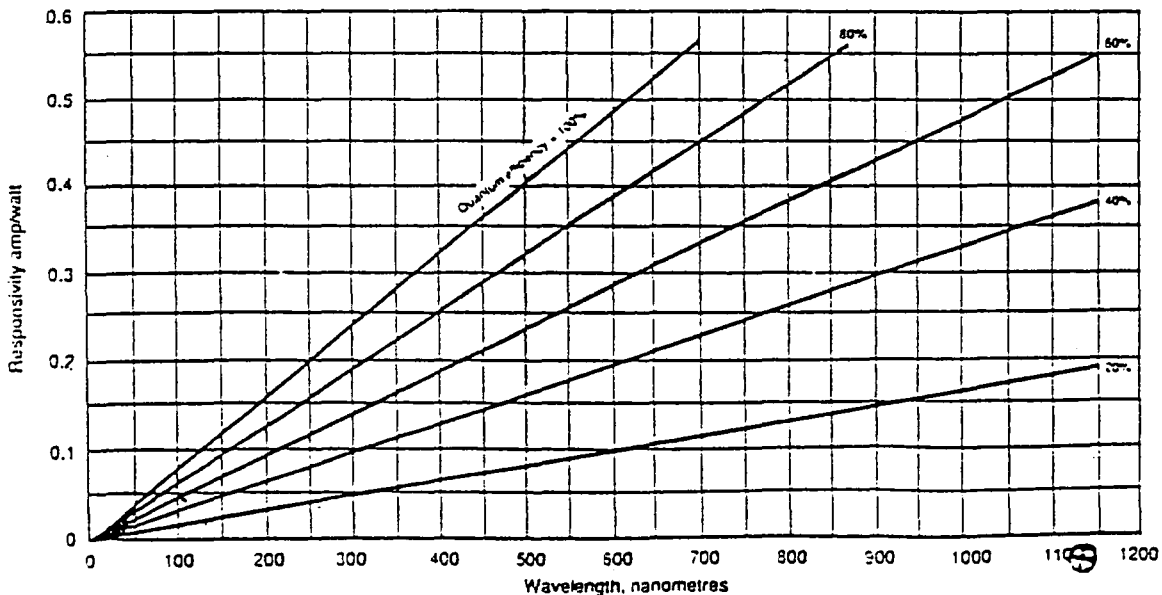
A planar diffused photodiode in a 2-lead TO-18 can with glass window. A very linear output of current versus light level can be obtained over a wide range of inputs. Light falling on the diode induces current in the diode, thus when the device is reversed biased thereby conducting very low leakage currents, it behaves as a current source controlled by the incident illumination.

Absolute maximum ratings

at +25°C (unless stated)

- Reverse voltage V_R _____ +80V
- Forward current I_F _____ 100mA
- Operating temperature range _____ 0°C to +70°C
- Storage temperature range _____ -55°C to +125°C
- Power dissipation P_d _____ 200mW

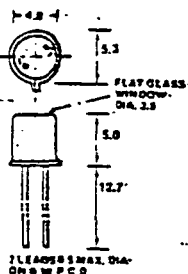
Figure 8 Typical quantum efficiency curves



Pin connections and case dimensions



Case is connected to Pin 2.
 Chip placement accuracy ± 0.25 mm of can centre.
 Nominal photosensitive area 850 mils (nearsquare)*:



*Note: 850 mils ≈ 0.7 mm \times 0.7 mm.

Electrical characteristics (at $+22^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ unless otherwise stated)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test conditions
$V_{(BR)}$	Breakdown voltage	50			V	Dark rev. current $10\mu\text{A}$
I_D	Dark current		1.4	14	nA	Dark rev. bias 20V
R_s	Responsivity	0.35	0.7	1.4	$\mu\text{A}/\text{mW}/\text{cm}^2$	Zero bias; $400\mu\text{W}/\text{cm}^2$
C	Capacitance		12		pF	Dark rev. bias 10V
t_R	Response time		250		ns	10-90% levels
-	Temp. coeff. of responsivity		0.35		% per $^\circ\text{C}$	0°C to $+70^\circ\text{C}$
-	Temp. coeff. of dark current		$\times 2$		per 10°C rise	0°C to $+70^\circ\text{C}$

Typical performance curves

Figure 9 Photo current vs. irradiation

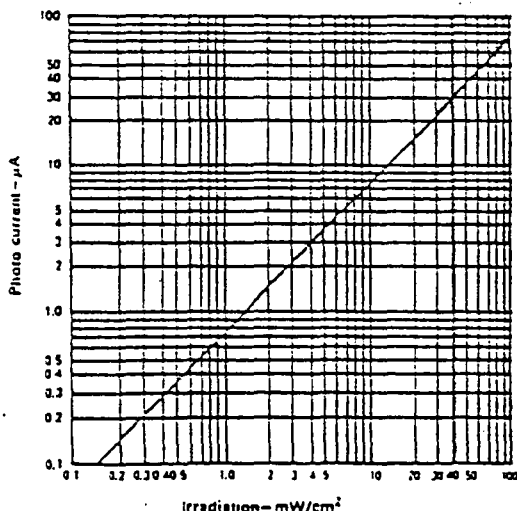


Figure 10 Open circuit voltage vs. irradiation

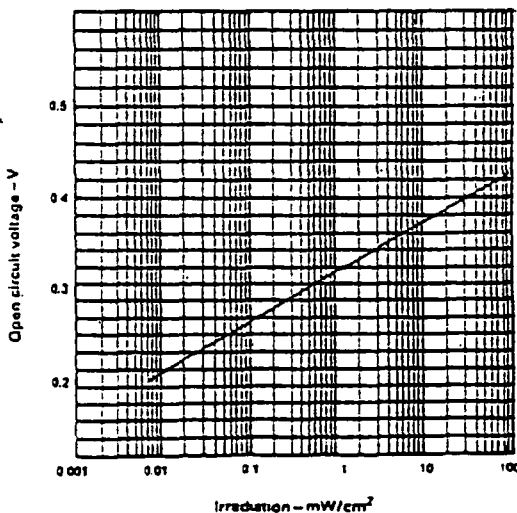


Figure 11 Normalised capacitance vs. bias voltage

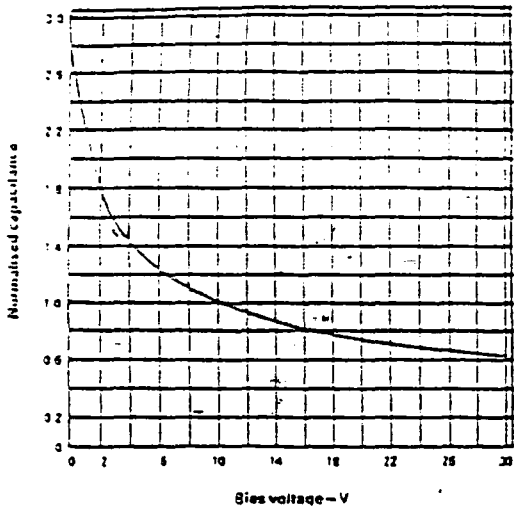


Figure 12 Photo current vs. bias voltage

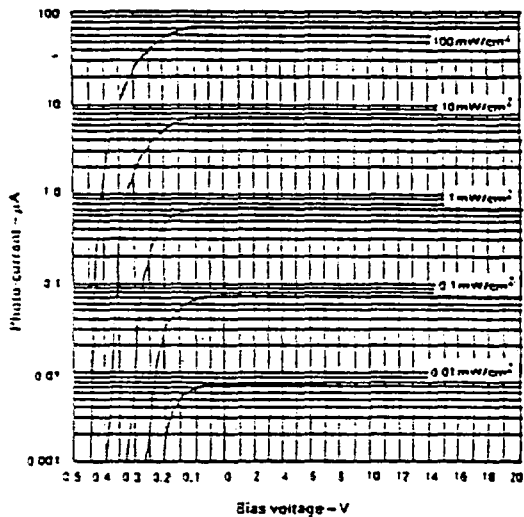
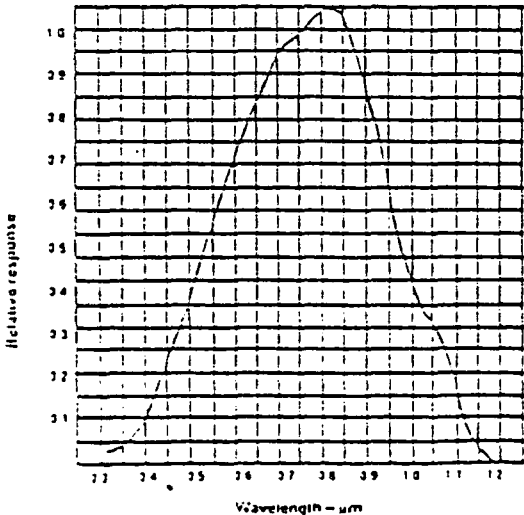


Figure 13 Normalised spectral response



Typical applications

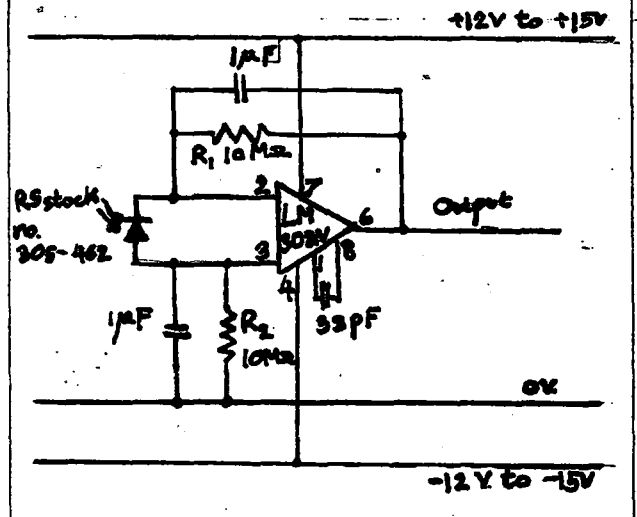
Analogue light level sensor - direct reading

Low input bias current op amps such as LM 308 or FET input types can be used to give steady dc indication of light levels as is necessary for photometric applications, photo cell measurements, transmission and reflection coefficients, etc.

The values shown give approximately 14V/mW/cm² of irradiation. The value of R1 and R2 may be reduced for less sensitivity but should be kept equal. For values less than 100kΩ, a less sophisticated amplifier may be used, eg. μA741.

The 1000pF capacitors may be increased to reduce ripple from ac lighting or control response time accordingly.

Figure 14 Analogue light level sensor - direct reading



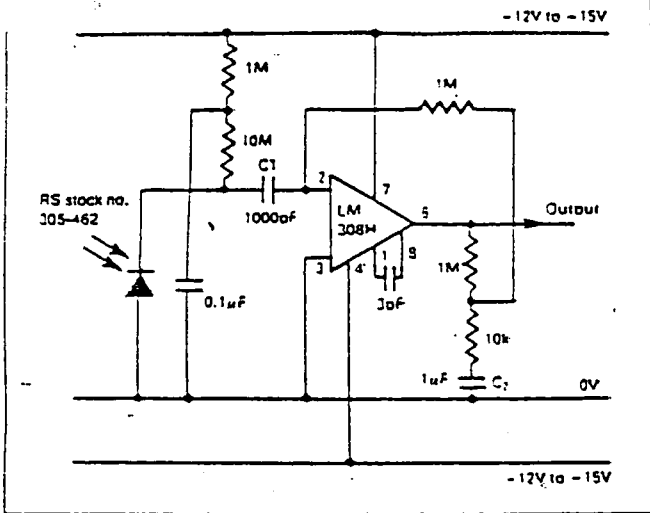
ac coupled analogue sensor for optical communications links

A stage of amplification giving the substantial gain necessary for optical communication links is implemented as shown. An op amp with low input bias currents such as LM 308 or an FET input type is necessary.

The input ac coupling C1 gives a dc isolation of steady ambient conditions, and C2 minimises effects of offset voltages, both such lower break frequencies are below 10Hz.

Upper frequency response is approximately 3kHz and ac sensitivity is 70V/mW/cm². A further amplifier/buffer stage is necessary to drive a headset or loudspeaker.

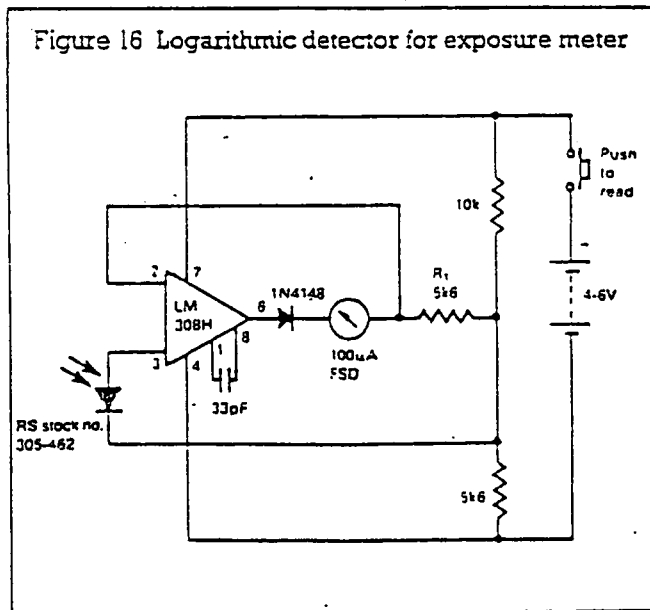
are 15 ac coupled analogue sensor for optical communications links



Logarithmic detector for exposure meter
Feeding the RS stock no. 305-462 into a high impedance gives a logarithmic voltage/illumination response.

The circuit shown is the basis for a simple battery-operated exposure meter. At very low light levels where the amplifier bias current may cause the output to go negative, a diode avoids the spurious state of negative indication.

The movement may be calibrated in photographic scales, one stop being approximately $7\mu\text{A}$. Sensitivity can be trimmed by adjusting R1.



BPX 65 high speed photodiode (RS stock no. 304-346)

The BPX 65 is a planar silicon PIN photodiode housed in a modified TO-18 case incorporating a plain glass flat window which has no influence on the beam path of optical lens systems. The cathode is electrically connected to the case. Because the BPX 65 is capable of detecting wide bandwidth signals due to its excellent high frequency response, this coupled with its high sensitivity makes the device ideal for signal detection applications. This photodiode is outstanding for low junction capacitance and short switching times.

