สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องปิดฝาหลอดใส่เลือด

CAPPING SPECIMEN TUBE MACHINE

โดย

นายปฐมพงษ์ บุตรดี

นางสาวอภิรดี ตระกูลสว่างเหมาะ

นายเอกสิทธิ์ จิตร์สุภาพ

วพ.
ว 1420
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....83109
วัน,เดือน,ปี.....- 5 ส.ค. 2551

b.....11961356b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องปิดฝาหลอดใส่เลือด

CAPPING SPECIMEN TUBE MACHINE

ผู้จัดทำ	**นายปฐมพงษ์**	**บุตรดี**	**47010451**
	นางสาวอภิรดี	**ตระกูลสว่างเหมาะ**	**47010940**
	นายเอกสิทธิ์	**จิตร์สุภาพ**	**47011015**

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปิดฝาหลอดใส่เลือด

CAPPING SPECIMEN TUBE MACHINE

โดย

นายปฐมพงษ์	บุตรดี	47010451
นางสาวอภิรดี	ตระกูลสว่างเหมาะ	47010940
นายเอกสิทธิ์	จิตร์สุภาพ	47011015

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบเครื่องปิดฝาหลอดใส่เลือด รวมไปถึงเครื่องคัดเรียงฝาและหลอดใส่เลือด โดยมีขนาดเครื่องจักรที่กะทัดรัด ใช้ระบบไฟฟ้าขนาดไฟบ้านแทนการใช้ระบบนิวแมติกหรือไฮดรอลิก มีการทำงานแบบอัตโนมัติด้วยการจับตำแหน่งโดยเซนเซอร์อินฟราเรด และควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ปราศจากการสัมผัสจากมนุษย์ สามารถปิดฝาได้อย่างน้อย 20 หลอดต่อ 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปิดฝาหลอดใส่เลือด

CAPPING SPECIMEN TUBE MACHINE

โดย

นายปฐมพงษ์	บุตรดี	47010451
นางสาวอภิรดี	ตระกูลสว่างเหมาะ	47010940
นายเอกสิทธิ์	จิตร์สุภาพ	47011015

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ABSTRACT

This thesis presents design of Capping Specimen Tube Machine including Covers and Tubes Arranging Machine. They are designed to be moved easily with suitable size. The system can work with home electrical system that instead of using pneumatic or hydraulics. They can work automatically - detect position of covers and tubes with infrared sensors. Each process is controlled with Microcontroller. Therefore; specimen tubes are not touched by human. This machine can make absolute tube at least twenty tubes per minute .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง อาจารย์ที่ปรึกษาอย่างสูง ที่ให้คำปรึกษาแนวทางในการแก้ปัญหา ความคิดริเริ่ม ตลอดจนการฝึกฝนให้ผู้เขียนมีความสามารถในการทำวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการสอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผู้เขียนทำงานอย่างมีระบบและใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบคุณนายเลิศฤทธิ์ จิตร์สุภาพ ที่ให้คำแนะนำวิธีคัดเรียงฝาและหลอด

ขอขอบคุณชุมนุมอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆของชุมนุม

ขอขอบคุณสโมสรนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและเก็บชิ้นงาน ตลอดจนอำนวยความสะดวก ให้แก่ผู้เขียนจนสามารถทำปริญญานิพนธ์นี้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ได้เอื้อเฟื้อเงินทุนในการทำวิจัย

และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่รักและเคารพ ที่สนับสนุนให้โอกาสแก่ผู้เขียนได้เล่าเรียนจนถึงวันนี้ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจ คำปรึกษา แนะนำ และเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมา จนสามารถนำสิ่งต่างๆที่ได้รับมานั้นจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

นายปฐมพงษ์ บุตรดี

นางสาวอภิรดี ตระกูลสว่างเหมาะ

นายเอกสิทธิ์ จิตร์สุภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ VI

สารบัญตาราง IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.1.1 Specimen Tube 1

1.1.1.1 ด้ามจับหรือกระบอกจับ (holder) 1

1.1.1.2 เข็ม (needle) 2

1.1.1.3 หลอดเก็บตัวอย่างเลือดสูญญากาศ (evacuated tube) 2

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

1.3 ขอบเขตการศึกษา 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 5

2.1 กลไกการปิด 5

2.1.1 4 Bar Linkage 5

2.1.2 ระดับอิสระในการเคลื่อนที่ (Degree of Freedom) 8

2.1.3 มุมส่งผ่านกำลัง 10

2.1.4 การวิเคราะห์ความเร็ว 11

2.1.5 การวิเคราะห์ความเร่ง 14

2.1.6 การวิเคราะห์แรง 17

2.1.7 จุดเซนทรอยด์ 18

2.1.8 เพลา 22

2.1.9 คาน 23

2.1.10 การบิด 24

2.2 มอเตอร์ 25

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 สเตปปิ้งมอเตอร์ 26
2.3 เซนเซอร์อินฟราเรด 37
2.3.1 อินฟราเรด LED (Infrared LED) 38
2.3.2 วงจรภาครับของระบบอินฟราเรด 39
2.3.3 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC) 43
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง 47
3.1 การออกแบบกลไกการปิดและการลำเลียง 47
3.1.1 จานลำเลียงหลอด 47
3.1.2 จานลำเลียงฝา 47
3.1.3 กลไกการปิด 48
3.1.4 ออกแบบถังคัดเรียงฝา 49
3.1.5 ถังคัดเรียงหลอด 51
3.2 การออกแบบโครงสร้าง 52
3.2.1 การเลือกวัสดุ 53
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 54
4.1 ทดลองหาขนาดแรงที่ใช้ในการปิด 54
4.2 ทดลองหาขนาดมอเตอร์ที่ใช้ในการปิด 55
4.3 ทดลองการเรียงและลำเลียงฝา 56
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป 58
5.1 เครื่องปิดฝา 58
5.2 เครื่องคัดเรียงฝา 58
ภาคผนวก ก แบบโครงสร้าง
ภาคผนวก ข โปรแกรมควบคุมการทำงาน
ภาคผนวก ค รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย (DATA SHEET)
เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

1.1 แสดงด้ามจับหรือกระบอกจับ 1

1.2 แสดงเข็มเจาะเลือด 2

1.3 แสดงลักษณะหลอด 2

1.4 (ก) ลักษณะฝาที่ยังไม่ปิด

(ข) ลักษณะฝาที่ปิดแล้ว 3

2.1 การเคลื่อนที่แบบ Crank-Rocker 5

2.2 การเคลื่อนที่แบบ Double Rocker 5

2.3 การเคลื่อนที่แบบแบบ Drag Link 6

2.4 ชิ้นต่อโยงที่มีลักษณะแบบ Four bar linkage 6

2.5 ลักษณะต่างๆ ของชิ้นต่อโยงตามกฎของ Grashof criterion 8

2.6 ลักษณะการเชื่อมต่อและระดับอิสระในการเคลื่อนที่ของชิ้นต่อโยง 9

2.7 มุมส่งผ่านกำลัง 10

2.8 การใช้จุดศูนย์กลางชั่วขณะในการวิเคราะห์หาความเร็วของกลไก 12

2.9 การวิเคราะห์ความเร็วโดยวิธีคณิตวิเคราะห์ 13

2.10 การวิเคราะห์หาความเร่ง 14

2.11 ความเร่ง Coriolis ของชิ้นต่อโยง 16

2.12 คานและแกนสะเทิน 23

2.13 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม 25

2.14 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน 26

2.15 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม 26

2.16 สเตปปิ้งมอเตอร์ และการใช้งาน 27

2.17 สเตปปิ้งมอเตอร์ 4 เฟส แบบยูนิโพล่าร์ (Uni-polar stepper motor) 27

2.18 สเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส 28

2.19 ลักษณะภายในของสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส 28

2.20 แผนผังสายไฟของสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส 29

2.21 ขดลวดของสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 2 เฟส และ 4 เฟส 29

2.22 จุดเชื่อมต่อและค่าที่สามารถอ่านได้จากสายไฟ 8 เส้นสำหรับสเตปปิ้ง

มอเตอร์ชนิด 4 เฟส 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.23 จุดต่อร่วมจะทำให้สายไฟลดลงจากเดิม 8 เส้น เหลือ 5 หรือ 6 เส้น 30

2.24 จุดเชื่อมต่อและค่าที่สามารถอ่านได้จากสายไฟ 5 หรือ 6 เส้นของ
สเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส 31

2.25 ลำดับการป้อนพัลส์เพื่อขับสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟสทั่วไป 32

2.26 ลำดับขั้นในการเปิด/ปิด และ ปิด/ปิด 32

2.27 แรงบิดของสเตปปิ้งมอเตอร์ที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วในการหมุนต่ำลง 34

2.28 ตัวตรวจจับวัตถุ เมื่อไม่มีวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ 36

2.29 ตัวตรวจจับวัตถุ เมื่อมีวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ 36

2.30 การจำกัดกระแสของแอลอีดีเบื้องต้น 37

2.31 โครงสร้างภายในของโฟโต้โมดูล 38

2.32 การต่อใช้งาน 39

2.33 ลักษณะสัญญาณแบบโทนเบิรสต์ 39

2.34 สัญญาณโทนเบิรสต์ที่ออกจาก TXD เป็น 35H 40

2.35 แสดงขั้นตอนการเกิดสัญญาณโทนเบิรสต์
(ก)สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ความถี่ประมาณ 38KHz
(ข)เมื่อนำสัญญาณทั้งคู่มารวมกันจะได้สัญญาณโทนเบิรสต์ 40

2.36 วงจรตัวส่งอินฟราเรด 41

2.37 สัญญาณที่ได้จากเอาท์พุตของอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ 41

2.38 แสดงวงจร อะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ 38 kHz 42

2.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า R และ C และความถี่ 42

2.40 แสดงโครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ 44

3.1 แสดงจานลำเลียงหลอด 47

3.2 แสดงจานลำเลียงฝา 47

3.3 แสดงแท่งปิด 48

3.4 แสดงชิ้นยึดติดกับมอเตอร์ 48

3.5 แสดงถังคัดฝา 50

3.6 แสดงการลำเลียงฝา 50

3.7 แสดงลักษณะปลายหลอดนำ 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.8 แสดงลักษณะจุกยางนำ 52

3.9 แสดงถังคัดเรียงหลอด 52

3.10 แสดงโครงสร้างเครื่อง 53

4.1 แสดงการทดลองหาขนาดแรงที่ใช้ปิด 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แสดงความหมายและสารที่บรรจุของฝาสีต่างๆ 3
2.1 แสดงการหาพิกัดจุดศูนย์กลางของรูปทรงต่างๆ 19
2.2 แสดงการกระตุ้นเฟสแบบต่างๆของสเตปปิ้งมอเตอร์.....35
4.1 แสดงการทดลองหาขนาดแรงที่ใช้ในการปิดฝา 54
4.2 แสดงการทดลองเลือกมอเตอร์ที่ใช้ในการปิดฝา 55
4.3.1 แสดงการทดลองการเรียงและลำเลียงฝา จำนวน 15 ฝา..... 56
4.3.2 แสดงการทดลองการเรียงและลำเลียงฝา จำนวน 20 ฝา..... 56
4.3.3 แสดงการทดลองการเรียงและลำเลียงฝา จำนวน 30 ฝา..... 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน Specimen tube ได้เข้ามามีบทบาทมากในด้านการแพทย์ หลอดชนิดนี้จะเป็นหลอดตัวอย่างที่ใช้กับตัวอย่างเลือดหรือสารชีวภาพโดยใช้หลักการสุญญากาศในการดูดสารและเนื่องจากเป็นหลอดที่เก็บตัวอย่างสารจากสิ่งมีชีวิตเพื่อนำไปตรวจสอบและวิจัยคุณสมบัติหรือพฤติกรรมต่างๆของสารตัวอย่างจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการผลิตหลอดที่สะอาด

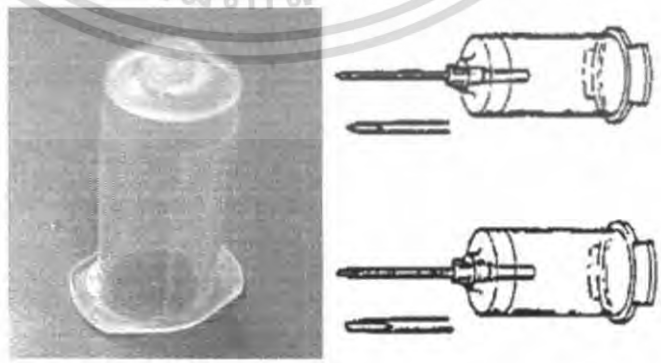
เนื่องจาก Specimen tube มีส่วนประกอบหลายส่วน โดยกระบวนการผลิตหรือการประกอบหลอดมีหลายกระบวนการ แต่กระบวนการที่นำมาศึกษาเป็นการCapping หรือ การสวมฝาปิดให้กับตัวหลอด ซึ่งเป็นกระบวนหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยปกติการCapping จะใช้เครื่องมือในการปิด ซึ่งผลิตได้เพียงครั้งละไม่กี่หลอด ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะใช้ระบบการผลิตแบบอัตโนมัติเพื่อสะดวกรวดเร็ว และลดการใช้แรงงานจากมนุษย์ อีกทั้งการใช้เครื่องจักรยังลดการสัมผัสจากมนุษย์อีกด้วย

1.1.1 Specimen Tube

เป็นเครื่องมือเจาะเลือดจากเส้นเลือดดำด้วยระบบสุญญากาศนั้นมีส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ ด้ามจับหรือกระบอกจับ(holder) เข็ม(needle) และหลอดเก็บตัวอย่างเลือดสุญญากาศ (evacuated tube)

1.1.1.1 ด้ามจับหรือกระบอกจับ (holder)

ด้ามจับหรือกระบอกจับทำด้วยพลาสติกเป็นเครื่องมือรูปทรงกระบอกคล้ายกระบอกฉีดยาที่ไม่มีก้านดึง ปลายด้านหนึ่งเปิด ปลายอีกด้านมีลักษณะเป็นเกลียวไว้ขันต่อกับเข็มสำหรับเจาะเส้นเลือด



รูปที่ 1.1 แสดงด้ามจับหรือกระบอกจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.1.2 เข็ม (needle)

เข็มเจาะเส้นเลือดที่ปลอดจากเชื้อ เป็นเข็มที่ใช้สำหรับการเจาะเส้นเลือดครั้งเดียวแล้วทิ้ง (disposable needle) มีลักษณะพิเศษที่ต่างจากเข็มเจาะเส้นเลือดโดยทั่วไป คือเข็มมี 2 ปลาย ทำจากโลหะปราศจากสนิม เคลือบซิลิโคน มีฝาพลาสติกครอบกันคม ปิดอยู่ทั้ง 2 ปลายปลายข้างหนึ่งของเข็มใช้สำหรับการเจาะเข้าสู่เส้นเลือดดำ ปลายข้างนี้จะมีบากเข็มที่คมมาก สำหรับแทงผ่านผิวหนังเข้าสู่เส้นเลือดดำส่วนปลายอีกข้างหนึ่งใช้สำหรับแทงเจาะเข้าสู่หลอดสุญญากาศ ปลายทั้งสองของเข็ม เชื่อมต่อเข้าด้วยกันโดยส่วนที่เรียกว่า hub ซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียว ไว้สำหรับขันเข้ากับด้ามจับหรือกระบอกจับ

รูปที่ 1.2 แสดงเข็มเจาะเลือด

1.1.1.3 หลอดเก็บตัวอย่างเลือดสูญญากาศ (evacuated tube)

หลอดเก็บตัวอย่างเลือด เป็นหลอดที่โดยมากทำด้วยแก้ว เคลือบภายในด้วยสารจำพวก sodalime หรือ borosilicate และเติมสารพวก silicone เพื่อลดอัตราการแตกตัวของเม็ดเลือดแดงและป้องกันการเกาะติดผนังหลอดของเลือด หลอดบรรจุเลือดทั่วไปจะไม่มีการเติมสารกันเลือดแข็งเพื่อเก็บ clotted blood ในปัจจุบันมีการเติม additive เพื่อให้ serum แยกจากส่วน clotted blood ได้เร็วขึ้น ส่วนหลอดบรรจุเลือดที่ต้องการ plasma หรือเพื่อการตรวจทางเลือดวิทยา จะมีเติมสารกันเลือดแข็งชนิดต่างๆ ตามต้องการ หรือตามที่กำหนด ในปัจจุบันยังมีการผลิตหลอดที่ทำจากพลาสติกเนื้อพิเศษด้วย

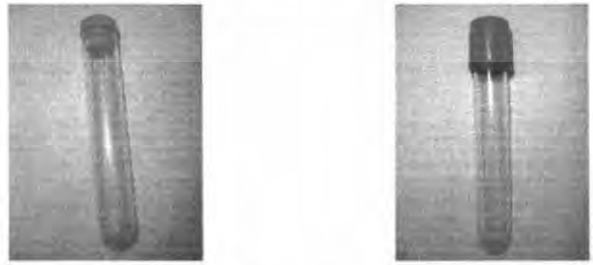
รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดสูญญากาศเหล่านี้ จะผ่านขบวนการทำให้เป็นสูญญากาศ และขบวนการทำให้ปลอดเชื้อด้วยการอาบรังสี หลอดสูญญากาศเหล่านี้ มีการผลิตออกมาในหลายขนาด ตั้งแต่ขนาด 2 ถึง 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ขนาดที่นิยมใช้กันบ่อย คือ ขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลอดสูญญากาศทุกหลอด จะถูกผนึกด้วยจุกพลาสติก (stopper) ช่วยในการรักษาสภาพสูญญากาศ จุกที่ใช้กับหลอดสูญญากาศจะมีลักษณะพิเศษ เพื่อให้เข็มสามารถทะลุผ่านได้ และนอกจากนี้จุกยังมีสีต่างๆ ตามสารกันเลือดแข็งที่บรรจุอยู่ เพื่อให้การเลือกใช้หลอดดังกล่าว มีความสะดวกสำหรับผู้ใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงความหมายและสารที่บรรจุของฝาสีต่างๆ

Color	Use	Additive
Grey	Plasma or Whole blood glycolysis inhibition	Oxalate (Na or K) Fluoride (Na)
Black	Plasma of Whole blood	Citrate (Na)
Blue	Plasma of Whole blood	Citrate (Na)
Margenta	Plasma or Whole blood	EDTA
Red	Serum	No
Green	Plasma or Whole blood	Heparin



(ก) (ข)

รูปที่ 1.4 (ก) ลักษณะฝาที่ยังไม่ปิด (ข) ลักษณะฝาที่ปิดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ระยะ โดยจุดประสงค์หลักของงานวิจัยในระยะที่ 1 เป็นการออกแบบและพัฒนาส่วนปิดฝา ระยะที่ 2 เป็นการออกแบบส่วนคัดเรียงฝา และระยะที่ 3 เป็นการออกแบบส่วนคัดเรียงหลอด ซึ่งในระยะที่ 3 จะมีการศึกษาและวิจัยในปีการศึกษาต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรมควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการ
2. ออกแบบเครื่องปิดฝาหลอดใส่เลือดให้มีประสิทธิภาพสูงภายใต้เงื่อนไขของขนาดที่กะทัดรัดและมีการควบคุมแบบอัตโนมัติ
3. ออกแบบเครื่องปิดฝาหลอดใส่เลือดให้ง่ายต่อการใช้งานตามที่ออกแบบไว้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้ระบบไฟฟ้าแทนการใช้ระบบไฮโดรลิกหรือระบบนิวเมติก โดยใช้ไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ ซึ่งเป็นขนาดไฟบ้าน
2. สามารถคัดหลอดและฝาปิดโดยอัตโนมัติ
3. สามารถปิดฝาได้ 20 หลอด / นาที และสามารถนับจำนวนหลอดที่ปิดฝาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

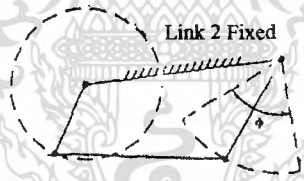
2.1 กลไกการปิด

2.1.1 4 Bar Linkage

ในกระบวนการปิดฝาหลอด Specimen tube ในขั้นต้นได้ศึกษาเรื่องกลไกและเครื่องจักรกล เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบกลไกการปิดฝาหลอด Specimen tube หลังจากได้ศึกษาเรื่อง กลไกและเครื่องจักรกลแล้ว จะเป็นการออกแบบกลไกการปิด เลือกวัสดุที่นำมาสร้าง ทำการสร้างตามแบบที่ได้คิดไว้ สุดท้ายประกอบเครื่อง และทำการทดลองปิดฝาหลอด Specimen tube

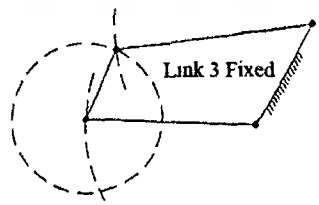
ลักษณะการเคลื่อนที่ของชิ้นต่อโยงในระบบต่อโยงแบบ 4 ชิ้นนั้น สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 3 แบบด้วยกัน คือ

1. แบบ Crank-Rocker เป็นระบบกลไกที่ชิ้นต่อโยงด้านรับ หรือ input มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบ crank กล่าวคือ สามารถหมุนได้ 360 องศา รอบจุดหมุน ส่วนชิ้นต่อโยงด้านส่งหรือ output จะมีการเคลื่อนที่แบบ rocker หรือแบบกวัดแกว่ง (oscillate) คล้ายคลึงกับการเคลื่อนที่ของที่ปัดน้ำฝนรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่แบบ Crank-Rocker

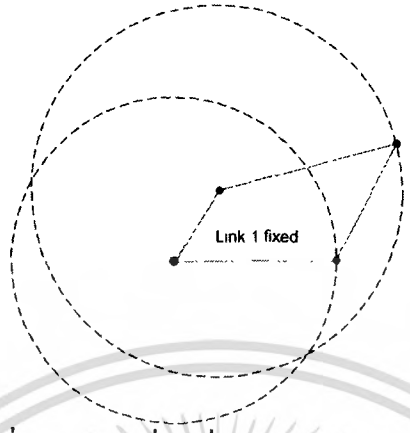
2. แบบ Double Rocker เป็นระบบกลไกที่ทั้งชิ้นต่อโยงด้านรับและด้านส่ง ไม่สามารถหมุนได้ 360 องศา รอบจุดหมุน ชิ้นต่อโยงทั้งสองจะมีการเคลื่อนที่แบบกวัดแกว่ง (rocker) เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่แบบ Double Rocker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

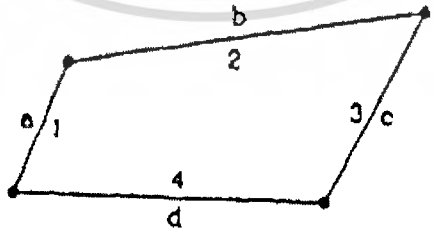
3. แบบ Drag Link เป็นระบบกลไกที่ทั้งชิ้นต่อโยงด้านรับและด้านส่งมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบ crank (สามารถหมุนได้ 360 องศารอบจุดหมุน) ดังนั้นในบางครั้งอาจเรียกได้ว่าเป็นแบบ Double Crank ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่แบบแบบ Drag Link

ในการใช้งานกลไกต่างๆ บ่อยครั้งที่จะมีการออกแบบให้ชิ้นต่อโยงด้านรับ (input link) รับแรงและการเคลื่อนที่จากมอเตอร์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องออกแบบให้ชิ้นต่อโยงด้านรับสามารถที่จะหมุนได้ 360 องศา การที่จะออกแบบให้กลไกมีชิ้นต่อโยงที่หมุนได้ครบรอบ 360 องศา รอบจุดหมุนนั้น จำเป็นที่จะต้องออกแบบระบบต่อโยงตาม Grashof criterion กล่าวคือ " ผลบวกของความยาวของชิ้นต่อโยงด้านที่สั้นที่สุดกับด้านที่ยาวที่สุด จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับผลบวกของความยาวของชิ้นต่อโยงอีก 2 ด้านที่เหลือ "

จาก Grashof criterion โดยมีตัวอย่างในรูปที่ 2.4 ประกอบและหากกำหนดให้ a เป็นความยาวของชิ้นต่อโยงที่สั้นที่สุด หรือชิ้นต่อโยง 1 และ b เป็นความยาวของชิ้นต่อโยงที่ยาวที่สุด หรือชิ้นต่อโยง 2 จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้รวมทั้งสิ้น 3 แบบ คือ 1) $a + b < c = d$, 2) $a + b > c + d$, และ 3) $a + b = c + d$ ซึ่งหากเลือกชิ้นต่อโยงอยู่กับที่ต่างๆ กันไปแล้ว (หรือ inversion ต่างๆ) จะได้ผลที่ต่างกันออกไปคือ



รูปที่ 2.4 ชิ้นต่อโยงที่มีลักษณะแบบ Four bar linkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สำหรับกรณี $a + b < c = d$

หากเลือกชิ้นต่อโยงอยู่กับที่ เป็นชิ้นต่อโยงที่ต่ออยู่กับชิ้นต่อโยงที่สั้นที่สุด (คือชิ้นต่อโยง 2 หรือ 4) จะได้ระบบแบบ Crank-Rocker ซึ่งเป็นกลไกที่ชิ้นต่อโยงที่สั้นที่สุดสามารถหมุนได้ 360 องศา ส่วนชิ้นต่อโยงอีกชิ้นหนึ่งที่ต่ออยู่กับจุดหมุนที่ยึดอยู่กับพื้นมีการเคลื่อนที่แบบกวัดแกว่ง ดังเช่นในรูปที่ 2.1 แต่ถ้าหากเลือกชิ้นต่อโยงทีสั้นที่สุด เป็นชิ้นต่อโยงอยู่กับที่ จะได้ระบบต่อโยงแบบ Double-Crank ซึ่งเป็นกลไกที่ชิ้นต่อโยงทุกชิ้น(รวมถึงชิ้นเชื่อมต่อ) สามารถหมุนได้รอบจุดหมุน 360 องศา ดังเช่นในรูปที่ 2.3 สำหรับระบบที่มีชิ้นต่อโยงทีอยู่ตรงข้ามกับชิ้นต่อโยงที่สั้นที่สุดเป็นชิ้นที่อยู่กับที่ จะมีการทำงานแบบ Grashof Double-Rocker ซึ่งเป็นกลไกที่ชิ้นเชื่อมต่อเท่านั้นที่สามารถหมุนได้ 360 องศา ส่วนชิ้นต่อโยงอีกสองชิ้นที่ต่ออยู่กับจุดหมุนที่ยึดอยู่กับพื้นจะมีการเคลื่อนที่แบบกวัดแกว่ง ดังเช่นในรูปที่ 2.2

2) สำหรับกรณี $a + b > c + d$

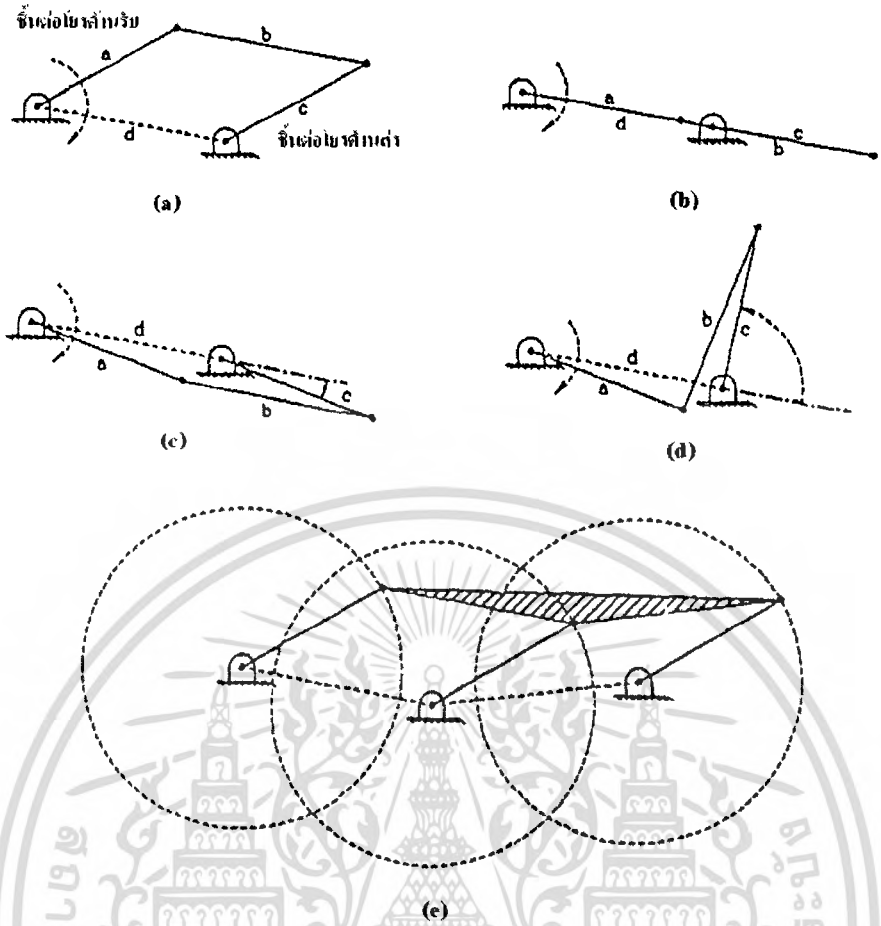
ทุกๆ inversions จะเป็นระบบต่อโยงแบบ Double-Rocker ซึ่งไม่มีชิ้นต่อโยใดเลยที่สามารถหมุนได้รอบจุดหมุน 360 องศา

3) สำหรับกรณี $a + b = c + d$

ทุกๆ inversions สามารถที่จะเป็น Double-Crank หรือ Crank-Rocker แต่จะมีจุดเปลี่ยน (changing points) เกิดขึ้นได้สองครั้งต่อทุกๆ 1 รอบการหมุนของชิ้นต่อโยงด้านรับ ณ จุดเปลี่ยนนี้ชิ้นต่อโยงทั้งสามที่สามารถเคลื่อนที่ได้ จะเกิดการทับกันสนิทเป็นเส้นตรง ทำให้การเคลื่อนที่ในลักษณะต่อไปเกิดความไม่แน่นอนขึ้น เพราะมีความเป็นไปได้อยู่สองแบบที่ระบบสามารถที่จะเป็นไปได้รูปที่ 2.5 โดยที่รูป 2.5(a) แสดงขณะหนึ่งก่อนที่จะถึงจุดเปลี่ยนรูป 2.5b เป็นขณะที่ระบบอยู่ในตำแหน่งจุดเปลี่ยน ส่วนรูป 2.5(c) และ 2.5(d) เป็น 2 รูปแบบภายหลังจุดเปลี่ยนที่ระบบสามารถจะเป็นไปได้

หากระบบกลไกใดสามารถเกิดจุดเปลี่ยนขึ้นได้ในระหว่างการทำงาน เพราะจะทำให้การทำงานของระบบนั้นเกิดความไม่แน่นอนขึ้น และไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหลีกเลี่ยงการเกิดจุดเปลี่ยนขึ้นในระหว่างการทำงาน โดยอาจมีการจำกัดการหมุนของชิ้นต่อโยงด้านรับไว้ไม่ให้หมุนเข้าสู่ตำแหน่งที่เกิดจุดเปลี่ยนขึ้น หรืออาจจะเพิ่มระบบพ่วงเข้าไปเพื่อให้เกิดแรงเฉื่อยนำระบบหลุดออกจากจุดเปลี่ยนเข้าสู่รูปแบบของกลไกที่ต้องการ ดังตัวอย่างในรูป 2.5(e)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



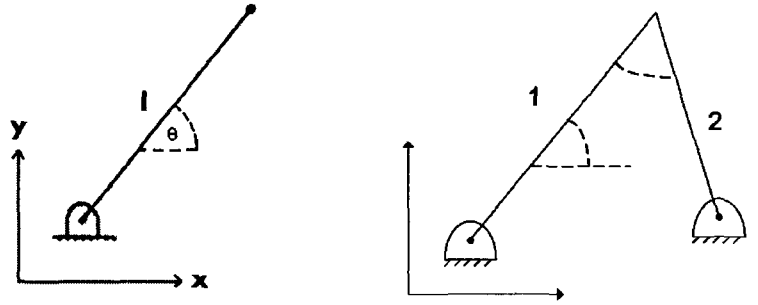
รูปที่ 2.5 ลักษณะต่างๆ ของชิ้นต่อโยงตามกฎของ Grashof criterion

2.1.2 ระดับอิสระในการเคลื่อนที่ (Degree of Freedom)

ระดับอิสระในการเคลื่อนที่ (Degree of Freedom) เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงอิสระในการเคลื่อนที่ว่า มีอิสระในการเคลื่อนที่ทั้งหมดกี่ทิศทาง และยังเป็นสิ่งที่บอกถึงจำนวนข้อมูลอย่างน้อยที่สุดที่ต้องการเพื่อที่จะบอกถึงตำแหน่งของวัตถุในขณะเวลาหนึ่ง ตัวอย่างของข้อมูลที่ใช้ในการบอกตำแหน่งของวัตถุคือ ระยะทางจากจุดกำเนิด (origin) ในแนวแกน X, Y, หรือ Z และมุมที่วัดเทียบกับแกน X, Y, หรือ Z

สำหรับวัตถุทั่วไปที่ปล่อยให้มีอิสระในการเคลื่อนที่อย่างเต็มที่ จะสามารถมีระดับอิสระในการเคลื่อนที่ได้สูงที่สุดเท่ากับ 6 ระดับ กล่าวคือ ระยะทางระหว่างจุดกำเนิดและวัตถุ ในแนวแกน X , แกน Y, และ แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 2.6 ลักษณะการเชื่อมต่อและระดับอิสระในการเคลื่อนที่ของชิ้นต่อโยง

รูปที่ 2.6(a) แสดงถึงชิ้นต่อโยงในระนาบและมีอิสระในการเคลื่อนที่ในระนาบได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นจึงมีอิสระในการเคลื่อนที่ทั้งหมด 3 ระดับ คือ 1) เคลื่อนที่ในแนวแกน X, 2) เคลื่อนที่ในแนวแกน Y, 3) หมุนตัวเป็นมุม θ เทียบกับแกน X (หรือ แกน Y) เพราะฉะนั้นชิ้นต่อโยงอิสระในระนาบ 1 ชิ้น จะมี 3 ระดับอิสระในการเคลื่อนที่ แต่เมื่อนำชิ้นต่อโยงอิสระในระนาบ 2 ชิ้นมาต่อกันเข้าที่จุดหมุนจุดหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.6(b) จากจำนวนระดับอิสระของทั้งสองชิ้นก่อนนำมาต่อกัน ซึ่งมีค่ารวมทั้งสิ้นเท่ากับ 6 ระดับ กล่าวคือ 1) การเคลื่อนที่ในแนวแกน X ของชิ้นต่อโยงที่ 1, 2) การเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ของชิ้นต่อโยงที่ 1, 3) การหมุนตัวทำมุม θ ของชิ้นต่อโยงที่ 1, 4) การเคลื่อนที่ในแนวแกน X ของชิ้นต่อโยงที่ 2, 5) การเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ของชิ้นต่อโยงที่ 2, และ 6) การหมุนตัวทำมุม β ของชิ้นต่อโยงที่ 2 จะเหลือเพียง 4 ระดับเท่านั้น กล่าวคือ การเคลื่อนที่ในแนวแกน X และการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ของชิ้นต่อโยงที่ 2 จะหายไป เพราะการเคลื่อนที่ทั้ง 2 แนว จะไปขึ้นอยู่กับชิ้นต่อโยงที่ 1 แทน กล่าวคือ ไม่ว่าชิ้นต่อโยงที่ 1 จะเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแกน Y อย่างไร ชิ้นต่อโยง 2 จำเป็นต้องเคลื่อนที่ตามไปด้วยเสมอ เนื่องจากมีจุดหมุนร่วมกันอยู่จุดหนึ่ง