Absolute maximum ratings

at +25°C (unless stated)

Reverse voltage V_R _____ 50V

Forward current I_F _____ 10mA (200mA pulsed 1µs
1% duty cycle)

Operating temperature range _____ -25°C to +70°C

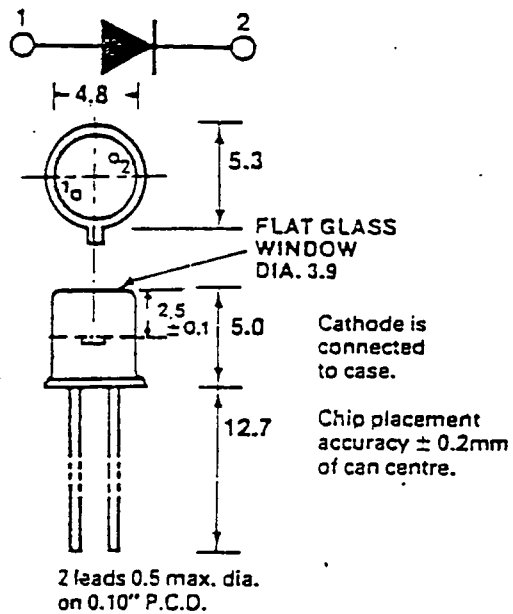
Storage temperature range _____ -55°C to +125°C

Junction temp. T_j _____ +125°C

Power dissipation P_d _____ 250mW

(derate linearly 2.5mW/°C above +25°C)

Shape and dimensions



Electrical characteristics at +25°C (unless stated)

	Parameter	Test conditions	min.	typ.	max.	units
A	Radiant sensitive area			1		mm ²
λ_s max.	Wavelength of max. sensitivity			850		nm
R_p	Responsivity	$\lambda = 450\text{nm}$		0.2		A/W
		$\lambda = 900\text{nm}$		0.55		A/W
		$\lambda = 1064\text{nm}$		0.15		A/W
t_r	Response time (10-90% levels)	$R_L = 50\Omega$; $V_R = 20\text{V}$; $\lambda = 900\text{nm}$		0.5	1	ns
C_2	Capacitance $V_R = 0\text{V}$			15		pF
C_1	$V_R = 1\text{V}$			12		pF
C_{22}	$V_R = 20\text{V}$			3.5		pF
f_c	Cut-off frequency			500		MHz
I_D	Dark current	$V_R = 20\text{V}$, Dark ($E=0$)		1	5	nA
S	Spectral sensitivity	$V_R = 20\text{V}$; see Note 1	7	10		nA/Lx
NEP	Noise equivalent power	$V_R = 20\text{V}$		3.6×10^{-14}		W/ $\sqrt{\text{Hz}}$

Note 1. The illuminance indicated refers to unfiltered radiation of a tungsten filament lamp at a colour temperature of 2855K (standard light A in accordance with DIN 5033 and IEC publ. 306-1).

Typical performance curves

Figure 17 Normalised spectral responses (λ) and quantum yield $\eta(\lambda)$

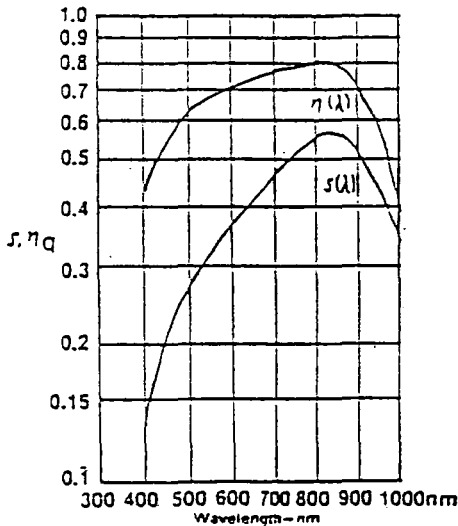


Figure 19 Polar sensitivity curve

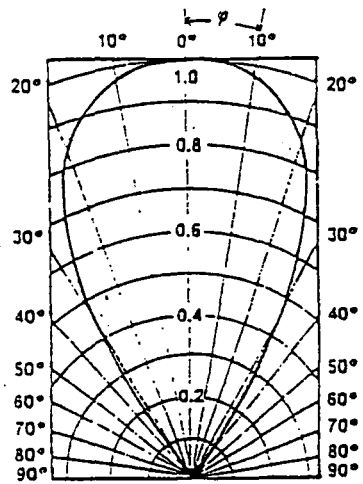


Figure 18 Variation of output current with illumination

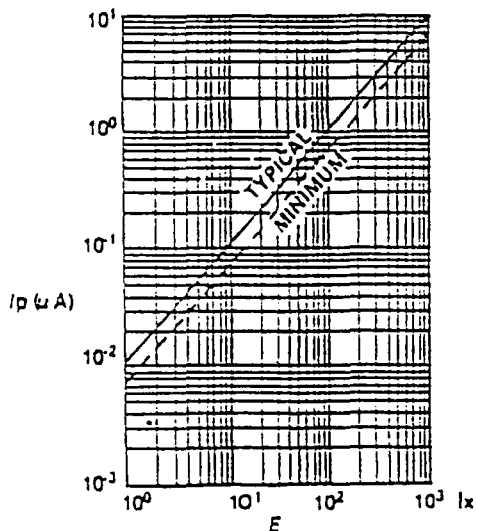
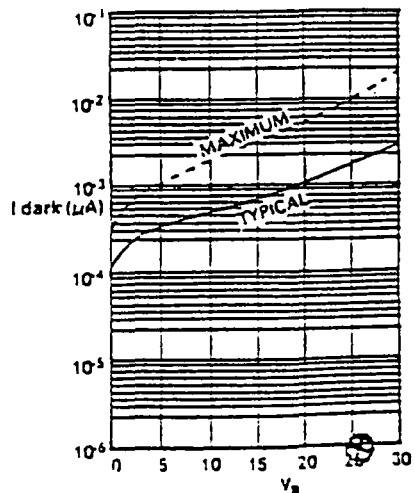


Figure 20 Variation of diode dark current with reverse voltage



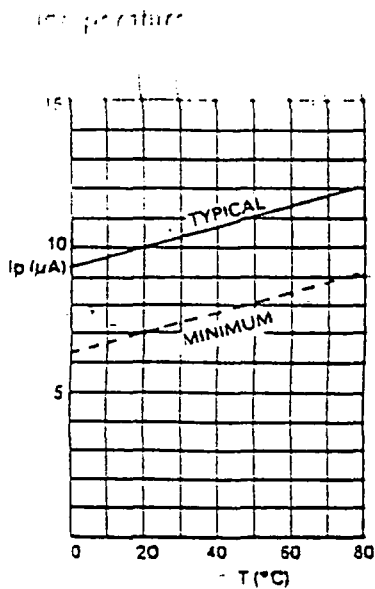


Figure 22 Variation of diode capacitance with reverse voltage

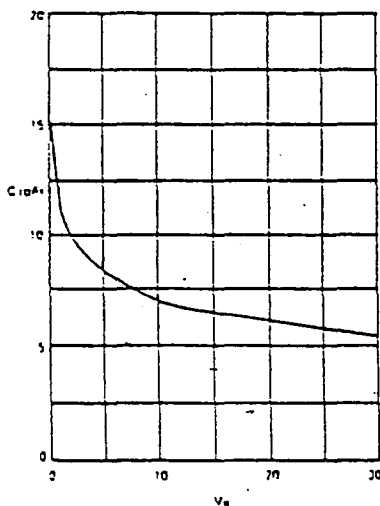
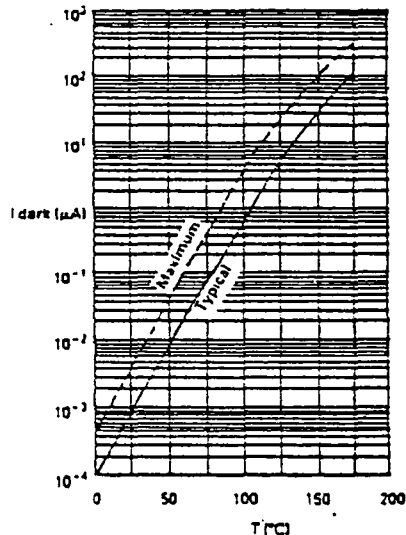


Figure 24 Variation of dark current with diode temperature



BPW21 photodiode (RS stock no. 303-719)

A silicon photodiode housed in an hermetically sealed case with a flat window incorporating built-in colour correction. Sensitivity approximating the human eye response. Linear current (short circuit) versus illumination. Log. voltage versus illumination. This photodiode is designed for use in the photoamp mode and is ideally suited for use in light monitoring and control, optical instrumentation and camera control.

Absolute maximum ratings

Ambient temperature range _____ -25°C to +100°C
 Reverse voltage, V_R _____ 10V
 Open circuit voltage _____ 650mV
 Power dissipation (at 25°C), P_d _____ 250mW
 Illuminance, E _____ 10⁵ lux

Features

- Response approximating to the human eye
- Photovoltaic cell operation
- Linear output current versus illumination
- Hermetically sealed TO5 case.

ภาคผนวก ง. 3

ICL7109

12-Bit μ P-Compatible A/D Converter

ICL7109

GENERAL DESCRIPTION

The ICL7109 is a high performance, CMOS, low-power integrating A/D converter designed to easily interface with microprocessors.

The output data (12 bits, polarity and overrange) may be directly accessed under control of two byte enable inputs and a chip select input for a simple parallel bus interface. A UART handshake mode is provided to allow the ICL7109 to work with industry-standard UARTs in providing serial data transmission, ideal for remote data logging applications. The RUN/HOLD input and STATUS output allow monitoring and control of conversion timing.

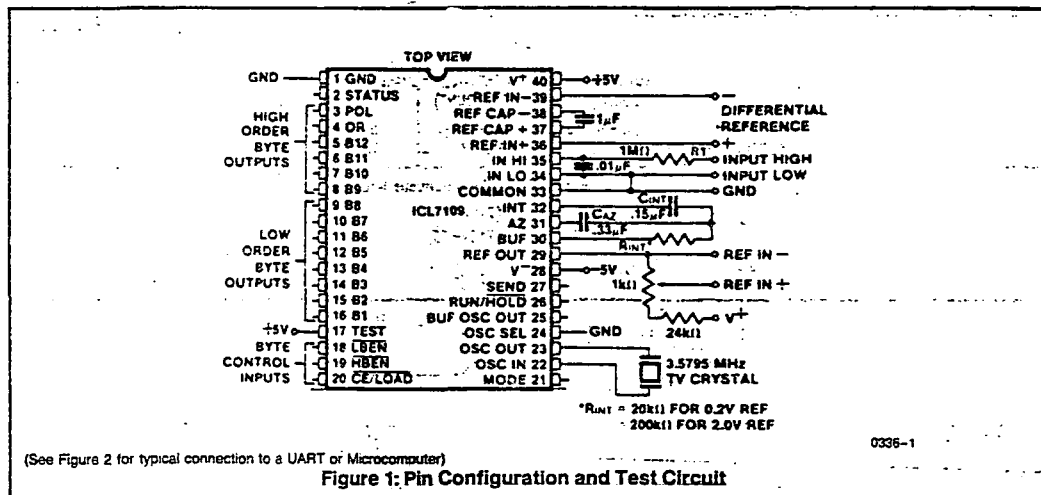
The ICL7109 provides the user with the high accuracy, low noise, low drift, versatility and economy of the dual-slope integrating A/D converter. Features like true differential input and reference, drift of less than $1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, maximum input bias current of 10pA, and typical power consumption of 20mW make the ICL7109 an attractive per-channel alternative to analog multiplexing for many data acquisition applications.

FEATURES AND BENEFITS

- 12 Bit Binary (Plus Polarity and Overrange) Dual-Slope Integrating Analog-to-Digital Converter
- Byte-Organized TTL-Compatible Three-State Outputs and UART Handshake Mode for Simple Parallel or Serial Interfacing to Microprocessor Systems
- RUN/HOLD Input and STATUS Output Can Be Used to Monitor and Control Conversion Timing
- True Differential Input and Differential Reference
- Low Noise — Typically $15\mu\text{V p-p}$
- 1pA Typical Input Current
- Operates At Up to 30 Conversions Per Second
- On-Chip Oscillator Operates With inexpensive 3.58MHz TV Crystal Giving 7.5 Conversions Per Second for 60Hz Rejection May Also Be Used With An RC Network Oscillator for Other Clock Frequencies

ORDERING INFORMATION

Part Number	Temp. Range	Package
ICL7109MDL	-55°C to +125°C	40-Pin Ceramic DIP
ICL7109IDL	-25°C to +85°C	40-Pin Ceramic DIP
ICL7109JL	-25°C to +85°C	40-Pin CERDIP
ICL7109CPL	0°C to 70°C	40-Pin Plastic DIP



HARRIS SEMICONDUCTOR'S SOLE AND EXCLUSIVE WARRANTY OBLIGATION WITH RESPECT TO THIS PRODUCT SHALL BE THAT STATED IN THE WARRANTY ARTICLE OF THE CONDITION OF SALE. THE WARRANTY SHALL BE EXCLUSIVE AND SHALL BE IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS, IMPLIED OR STATUTORY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR USE.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

ICL7109

ABSOLUTE-MAXIMUM-RATINGS

Positive Supply Voltage (GND to V ⁺)	+5V	Power Dissipation (Note 3)	500mW @ +75°C
Negative Supply Voltage (GND to V ⁻)	-9V	Ceramic Package	500mW @ +75°C
Analog Input Voltage (Lo or Hi) (Note 1)	V ⁺ to V ⁻	Plastic Package	500mW @ +70°C
Reference Input Voltage (Lo or Hi) (Note 1)	V _{REF} to V _{REF}	Operating Temperature	-55°C to +125°C
Digital Input Voltage (Pins 2-27) (Note 2)	V ⁺ to +0.3V	Ceramic Package (MDL)	-55°C to +125°C
	GND - 0.3V	Ceramic Package (IDL)	-25°C to +85°C
		Plastic Package (CPL)	0°C to +70°C
		Storage Temperature	-85°C to +150°C
		Lead Temperature (Soldering, 10sec)	+300°C

NOTE: 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

(V⁺ = +5V, V⁻ = -5V, GND = 0V, T_A = 25°C, f_{CLK} = 3.58 MHz, unless otherwise indicated.) Test circuit as shown on first page of this data sheet.