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าชิ้นต่อโยงในระนาบแต่ละชิ้นจะมี 3 ระดับอิสระในการเคลื่อนที่แต่การนำชิ้นต่อดยงอิสระในระนาบ 2 ชิ้น มาต่อกันเข้าที่จุดหมุนจุดหนึ่ง จะทำให้ระดับอิสระในการเคลื่อนที่หายไป 2 ระดับ จากหลักการนี้จึงอาจกำหนดเป็นสมการสำหรับคำนวณระดับอสระในการเคลื่อนที่ ของระบบต่อโยงในระนาบได้ตามสมการของ Gruebler ว่า

$$dof = 3(n-1) - 2j \qquad \text{(Gruebler's Equation)}$$

โดยที่ dof คือ ระดับอิสระในการเคลื่อนที่ (degree of freedom) ของระบบ

n คือ จำนวนชิ้นต่อโยงทั้งหมดของระบบ

j คือ จำนวนจุดหมุนทั้งหมดในระบบ

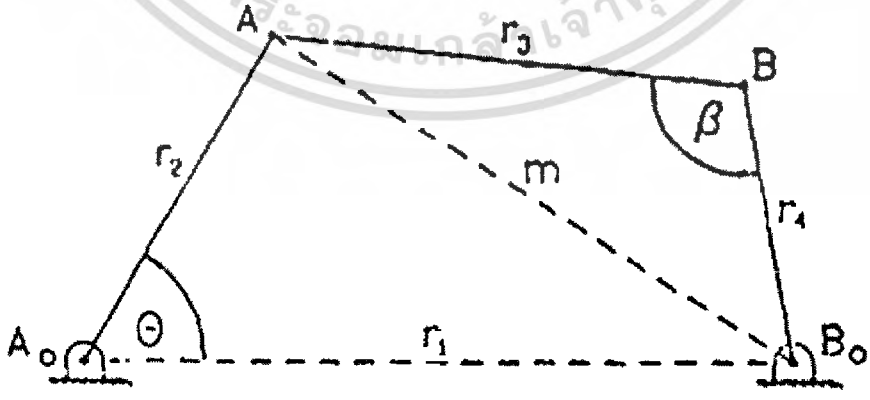
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการนับจำนวนชิ้นต่อโยงนั้น หากเป็นระบบต่อโยงแล้วให้นับชิ้นต่อโยงที่อยู่กับที่ (fixed) ด้วยเสมอ ส่วนการนับจำนวนจุดหมุน หากเป็นจุดหมุนที่มีชิ้นต่อโยงมากกว่า 2 ชิ้นมาต่อกัน ให้นับว่า จุดหมุนอันนั้นมีค่าเท่ากับ จำนวนชิ้นต่อโยงที่มาต่อที่จุดนั้นลบด้วย 1 หากระดับอิสระมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือมีค่าเป็นลบแล้ว ระบบจะไม่มีอิสระในการเคลื่อนที่ หรืออีกนัยหนึ่งคือ ระบบไม่สามารถที่จะขยับตัวได้เลย และอาจจะกล่าวได้ว่า ระบบต่อโยงนั้น ไม่ได้เป็นระบบกลไก (mechanism) แต่เป็นโครงสร้าง (structure)

2.1.3 มุมส่งผ่านกำลัง

ในการทำงานของระบบกลไกนั้น เมื่อมีการป้อนพลังงานกลให้แก่ชิ้นต่อโยงด้านรับ ก็จะเกิดการส่งผ่านพลังงานกลนี้ไปยังชิ้นต่อโยงด้านส่ง โดยอาศัยชิ้นเชื่อมต่อ ซึ่งพลังงานกลที่ให้แก่ระบบนี้ มักจะส่งผ่านไปในรูปของแรงหรือแรงบิด แต่พลังงานกลที่ชิ้นต่อโยงด้านส่งได้รับและส่งต่อไปนั้น อาจจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยก็ได้ โดยตัวแปรที่สำคัญอันหนึ่งคือ มุมระหว่างชิ้นเชื่อมต่อและชิ้นต่อโยงด้านส่ง หรือมุมส่งผ่านกำลัง (transmission angle)

จากรูปที่ 2.7 มุม β จะเป็นมุมส่งผ่านกำลัง ซึ่งเป็นมุมระหว่างชิ้นเชื่อมต่อ (2) และชิ้นต่อโยงด้านส่ง (3) ถ้าหากมุม β นี้มีค่าเท่ากับ 90 องศา จะเกิดแรงบิดที่ชิ้นต่อโยงด้านส่งมากที่สุด แต่ถ้าหากว่ามุม β มีค่าเท่ากับ 0 องศา จะไม่มีการส่งผ่านแรงบิดได้เลย หรืออาจกล่าวได้ว่า ระบบตกอยู่ในตำแหน่ง จุดตาย (dead center) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า มุมส่งผ่านกำลังนี้ เป็นสิ่งหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพ ความแม่นยำในการทำงาน เสียงรบกวน และ ต้นทุนของระบบกลไกได้ โดยทั่วไปแล้วนิยมให้ระบบมีมุมส่งกำลัง (ที่แปรเปลี่ยนไประหว่างการทำงาน) มีค่าระหว่าง 40 องศา ถึง 120 องศา เพื่อให้เกิดการทำงานที่ราบเรียบและมีประสิทธิภาพ จากความสัมพันธ์ทางตรีโกณมิติ เราสามารถคำนวณหามุมส่งผ่านกำลังได้ หากรู้ความยาวของชิ้นต่อโยงทั้ง 4 และมุมที่ชิ้นต่อโยงด้านรับกระทำกับชิ้นต่อโยงอยู่กับที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 มุมส่งผ่านกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos\theta$$
$$m^2 = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3 r_4 \cos\theta$$
$$\cos\beta = \frac{r_3^2 + r_4^2 - r_1^2 - r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos\theta}{2r_3 r_4}$$

ซึ่งหลักความสัมพันธ์ทางตรีโกณมิตินี้ สามารถนำไปใช้ในการหามุมที่ชิ้นต่อโยงต่างๆ กระทำซึ่งกันและกันในขณะต่างๆ ได้อีกด้วย

2.1.4 การวิเคราะห์ความเร็ว

ความเร็วโดยทั่วไปอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ความเร็วสัมบูรณ์ (absolute velocity) และ ความเร็วสัมพัทธ์ (relative velocity) โดยความเร็วสัมบูรณ์ของวัตถุใดๆ หมายถึง ความเร็วของวัตถุหรือจุดนั้น วัดเทียบกับพื้นโลกหรือจุดที่หยุดนิ่งไม่เคลื่อนไหว ส่วนความเร็วสัมพัทธ์จะเป็นความเร็วของวัตถุหรือจุดใดๆ วัดเทียบกับวัตถุอีกวัตถุหนึ่งหรือจุดอีกจุดหนึ่ง ซึ่งวัตถุหรือจุดนั้น อาจมีการเคลื่อนที่หรือหยุดนิ่งก็ได้ หรือการสัมพัทธ์ระหว่างความเร็วของจุด 2 จุด หรือวัตถุ 2 ชิ้นนั่นเอง

การวิเคราะห์ความเร็ว นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

1. วิธีอาศัยจุดหมุนชั่วขณะ
2. วิธีวิเคราะห์ความเร็วด้วยวิธีคณิตวิเคราะห์

2.1.4.1 วิธีอาศัยจุดหมุนชั่วขณะ

ในขณะที่ชิ้นต่อโยงมีการเคลื่อนที่ ชิ้นต่อโยงจะมีการหมุนรอบจุดหมุนจุดหนึ่งด้วยเสมอ และความเร็วของทุกๆ จุดบนชิ้นต่อโยงนั้นจะ “มีแนวทิศทางตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากจุดหมุนมายังจุดของความเร็วนั้น” ซึ่งหากชิ้นต่อโยงนั้นเป็นชิ้นเชื่อมต่อ กล่าวคือไม่ได้เชื่อมต่อกับจุดหมุนที่อยู่กับที่ จุดหมุนของชิ้นเชื่อมต่อก็จะเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อยๆ

จุดหมุนชั่วขณะระหว่างชิ้นต่อโยง 2 ชิ้น เป็นจุดที่ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างชิ้นต่อโยง 2 ชิ้นมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือกล่าวโดยอีกนัยหนึ่ง ณ ที่จุดหมุนชั่วขณะ ความเร็วสัมบูรณ์ของชิ้นต่อโยง 2 ชิ้นมีค่าเท่ากัน

สำหรับการหาจุดหมุนชั่วขณะของชิ้นต่อโยงนั้น สามารถหาจาก “ จุดหมุนชั่วขณะของชิ้นเชื่อมต่อจะอยู่ ณ จุดตัดของเส้นตรงที่ลากตั้งฉากกับแนวทิศทางความเร็วของจุดบนชิ้นเชื่อมต่อ” เมื่อเราได้จุดหมุนชั่วขณะแล้ว ก็สามารถหาแนวทิศทางความเร็ว ณ จุดใดๆบนชิ้นเชื่อมต่อได้ โดยความเร็วของจุดที่สนใจ จะตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากระหว่างจุดหมุนชั่วขณะและจุดที่สนใจบนชิ้นเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการหาความเร็วของจุดต่างๆ บนชิ้นเชื่อมต่อ สามารถกระทำได้โดยอาศัยความเร็วเชิงมุม (angular velocity) ที่ชิ้นเชื่อมต่อหมุนอยู่รอบจุดหมุนชั่วขณะ

ในช่วงท้ายศตวรรษที่ 19 Kennedy (England) และ Aronhold (Germany) ต่างก็ได้ค้นพบทฤษฎีจุดศูนย์กลางสามจุด ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า " ถ้ามีวัตถุสามชิ้นเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันอยู่บนระนาบ จะปรากฏจุดศูนย์กลางชั่วขณะสัมพัทธ์สามจุด และจุดทั้งสามจะอยู่ในแนวเดียวกัน"

ถ้ามีวัตถุ n ชิ้นเคลื่อนที่อยู่บนระนาบ จำนวนจุดศูนย์กลางชั่วขณะทั้งหมดจะสามารถหาได้จากสูตร

$$N_{IC} = \frac{n(n-1)}{2}$$

การใช้จุดศูนย์กลางชั่วขณะในการวิเคราะห์หาความเร็วในกลไก

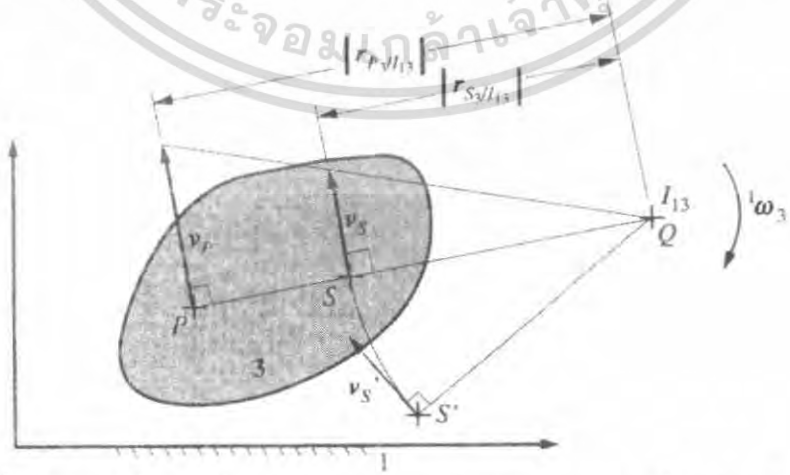
จากรูปแสดงวัตถุชิ้นที่ 1 และ 3 เคลื่อนที่บนระนาบ โดยที่ชิ้นที่ 1 หยุดนิ่ง จากรูปเราสามารถหาจุด I_{13} ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางชั่วขณะบนชิ้นที่ 1 กับ 3 มีความเร็วเท่ากันคือศูนย์ ดังนั้นจุดนี้เป็นจุดศูนย์กลางการหมุนของชิ้นที่ 3 ซึ่งความเร็วที่จุด P และ S สามารถหาได้ดังรูป โดยเราสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$|\vec{V}_P| = |\vec{r}_{P/I_{13}}|\,\omega_3 \qquad \text{(a)}$$

$$|\vec{V}_S| = |\vec{r}_{S/I_{13}}|\,\omega_3 \qquad \text{(b)}$$

จากสมการ (a) และ (b) เราได้ความสัมพันธ์

$$|\vec{V}_S| = |\vec{V}_P| \frac{|\vec{r}_{S/I_{13}}|}{|\vec{r}_{P/I_{13}}|} \qquad \text{(c)}$$

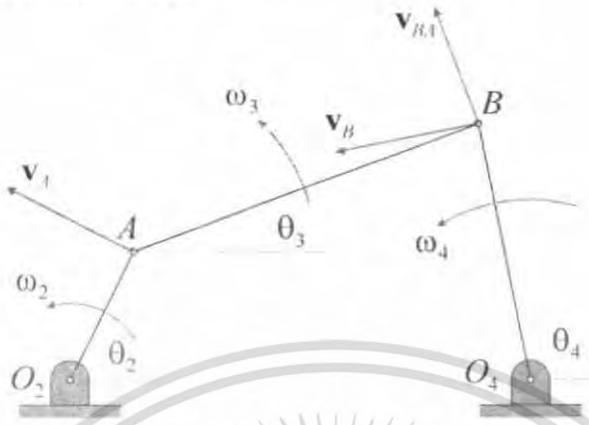


รูปที่ 2.8 การใช้จุดศูนย์กลางชั่วขณะในการวิเคราะห์หาความเร็วของกลไก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2 การวิเคราะห์ความเร็วโดยวิธีคณิตวิเคราะห์

Four bar Pin Jointed Linkage



รูปที่ 2.9 การวิเคราะห์ความเร็วโดยวิธีคณิตวิเคราะห์

จากรูปที่ 2.9 เราสามารถหาความเร็วที่จุด B ได้จากสมการความเร็วสัมพัทธ์

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + \mathbf{v}_{BA}$$

$$\mathbf{v}_B = \frac{d}{dt}\left(c\left(\cos\theta_4\mathbf{i} + \sin\theta_4\mathbf{j}\right)\right)$$

$$= c\omega_4\left(-\sin\theta_4\mathbf{i} + \cos\theta_4\mathbf{j}\right)$$

$$\mathbf{v}_A = \frac{d}{dt}\left(a\left(\cos\theta_2\mathbf{i} + \sin\theta_2\mathbf{j}\right)\right)$$

$$= a\omega_2\left(-\sin\theta_2\mathbf{i} + \cos\theta_2\mathbf{j}\right)$$

$$\mathbf{v}_{BA} = \frac{d}{dt}\left(b\left(\cos\theta_3\mathbf{i} + \sin\theta_3\mathbf{j}\right)\right)$$

$$= b\omega_3\left(-\sin\theta_3\mathbf{i} + \cos\theta_3\mathbf{j}\right)$$

จากนั้นทำการแยกองค์ประกอบของความเร็วตามทิศทางของเวกเตอร์ **i** และ **j**

$$-c\omega_4\sin\theta_4 = -a\omega_2\sin\theta_2 - b\omega_3\sin\theta_3$$

$$c\omega_4\cos\theta_4 = a\omega_2\cos\theta_2 + b\omega_3\cos\theta_3$$

จากนั้นเราสามารถแก้สมการทั้งสองหา ω_3 และ ω_4 (เรารู้ค่าของ ω_2, θ_3, θ_4 แล้ว)

$$\omega_3 = \frac{a\omega_2}{b}\frac{\sin(\theta_4 - \theta_2)}{\sin(\theta_3 - \theta_4)}$$

$$\omega_4 = \frac{a\omega_2}{c}\frac{\sin(\theta_2 - \theta_3)}{\sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การวิเคราะห์ความเร่ง

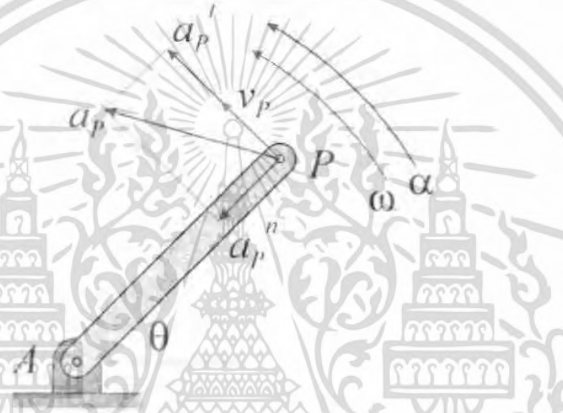
ความเร่งเชิงเส้นคืออัตราการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ความเร็วต่อหนึ่งหน่วยเวลา คุณสมบัติของมันเป็นปริมาณเวกเตอร์และสามารถหาได้จากอนุพันธ์ของเวกเตอร์ความเร็ว

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

ความเร่งเชิงมุมอัตราการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ความเร็วเชิงมุมต่อหนึ่งหน่วยเวลา คุณสมบัติของมันเป็นปริมาณเวกเตอร์และสามารถหาได้จากอนุพันธ์ของเวกเตอร์ความเร็วเชิงมุม

$$\vec{\alpha} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \text{ หรือ } \alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

เราสามารถพิจารณามันเป็นสมการสเกลาร์เพราะมันจะหมุนรอบแกน z เท่านั้น



รูปที่ 2.10 การวิเคราะห์หาความเร่ง

ถ้าเราพิจารณาจากรูปที่จุดเราสามารถเขียนได้ว่า

$$\vec{r}_P = p\left(\cos\theta \;\; \vec{i} + \sin\theta \;\; \vec{j}\right)$$

$$\vec{v}_P = p\omega\left(-\sin\theta \;\; \vec{i} + \cos\theta \;\; \vec{j}\right)$$

$$\vec{a}_P = \frac{d\vec{v}_P}{dt}$$

$$= p\alpha\left(-\sin\theta \;\; \vec{i} + \cos\theta \;\; \vec{j}\right) - p\omega^2\left(\cos\theta \;\; \vec{i} + \sin\theta \;\; \vec{j}\right)$$

$$\vec{a}_P = \vec{a}_P^t + \vec{a}_P^n$$

จะเห็นว่าความเร่งที่จุด P สามารถแยกองค์ประกอบออกได้เป็น 2 ทิศทางคือทิศทางพุ่งสู่จุดศูนย์กลางการหมุน(จุด A) และทิศทางตั้งฉากกับแนวเส้นสู่ศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.1 ความเร่งในแนว n (a^n)

ความเร่งในแนว n จะเกิดขึ้นกับชิ้นต่อโยงที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมค่าหนึ่งรอบจุดหมุนอ้างอิงใดๆ จุดหนึ่ง (หรือจุดหมุนชั่วขณะ) ขนาดของความเร่งในแนว n จะมีค่าตามสมการต่อไปนี้ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร่งในแนว n (a^n) กับความเร็วเชิงเส้น และความเร็วเชิงมุม

$$a^2 = r\omega^2 = \frac{V^2}{r}$$

โดยที่ r เป็นระยะทางจากจุดของความเร่ง ถึงจุดหมุนอ้างอิง, ω เป็นความเร็วเชิงมุมของชิ้นต่อโยงรอบจุดหมุนอ้างอิง และ V เป็นความเร็วเชิงเส้นที่จุดของความเร่ง โดย ทิศทางของ V และ r จะตั้งฉากซึ่งกันและกันเสมอ

จากสมการข้างต้น จะสามารถสังเกตได้ว่า หาก ω มีค่าเท่ากับศูนย์แล้ว (กล่าวคือ ชิ้นต่อโยงไม่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน) ชิ้นต่อโยงจะไม่มีความเร่งในแนว n หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ω จะมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอสำหรับ ชิ้นต่อโยงที่มีการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

อีกกรณีหนึ่งที่ชิ้นต่อโยงจะไม่มีความเร่งในแนว n ก็คือ กรณีที่ r มีค่ามากเข้าสู่อนันต์ (Infinity) ซึ่งกรณีนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ชิ้นต่อโยงมีการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง เช่นเดียวกัน

เพราะฉะนั้น สามารถสรุปได้ว่า " หากชิ้นต่อโยงมีการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงแล้ว ชิ้นต่อโยงจะไม่มีความเร่งในแนว n หรือ a^n มีค่าเท่ากับศูนย์ "

ส่วนทิศทางของ a^n นั้นจะมีทิศจากจุดของความเร่งเข้าสู่จุดหมุนอ้างอิงเสมอ

2.1.5.2 ความเร่งในแนว t (a^t)

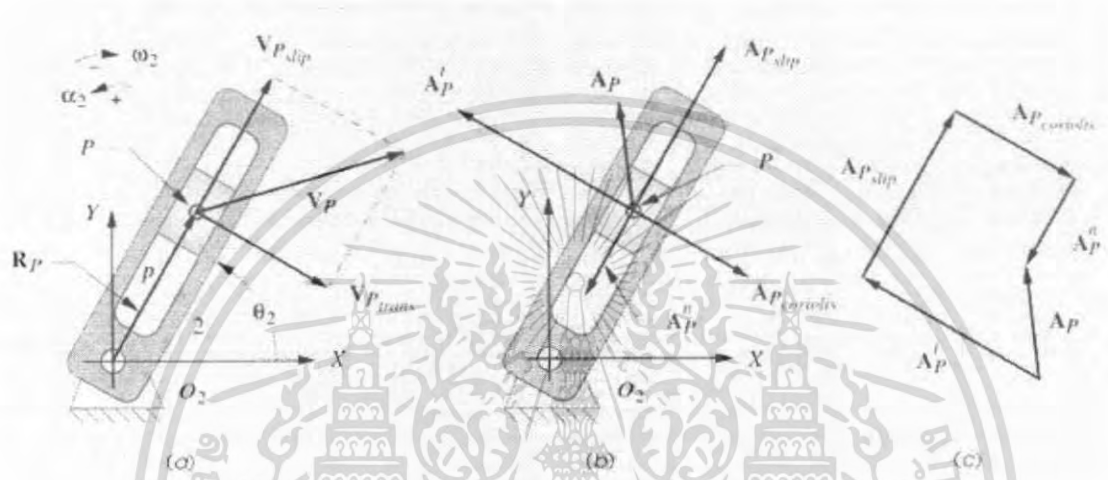
ความเร่งในแนว t นี้ เป็นความเร่งที่มีทิศทางตามแนวการเคลื่อนที่ของจุดของความเร่ง แต่อาจจะมีทิศทางตามหรือสวนทางกับทิศของการเคลื่อนที่ก็ได้ กล่าวคือ ถ้าจุดของความเร่งมีการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและมีความเร็วไม่คงที่ จุดของความเร่งนั้นก็จะมีความเร่งในแนว t เกิดขึ้นในแนวเส้นตรงทับกันกับทิศทางของความเร็ว แต่ถ้าหากจุดของความเร่งมีการเคลื่อนที่แบบเส้นโค้งและมีความเร่งเชิงมุมเกิดขึ้นประกอบกับความเร็วเชิงมุม จุดของความเร่งนั้นจะมี a^t เกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากจุดของความเร่งเข้าสู่จุดหมุน หรือตั้งฉากกับ a^n และมีทิศทางตามทิศของความเร่งเชิงมุม ส่วนขนาดของ a^t ก็จะสัมพันธ์กับขนาดของความเร่งเชิงมุม α ตามสมการ

$$a^t = r\alpha$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.3 ความเร่ง Coriolis (a^c)

ความเร่ง Coriolis เป็นความเร่งสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นต่อโยง 2 ชิ้น โดยที่ชิ้นต่อโยงชิ้นหนึ่งมีลักษณะเป็นตัวเลื่อนไถลที่กำลังเลื่อนไถลบนชิ้นต่อโยงอีกชิ้นหนึ่ง ที่มีลักษณะเป็นรางเลื่อนที่กำลังหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมรอบจุดหมุนจุดหนึ่ง ดังรูปข้างล่าง ชิ้นส่วนสไลเดอร์เคลื่อนที่บนชิ้นส่วนที่มีรางซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบหมุนในขณะเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้เกิดความเร่ง Coriolis ของจุด P ($A_{P_{Coriolis}}$)



รูปที่ 2.11 ความเร่ง Coriolis ของชิ้นต่อโยง

ความเร่งสมบูรณ์ของจุด P จะประกอบไปด้วย

$$\vec{A}_P = \vec{A}_P^t + \vec{A}_P^n + \vec{A}_{P_{slip}} + \vec{A}_{P_{coriolis}}$$

โดยที่

$$\vec{A}_P^t = \vec{\alpha}_2 \times \vec{R}_P$$

$$\vec{A}_P^n = \vec{\omega}_2 \times \left(\vec{\omega}_2 \times \vec{R}_P\right)$$

$$\vec{A}_{P_{slip}} = \ddot{\vec{R}}_P$$

$$\vec{A}_{P_{coriolis}} = 2\vec{\omega}_2 \times \vec{V}_{P_{slip}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 การวิเคราะห์แรง

แรงที่เกี่ยวกับการทำงานของระบบกลไก อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1. แรงสถิต (static forces) เป็นแรงที่เกิดขึ้นกับระบบต่อโยง โดยไม่รวมแรงเฉื่อยและแรงเสียดทานซึ่งเป็นแรงจลน์ (dynamic forces) แรงสถิตนี้จะเป็นแรงที่ชิ้นต่อโยงแต่ละชิ้นส่งผ่านต่อๆ กัน โดยเริ่มจากชิ้นต่อโยงด้านรับส่งผ่านแรงสถิตต่อไปยังชิ้นเชื่อมต่อต่างๆ เรื่อยๆ ไปจนถึงชิ้นต่อโยงด้านส่ง

2. แรงจลน์ (dynamic forces) เป็นแรงที่เกิดจากระบบต่อโยงมีการเคลื่อนที่และเกิดความเร่ง เมื่อความเร่งประกอบเข้ากับมวลของชิ้นต่อโยง ก็จะทำให้เกิดแรงเฉื่อยขึ้น นอกจากแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นแล้ว เมื่อระบบมีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น ที่หมุดหรือพื้นผิวต่างๆ ยังเกิดแรงเสียดทานขึ้นด้วย ทั้งแรงเฉื่อยและแรงเสียดทานนี้ต่างเป็นแรงจลน์

การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นในชิ้นต่อโยงต่างๆ ของกลไกนั้นสิ่งแรกที่จะต้องทำ คือ เขียน Free-body Diagram ของชิ้นต่อโยงแต่ละชิ้น โดยจะต้องแสดงถึงแรงทั้งหมดที่กระทำกับชิ้นต่อโยงนั้นๆ ขั้นตอนนี้สำคัญมาก เพราะถ้าเขียนแรงที่กระทำกับชิ้นต่อโยงไม่ครบแล้ว การวิเคราะห์จะผิดพลาดไปหมด (หลักการเขียน Free-body Diagram อยู่ในเนื้อหาของวิชากลศาสตร์)

วิธีวิเคราะห์แรงมีหลายวิธี แต่ที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ

1. วิธี Superposition
2. วิธีวิเคราะห์รวมแรง

2.1.6.1 การวิเคราะห์แรงโดยวิธี Superposition (Force Analysis by Superposition)

วิธี Superposition มีหลักว่า ผลลัพธ์รวมที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับผลรวมของผลลัพธ์ย่อยๆ กลไกที่ถูกกระทำโดยแรงหลายแรงจะถูกวิเคราะห์ โดยแยกวิเคราะห์ทีละแรงหรือทีละประเภท แล้วนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทุกครั้งมารวมกัน จะได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 วิธี คือ Analytic และวิธี Graphic

2.1.6.2 การวิเคราะห์แรงโดยวิธีวิเคราะห์รวมแรง (Force Analysis by Combining all Forces)

วิธีวิเคราะห์โดยการรวมแรงก็คือ การวิเคราะห์โดยที่ไม่ต้องแยกวิเคราะห์ทีละแรงหรือทีละประเภท แต่วิเคราะห์พร้อมกันไปครั้งเดียวเลย ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการที่มีแรงกระทำหลายๆ แรงในชิ้นต่อโยง จะทำให้วิเคราะห์หาค่าที่ต้องการได้ยากขึ้น ทำให้ต้องใช้วิธีแก้เพิ่มขึ้น เช่น ปกติจะเขียน Free-body Diagram ของชิ้นต่อโยงเพียงชิ้นเดียว แต่ถ้าไม่สามารถแก้ปัญหาได้อาจจะต้องเปลี่ยนเป็นเขียน Free-body Diagram ของชิ้นต่อโยงสองชิ้นหรือสามชิ้น ซึ่งจะทำให้ตัวไม่รู้ลดจำนวนลง และสามารถแก้ปัญหาได้ หรืออาจจะใช้การหาโมเมนต์เทียบกับจุดต่างๆ เพื่อช่วยแก้ปัญหา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

83109

2.1.7 จุดเซนทรอยด์

เพื่อให้ชิ้นส่วนต่างๆของกลไกการปิดมีความสมดุล จะต้องเชื่อมต่อกันที่ตำแหน่งกึ่งกลางแต่ละชิ้น โดยมีชิ้นส่วนที่ยึดติดกับมอเตอร์ที่มีลักษณะเป็นรูปตัวที่ จึงต้องหาตำแหน่งจุดเซนทรอยด์ของวัสดุ ตำแหน่งจุดเซนทรอยด์ของชิ้นประกอบ มีขั้นตอนการหาพิกัดได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกพิกัดและชิ้นประกอบที่เหมาะสมกับขอบเขตของภาพที่ต้องการทราบพิกัดของจุดเซนทรอยด์ หากภาพมีแกนสมมาตร ควรวางระบบพิกัดทับกับแกนสมมาตร เพื่อลดการคำนวณลง

ขั้นตอนที่ 2 หาระยะของโมเมนต์ที่ใช้ในการหาปริพันธ์ ซึ่งเป็นระยะของจุดเซนทรอยด์ของชิ้นประกอบ จากนั้นพิจารณาหาค่า dL , dA หรือ dV โดยขึ้นอยู่กับมิติของภาพ และหาค่า L , A หรือ V ของภาพที่ต้องการทราบจุดเซนทรอยด์

ขั้นตอนที่ 3 เขียนสมการโมเมนต์ พร้อมทั้งกำหนดขอบเขตการหาปริพันธ์ที่ถูกต้อง จากนั้นทำการหาปริพันธ์เพื่อหาพิกัดของจุดเซนทรอยด์

2.1.7.1 ขั้นตอนการหาคำตอบจุดเซนทรอยด์ของชิ้นประกอบ

คำนวณพิกัด y โดยพิจารณาภาพ (ข) ซึ่งเลือกใช้ชิ้นประกอบขนาดเล็กเป็นแถบยาวในแนวราบ โดยที่ A = bh , dA = bdy และ $y_i \approx y$ ดังนั้น

สมการโมเมนต์รอบแกน x

$$A\bar{y} = \int y_i dA$$

$$bh\bar{y} = \int_0^h ybdy = b\frac{y^2}{2}\Big|_0^h$$

$$bh\bar{y} = b\frac{h^2}{2}$$

จะได้

$$\bar{y} = \frac{b\frac{h^2}{2}}{bh} = \frac{h}{2}$$

คำนวณพิกัด $\bar{x}$ โดยพิจารณาภาพ (ค) ซึ่งเลือกใช้ชิ้นประกอบขนาดเล็กเป็นแถบยาวในแนวดิ่ง โดยที่ A = bh , dA =hdx และ $x_i \approx x$ ดังนั้น

สมการโมเมนต์รอบแกน y

$$A\bar{x} = \int x_i dA$$

$$bh\bar{x} = \int_0^b xbdx = b\frac{x^2}{2}\Big|_0^b$$

$$bh\bar{x} = h\frac{b^2}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $$\bar{x} = \frac{h\frac{b^2}{2}}{bh} = \frac{b}{2}$$

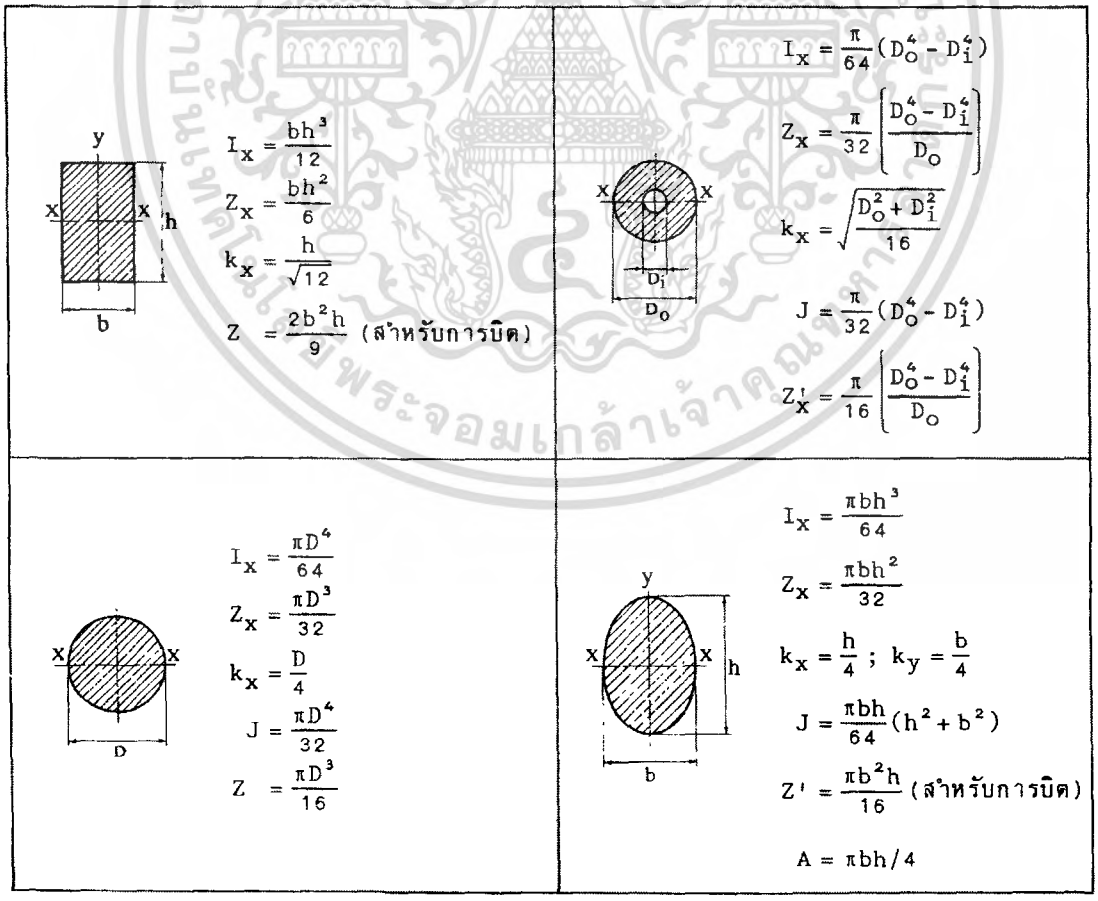
ดังที่กล่าวมาเป็นการหาจุดเซนทรอยด์ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปเรขาคณิต แต่ชิ้นส่วนที่เชื่อมกับมอเตอร์เป็นรูปตัวที ดังนั้นจึงต้องใช้การหาจุดเซนทรอยด์ของวัตถุเชิงประกอบ ดังนี้