ANALOG SECTION

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
	Zero Input Reading	V _{IN} = 0.0000V V _{REF} = 204.8 mV	-0000	±0000	+0000	Counts
	Ratiometric Error(4)	V _{IN} = V _{REF} = 204.8 mV	-3	0	3	Counts
	Non-Linearity (Max deviation from best straight line fit)	Full Scale = 409.6mV to 2.048V Over full operating temperature range. (Note 4), (Note 6)	-1	±2	+1	Counts
	Roll-over Error (difference in reading for equal pos. and neg. inputs near full scale)	Full Scale = 409.6mV to 2.048V (Note 5), (Note 6)	-1	±2	+1	Counts
CMRR	Common Mode Rejection Ratio	V _{CM} ±1V, V _{IN} = 0V Full Scale = 409.6mV	50	50	50	μV/V
VCMR	Input Common Mode Range	Input Hi, Input Lo, Common (Note 4)	V ⁻ + 1.5		V ⁺ - 1.0	V
	Noise (p-p value not exceeded 95% of time)	V _{IN} = 0V Full Scale = 409.6mV		15		μV
I _{ILK}	Leakage current at Input	V _{IN} = 0 All devices at 25°C ICL7109CPL: 0°C ≤ T _A ≤ 70°C (Note 4) ICL7109IDL: -25°C ≤ T _A ≤ +85°C (Note 4) ICL7109MDL: -55°C ≤ T _A ≤ +125°C		10 20 100 2		pA pA nA
	Zero Reading Drift	V _{IN} = 0V R _I = 0Ω (Note 4)		0.2	1	μV/°C
	Scale Factor Temperature Coefficient	V _{IN} = 408.9mV = >7770 ₈ reading Ext. Ref. 0 ppm/°C (Note 4)		1	5	ppm/°C
I ⁺	Supply Current V ⁺ to GND	V _{IN} = 0, Crystal Osc 3.58MHz test circuit		700	1500	μA
I _{SUPP}	Supply Current V ⁺ to V ⁻	Pins 2-21, 25, 26, 27, 29; open		700	1500	μA
V _{REF}	Ref Out Voltage	Referred to V ⁺ , 25kΩ between V [±] and REF OUT	-2.4	-2.8	-3.2	V
	Ref Out Temp. Coefficient	25kΩ between V ⁺ and REF OUT		80		ppm/°C

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V^+ = +5V, V^- = -5V, GND = 0V, I_A = 25\mu A$, unless otherwise indicated.) Test circuit as shown on first page of this data sheet. (Continued)

DIGITAL SECTION

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{OH}	Output High Voltage	$I_{OUT} = 100\mu A$ Pins 2-16, 18, 19, 20	3.5	4.3	5.0	V
V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{OUT} = 1.6mA$	0.2	0.4	0.7	V
	Output Leakage Current	Pins 3-16 high impedance		±0.1	±1	μA
	Control I/O Pullup Current	Pins 18, 19, 20 $V_{OUT} = V^+ - 3V$ MODE input at GND		5	15	μA
	Control I/O Loading	HBEN Pin 19 LBEN Pin 18 (Note 4)		50	100	pF
V_{IH}	Input High Voltage	Pins 18-21, 26, 27 referred to GND	3.0			V
V_{IL}	Input Low Voltage	Pins 18-21, 26, 27 referred to GND	0.4			V
	Input Pull-up Current	Pins 26, 27 $V_{OUT} = V^+ - 3V$		5	15	μA
	Input Pull-up Current	Pins 17, 24 $V_{OUT} = V^+ - 3V$		25	50	μA
	Input Pull-down Current	Pin 21 $V_{OUT} = GND + 3V$		5	15	μA
$I_{O_{OH}}$	Oscillator Output Current	High	$V_{OUT} = 2.5V$			μA
$I_{O_{OL}}$		Low	$V_{OUT} = 2.5V$			μA
$I_{BO_{OH}}$	Buffered Oscillator Output Current	High	$V_{OUT} = 2.5V$			μA
$I_{BO_{OL}}$		Low	$V_{OUT} = 2.5V$			μA
t_W	MODE Input Pulse Width	(Note 4)	50			ns

- NOTES: 1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to $\pm 100\mu A$.
 2. Due to the SCR structure inherent in the process used to fabricate these devices, connecting any digital inputs or outputs to voltages greater than V^+ or less than GND may cause destructive device latchup. For this reason it is recommended that no inputs from sources other than the same power supply be applied to the ICL7109 before its power supply is established, and that in multiple supply systems the supply to the ICL7109 be activated first.
 3. This limit refers to that of the package and will not be obtained during normal operation.
 4. This parameter is not production tested, but is guaranteed by design.
 5. Roll-over error for $T_A = -55^\circ C$ to $+125^\circ C$ is ± 3 counts maximum.
 6. A full scale voltage of 2.048V is used because a full scale voltage of 4.096V exceeds the devices Common Mode Voltage Range.
 7. For CerDip package the Ratioetric error can be -4 (Min).

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

TABLE 1: Pin Assignment and Function Description

Pin	Symbol	Description
1	GND	Digital Ground, 0V. Ground return for all digital logic.
2	STATUS	Output High during integrate and deintegrate until data is latched. Output Low when analog section is in Auto-Zero configuration.
3	POL	Polarity — HI for Positive input.
4	OR	Overrange — HI if Overranged.
5	B12	Bit 12 (Most Significant Bit)
6	B11	Bit 11
7	B10	Bit 10
8	B9	Bit 9
9	B8	Bit 8
10	B7	Bit 7
11	B6	Bit 6
12	B5	Bit 5
13	B4	Bit 4
14	B3	Bit 3
15	B2	Bit 2
16	B1	Bit 1 (Least Significant Bit)
17	TEST	Input High — Normal Operation. Input Low — Forces all bit outputs high. Note: This input is used for test purposes only. Tie high if not used.
18	LBEN	Low Byte Enable — With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates low order byte outputs B1 — B8. — With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a low byte flag output used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.
19	HBEN	High Byte Enable — With Mode (Pin 21) low, and CE/LOAD (Pin 20) low, taking this pin low activates high order byte outputs B9 — B12, POL, OR. — With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a high byte flag output used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.
20	CE/LOAD	Chip Enable Load — With Mode (Pin 21) low, CE/LOAD serves as a master output enable. When high, B1 — B12, POL, OR outputs are disabled. — With Mode (Pin 21) high, this pin serves as a load strobe used in handshake mode. See Figures 8, 9, 10.

Pin	Symbol	Description
21	MODE	Input Low — Direct output mode where CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19) and LBEN (Pin 18) act as inputs directly controlling byte outputs. Input Pulsed High — Causes immediate entry into handshake mode and output of data as in Figure 10. Input High — Enables CE/LOAD (Pin 20), HBEN (Pin 19), and LBEN (Pin 18) as outputs, handshake mode will be entered and data output as in Figures 8 and 9 at conversion completion.
22	OSC IN	Oscillator Input
23	OSC OUT	Oscillator Output
24	OSC SEL	Oscillator Select — Input high configures OSC IN, OSC OUT, BUF OSC OUT as RC oscillator — clock will be same phase and duty cycle as BUF OSC OUT. — Input low configures OSC IN, OSC OUT for crystal oscillator — clock frequency will be 1/53 of frequency at BUF OSC OUT.
25	BUF OSC OUT	Buffered Oscillator Output
26	RUN/HOLD	Input High — Conversions continuously performed every 8192 clock pulses. Input Low — Conversion in progress completed, converter will stop in Auto-Zero 7 counts before integrate.
27	SEND	Input — Used in handshake mode to indicate ability of an external device to accept data. Connect to 7.5V if not used.
28	V-	Analog Negative Supply — Nominally -5V with respect to GND (Pin 1).
29	REF OUT	Reference Voltage Output — Nominally 2.8V down from V+ (Pin 40).
30	BUFFER	Buffer Amplifier Output
31	AUTO-ZERO	Auto-Zero Node — Inside foil of C _{A2}
32	INTEGRATOR	Integrator Output — Outside foil of C _{INT}
33	COMMON	Analog Common — System is Auto-Zeroed to COMMON
34	INPUT LO	Differential Input Low Side
35	INPUT HI	Differential Input High Side
36	REF IN +	Differential Reference Input Positive
37	REF CAP +	Reference Capacitor Positive
38	REF CAP -	Reference Capacitor Negative
39	REF IN -	Differential Reference Input Negative
40	V+	Positive Supply Voltage — Nominally +5V with respect to GND (Pin 1).

Note: All digital levels are positive true.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

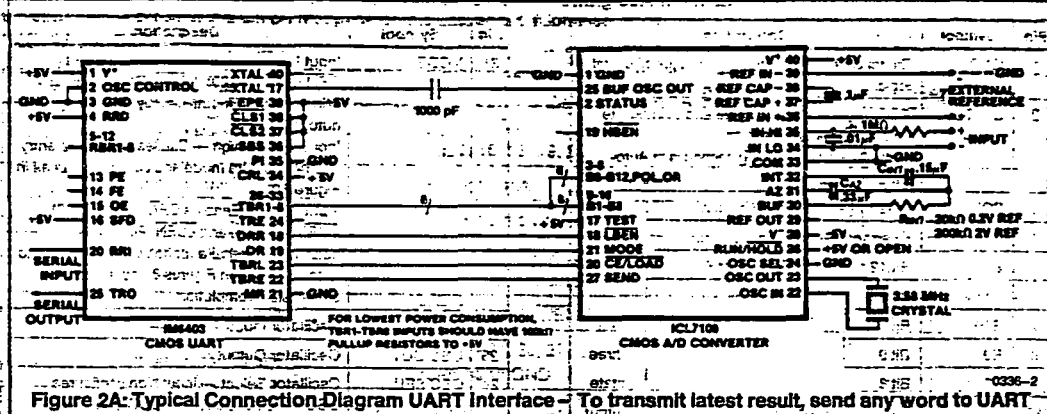


Figure 2A: Typical Connection Diagram UART interface To transmit latest result, send any word to UART

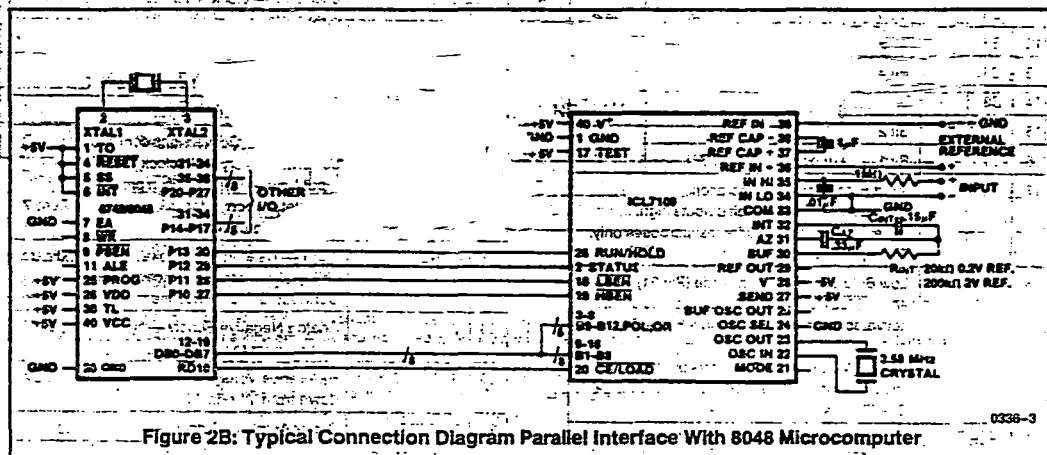


Figure 2B: Typical Connection Diagram Parallel Interface With 8048 Microcomputer

DETAILED DESCRIPTION

Analog Section

Figure 3 shows the equivalent circuit of the Analog Section of the ICL7109. When the RUN/HOLD input is left open or connected to V+, the circuit will perform conversions at a rate determined by the clock frequency (8192 clock periods per cycle). Each measurement cycle is divided into three phases as shown in Figure 4. They are (1) Auto-Zero (AZ), (2) Signal Integrate (INT) and (3) Deintegrate (DE).