2.1.7.2 ขั้นตอนการหาคำตอบจุดเซนทรอยด์ของวัตถุเชิงประกอบ

ขั้นตอนที่ 1 ให้ร่างภาพแสดงการแยกวัตถุเชิงประกอบออกเป็นวัตถุรูปทรงพื้นฐานหลายรูป หากมีโพรงให้แยกออกเป็นวัตถุรูปทรงพื้นฐานที่ไม่มีโพรงรวมกับวัตถุรูปทรงพื้นฐานที่เป็นโพรงแต่มีขนาดเป็นค่าลบ (ค่าลบนี้อาจหมายถึง น้ำหนัก มวล หรือขนาดของวัตถุ ขึ้นอยู่กับประเภทของจุดศูนย์กลางที่ต้องการคำนวณ)

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของวัตถุรูปทรงพื้นฐาน โดยอาศัยพิกัดของจุดศูนย์กลางจากตารางที่ 2.1 หากวัตถุเชิงประกอบมีลักษณะสมมาตร ก็ยังคงต้องวางระบบ พิกัดทับแกนสมมาตรเพื่อลดการคำนวณลง

ตารางที่ 2.1 แสดงการหาพิกัดจุดศูนย์กลางของรูปทรงต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณพิกัดของจุดศูนย์กลางของวัตถุเชิงประกอบตามสมการ ต่อไปนี้

$$\bar{x} = \frac{w_1\bar{x}_1 + w_2\bar{x}_2 + \ldots + w_n\bar{x}_n}{w_1 + w_2 + w_3}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$$

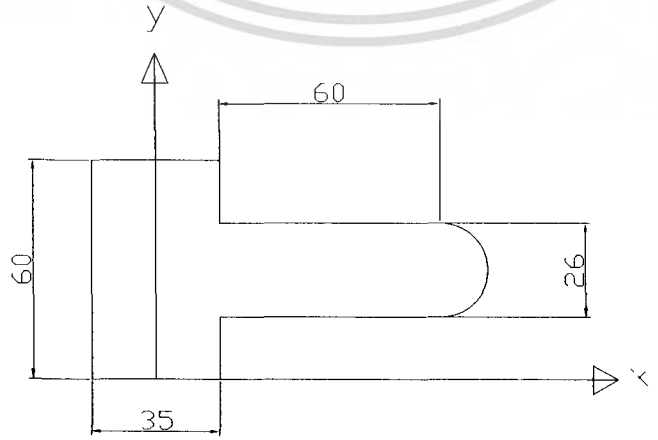
หากวัตถุเชิงประกอบทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน ซึ่งมีความหมายว่า ความหนาแน่นของวัตถุเชิงประกอบมีค่าคงตัว จะทำให้ลดรูปสมการคำนวณพิกัดของศูนย์กลางมวลเป็นจุดเซนทรอยด์ได้ โดยเปลี่ยนตัวแปร m_i เป็น L_i , A_i หรือ V_i ขึ้นอยู่กับมิติของวัตถุเชิงประกอบ ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{n} L_i} \quad \text{1 มิติ}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \quad \text{2 มิติ}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_i\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{n} V_i} \quad \text{3 มิติ}$$

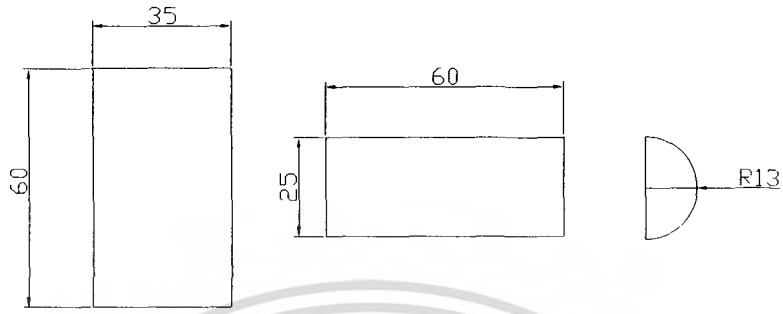
และเพื่อความสะดวกควรใช้ตารางเพื่อแสดงข้อมูลและผลการคำนวณด้วย แสดงการคำนวณหาจุดเซนทรอยด์จากชิ้นส่วนที่ติดกับมอเตอร์ดังต่อไปนี้



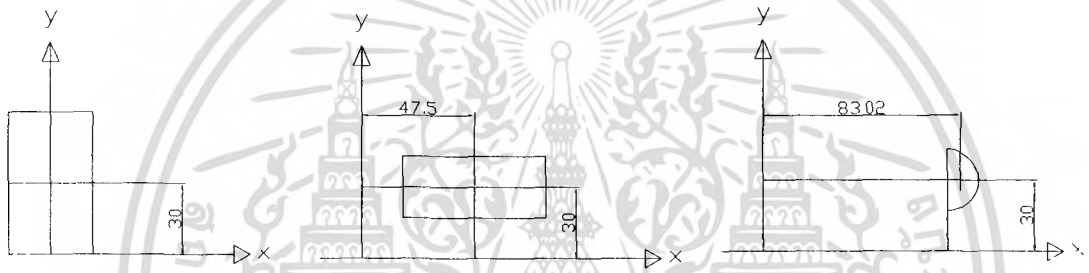
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 1 แยกวัตถุเชิงประกอบออกเป็นวัตถุรูปทรงพื้นฐานดังนี้



ขั้นตอนที่ 2 กำหนดตำแหน่งจุดเซนทรอยด์ของวัตถุรูปทรงพื้นฐานแต่ละภาพดังต่อไปนี้



ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาพิกัดของจุดเซนทรอยด์ตามสมการ

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

โดยอาศัยข้อมูลจากขั้นตอนที่ 2 ดังตารางต่อไปนี้

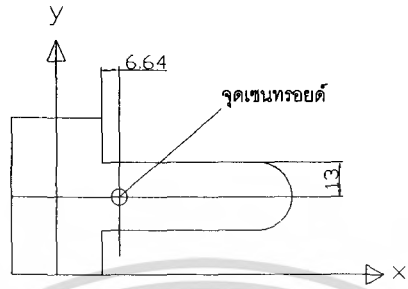
วัตถุรูปทรงพื้นฐานที่ i	$A_i(cm^2)$	$\bar{x}_i(cm)$	$\bar{y}_i(cm)$	$\bar{x}_i A_i$	$\bar{y}_i A_i$
1	$35\times 60 = 2100$	0	30	0	63000
2	$60\times 25 = 1500$	47.5	30	71250	45000
3	$\frac{\pi\times 13^2}{2} = 265.57$	83.02	30	22047.62	7967.1
$\sum$	2100+1500+265.57=3865.57			93297.62	115967.1

จากตารางข้างต้นจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{x} = \frac{\sum A_i \bar{x}_i}{\sum A_i} = \frac{93297.62}{3865.57} = 24.14 \text{ mm.}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i \bar{y}_i}{\sum A_i} == \frac{115967.1}{3865.57} = 30 \text{ mm.}$$



2.1.8 เพลา

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีในเครื่องจักรกลทุกชนิด มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้คือ

เพลา (shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้การส่งกำลัง

แกน (axle) เป็นลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม

สพินเดิล (spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น

สตับชาฟต์ (stub shaft) หรือบางครั้งเรียกเฮดชาฟต์ (head shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ

เพลาแนว (line shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (power transmission shaft) หรือเพลาเมน (main shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ็คชาฟต์ (jackshaft) หรือ เคาน์เตอร์ชาฟต์ (counter shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน (flexible shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรืองอโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดเวลา ทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลายังจะต้องมีความแข็งเกร็ง (rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ

2.1.9 คาน

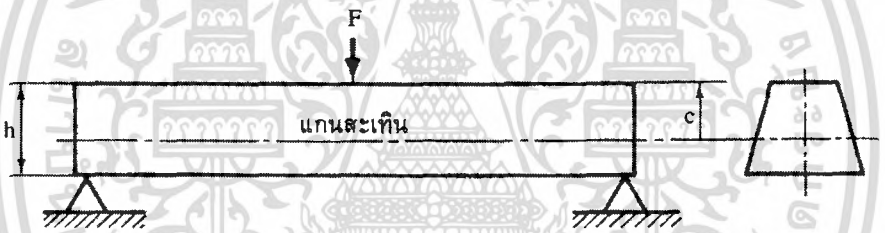
ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากรับแรงในแนวดิ่งลักษณะเช่นเดียวกับคานทั่วไป ฉะนั้นจึงใช้ความเค้นดัด (Bending stress) และการยุบตัว (Deflection) เป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ความเค้นดัดสูงสุดเกิดที่ผิวนอกสุดของคาน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์ดัด (Blending moment) มีค่าสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_b = \frac{M_C}{I}$$

โดยที่ M คือโมเมนต์ดัด

C คือระยะจากแกนสะเทิน (Neutral axis) ไปยังผิวนอกสุด ดังรูป

I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่



รูปที่ 2.12 คานและแกนสะเทิน

สำหรับค่า I ของหน้าตัดบางชนิด ดูได้จากตารางแสดงคุณสมบัติของหน้าตัด ส่วนค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดและการยุบตัวของคาน ดูได้จากตารางแสดงค่าโมเมนต์และระยะโก่งของคานในภาคผนวก

โดยทั่วไปแล้วความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในคานจะมีค่าน้อยมาก จนกระทั่งไม่ต้องนำมาคิดในการออกแบบก็ได้ แต่ถ้าคานสั้นและมีหน้าตัดสูงมาก ความเค้นเฉือนก็อาจจะมีค่ามากได้ สำหรับคานที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดที่แกนสะเทิน และมีค่า 1.5 เท่าของความเค้นเฉือนเฉลี่ยหรือเท่ากับ

$$\tau = \frac{3V}{2A}$$

สำหรับหน้าตัดกลม

$$\tau = \frac{4V}{3A}$$

โดยที่ V คือแรงเฉือนสูงสุด

A คือพื้นที่หน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.10 การบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีพื้นที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (Torque) จะบิดไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = \frac{TL}{GJ}$$

โดยที่ T คือโมเมนต์บิด

L คือความยาว

J คือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (Polar area moment of inertia)

$= \frac{\pi}{32} d^4$ สำหรับท่อนกลมตัน

$= \frac{\pi}{32}(d^4 - d_i^4)$ สำหรับท่อนกลมกลวง

d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก

d_i คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดจะมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของท่อนกลมนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

โดยที่ r คือรัศมีนอกของท่อนกลม

ในการที่จะใช้สมการนี้มักจะจำเป็นที่จะต้องหาค่าโมเมนต์บิดให้ได้เสียก่อน สำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งผ่านกำลังมาตามเพลา จะคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จาก

$$W_p = T\omega = 2\pi nT$$

โดยที่ W_p คือกำลังงานเป็น W

T คือโมเมนต์บิดเป็น Nm

ω คืออัตราเร็วเชิงมุมเป็น rad/s

n คือความเร็วรอบเป็น rev/s

สำหรับในระบบหน่วยอังกฤษซึ่งยังมีใช้กันอยู่จะบอกกำลังงานเป็นแรงม้าและคำนวณโมเมนต์บิดได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$hp = \frac{Tn}{63000}$$

โดยที่ T คือโมเมนต์บิดเป็น in-lb

n คือความเร็วรอบเป็น rev/min

2.2 มอเตอร์

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC:Direct Current Motor) จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงาน จากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนที่อยู่กับที่ (stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) ลักษณะการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) กับมอเตอร์สเต็ปปิ้ง (Stepping Motor) จะมีความแตกต่างกัน คือ DC Motor จะหมุนอย่างต่อเนื่อง ถ้ากลับทิศทางก็จะหมุนอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ซึ่งการเคลื่อนที่ขณะหมุนจะสม่ำเสมอแต่ไม่สามารถควบคุมตำแหน่งได้ ส่วนStepping Motor สามารถควบคุมตำแหน่งการหมุนได้

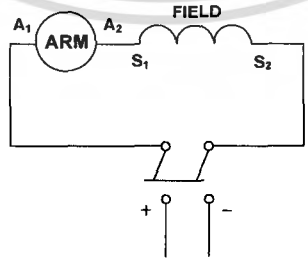
โครงสร้างภายในของ DC Motor ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) หรือเรียกว่า Field
2. ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rator) หรือเรียกว่า Armature

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motors)

มอเตอร์ชนิดนี้ ขดลวดที่อาร์เมเจอร์ (Armature) จะต่ออนุกรมกับขดลวดที่ Stator มอเตอร์ลักษณะนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแส ทำให้สามารถปรับค่าที่เส้นแรงของสนามแม่เหล็กได้ โดยเหมาะกับสภาวะการใช้งานที่ต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ และแรงบิดต่ำที่ความเร็วสูง เป็นต้น



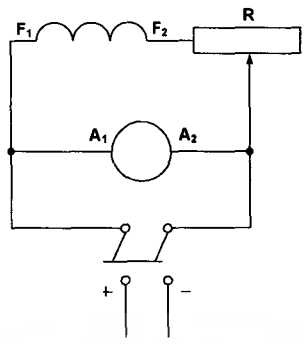
รูป 2.13 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunts Motors)

มอเตอร์ชนิดนี้ขดลวดที่อาร์เมเจอร์ (Armature) จะต่อขนานกับขดลวดที่ Stator มอเตอร์ชนิดนี้สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสของ Armature ทำให้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

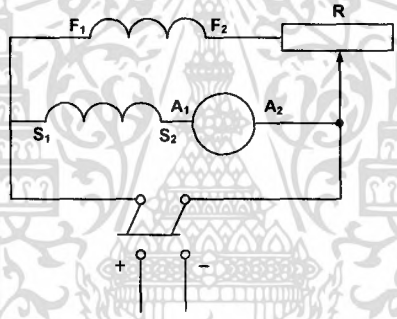
พารามิเตอร์ (Parameter) ของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ได้ดี โดยสภาวะการใช้งานเหมาะกับลักษณะงานในการเคลื่อนที่ต้องการแรงบิดสูง



รูป 2.14 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

2.2.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motors)

มอเตอร์ชนิดนี้มีลักษณะต่อแบบนำมอเตอร์แบบอนุกรมและมอเตอร์แบบขนานมารวมอยู่ในชุดเดียวกัน ทำให้สภาวะในการทำงานอยู่ระหว่างการต่ออนุกรมและขนานในตัวเดียวกัน



รูป 2.15 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม

2.2.2 สเตปปิ้งมอเตอร์

ด้วยคุณสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงโดยทั่วไปไม่ค่อยมีความแม่นยำมากนัก โดยเฉพาะถ้าไม่มีระบบกลไกป้อนกลับจากเซอร์โวหรือมาตรวัดความเร็ว (tachometer) เพราะไม่สามารถบอกได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนด้วยความเร็วรอบเท่าใด นอกจากนี้การจะควบคุมให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนด้วยจำนวนรอบที่แน่นอนก็ทำได้ยาก โดยเฉพาะการออกแบบงานที่ต้องการความแม่นยำสูง

เนื่องจากข้อด้อยของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จึงได้มีการนำสเตปปิ้งมอเตอร์มาใช้งาน โดยหลักการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์คือ ไม่ได้ทำการป้อนกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์อย่างต่อเนื่องเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป แต่จะถูกขับโดยสัญญาณไฟฟ้าแบบพัลส์ซึ่งพัลส์แต่ละพัลส์จะทำให้แกนมอเตอร์หมุนไปเพียงเล็กน้อย ดังนั้นยิ่งเราป้อนพัลส์ที่มีความถี่สูงให้กับมอเตอร์มากเท่าไร มอเตอร์ก็จะหมุนได้เร็วขึ้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของสเตปปิ้งมอเตอร์เมื่อเปรียบกับมอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR)

1. การควบคุมไม่ต้องอาศัยตัวตรวจจับการหมุน

2. ไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ดังนั้นจึงทำให้ไม่มีส่วนที่จะต้องสึกหรอ และปัญหาของการสปาร์ค (ที่เกิดจากหน้าสัมผัสของแปรงถ่านแหวนตัวนำในโรเตอร์) ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน

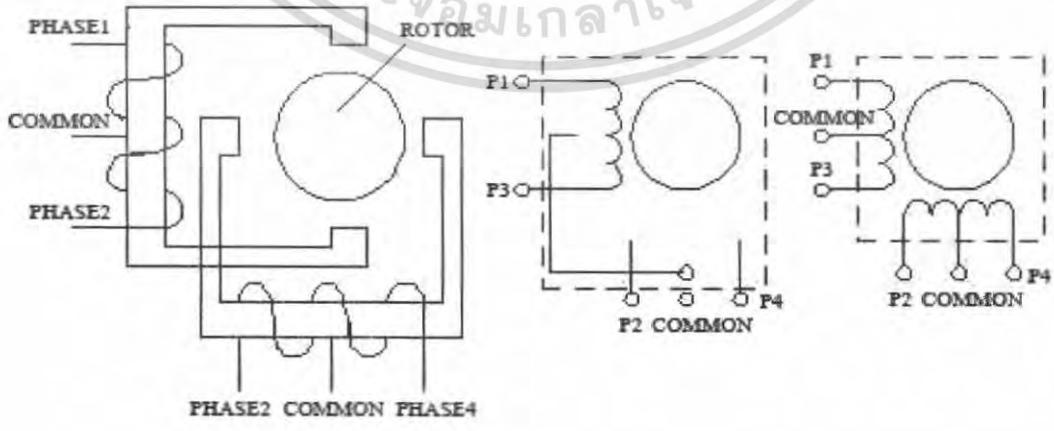
3. การควบคุมโดยทางวงจรดิจิตอลหรือไมโครโพรเซสเซอร์ ทำได้ง่าย และสะดวก

รูปที่ 2.16 สเตปปิ้งมอเตอร์ และการใช้งาน

สเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการทดลองนี้ จะใช้สเต็ปปิ้งแบบยูนิโพล่าร์ (Uni.-polar stepper motor) ซึ่งโครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ส่วนที่ทำการหมุน (Rotor) จะเป็นแม่เหล็กถาวรหรืออื่นๆ

2. ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) เป็นขดลวดที่พันไว้จำนวนหลายๆขด

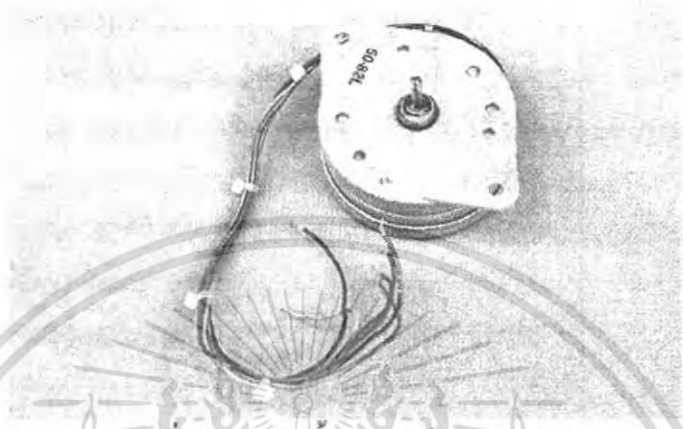


รูปที่2.17 สเตปปิ้งมอเตอร์ 4 เฟส แบบยูนิโพล่าร์ (Uni-polar stepper motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

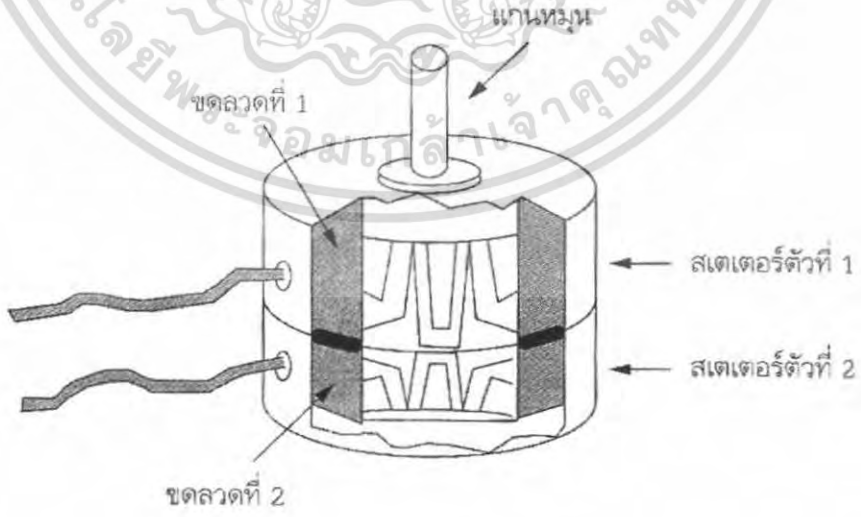
2.2.2.1 โครงสร้างภายในของสเตปปิ้งมอเตอร์

ปัจจุบันมีการออกแบบสเตปปิ้งมอเตอร์หลายรูปแบบ ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาสเตปปิ้งมอเตอร์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งเป็นสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.18



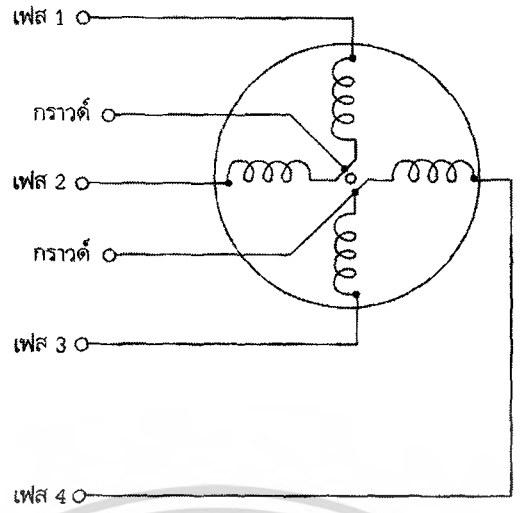
รูปที่ 2.18 สเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส

สเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส แท้จริงแล้วก็คือมอเตอร์สองตัวที่นำมาประกบกันคล้ายกับแซนวิช ดังแสดงในรูปที่ 2.19 โดยที่มอเตอร์แต่ละตัวจะประกอบด้วยขดลวดสองขดที่พันขดลวดต่อกันเป็นสี่ขดจากขั้วของมอเตอร์ทั้งสองคู่ ดังนั้นจึงมีสายไฟออกมาจากตัวมอเตอร์ 8 เส้น โดยปกติแล้วการพันสายไฟจะนำมารวมกันเป็นกลุ่ม ทำให้จำนวนสายไฟลงได้ อาจจะเป็น 5 หรือ 6 เส้น แทนที่จะเป็น 8 เส้นดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 ลักษณะภายในของสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส

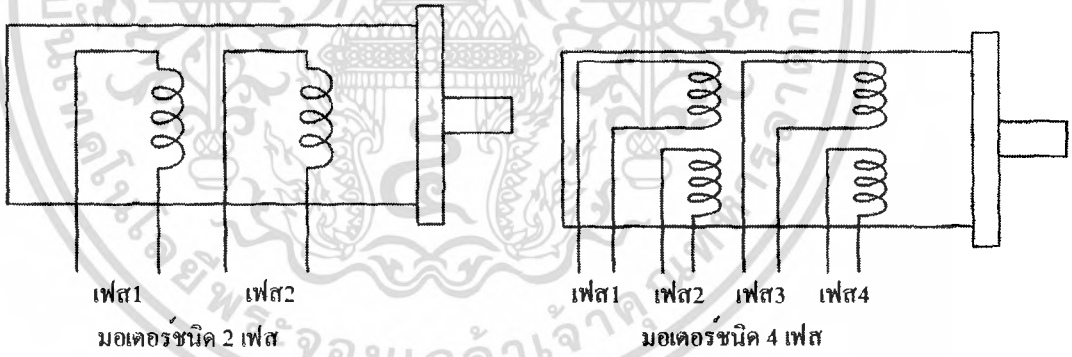
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แผนผังสายไฟของสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส

2.2.2.2 แผนผังการเดินสายไฟ

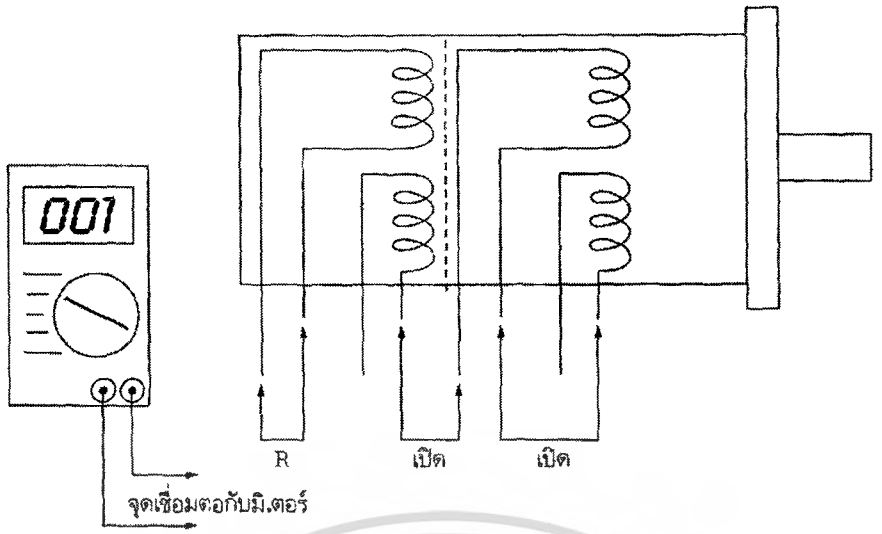
แผนผังการเดินสายไฟของสเตปปิ้งมอเตอร์ทั้งชนิด 2 และ 4 เฟสได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.21 สายไฟของสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 2 เฟส สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย ซึ่งจะใช้โวลต์-โอห์มมิเตอร์ในการทดสอบ โดยเราสามารถหาคู่ของสายไฟที่เป็นเฟสเดียวกันได้ โดยถ้าค่าความต้านทานที่แสดงออกมามีค่าน้อยแสดงว่าเป็นเฟสคู่เดียวกัน



รูปที่ 2.21 ขดลวดของสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 2 เฟส และ 4 เฟส

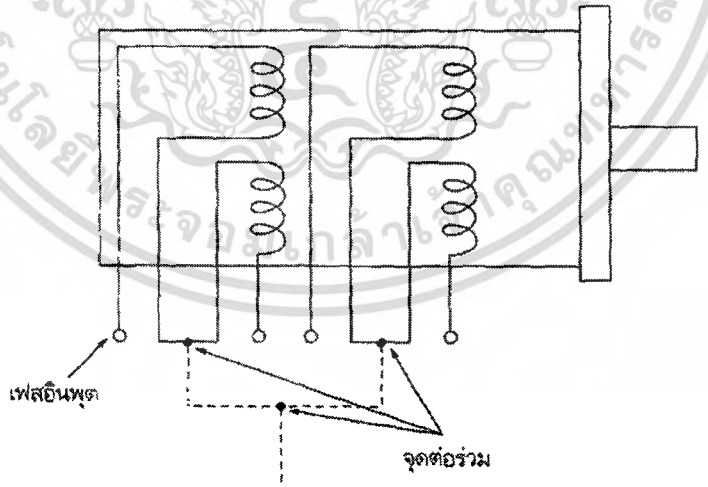
สำหรับการทดลองสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส ก็สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกัน แต่มีขั้นตอนที่มากกว่า เพราะมีสายไฟ 8 เส้นต่อกับมอเตอร์ การหาคู่ของสายไฟที่เป็นเฟสเดียวกันแสดงดังรูปที่ 2.22 ถ้าไม่สามารถอ่านค่าความต้านทานได้ แสดงว่าสายไฟคู่นั้นไม่ได้ต่อกัน ถ้าอ่านค่าจากมิเตอร์ได้ แสดงว่าสายไฟคู่นั้นเชื่อมต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 จุดเชื่อมต่อและค่าที่สามารถอ่านได้จากสายไฟ 8 เส้น
สำหรับสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส

ถ้าสเตปปิ้งมอเตอร์มีสายไฟ 6 เส้น สายไฟ 4 เส้นจะมาจากปลายแต่ละข้างของขดลวด และจะมีสายไฟอีกสองข้างที่ต่อร่วมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.23 ขั้นตอนในการหาคู่เฟสจะต้องใช้ความอดทน โดยขั้นตอนแรกต้องแยกสายไฟออกเพื่อที่จะหาสายไฟที่ไม่เชื่อมต่อกัน หลังจากทดสอบเรียบร้อยแล้วจะแบ่งสายไฟออกเป็นสองกลุ่มที่ประกอบด้วยสายไฟกลุ่มละ 3 เส้น ซึ่งขั้นตอนนี้เราสามารถหาสายไฟที่คู่กันได้ โดยวัดค่าด้วยมิเตอร์และบันทึกผลไว้

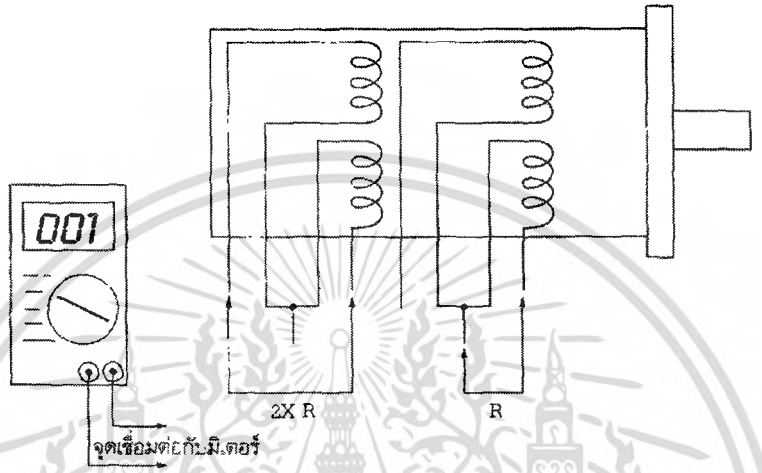


รูปที่ 2.23 จุดต่อร่วมจะทำให้สายไฟลดลงจากเดิม 8 เส้น เหลือ 5 หรือ 6 เส้น

สุดท้ายจะพบว่าได้ค่าจากการวัดเป็นสายไฟเส้นที่ 1 และ 2 สายไฟเส้นที่ 2 และ 3 และสายไฟเส้นที่ 1 และ 3 ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์จะเหมือนกัน2 ชุด สำหรับชุดที่เหลือ ค่าความต้านทานจะเป็นสองเท่า แสดงว่าสายคู่นี้เป็นขดลวดหลัก ส่วนสายไฟที่เหลือจะเป็นสายไฟที่ต่อร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถอดรหัสสายไฟของมอเตอร์แบบ 5 สายสามารถทำได้โดยตรง คือ วัดค่าของสายไฟแต่ละคู่แล้วบันทึกค่าไว้ สมมติว่าวัดค่าความต้านทานของสายไฟ 1 คู่ แล้วบันทึกไว้ (ใช้ตัวแปรชื่อ "R") ปละหากวัดสายไฟอีกคู่หนึ่งแล้วปรากฏว่ามีค่าความต้านทาน "2R" แสดงว่าสายไฟคู่นั้นเป็นปลายทั้งสองข้างของขดลวด (ดังแสดงในรูปที่ 2.24) ทำการแยกสายคู่นี้ออก จากนั้นทำการทดสอบสายไฟคู่อื่นๆที่เหลือด้วยวิธีการเดียวกันจนเสร็จสมบูรณ์

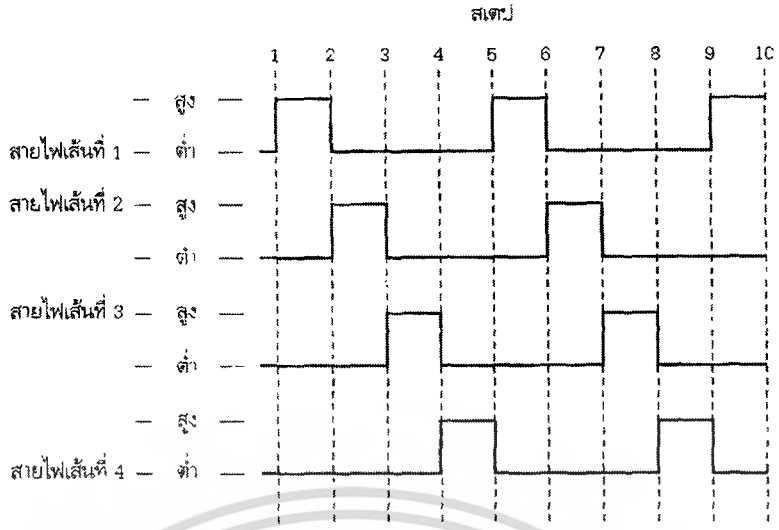


รูปที่ 2.24 จุดเชื่อมต่อและค่าที่สามารถอ่านได้จากสายไฟ 5 หรือ 6 เส้นของสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟส

2.2.2.3 ลำดับขั้นของพัลส์

ในการทำงานของสายร่วมจะถูกต่อกับขั้วบวก (บางครั้งก็ใช้ขั้วลบ) ของแหล่งจ่ายไฟ ขดลวดแต่ละขดจะได้รับหารกระตุ้นจากกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟเป็นช่วงเวลาสั้นๆ โดยแกนเพลาของมอเตอร์จะหมุนไปเป็นเศษส่วนของรอบในแต่ละครั้งที่ได้รับการกระตุ้น เอให้แกนเพลาของมอเตอร์หมุนไปได้อย่างถูกต้อง ขดลวดจะต้องได้รับการกระตุ้นตามลำดับ เช่น ขดที่ 1,2,3 และ 4 ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ทิศทางการหมุนจะหมุนตามเข็มนาฬิกา ถ้าเรากระตุ้นโดยเรียงลำดับตรงกันข้าม จะทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา

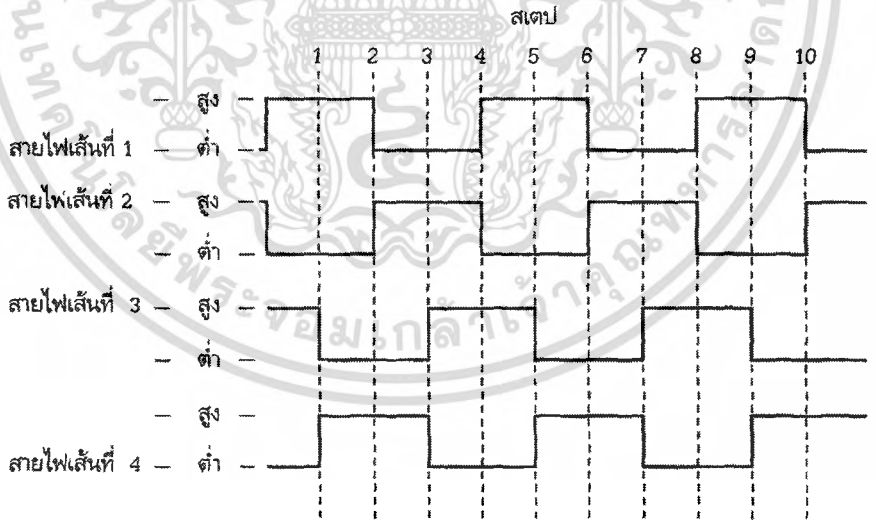
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ลำดับการป้อนพัลส์เพื่อขับสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟสทั่วไป

2.2.2.4 ลำดับขั้นในการเปิด/เปิด และ ปิด/ปิด

ลำดับขั้นของพัลส์เป็นเทคนิคพื้นฐานแบบหนึ่งสำหรับใช้ขับสเตปปิ้งมอเตอร์ มีเทคนิคอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ขับหรือกระตุ้นขดลวดทั้งสองขดพร้อมๆกัน คือ วิธี เปิด/เปิด และ ปิด/ปิด ดังแสดงในรูปที่ 2.25 ซึ่งจะช่วยเพิ่มกำลังในการขับเคลื่อนมอเตอร์ นอกจากนี้ยังช่วยการหมุนของแกนเพลามอเตอร์แม่นยำขึ้นด้วย