Auto-Zero Phase

During auto-zero three things happen. First, input high and low are disconnected from their pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor C_{AZ} to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the AZ accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than 10µV.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

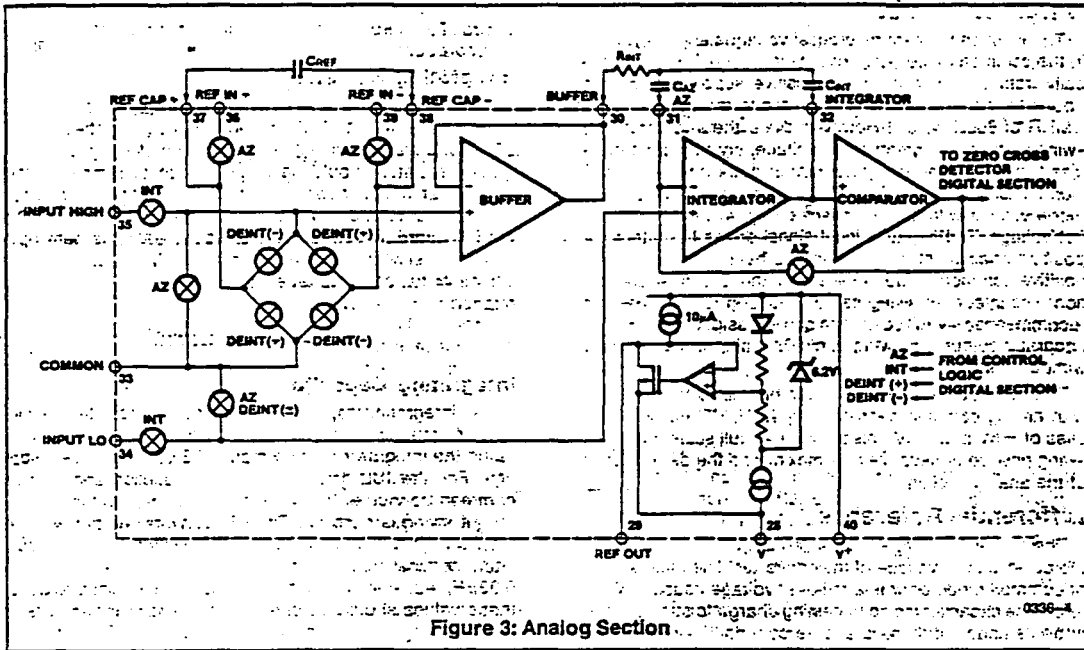


Figure 3: Analog Section

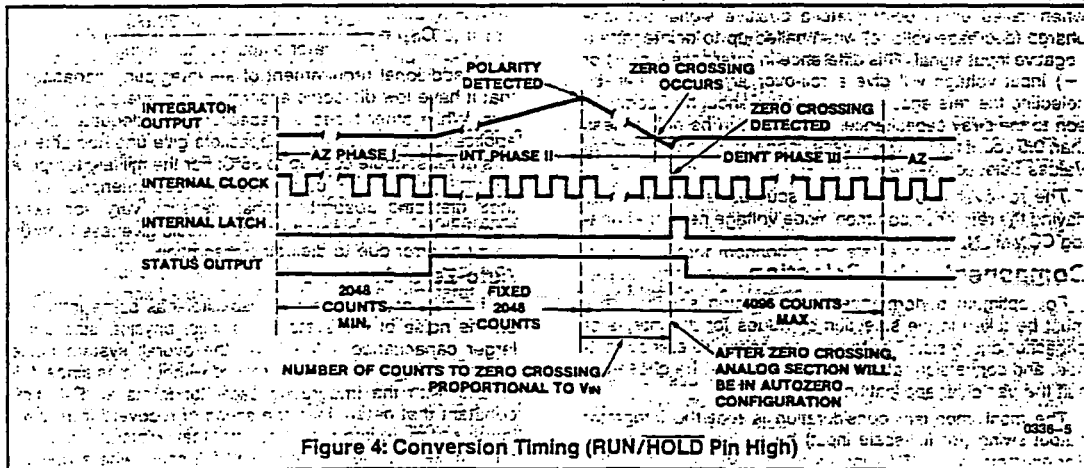


Figure 4: Conversion Timing (RUN/HOLD Pin High)

Signal Integrate Phase

During signal integrate the auto-zero loop is opened, the internal short is removed and the internal high and low inputs are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and IN LO for a fixed time of 2048 clock periods. Note that this differential voltage must be within the common mode range of the inputs. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

De-Integrate Phase

The final phase is de-integrate, or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged (during auto-zero) reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero crossing (established in Auto Zero) with a fixed slope. Thus the time for the output to return to zero (represented by the number of clock periods counted) is proportional to the input signal.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested

Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically from 1.0 volts below the positive supply to 1.5 volts above the negative supply. In this range, the system has a CMRR of 86dB typical. However, since the integrator also swings with the common mode voltage, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worst case condition would be a large positive common mode voltage with a near full-scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common mode voltage. For these critical applications the integrator swing can be reduced to less than the recommended 4V full scale with some loss of accuracy. The integrator output can swing within 0.3 volt of either supply without loss of linearity.

The ICL7109 has, however, been optimized for operation with analog common near digital ground. With power supplies of $\pm 5V$ and $\pm 5V$, this allows a 4V full scale integrator swing positive or negative thus maximizing the performance of the analog section.

Differential Reference

The reference voltage can be generated anywhere within the power supply voltage of the converter. The main source of common mode error is a roll-over voltage caused by the reference capacitor losing or gaining charge to stray capacity on its nodes. If there is a large common mode voltage, the reference capacitor can gain charge (increase voltage) when called up to deintegrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to deintegrate a negative input signal. This difference in reference for (+) or (-) input voltage will give a roll-over error. However, by selecting the reference capacitor large enough in comparison to the stray capacitance, this error can be held to less than 0.5 count for the worst case condition (See Component Values Selection below).

The roll-over error from these sources is minimized by having the reference common mode voltage near or at analog COMMON.

Component Value Selection

For optimum performance of the analog section, care must be taken in the selection of values for the integrator capacitor and resistor, auto-zero capacitor, reference voltage, and conversion rate. These values must be chosen to suit the particular application.

The most important consideration is that the integrator output swing (for full-scale input) be as large as possible. For example, with $\pm 5V$ supplies and COMMON connected to GND, the nominal integrator output swing at full scale is $\pm 4V$. Since the integrator output can go to 0.3V from either supply without significantly affecting linearity, a 4V integrator output swing allows 0.7V for variations in output swing due to component value and oscillator tolerances. With $\pm 5V$ supplies and a common mode range of $\pm 1V$ required, the component values should be selected to provide $\pm 3V$ integrator output swing. Noise and rollover errors will be slightly worse than in the $\pm 4V$ case. For larger common mode voltage ranges, the integrator output swing must be

reduced further. This will increase both noise and rollover errors. To improve the performance, supplies of $\pm 6V$ may be used.

Integrating Resistor

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with 100 μA of quiescent current. They supply 20 μA of drive current with negligible non-linearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 4.096 volt full scale, 200k Ω is near optimum and similarly a 20k Ω for a 409.6mV scale. For other values of full scale voltage, R_{INT} should be chosen by the relation

$$R_{INT} = \frac{\text{full scale voltage}}{20\mu A}$$

Integrating Capacitor

The integrating capacitor C_{INT} should be selected to give the maximum integrator output voltage swing without saturating the integrator (approximately 0.3 volt from either supply). For the ICL7109 with ± 5 volt supplies and analog common connected to GND, a ± 3.5 to ± 4 volt integrator output swing is nominal. For 7-1/2 conversions per second (61.72KHz clock frequency) as provided by the crystal oscillator, nominal values for C_{INT} and C_{AZ} are 0.15 μF and 0.33 μF , respectively. If different clock frequencies are used, these values should be changed to maintain the integrator input voltage swing. In general, the value of C_{INT} is given by

$$C_{INT} = \frac{(2048 \times \text{clock period})(20\mu A)}{\text{integrator output voltage swing}} \mu F$$

An additional requirement of the integrating capacitor is that it have low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types of capacitors are adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at reasonable cost up to 85°C. For the military temperature range, Teflon® capacitors are recommended. While their dielectric absorption characteristics vary somewhat from unit to unit, selected devices should give less than 0.5 count of error due to dielectric absorption.

Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system: a smaller physical size and a larger capacitance value lower the overall system noise. However, C_{AZ} cannot be increased without limits since it, in parallel with the integrating capacitor, forms an R-C time constant that determines the speed of recovery from overloads and more important the error that exists at the end of an auto-zero cycle. For 409.6mV full scale where noise is very important and the integrating resistor small, a value of C_{AZ} twice C_{INT} is optimum. Similarly for 4.096V full scale where recovery is more important than noise, a value of C_{AZ} equal to half of C_{INT} is recommended.

For optimal rejection of stray pickup, the outer foil of C_{AZ} should be connected to the R-C summing junction and the inner foil to pin 31. Similarly the outer foil of C_{INT} should be connected to pin 32 and the inner foil to the R-C summing junction. Teflon®, or equivalent, capacitors are recommended above 85°C for their low leakage characteristics.

*NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

Reference Capacitor

A 1 μ F capacitor gives good results in most applications. However, where a large reference common mode voltage exists (i.e. the reference low is not at analog common) and a 409.6mV scale is used, a larger value is required to prevent roll-over error. Generally 10 μ F will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance. Again, Teflon[®], or equivalent capacitors should be used for temperatures above 85°C for their low leakage characteristics.

Reference Voltage

The analog input required to generate a full scale output of 4096 counts is $V_{IN} = 2V_{REF}$. Thus for a normalized scale, a reference of 2.048V should be used for a 4.096V full scale; and 204.8mV should be used for a 0.4096V full scale. However, in many applications where the A/D is sensing the output of a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the absolute output voltage to be measured and a desired digital output. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full scale reading when the voltage from the transducer is 0.682V. Instead of dividing the input down to 409.6mV, the input voltage should be measured directly and a reference voltage of 0.341V should be used. Suitable values for integrating resistor and capacitor are 33k Ω and 0.15 μ F. This avoids a divider on the input. Another advantage of this system occurs when a zero reading is desired for non-zero input. Temperature and weight measurements with an offset or tare are examples. The offset may be introduced by connecting the voltage output of the transducer between common and analog high, and the offset voltage between common and analog low, observing polarities carefully. However, in processor-based systems using the ICL7109, it may be more efficient to perform this type of scaling or tare subtraction digitally using software.

Reference Sources

The stability of the reference voltage is a major factor in the overall absolute accuracy of the converter. The resolution of the ICL7109 at 12 bits is one part in 4096, or 244ppm. Thus if the reference has a temperature coefficient of 80ppm/°C (onboard reference) a temperature difference of 3°C will introduce a one-bit absolute error.

For this reason, it is recommended that an external high-quality reference be used where the ambient temperature is not controlled or where high-accuracy absolute measurements are being made.

The ICL7109 provides a REFERENCE OUTPUT (pin 29) which may be used with a resistive divider to generate a suitable reference voltage. This output will sink up to about 20mA without significant variation in output voltage, and is provided with a pullup bias device which sources about 10 μ A. The output voltage is nominally 2.8V below V^+ , and has a temperature coefficient of ± 80 ppm/°C typ. When using the onboard reference, REF OUT (Pin 29) should be connected to REF⁻ (pin 39), and REF⁺ should be connected to the wiper of a precision potentiometer between REF OUT and V^+ . The circuit for a 204.8mV reference is shown in the test circuit. For a 2.048mV reference, the fixed resistor should be removed, and a 25k Ω precision potentiometer between REF OUT and V^+ should be used.

Note that if pins 29 and 39 are tied together and pins 39 and 40 accidentally shorted (e.g., during testing), the reference supply will sink enough current to destroy the device. This can be avoided by placing a 1k Ω resistor in series with pin 39.

DETAILED DESCRIPTION**Digital Section**

The digital section includes the clock oscillator and scaling circuit, a 12-bit binary counter with output latches and TTL-compatible three-state output drivers, polarity, over-range and control logic, and UART handshake logic, as shown in Figure 5.

Throughout this description, logic levels will be referred to as "low" or "high". The actual logic levels are defined in the Electrical Characteristics Table. For minimum power consumption, all inputs should swing from GND (low) to V^+ (high). Inputs driven from TTL gates should have 3-5k Ω pullup resistors added for maximum noise immunity.

MODE Input

The MODE input is used to control the output mode of the converter. When the MODE pin is low or left open (this input is provided with a pull-down resistor to ensure a low level when the pin is left open), the converter is in its "Direct" output mode, where the output data is directly accessible under the control of the chip and byte enable inputs. When the MODE input is pulsed high, the converter enters the UART handshake mode and outputs the data in two bytes, then returns to "direct" mode. When the MODE input is left high, the converter will output data in the handshake mode at the end of every conversion cycle. (See section entitled "Handshake Mode" for further details).

STATUS Output

During a conversion cycle, the STATUS output goes high at the beginning of Signal Integrate (Phase II), and goes low one-half clock period after new data from the conversion has been stored in the output latches. See Figure 4 for details of this timing. This signal may be used as a "data valid" flag (data never changes while STATUS is low) to drive interrupts, or for monitoring the status of the converter.

RUN/HOLD Input

When the RUN/HOLD input is high, or left open, the circuit will continuously perform conversion cycles, updating the output latches after zero crossing during the Deintegrate (Phase III) portion of the conversion cycle (See Figure 4). In this mode of operation, the conversion cycle will be performed in 8192 clock periods, regardless of the resulting value.

If RUN/HOLD goes low at any time during Deintegrate (Phase III) after the zero crossing has occurred, the circuit will immediately terminate Deintegrate and jump to Auto-Zero. This feature can be used to eliminate the time spent in Deintegrate after the zero crossing. If RUN/HOLD stays or goes low, the converter will ensure minimum Auto-Zero time, and then wait in Auto-Zero until the RUN/HOLD input goes high. The converter will begin the Integrate (Phase II) portion of the next conversion (and the STATUS output will go high) seven clock periods after the high level is detected at RUN/HOLD. See Figure 6 for details.

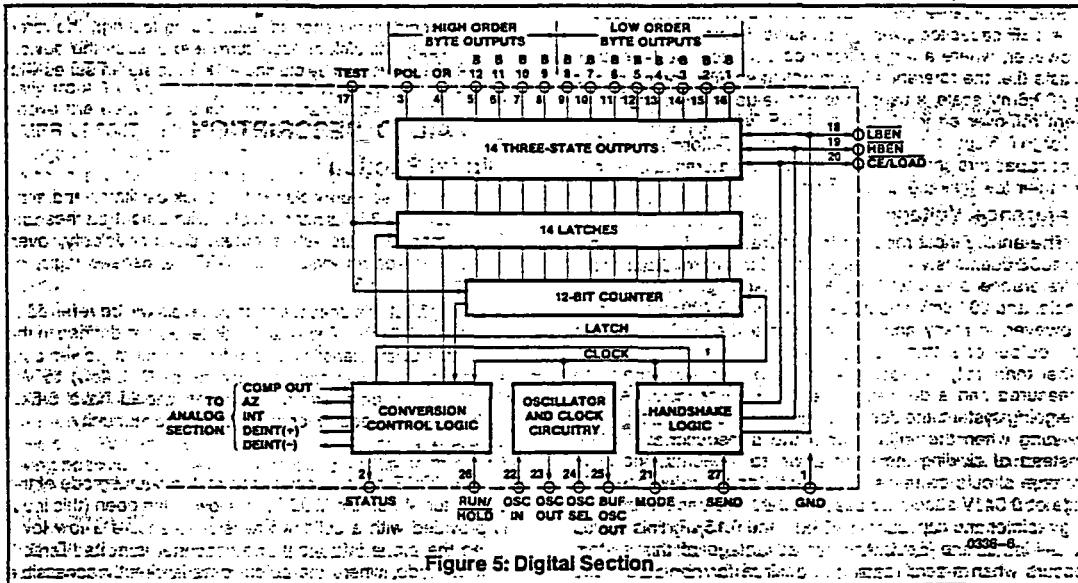


Figure 5: Digital Section

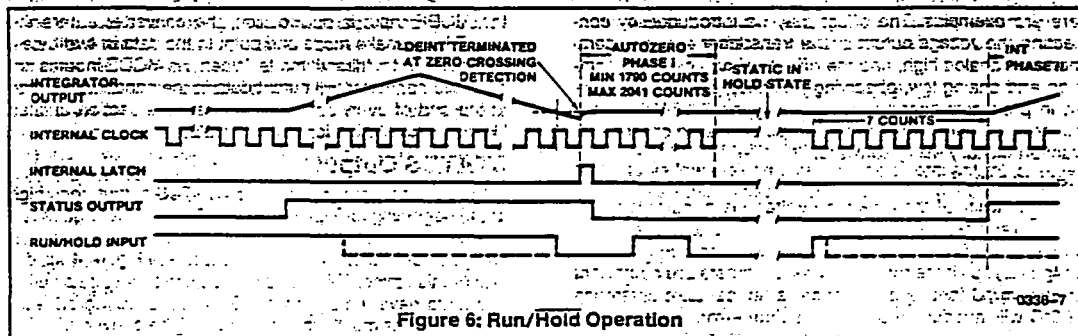


Figure 6: Run/Hold Operation

Using the RUN/HOLD input in this manner allows an easy "convert on demand" interface to be used. The converter may be held at idle in auto-zero with RUN/HOLD low. When RUN/HOLD goes high the conversion is started, and when the STATUS output goes low the new data is valid (or transferred to the UART — see Handshake Mode). RUN/HOLD may now be taken low which terminates deintegrate and ensures a minimum Auto-Zero time before the next conversion.

Alternately, RUN/HOLD can be used to minimize conversion time by ensuring that it goes low during Deintegrate, after zero crossing, and goes high after the hold point is reached. The required activity on the RUN/HOLD input can be provided by connecting it to the Buffered Oscillator Output. In this mode the conversion time is dependent on the input value measured. Also refer to Harris Application Bulletin A032 for a discussion of the effects this will have on Auto-Zero performance.

If the RUN/HOLD input goes low and stays low during Auto-Zero (Phase I), the converter will simply stop at the end of Auto-Zero and wait for RUN/HOLD to go high. As above, Integrate (Phase II) begins seven clock periods after the high level is detected.

Direct Mode

When the MODE pin is left at a low level, the data outputs (bits 1 through 8 low order byte; bits 9 through 12, polarity and over-range high order byte) are accessible under control of the byte and chip enable terminals as inputs. These three inputs are all active low, and are provided with pullup resistors to ensure an inactive high level when left open. When the chip enable input is low, taking a byte enable input low will allow the outputs of that byte to become active (three-stated on). This allows a variety of parallel data accessing techniques to be used, as shown in the section entitled "Interfacing." The timing requirements for these outputs are shown in Figure 7 and Table 2.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

Table 2 — Direct Mode Timing Requirements
(See Note 4 of Electrical Characteristics)

SYMBOL	DESCRIPTION	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{BEA}	Byte Enable Width	350	220		ns
t _{DAB}	Data Access Time from Byte Enable		210	350	ns
t _{DHB}	Data Hold Time from Byte Enable		150	300	ns
t _{CEA}	Chip Enable Width	400	260		ns
t _{DAC}	Data Access Time from Chip Enable		260	400	ns
t _{DHC}	Data Hold Time from Chip Enable		240	400	ns

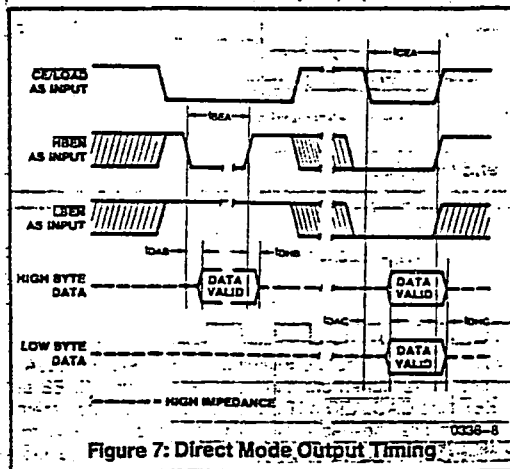


Figure 7: Direct Mode Output Timing

It should be noted that these control inputs are asynchronous with respect to the converter clock — the data may be accessed at any time. Thus it is possible to access the latches while they are being updated, which could lead to erroneous data. Synchronizing the access of the latches with the conversion cycle by monitoring the STATUS output will prevent this. Data is never updated while STATUS is low.

Handshake Mode

The handshake output mode is provided as an alternative means of interfacing the ICL7109 to digital systems, where the A/D converter becomes active in controlling the flow of data instead of passively responding to chip and byte enable inputs. This mode is specifically designed to allow a direct interface between the ICL7109 and industry-standard UARTs (such as the Harris IM6402/3) with no external logic required. When triggered into the handshake mode, the

ICL7109 provides all the control and flag signals necessary to sequentially transfer two bytes of data into the UART and initiate their transmission in serial form. This greatly eases the task and reduces the cost of designing remote data acquisition stations using serial data transmission.

Entry into the handshake mode is controlled by the MODE pin. When the MODE terminal is held high, the ICL7109 will enter the handshake mode after new data has been stored in the output latches at the end of a conversion (See Figures 8 and 9). The MODE terminal may also be used to trigger entry into the handshake mode on demand. At any time during the conversion cycle, the low to high transition of a short pulse at the MODE input will cause immediate entry into the handshake mode. If this pulse occurs while new data is being stored, the entry into handshake mode is delayed until the data is stable. While the converter is in the handshake mode, the MODE input is ignored, and although conversions will still be performed, data updating will be inhibited (See Figure 10) until the converter completes the output cycle and clears the handshake mode.

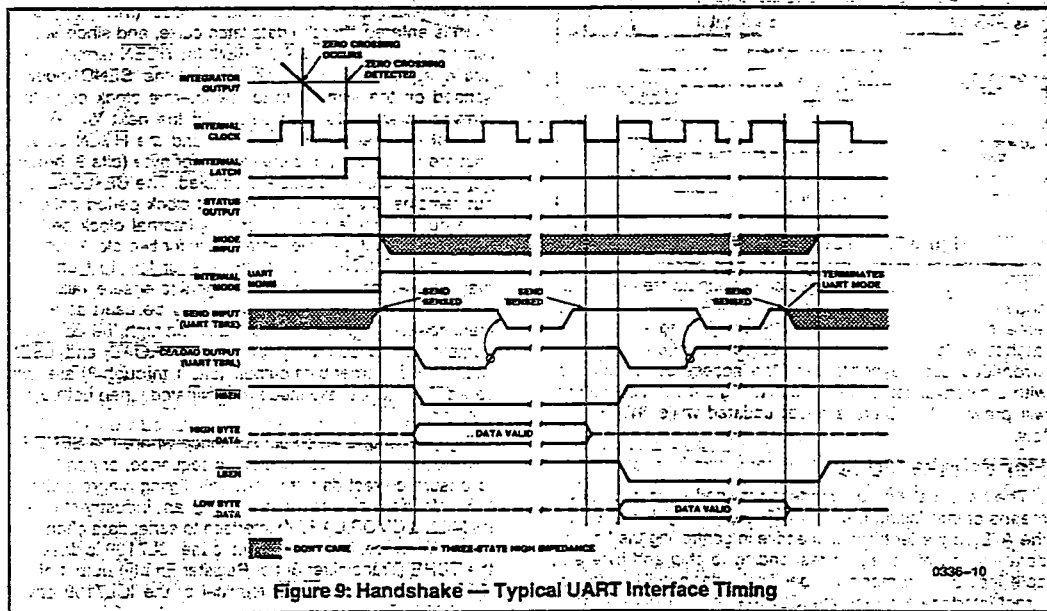
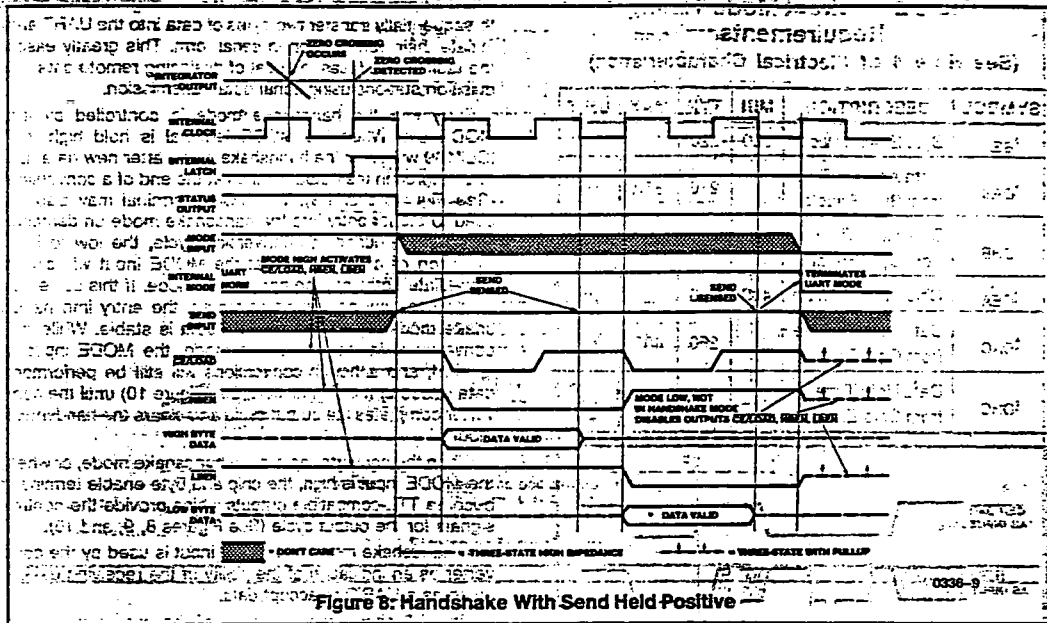
When the converter enters the handshake mode, or when the MODE input is high, the chip and byte enable terminals become TTL-compatible outputs which provide the control signals for the output cycle (See Figures 8, 9, and 10).

In handshake mode, the SEND input is used by the converter as an indication of the ability of the receiving device (such as a UART) to accept data.

Figure 8 shows the sequence of the output cycle with SEND held high. The handshake mode (internal MODE high) is entered after the data latch pulse, and since MODE remains high the CE/LOAD, LBEN and HBEN terminals are active as outputs. The high level at the SEND input is sensed on the same high to low internal clock edge that terminates the data latch pulse. On the next low to high internal clock edge the CE/LOAD and the HBEN outputs assume a low level, and the high-order byte (bits 9 through 12; POL and OR) outputs are enabled. The CE/LOAD output remains low for one full internal clock period only, the data outputs remain active for 1½ internal clock periods, and the high byte enable remains low for two clock periods. Thus the CE/LOAD output low level or low to high edge may be used as a synchronizing signal to ensure valid data, and the byte enable as an output may be used as a byte identification flag. With SEND remaining high the converter completes the output cycle using CE/LOAD and LBEN while the low order byte outputs (bits 1 through 8) are activated. The handshake mode is terminated when both bytes are sent.

Figure 9 shows an output sequence where the SEND input is used to delay portions of the sequence, or handshake to ensure correct data transfer. This timing diagram shows the relationships that occur using an industry-standard IM6402/3 CMOS UART to interface to serial data channels. In this interface, the SEND input to the ICL7109 is driven by the TBRE (Transmitter Buffer Register Empty) output of the UART, and the CE/LOAD terminal of the ICL7109 drives the TBRL (Transmitter Buffer Register Load) input to the UART. The data outputs are paralleled into the eight Transmitter Buffer Register inputs.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.



NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

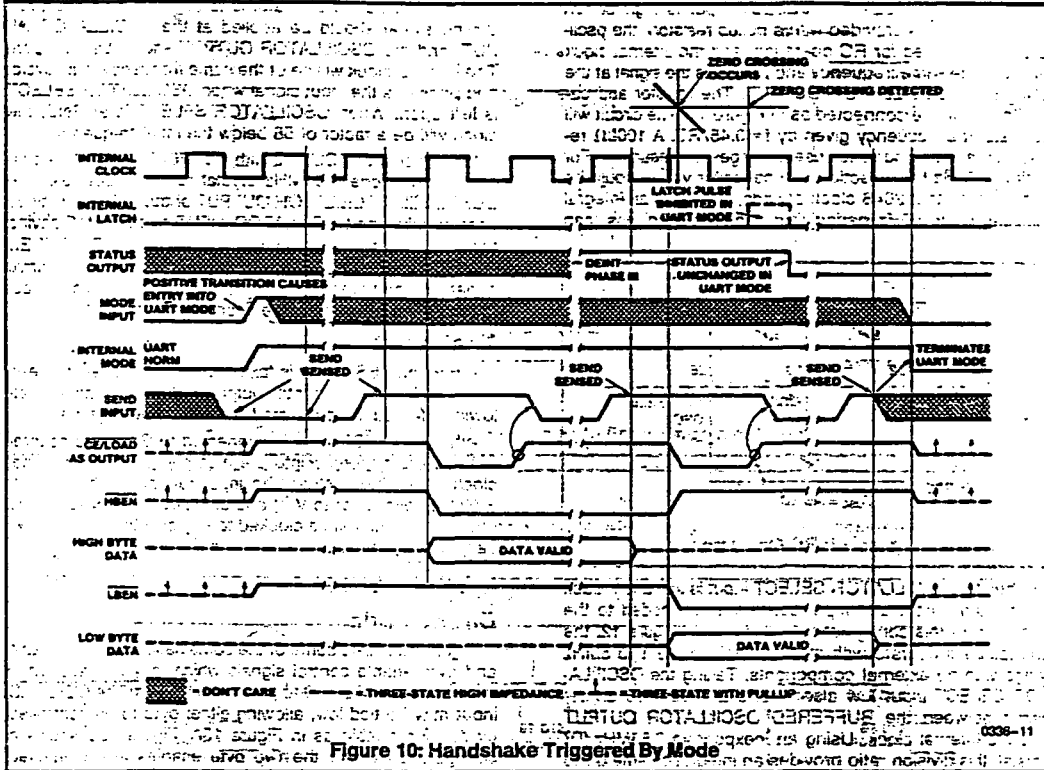


Figure 10: Handshake Triggered By Mode

Assuming the UART Transmitter Buffer Register is empty, the SEND input will be high when the handshake mode is entered after new data is stored. The CE/LOAD and HBEN terminals will go low after SEND is sensed, and the high order byte outputs become active. When CE/LOAD goes high at the end of one clock period, the high order byte data is clocked into the UART Transmitter Buffer Register. The UART TBRE output will now go low, which halts the output cycle with the HBEN output low, and the high order byte outputs active. When the UART has transferred the data to the Transmitter Register and cleared the Transmitter Buffer Register, the TBRE returns high. On the next ICL7109 internal clock high to low edge, the high order byte outputs are disabled, and one-half internal clock later, the HBEN output returns high. At the same time, the CE/LOAD and LBEN outputs go low, and the low order byte outputs become active. Similarly, when the CE/LOAD returns high at the end of one clock period, the low order data is clocked into the UART Transmitter Buffer Register, and TBRE again goes low. When TBRE returns to a high it will be sensed on the next ICL7109 internal clock high to low edge, disabling the data outputs. One-half internal clock later, the handshake mode will be cleared, and the CE/LOAD, HBEN, and LBEN terminals return high and stay active (as long as MODE stays high).