รูปที่ 2.26 ลำดับขั้นในการเปิด/ปิด และ ปิด/ปิด

2.2.2.5 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบสเตปปิ้งมอเตอร์

การออกแบบสเตปปิ้งมอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เฟสของสเตปปิ้งมอเตอร์

สเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 4 เฟสต้องการลำดับของพัลส์ที่ใช้ป้อนให้กับขดลวดเพื่อขับมอเตอร์ให้หมุนได้อย่างถูกต้อง โดยลักษณะของสเตปปิ้งมอเตอร์จะมีอย่างน้อย 2 เฟส แต่สเตปปิ้งมอเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็น 4 เฟส มีบางครั้งที่เราจะเห็นสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิด 6 เฟส ถ้ามีจำนวนเฟสมากเท่าไรมอเตอร์ก็จะมีความแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น

2. มุมของสเตป

ขนาดหรือองศาที่แกนเพลาของสเตปปิ้งมอเตอร์หมุนไปจะแปรตามจำนวนครั้งที่ขดลวดถูกกระตุ้น ซึ่งเราเรียกว่า มุมสเตป (step angle) โดยจะมีค่าตั้งแต่ 0.9 องศา จนถึง 90 องศา (ปกติคือ 1.8 องศา)

ค่าของมุมสเตปนี้ใช้สำหรับคำนวณหาจำนวนของสเตปที่ใช้ในการหมุนแกนเพลาของมอเตอร์ได้หนึ่งรอบ ตัวอย่างเช่น สเตปปิ้งมอเตอร์ที่หมุนสเตป 1.8 องศา จะต้องป้อนพัลส์จำนวน 200 พัลส์ เพื่อหมุนแกนเพลามอเตอร์ให้ได้หนึ่งรอบ หรืออีกตัวอย่างหนึ่ง ถ้าสเตปปิ้งมอเตอร์มีมุมสเตป 7.5 องศา จะต้องป้อนพัลส์จำนวน 48 พัลส์ เพื่อหมุนแกนเพลามอเตอร์ให้ได้หนึ่งรอบ

3. ระดับของพัลส์ (pulse rate)

เป็นที่เข้าใจกันแล้วว่า ถ้าสเตปปิ้งมอเตอร์ยิ่งมีมุมสเตปเล็กเท่าใด มอเตอร์รัวนั้นก็ยิ่งมีความแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น แต่สเตปปิ้งมอเตอร์จะมีข้อจำกัดอยู่ที่จำนวนพัลส์สูงสุดประมาณ 200-300 สเตปต่อวินาที ดังนั้นมอเตอร์จะมีความเร็วสูงสุดประมาณ 1-3 รอบต่อวินาที (60-180 รอบต่อนาที) สำหรับสเตปปิ้งมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กลงมาก็จะมีระดับของพัลส์มากกว่า 1,000 สเตปต่อวินาที แต่แรงบิดที่ได้จะไม่เพียงพอในการขับเคลื่อนหรือบังคับทิศทาง

อย่างไรก็ตามสเตปปิ้งมอเตอร์ไม่ควรจะถูกกระตุ้นให้หมุนที่ความเร็วรอบสูงสุดโดยทันทีจากค่าความเร็วต้นที่เป็นศูนย์ การป้อนพัลส์จำนวนมากเกินไปจะทำให้สเตปปิ้งมอเตอร์ค้างได้ การที่จะให้สเตปปิ้งมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงสุดจะต้องค่อยๆเพิ่มความเร่งให้กับมอเตอร์ ซึ่งอาจจะใช้ความเร็วประมาณหนึ่งในสามของความเร็วสูงสุดในช่วง 2-3 วินาทีแรก และเพิ่มเป็น สองในสามของความเร็วสูงสุดสำหรับ 50 หรือ 75 มิลลิวินาทีถัดมา แล้วจึงใช้ความเร็วสูงสุดเต็มที่

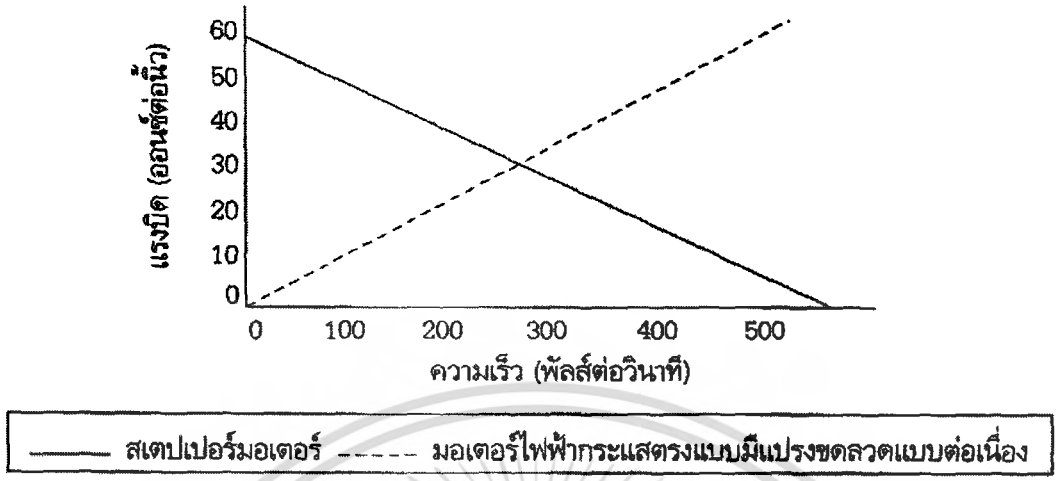
4. แรงบิดที่ได้

สเตปปิ้งมอเตอร์ให้แรงบิดได้ไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดและน้ำหนักเท่ากัน สเตปปิ้งมอเตอร์ขนาดกลางทั่วไป (12 โวลต์) อาจจะให้แรงบิดเพียง 25 ออนซ์ต่อนิ้ว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดกลางทั่วไป (12 โวลต์) จะให้แรงบิดมากกว่า 3-4 เท่า

อย่างไรก็ตาม สเตปปิ้งมอเตอร์จะให้แรงบิดได้ดีที่สุดที่ความเร็วต่ำ คือ ยิ่งความเร็วในการหมุนช้าเท่าใด แรงบิดที่ได้ก็ยิ่งมีค่ามากเท่านั้น เช่นเดียวกันกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง รูปที่ 2.26 แสดงกราฟแรงบิดของสเตปปิ้งมอเตอร์ขนาดกลางชนิด 4 เฟส 12 โวลต์ ซึ่งใช้ระดับของพัลส์ 550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์ต่อวินาที มีค่ามุมสเตปเท่ากับ 1.8 องศาต่อสเตป ดังนั้นความเร็วรอบสูงสุดที่ได้คือ 2.75 รอบต่อวินาที (165 รอบต่อนาที)



รูปที่ 2.27 แรงบิดของสเตปปิ้งมอเตอร์ที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วในการหมุนต่ำลง

5. ผลจากการหยุดของสเตปปิ้งมอเตอร์

ในการหมุนแกนเพลามอเตอร์ หรือกระตุ้นขดลวดขดใดขดหนึ่งภายในสเตปปิ้งมอเตอร์ โดยป้อนกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องให้กับขดลวด ถ้าสเตปปิ้งมอเตอร์ไม่หมุน และแกนเพลาของสเตปปิ้งมอเตอร์ถูกล็อกเหมือนกับออกแรงเบรกเอาไว้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ล็อกกิงเอฟเฟกต์ (locking effect) ซึ่งเราไม่จำเป็นต้องออกแรงหยุดสเตปปิ้งมอเตอร์เพราะว่าสามารถหยุดได้ด้วยตัวเอง

ขนาดของแรงที่ใช้หยุดสเตปปิ้งมอเตอร์หรือโฮลดิงทอร์ก (holding torque) นั้น ถ้าเป็นสเตปปิ้งมอเตอร์ขนาดเล็กจะมีขนาดเล็กจะมีขนาดเพียง 2-3 ออนซ์ต่อนิ้ว แต่สำหรับสเตปปิ้งมอเตอร์ขนาดใหญ่ จะมีค่ามากถึง 400 ออนซ์ต่อนิ้ว

2.2.2.5 อัตราแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

ในทำนองเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สเตปปิ้งมอเตอร์จะแปรผันตามค่าอัตราแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า แต่สเตปปิ้งมอเตอร์ขนาด 5, 6 และ 12 โวลต์จะมีการทำงานไม่เหมือนกันกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การป้อนค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงมากกว่าที่กำหนดจะไม่ทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น แต่จะให้ค่าแรงบิดและโฮลดิงทอร์กสูงขึ้น ส่วนการให้กำลังกับสเตปปิ้งมอเตอร์มากกว่า 40-60 % อาจจะทำให้มอเตอร์ไหม้ได้

อัตรากระแสไฟฟ้าของสเตปปิ้งมอเตอร์จะแสดงในหน่วยแอมแปร์ (มิลลิแอมแปร์) ต่อเฟส แหล่งจ่ายไฟที่จะใช้ขับมอเตอร์ต้องให้ค่าอัตรากระแสไฟฟ้าอย่างน้อยเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ แต่ถ้าให้ค่าอัตรากระแสไฟฟ้ามากกว่าก็ยิ่งดีสำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้ในงานหนัก สำหรับลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 สเตปจะให้กำลังทีละ 2 เฟส แต่อย่างน้อยที่สุดอัตรากระแสไฟฟ้าต้องเป็นสองเท่าของที่กำหนด เช่น ค่าของอัตรากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.25 แอมแปร์ต่อเฟส และกำลังไฟฟ้าที่ต้องการในแต่ละครั้งเป็น 0.5 แอมแปร์ต่อเฟส

2.2.2.6 วิธีการขับสเตปปิ้งมอเตอร์ให้หมุนโดยการกระตุ้นเฟส

ในการควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์เพื่อที่จะให้ทำการหมุน มีวิธีการควบคุมกระแสไฟที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ (Stator) ในแต่ละเฟสของสเตปปิ้งมอเตอร์ อย่างเป็นลำดับที่แน่นอน โดยถ้าหากเราต้องการให้กระแสไหลในเฟสใดๆ ก็จะทำให้สถานะของเฟสนั้นๆเป็นสถานะลอจิก "1" และในการกระตุ้นเฟสของของสเตปปิ้งมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ

1. การกระตุ้นเฟส แบบฟูลสเตปมอเตอร์ (Full Step Motor) ยังสามารถแบ่งการกระตุ้นเฟสออกได้เป็นอีก 2 วิธีด้วยกันคือ

1) การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเตป 1 เฟส (Single-Phase Driver) หรือแบบเวฟ แสดงดังตาราง 2.2 จะเป็นการป้อนกระแสไฟให้กับขดลวด ของสเตปปิ้งมอเตอร์ทีละขด โดยจะป้อนกระแสเรียงตามลำดับกันไป ดังนั้นกระแส ที่ไหลในขดลวด จะทำการไหลในทิศทางเดียวกันทุกขด ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้แรงขับของสเต็ปปิ้งมอเตอร์มีน้อย

2) แสดงดังตารางรูป 2.2 เป็นการป้อนกระแสให้กับขดลวด 2 ขด ของสเตปปิ้งมอเตอร์พร้อมๆกันไป และจะกระตุ้นเรียงถัดกับไปเช่นเดียวกับแบบหนึ่งเฟส ดังนั้นการกระตุ้นแบบนี้จึงต้องใช้กำลังไฟมากขึ้น และจะทำให้มีแรงบิดของมอเตอร์มากกว่าการกระตุ้นแบบ 1 เฟส

2. การกระตุ้นเฟส แบบฮาลฟ์สเตป (Half Step Motor) หรือ one-two phase Driver คือการกระตุ้นเฟสแบบ ฟลู สเตป 1 เฟส และ 2 เฟส เรียงลำดับกันไป แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นเฟสแบบนี้จะมีเพิ่มมากขึ้น เพราะช่วงของสเต็ปมีระยะสั้นลง ในการกระตุ้นแบบนี้ เราจะต้องมีการกระตุ้นที่เฟสถึง 2 ครั้ง จึงจะได้ระยะของ สเต็ปเท่ากับการกระตุ้นเพียงครั้งเดียว ของแบบฟูลสเต็ป 2 แบบแรก ความละเอียดของการหมุนตำแหน่งองศาต่อสเต็ป ก็เป็นสองเท่าของแบบแรก ความถูกต้องของตำแหน่งที่กำหนดจึงมีมากขึ้น

ตารางที่ 2.2 แสดงการกระตุ้นเฟสแบบต่างๆของสเตปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	1	0	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

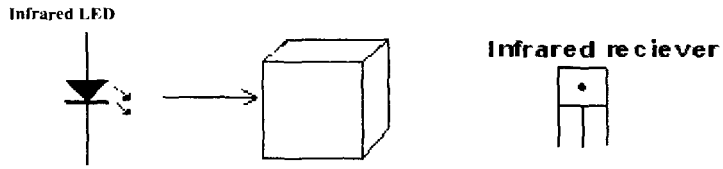
สเต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	1	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

วงจรที่ใช้ในการขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์โดยใช้ไอซีสำเร็จรูป และวงจรจากทรานซิสเตอร์ แสดงได้ในรูป 6.16 โดย ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ ULN2003 จะมีคุณสมบัติเป็นไอซีไดรเวอร์กระแสสูง แบบคอลเล็คเตอร์เปิด สามารถเลือกแรงดันได้กว้าง 5-30 โวลท์ จ่ายกระแสได้สูงถึง 500 mA ต่อขา และมีไดโอดที่ป้องกันกระแสย้อนกลับอยู่ภายในไอซี ส่วนแอลอีดีที่ต่อในวงจรเราจะต่อไว้เพื่อแสดงการกระตุ้นแต่ละเฟส ของแต่ละแบบ

2.3 เซนเซอร์อินฟราเรด

การตรวจจับฝาและหลอดใช้หลักการส่งผ่านแสงอินฟราเรด โดยใช้ตัวรับอินฟราเรด (Photo Modules) และตัวส่งอินฟราเรด วางในตำแหน่งตรงกันข้าม เมื่อไม่มีฝาหรือหลอดอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการซึ่งอยู่ระหว่างตัวรับอินฟราเรดและตัวส่งอินฟราเรด ตัวรับอินฟราเรดจะสามารถรับแสงอินฟราเรดจากตัวส่งอินฟราเรดได้ ดังรูปที่ 2.29 และเมื่อมีฝาหรือหลอดอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ เนื่องจากฝาและหลอดเป็นวัตถุทึบแสง เมื่ออยู่ระหว่างตัวรับอินฟราเรดและตัวส่งอินฟราเรด ตัวรับอินฟราเรดจึงไม่สามารถรับแสงอินฟราเรดจากตัวส่งอินฟราเรดได้ ดังรูปที่ 2.30

รูปที่ 2.28 ตัวตรวจจับวัตถุ เมื่อไม่มีวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ



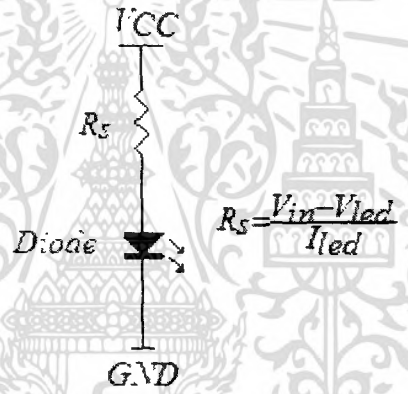
รูปที่ 2.29 ตัวตรวจจับวัตถุ เมื่อไม่มีวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

2.3.1 อินฟราเรด LED (Infrared LED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันตกคร่อมที่รอยต่อ P N ของไดโอด (Diode) ต้องมีค่ามากกว่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) จึงจะสามารถทำให้ไดโอดนำกระแสได้ สำหรับซิลิคอนไดโอดแรงดันขีดเริ่มจะมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ ส่วนLED ที่ให้แสงในย่านที่สามารถมองเห็นได้ ถ้าทำจากสาร GaP ซึ่งให้แสงสีเขียว จะมีค่าแรงดันขีดเริ่มประมาณ 2.1 โวลต์ ถึง 2.8 โวลต์ ถ้าเป็น LED ที่ทำจาก AlGaAs ให้แสงสีแดง มีแรงดันทำงาน 1.75 ถึง 2.5 โวลต์ ส่วนแอลอีดีที่ให้แสง ใกล้ย่านอินฟราเรดทำจากสาร GaAs มีแรงดันทำงาน 1.5 โวลต์ โดยให้แสงที่มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร และถ้าทำจาก AIGaAs จะได้แสงความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ที่แรงดัน 1.75 โวลต์

พลังงานที่ได้จากการเปล่งแสงของแอลอีดีหาได้จากกระแสไบอัสตรงของไดโอดและต้องระมัดระวังไม่ให้กระแสส่วนนี้มีค่าสูงจนเกิดความร้อนอันจะทำอันตรายต่อไดโอดจึงจำเป็นต้องมีการต่อตัวต้านทานอนุกรมที่เหมาะสม เพื่อจำกัดกระแสทำให้สามารถใช้งานแอลอีดีได้อย่างต่อเนื่อง รูปที่ 2.31 แสดงการจำกัดกระแสเบื้องต้นของแอลอีดีโดยสามารถคำนวณได้จากสูตร



รูปที่ 2.30 การจำกัดกระแสของแอลอีดีเบื้องต้น

สิ่งที่สำคัญที่สุดของแอลอีดีอินฟราเรดกำลังงานสูงคือ ชิ้นสาร AIGaAs ที่ให้ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร และสาร GaAs ซิลิคอนไดโอดที่ให้แสงความยาวคลื่น 940 นาโน