With the MODE input remaining high as in these examples, the converter will output the results of every conversion except those completed during a handshake operation. By triggering the converter into handshake mode with a low to high edge on the MODE input, handshake output sequences may be performed on demand. Figure 10 shows a handshake output sequence triggered by such an edge. In addition, the SEND input is shown as being low when the converter enters handshake mode. In this case, the whole output sequence is controlled by the SEND input, and the sequence for the first (high order) byte is similar to the sequence for the second byte. This diagram also shows the output sequence taking longer than a conversion cycle. Note that the converter still makes conversions, with the STATUS output and RUN/HOLD input functioning normally. The only difference is that new data will not be latched when in handshake mode, and is therefore lost.

Oscillator

The ICL7109 is provided with a versatile three terminal oscillator to generate the internal clock. The oscillator may be overdriven, or may be operated with an RC network or crystal. The OSCILLATOR SELECT input changes the internal configuration of the oscillator to optimize it for RC or crystal operation.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

When the OSCILLATOR SELECT input is high or left open (the input is provided with a pullup resistor), the oscillator is configured for RC operation; and the internal clock will be of the same frequency and phase as the signal at the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT. The resistor and capacitor should be connected as in Figure 11. The circuit will oscillate at a frequency given by $f = 0.45/RC$. A 100kΩ resistor is recommended for useful ranges of frequency. For optimum 60Hz line rejection, the capacitor value should be chosen such that 2048 clock periods is close to an integral multiple of the 60Hz period (but should not be less than 50pF).

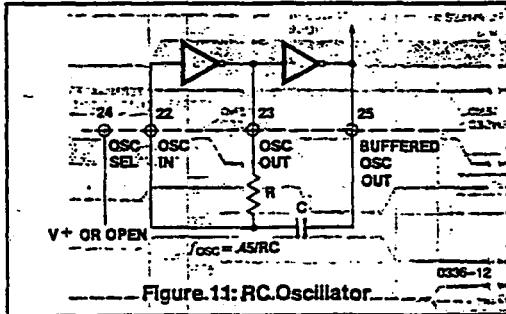


Figure 11: RC Oscillator

When the OSCILLATOR SELECT input is low a feedback device and output and input capacitors are added to the oscillator. In this configuration, as shown in Figure 12, the oscillator will operate with most crystals in the 1 to 5MHz range with no external components. Taking the OSCILLATOR SELECT input low also inserts a fixed 58 divider circuit between the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT and the internal clock. Using an inexpensive 3.58MHz TV crystal, this division ratio provides an integration time given by:

$$T_{INT} = (2048 \text{ clock periods}) \times (T_{CLOCK}) = 33.18 \text{ ms}$$

$$\text{where } T_{CLOCK} = \frac{1}{58 \times 3.58 \text{ MHz}}$$

This time is very close to two 60Hz periods or 33.33ms. The error is less than one percent, which will give better than 40dB 60Hz rejection. The converter will operate reliably at conversion rates of up to 30 per second, which corresponds to a clock frequency of 245.8kHz.

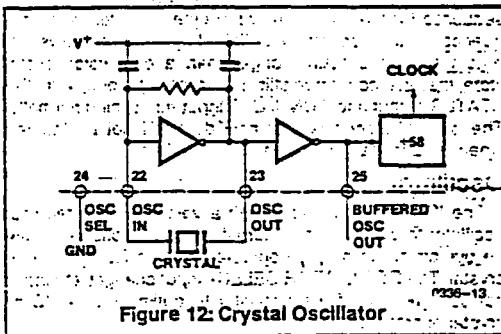


Figure 12: Crystal Oscillator

If at any time the oscillator is to be overdriven, the overdriving signal should be applied at the OSCILLATOR INPUT, and the OSCILLATOR OUTPUT should be left open. The internal clock will be of the same frequency, duty cycle, and phase as the input signal when OSCILLATOR SELECT is left open. When OSCILLATOR SELECT is at GND, the clock will be a factor of 58 below the input frequency.

When using the ICL7109 with the TM6403 UART, it is possible to use one 3.58MHz crystal for both devices. The BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT of the ICL7109 may be used to drive the OSCILLATOR INPUT of the UART, saving the need for a second crystal. However, the BUFFERED OSCILLATOR OUTPUT does not have a great deal of drive capability, and when driving more than one slave device, external buffering should be used.

Test Input

When the TEST input is taken to a level halfway between $V+$ and GND, the counter output latches are enabled, allowing the counter contents to be examined anytime.

When the TEST input is connected to GND, the counter outputs are all forced into the high state, and the internal clock is disabled. When the input returns to the $1/2 (V+ - GND)$ voltage (or to $V+$) and one clock is applied, all the counter outputs will be clocked to the low state. This allows easy testing of the counter and its outputs.

INTERFACING

Direct Mode

Figure 13 shows some of the combinations of chip enable and byte enable control signals which may be used when interfacing the ICL7109 to parallel data lines. The CE/LOAD input may be tied low, allowing either byte to be controlled by its own enable as in Figure 13A. Figure 13B shows a configuration where the two byte enables are connected together. In this configuration, the CE/LOAD serves as a chip enable, and the HBEN and LBEN may be connected to GND or serve as a second chip enable. The 14 data outputs will all be enabled simultaneously. Figure 13C shows the HBEN and LBEN as flag inputs, and CE/LOAD as a master enable, which could be the READ strobe available from most microprocessors.

Figure 14 shows an approach to interfacing several ICL7109s to a bus, ganging the HBEN and LBEN signals to several converters together, and using the CE/LOAD inputs (perhaps decoded from an address) to select the desired converter.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

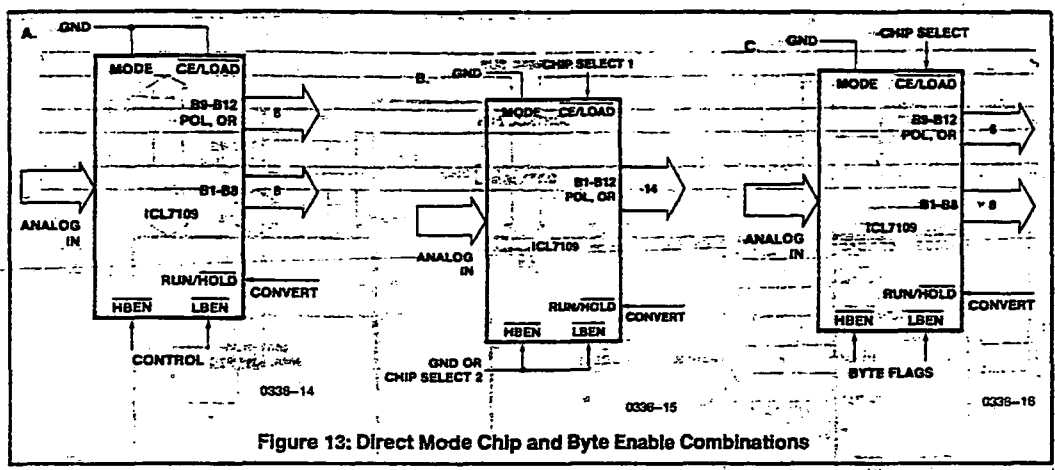


Figure 13: Direct Mode Chip and Byte Enable Combinations

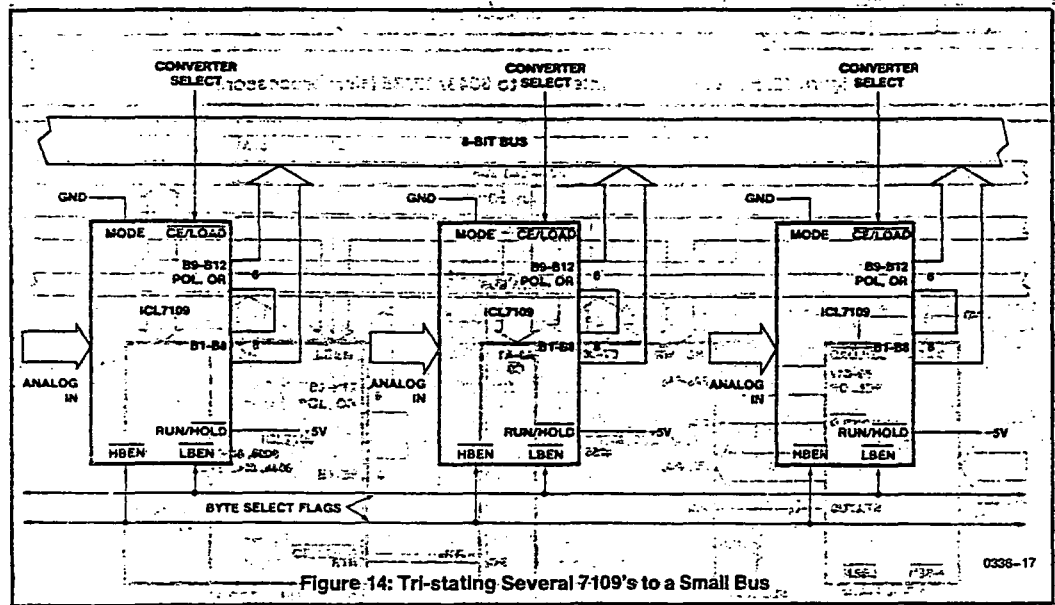


Figure 14: Tri-stating Several 7109's to a Small Bus

Some practical circuits utilizing the parallel three-state output capabilities of the ICL7109 are shown in Figures 15 through 20. Figure 15 shows a straightforward application to the Intel 8048/80/85 microprocessors via an 8255RPI, where the ICL7109 data outputs are active at all times. The I/O ports of an 8155 may be used in the same way. This interface can be used in a read-anytime mode, although a read performed while the data latches are being updated will lead to scrambled data. This will occur very rarely, in the proportion of setup/skew times to conversion time. One way to overcome this is to read the STATUS output as well, and if it is high, read the data again after a delay of more than 1/2

converter clock period. If STATUS is now low, the second reading is correct, and if it is still high, the first reading is correct. Alternatively, this timing problem is completely avoided by using a read-after-update sequence, as shown in Figure 16. Here the high to low transition of the STATUS output drives an interrupt to the microprocessor causing it to access the data latches. This application also shows the RUN/HOLD input being used to initiate conversions under software control. A similar interface to Motorola MC6800 or Rockwell R650X systems is shown in Figure 17. The high to low transition of the STATUS output generates an interrupt via the

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

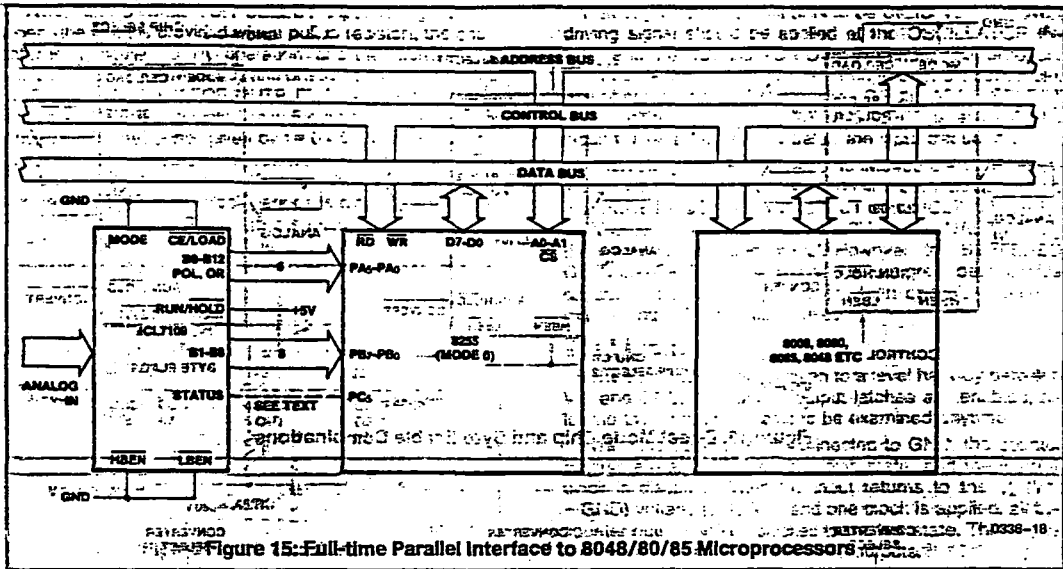


Figure 15: Full-time Parallel Interface to 8048/80/85 Microprocessors

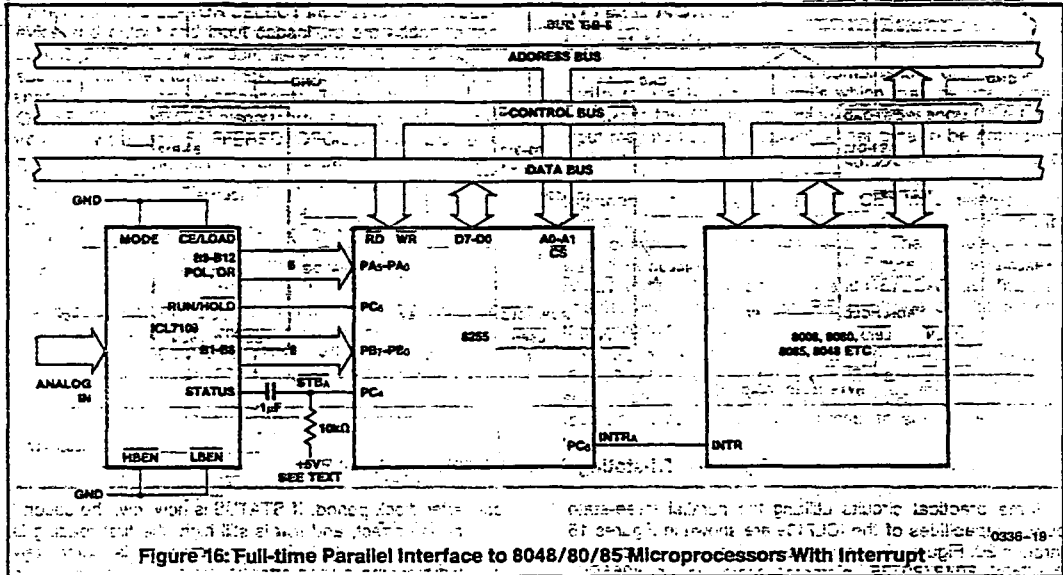


Figure 16: Full-time Parallel Interface to 8048/80/85 Microprocessors With Interrupt

Control Register B CB1 line. Note that CB2 controls the RUN/HOLD pin through Control Register B, allowing software-controlled initiation of conversions in this system as well. The three-state output capability of the ICL7109 allows direct interfacing to most microprocessor buses. Examples of this are shown in Figures 15 and 16. It is necessary to carefully consider the system timing in this type of interface,

to be sure that requirements for setup and hold times, and minimum pulse widths are met. Note also the drive limitations on long buses. Generally this type of interface is only favored if the memory peripheral address density is low so that simple address decoding can be used. Interrupt handling can also require many additional components, and using an interface device will usually simplify the system in this case.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

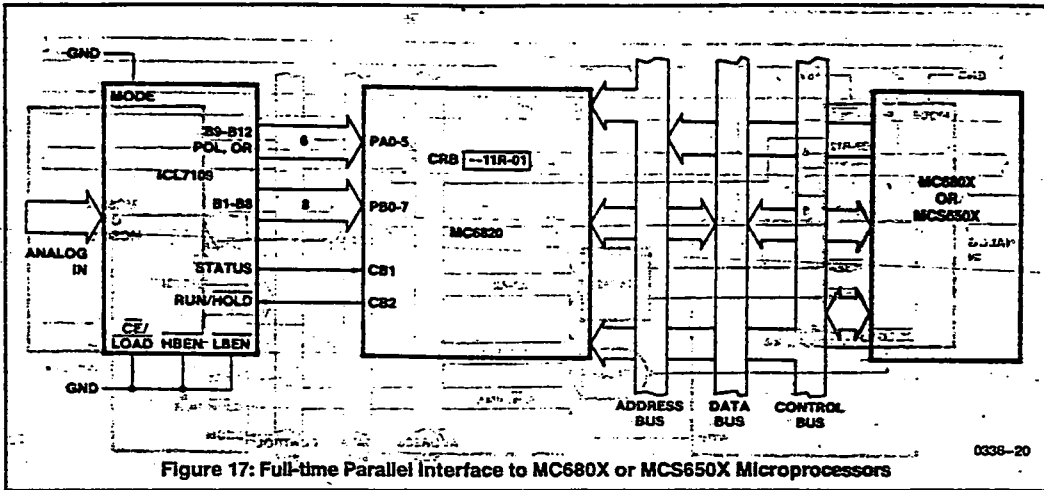


Figure 17: Full-time Parallel Interface to MC680X or MCS650X Microprocessors

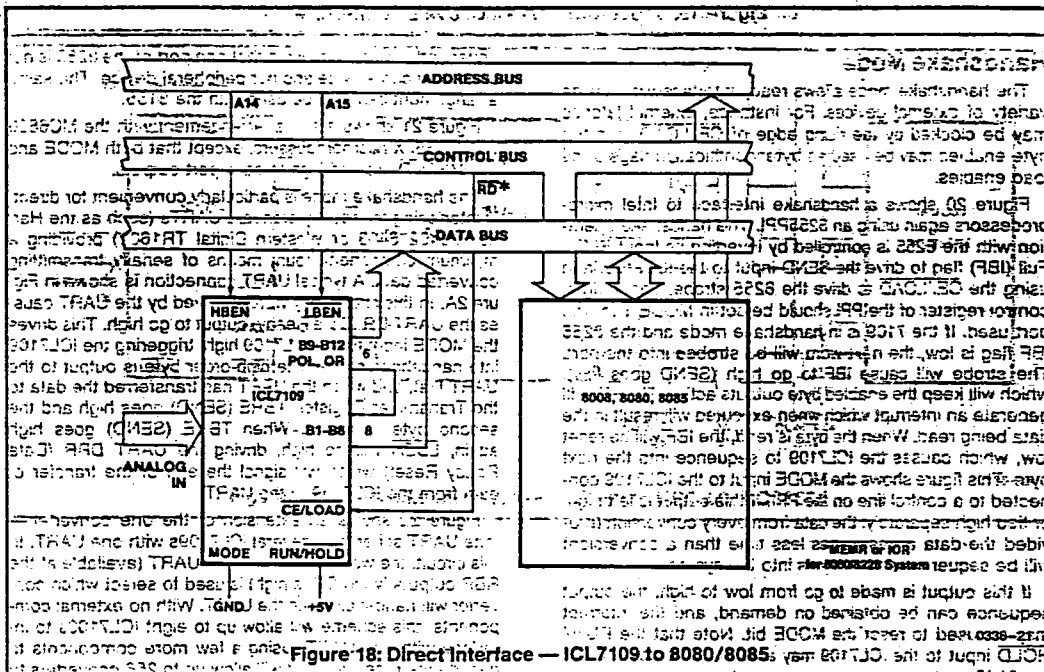


Figure 18: Direct Interface — ICL7109 to 8080/8085

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

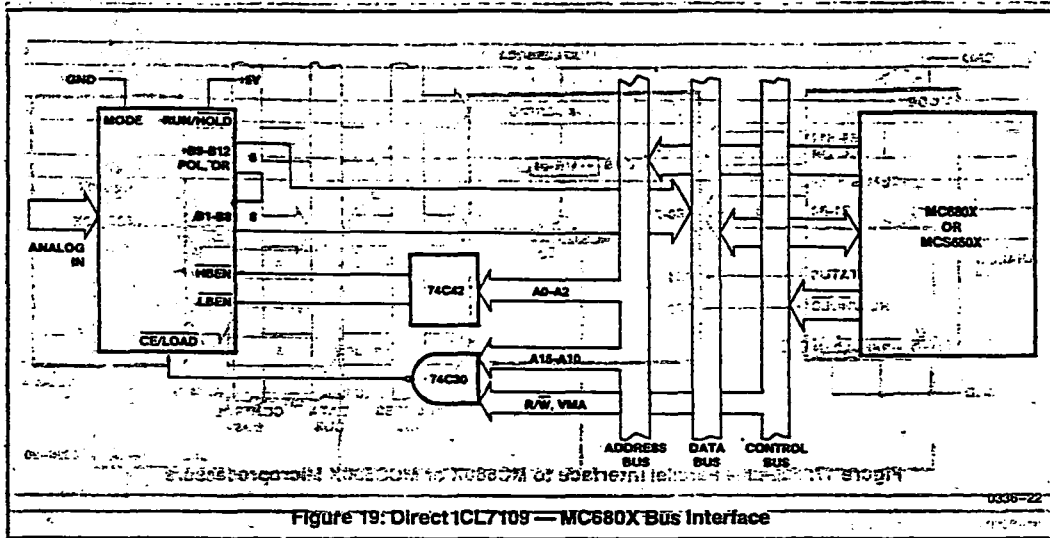


Figure 19: Direct ICL7109 - MC680X Bus Interface

Handshake Mode

The handshake mode allows ready interface with a wide variety of external devices. For instance, external latches may be clocked by the rising edge of CE/LOAD, and the byte enables may be used as byte identification flags or as load enables.

Figure 20 shows a handshake interface to Intel microprocessors again using an 8255 PPI. (The handshake operation with the 8255 is controlled by inverting its Input Buffer Full (IBF) flag to drive the SEND input to the ICL7109, and using the CE/LOAD to drive the 8255 strobe. The internal control register of the PPI should be set in MODE 1 for the port used. If the 7109 is in handshake mode and the 8255 IBF flag is low, the next word will be strobed into the port. The strobe will cause IBF to go high (SEND goes low), which will keep the enabled byte outputs active. The PPI will generate an interrupt which when executed will result in the data being read. When the byte is read, the IBF will be reset low, which causes the ICL7109 to sequence into the next byte. This figure shows the MODE input to the ICL7109 connected to a control line on the PPI. If this output is left high, or tied high separately, the data from every conversion (provided the data access takes less time than a conversion) will be sequenced in two bytes into the system.

If this output is made to go from low to high, the output sequence can be obtained on demand, and the interrupt may be used to reset the MODE bit. Note that the RUN/HOLD input to the ICL7109 may also be driven by a bit of the 8255 so that conversions may be obtained on command

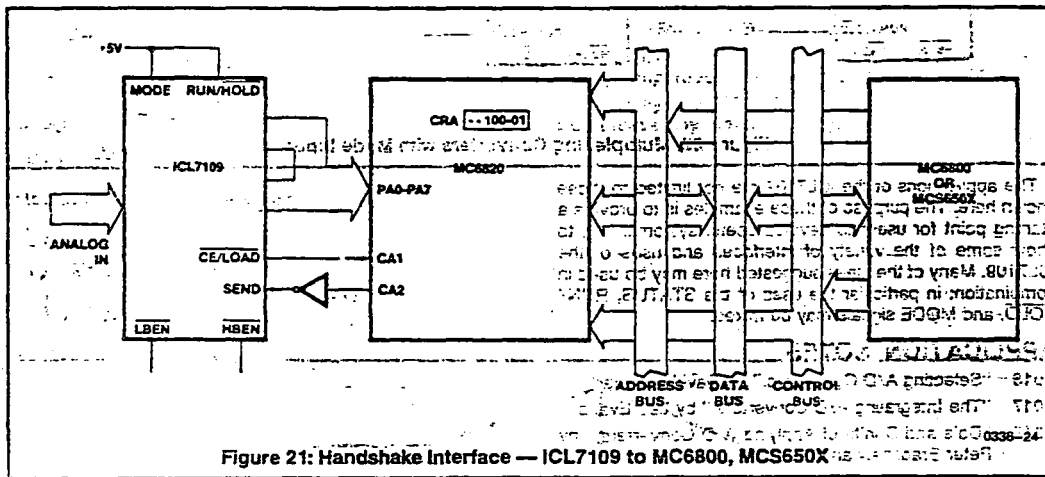
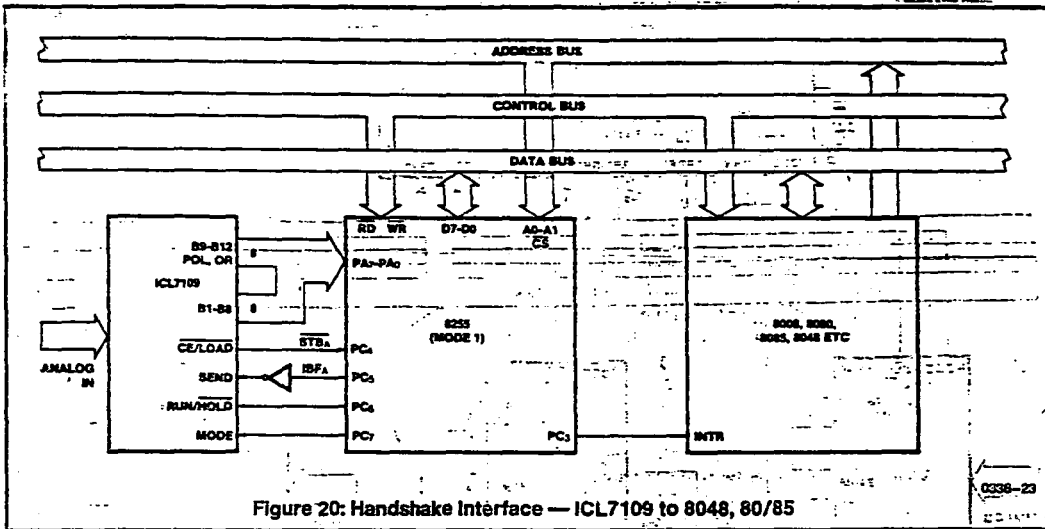
under software control. Note that one port of the 8255 is not caused, and can service another peripheral device. The same arrangement can also be used with the 8155.

Figure 21 shows a similar arrangement with the MC6800, or MCS650X microprocessors, except that both MODE and RUN/HOLD are tied high to save port outputs.

The handshake mode is particularly convenient for directly interfacing to industry standard UARTs (such as the Harris M6402/6403 or Western Digital TR1602) providing a minimum-component count means of serially transmitting converted data. A typical UART connection is shown in Figure 2A. In this circuit, any word received by the UART causes the UART DR (Data Ready) output to go high. This drives the MODE input to the ICL7109 high, triggering the ICL7109 into handshake mode. The high order byte is output to the UART first, and when the UART has transferred the data to the Transmitter Register, TBRE (SEND) goes high and the second byte is output. When TBRE (SEND) goes high again, LBEN will go high, driving the UART DRR (Data Ready Reset) which will signal the end of the transfer of data from the ICL7109 to the UART.

Figure 22 shows an extension of the one converter - one UART scheme to several ICL7109s with one UART. In this circuit, the word received by the UART (available at the RBR outputs when DR is high) is used to select which converter will handshake with the UART. With no external components, this scheme will allow up to eight ICL7109s to interface with one UART. Using a few more components to decode the received word will allow up to 256 converters to be accessed on one serial line.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.



NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

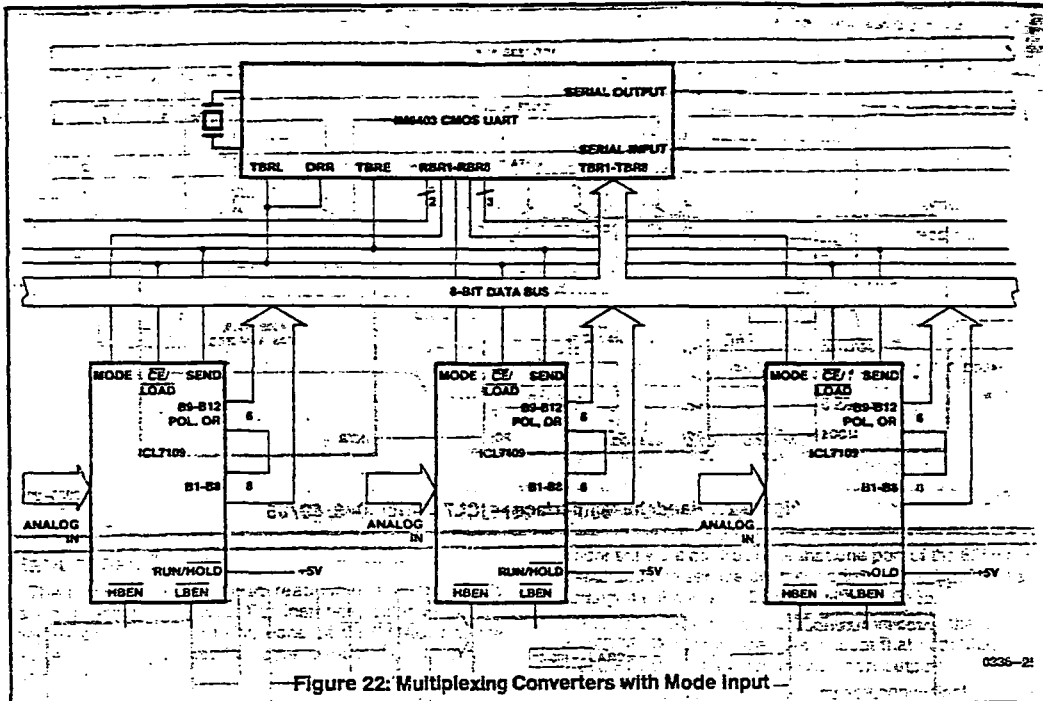


Figure 22: Multiplexing Converters with Mode Input

The applications of the ICL7109 are not limited to those shown here. The purpose of these examples is to provide a starting point for users to develop useful systems, and to show some of the variety of interfaces and uses of the ICL7109. Many of the ideas suggested here may be used in combination; in particular the uses of the STATUS, RUN/HOLD, and MODE signals may be mixed.

APPLICATION NOTES

- A016 "Selecting A/D Converters," by David Fullagar
- A017 "The Integrating A/D Converters," by Lee Evans.
- A018 "Do's and Don'ts of Applying A/D Converters," by Peter Bradshaw and Skip Osgood.
- A030 "The ICL7104 - A Binary Output A/D Converter for Microprocessors," by Peter Bradshaw
- A032 "Understanding the Auto-Zero and Common Mode Performance of the ICL7106 Family," by Peter Bradshaw
- R005 "Interfacing Data Converters & Microprocessors," by Peter Bradshaw et al, Electronics, Dec. 9, 1976.

NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

ICL7109 INTEGRATING A/D CONVERTER EQUATIONS

Oscillator Frequency
 $f_{osc} = 0.45/RC$
 $C_{osc} > 50 \text{ pF}; R_{osc} > 50 \text{ k}\Omega$
 $f_{osc \text{ typ.}} = 60 \text{ kHz}$
 or
 $f_{osc} = 3.58 \text{ MHz (Crystal)}$

Integration Clock Frequency
 $f_{clock} = f_{osc} \text{ (RC Mode)}$
 $f_{clock} = f_{osc}/58 \text{ (Crystal)}$
 $f_{clock} = 1/f_{clock}$

Integration Period
 $t_{INT} = 2048 \times f_{clock}$
60/50 Hz Rejection Criterion
 $t_{INT}/160 \text{ Hz or } t_{INT}/150 \text{ Hz} = \text{integer}$

Optimum Integration Current
 $I_{INT} = 20.0 \mu\text{A}$

Full Scale Analog Input Voltage
 $V_{INFS} \text{ Typically} = 200 \text{ mV or } 2.0\text{V}$

Integrate Resistor
 $R_{INT} = \frac{V_{INFS}}{I_{INT}}$

Integrate Capacitor
 $C_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{V_{INT}}$

Integrator Output Voltage Swing
 $V_{INT} = \frac{(I_{INT})(t_{INT})}{C_{INT}}$
 V_{INT} Maximum Swing:
 $(V^+ - 0.5\text{V}) < V_{INT} < (V^+ - 0.5\text{V})$
 $V_{INT} \text{ Typically} = 2.0\text{V}$

Display Count
 $\text{COUNT} = 2048 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$

Conversion Cycle
 $t_{CYC} = f_{clock} \times 8192$
 (In Free-Run Mode, Run/HOLD = 1)
 when $f_{clock} = 60 \text{ kHz}, t_{CYC} = 133 \text{ ms}$

Common Mode Input Voltage
 $(V^+ - 1.0\text{V}) < V_{IN} < (V^+ - 0.5\text{V})$

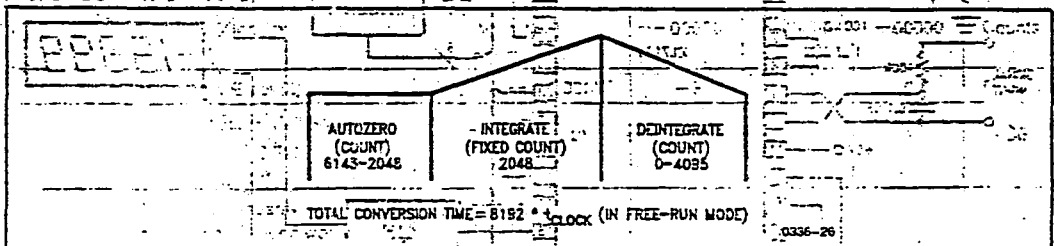
Auto Zero Capacitor
 $0.01 \mu\text{F} < C_{AZ} < 1.0 \mu\text{F}$

Reference Capacitor
 $0.1 \mu\text{F} < C_{REF} < 1.0 \mu\text{F}$

V_{REF} Blased between V^+ and V^+
 $V_{REF} = V^+ - 2.8\text{V}$
 Regulation lost when V^+ to $V^+ < 64\text{V}$
 If V_{REF} is not used, float output pin

Power Supply: Dual $\pm 5.0\text{V}$
 $V^+ = +5.0 \text{ to GND}$
 $V^- = -5.0 \text{ to GND}$

Output Type:
 Binary Amplitude with Polarity and Overrange Bits
 Tips: Always tie TEST pin HIGH.
 Don't leave any inputs floating.

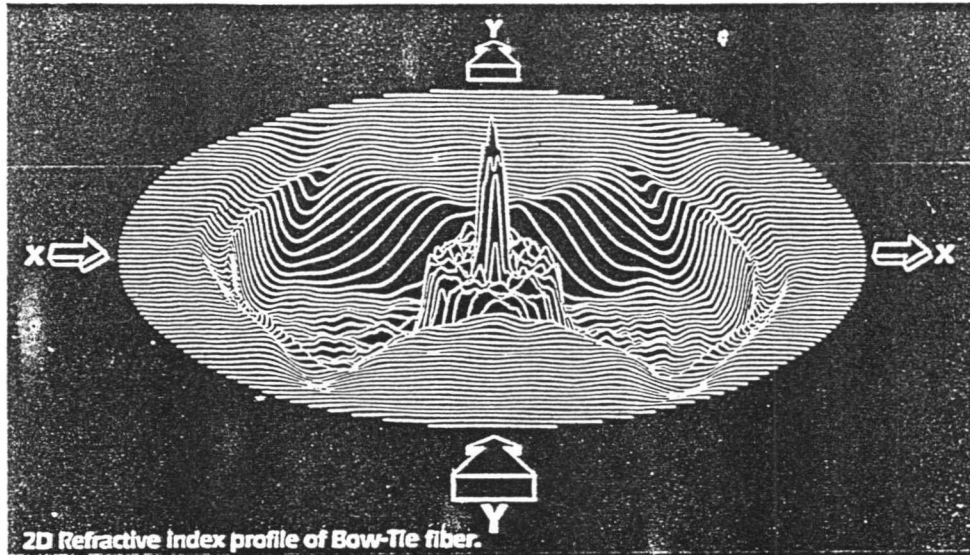


NOTE: All typical values have been characterized but are not tested.

ภาคผนวก ง. 4

HiBi

POLARIZATION PRESERVING FIBER



York VSOP HiBi is designed for applications where a stable polarization state is important. A linear polarized input oriented along either the fiber's X or Y axis gives a linear polarized output oriented along the same axis.

HiBi fibers are particularly useful in fiber interferometers where an unstable polarization state leads to signal fade. Other application areas are:

- transmission of polarized optical power
- polarimetric sensors
- remote sensing of polarization state
- fiber/integrated optic combinations
- coherent transmission/detection
- velocimetry

York VSOP HiBi is very highly birefringent offering excellent resistance to environmental perturbations without the consequent polarization scrambling that occurs in conventional singlemode fiber.

Extensive analysis* has shown that the Bow-Tie structure of York HiBi is the optimum design for stress-induced birefringent fiber. Birefringence is measured in terms of polarization beat length - the shorter the beat length, the higher the birefringence and the better the polarization preserving capability. York VSOP HiBi fiber is available with beat lengths of less than 2mm as standard and less than 1mm on request.

In addition to good polarization control, York VSOP fiber is designed to minimize the bend-induced optical loss likely to occur in tightly wound sensor coils. This is achieved by increasing the core refractive index above that used in telecommunications fibers.

* "Analytical solution for the birefringence produced by thermal stress in polarization - maintaining optical fibers"

SPECIFICATIONS FOR HiBi FIBERS

York HiBi fibers are designed for operation at selected wavelengths between 488nm and 1550nm. Other wavelengths in this range are available on request.

			NEW		NEW	
Fiber type:	HB 450	HB 600	HB 750	HB 800	HB 1250	HB 1500
Operating wavelengths λ_{op} * (nm):	488, 514	633	780	830	1300	1550
Cut-off wavelengths (nm):	<488	<600	<750	<800	<1250	<1500
Attenuation at λ_{op} (dB/km):	<100	<12	<8	<5	<2	<2

Other specifications:

Polarization cross-coupling** (or extinction ratio): -20dB over 1km (typical)

Beatlength at 633 nm: typical 1.3mm, max. 2mm

Fiber diameter } all types: 125 $\mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$ (r.m.s. variation < 1 μm)
 HB 800 also available with: 80 $\mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$

Coating diameter: 220 μm (nominal)

Coating type: mode stripping acrylate

Core diameter: 2-8 μm depending on wavelength

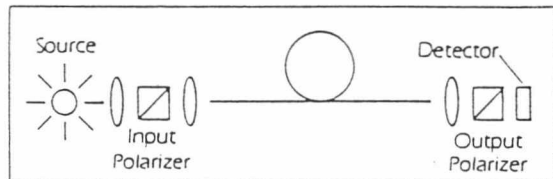
Core refractive index difference: 0.01 nominal

* Typical operating wavelength shown. As with any singlemode fiber, a broad operating window of about 200nm is available provided care is taken to avoid dual mode effects near the cut-off wavelength and bend losses at long wavelengths.

** POLARIZATION CROSS-COUPLING MEASUREMENT.

The measurement is performed after manufacture under the following conditions:-

- the fiber is measured on a standard 32cm diameter drum taking only reasonable care to avoid conditions likely to result in small-scale bends, eg. uneven surfaces or winding several layers on top of one another. The results provide a realistic estimate of performance except under severe microbending conditions.
- the measurement system is as shown in the schematic diagram. The source is either a filtered white light source or a low coherence semiconductor device: narrow linewidth laser sources can lead to very optimistic results. Input and output polarizers are rotated to determine the fiber's principal axes and to measure the direct and cross-coupled optical power. The cross-coupling or extinction ratio is then given by $P_{min}/(P_{max} + P_{min})$.



It is to be emphasised that while the cross-coupling measured as described above is an important indication of basic fiber quality, the performance may be affected by installation in situations producing uneven stresses on the fiber. In particular the construction of coils consisting of many layers should be undertaken with great care. York's short beatlength fiber is designed to provide the highest possible resistance to polarization cross-coupling in these circumstances. Please consult York for advice.

YORK V.S.O.P. YORK TECHNOLOGY INC.
 York House, School Lane, Research Park
 Chandler's Ford, Hampshire, SO5 3DG, UK P. 127, Wall Street
 Princeton, NJ 08540, USA P. D. E.
 Tel: (0703) 260411, Telex: 477948 YORKE G, Fax: (609) 924 4040
 Tel: (609) 683 4357, Telex: 3762780 YORKE T, Fax: (609) 924 4040
 backed by a world-wide network of distributors.

ภาคผนวก จ. 1

ประวัติผู้เขียน

นาย กิตติกร วิรัชวรพงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2514 สำเร็จการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนราชวินิตบางแก้ว แล้วจึงเข้าศึกษาต่อในระดับ
ปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ (โซลิตสเตตอิเลคโทรนิคส์) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2536

นาย นรสิทธิ์ สิงห์ลกะ เกิดเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2515 สำเร็จการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนปทุมธานีวิทยา ๔ แล้วเข้าศึกษาต่อมัธยมศึกษาตอน
ปลายที่โรงเรียนดินทรเดชา (สิงห์ สิงห์เสนีย์) แล้วจึงเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี
สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ (โซลิตสเตตอิเลคโทรนิคส์) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2536