ซิลิคอนแอลอีดีที่ทำจาก GaAs ให้กำลังงานประมาณ 5 มิลลิวัตต์ ที่กระแสไบอัสตรง 100 มิลลิแอมป์ แอลอีดีที่ทำจาก AIGaAs จะให้กำลังงานเป็น 2 เท่า เมื่อให้กระแสไบอัสตรงค่าเดียวกัน ข้อที่ดีกว่าอีกประการหนึ่งของ แอลอีดีชนิด AIGaAs คือ มี rise time และ fall time ที่เร็วกว่าคือ ประมาณ 0.5 ไมโครวินาที ในขณะที่ GaAs ซิลิคอนไดโอดมีค่า 1.5 ไมโครวินาที

ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ การเปล่งแสงแอลอีดีที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร (AIGaAs) จะใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ซิลิคอนโฟโต้ทรานซิสเตอร์ มีความไวสูงสุดจึงเป็นการเหมาะสมที่จะใช้แอลอีดีที่มีความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร แทนแอลอีดีที่มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร

นอกจากนั้น แอลอีดีที่ให้ความยาวคลื่นแสง 880 นาโนเมตร ยังไม่ถูกดูดกลืนโดยละอองน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

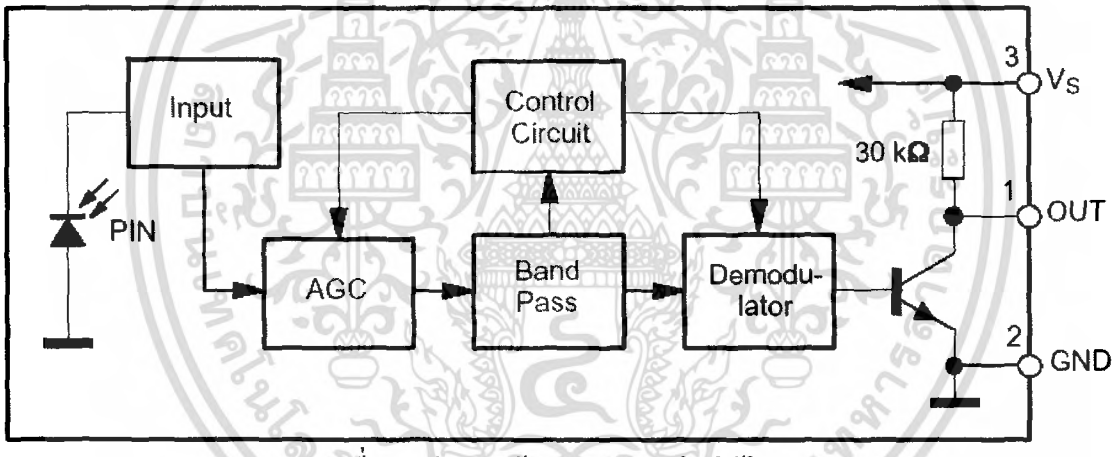
เหมือนแอลอีดีที่ให้ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร จึงสามารถนำไปใช้ในการตรวจจับไอน้ำในอากาศแอลอีดีชนิด 940 นาโนเมตร ไม่เหมาะกับการสื่อสารด้วยแสงภายนอกเพราะจุดอ่อนเรื่องการถูกดูดกลืนด้วยไอน้ำในอากาศนั่นเอง ส่วนแอลอีดีชนิดซิลิคอนที่ทำจาก GaAs มักจะใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงย่านอินฟราเรด การส่งสัญญาณแสงอินฟราเรดสามารถกระทำได้ด้วยวงจรง่าย ๆ ดังรูปที่ 3.4 (A) ซึ่งประกอบด้วย LED ที่เปล่งแสงในย่านอินฟราเรดต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยมีความต้านทาน R_1 ทำหน้าที่จำกัดกระแส

2.3.2 วงจรภาครับของระบบอินฟราเรด

2.3.2.1 โฟโต้โมดูล (Photo Modules)

โฟโต้โมดูลเบอร์ TSOP 4838 ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการรับส่งสัญญาณอินฟราเรด โดยมีการใช้งานร่วมกับ LED อินฟราเรด ซึ่งอาศัยสัญญาณดิจิตอลทางด้านอินพุทไปควบคุมวงจรทางด้านเอาท์พุท

ภายในโฟโต้โมดูลประกอบไปด้วย Pin Diode และวงจร Pre – Amplifier มีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.31 โครงสร้างภายในของโฟโต้โมดูล

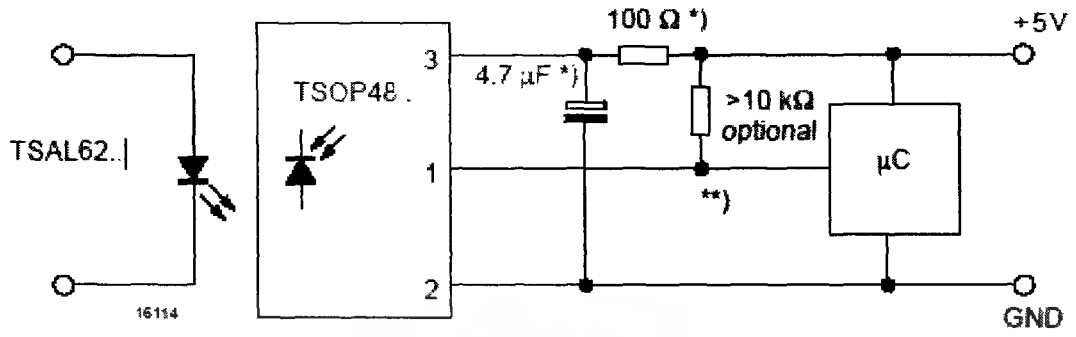
คุณสมบัติของโฟโต้โมดูล

- มีวงจร Photo Detector และ Pre – Amplifier ภายในตัว
- มีวงจร Band Pass Filter สำหรับกรองความถี่ใช้งาน
- รักษาระดับการทำงานของวงจรต่อสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสง
- เอาท์พุททำงานที่ลอจิก "0"
- สามารถส่งข้อมูลต่อเนื่องได้ 800 บิต/วินาที
- Burst Length ที่เหมาะสมในการใช้งานต้องไม่ต่ำกว่า 10 cycle/burst

เอาท์พุทที่ได้จากโฟโต้โมดูลสามารถนำไปต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรเลอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตรง มีลักษณะการต่อวงจรตามรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.32 การต่อใช้งาน

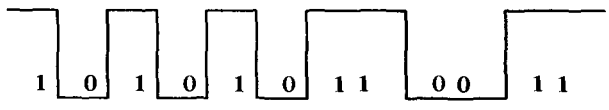
2.3.2.2 การควบคุมด้วยสัญญาณโทนเบิรสต์ (Tone Burst)

สัญญาณโทนเบิรสต์เป็นสัญญาณที่มีการดัดแปลงรูปแบบของสัญญาณให้มีลักษณะคล้ายกับการส่งคลื่นวิทยุเพื่อป้องกันการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมหรือจากเครื่องส่งอื่น ๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงหากมีรูปแบบการเข้ารหัสเหมือนกัน

ลักษณะสัญญาณแบบโทนเบิรสต์แสดงดังรูปที่ 2.35 ซึ่งสร้างจากสัญญาณที่มีสภาวะเป็น High ของสัญญาณควบคุมแบบธรรมดา สัญญาณโทนเบิรสต์ประกอบด้วยพัลส์ความถี่สูงแบบต่อเนื่องตลอดช่วงความกว้างของบิตที่เป็น 1 ในขณะที่บิตข้อมูลอยู่ในสภาวะ Low สัญญาณที่ได้จะเหมือนเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ขั้นตอนของการเกิดสัญญาณโทนเบิรสต์แสดงดังรูปที่ 2.35

รูปที่ 2.33 ลักษณะสัญญาณแบบโทนเบิรสต์

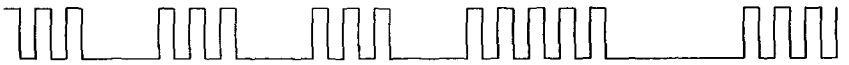
ซึ่งการกำเนิดสัญญาณโทนเบิรสต์ทำได้ดังนี้



รูปที่ 2.34 สัญญาณโทนเบิรสต์ที่ออกจาก TXD เป็น 35H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)

รูปที่ 2.35 แสดงขั้นตอนการเกิดสัญญาณโทนเบิรสต์
(ก) สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ความถี่ประมาณ 38KHz
(ข) เมื่อนำสัญญาณทั้งคู่มารวมกันจะได้สัญญาณโทนเบิรสต์

สำหรับวงจรตัวรับจะต้องทำการออกแบบให้มีการตอบสนองต่อสัญญาณโทนเบิรสต์ ช่วงความถี่ที่เหมาะสมกัน จึงสามารถออกแบบชุดรีโมตคอนโทรล ที่มีค่าความถี่ของสัญญาณโทนเบิรสต์แตกต่างกัน เพื่อนำมาควบคุมอุปกรณ์ในพื้นที่ใกล้เคียงกันได้ โดยปราศจากการรบกวนซึ่งกันและกัน

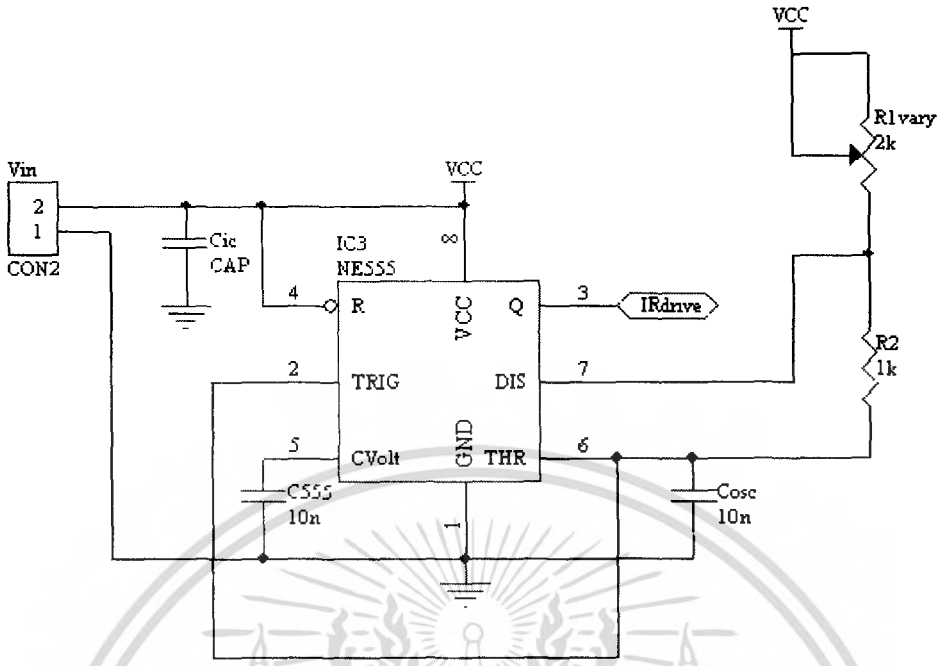
ในขณะเดียวกัน ตัววงจรส่งอาจถูกออกแบบให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของสัญญาณโทนเบิรสต์เป็นค่าต่าง ๆ ได้ซึ่งช่วยให้สามารถใช้เครื่องส่งเพียงตัวเดียวสำหรับการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดได้พร้อมกัน

ข้อดีอีกประการของการส่งสัญญาณแบบโทนเบิรสต์ ก็คือสามารถขจัดสัญญาณรบกวนจากภายนอกได้ดีมาก ตัวอย่างเช่น ระบบควบคุมที่ใช้สัญญาณแสง หรือแสงอินฟราเรดที่ส่งด้วยพัลส์ธรรมดาอาจมีแสงจากภายนอก แสงจากหลอดไฟ หรือแม้กระทั่งแสงอาทิตย์ที่เข้ารบกวนที่เครื่องรับจนอาจเกิดข้อผิดพลาดในการรับสัญญาณควบคุมได้ แต่หากมีการใช้สัญญาณโทนเบิรต์แล้วสิ่งรบกวนต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกขจัดออกไปได้โดยสิ้นเชิง

ในการส่งสัญญาณโทนเบิรสต์ จะต้องมีการเพิ่มวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูงเข้ามาในวงจรส่งสัญญาณควบคุมด้วย เนื่องจากสิ่งที่ถูกเพิ่มเข้ามาจากสัญญาณพัลส์ธรรมดา ก็คือ พัลส์ความถี่สูงโดยใช้ไอซียอดนิยมเบอร์ 555 ต่อเป็นวงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งสามารถนำเอาท์พุทที่ได้ไปขับ LED อินฟราเรดได้โดยตรง หรือหากต้องการเพิ่มกำลังส่งอาจใช้ทรานซิสเตอร์ขยายกำลังก่อนนำไปขับ LED อินฟราเรดก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 วงจรภาคส่งของระบบอินฟราเรด



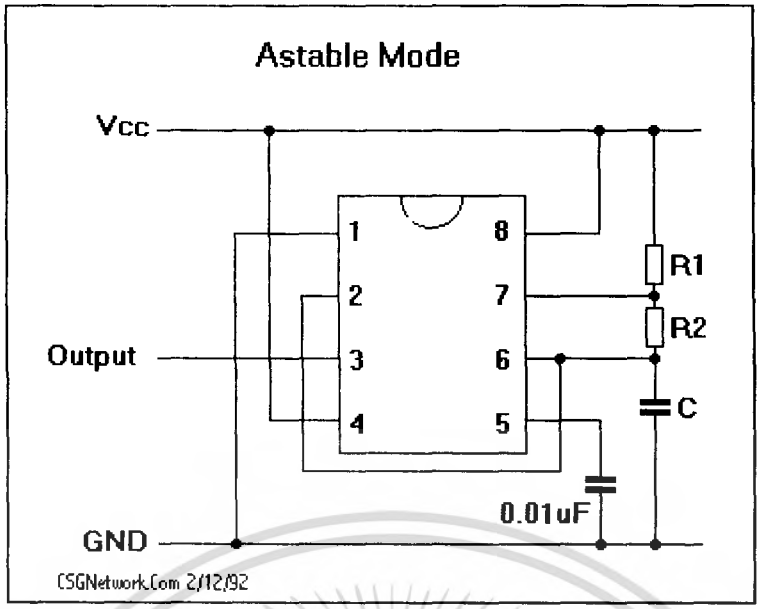
รูปที่ 2.36 วงจรตัวส่งอินฟราเรด

การออกแบบสัญญาณ Carrier 38 kHz ใช้ IC เบอร์555 ซึ่งต่อเป็นวงจร อะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์เพื่อสร้างเป็นสัญญาณcarrier 3 kHz ซึ่งรูปแบบของความถี่นั้นจะอยู่ในรูปของสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม ที่มีความกว้างของพัลส์ดังรูปที่2.38

รูปที่ 2.37 สัญญาณที่ได้จากเอาท์พุตของอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์

จากรูปจะเห็นว่าช่วงเวลา t1และt2 เราสามารถที่จะกำหนดได้ว่าให้มีความกว้างเป็นเท่าไร โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่นเราให้มีให้ความกว้างของ t1= t2 นั่นคือ ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 50% การออกแบบเราสามารถออกแบบได้ดังรูปที่ 2.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 แสดงวงจร อะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ 38 kHz

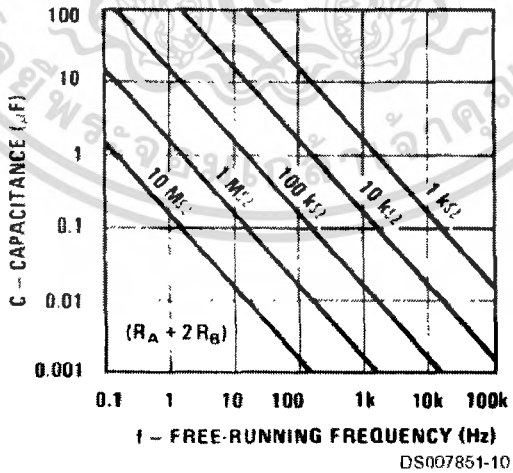
จากสมการ $t_1 + t_2 = T = 0.693(R_1 + 2R_2)\,C$

และ $F = 1.44/(R_1 + 2R_2)\,C$

แทนค่า F = 38 kHz จะได้

$$38 \times 10^3 = 1.44/(R_1 + 2R_2)\,C$$

จากสมการข้างต้นเรามีตัวแปร 2 ตัวคือ R และC การออกแบบเราจะทำการกำหนดค่าของ C ก่อน



รูปที่ 2.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า R และ C และความถี่

จากตารางเลือกค่า C = 0.01 μF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $38\times10^{3} = 1.44/(R_1+2R_2)\times0.01\times10^{-6}$

$R_1+2R_2 = 1.44/(38\times10^{3}\times0.01\times10^{-6})$

$= 3.8kHz$

ให้ $R_1 = 220\Omega$

$220+2R_2 = 3.8\times10^{3}$

$R_2 = (3.8\times10^{3}-220)/2$

$= 1.79k\Omega$

ค่าดิวตี้ไซเคิล $D = (R_1+R_2)/(R_1+2R_2)$

$= (220+1.79\times10^{3})/(220\times2\times1.79\times10^{3})$

$= 53\%$

2.3.3 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC)

Microcontroller PIC มีโครงสร้างหลายลักษณะ ทั้ง 8 pins , 18 pins , 28 pins และ 40 pins ซึ่งมีให้เลือกใช้มากมายขึ้นอยู่ว่าจะเลือกใช้ขนาด Memory เท่าใดเหมาะกับลักษณะงานที่ทำ โดยสามารถแบ่งหน่วยความจำได้ 3 แบบ คือ

(1) หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (Flash Program Memory) มีขนาดความจุ 1-32 kwords

(2) หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory RAM) มีขนาดความจุ 64 ถึง 1536 byte

(3) หน่วยความจำข้อมูล (EEPROM Data Memory) มีขนาดความจุถึง 256 bytes

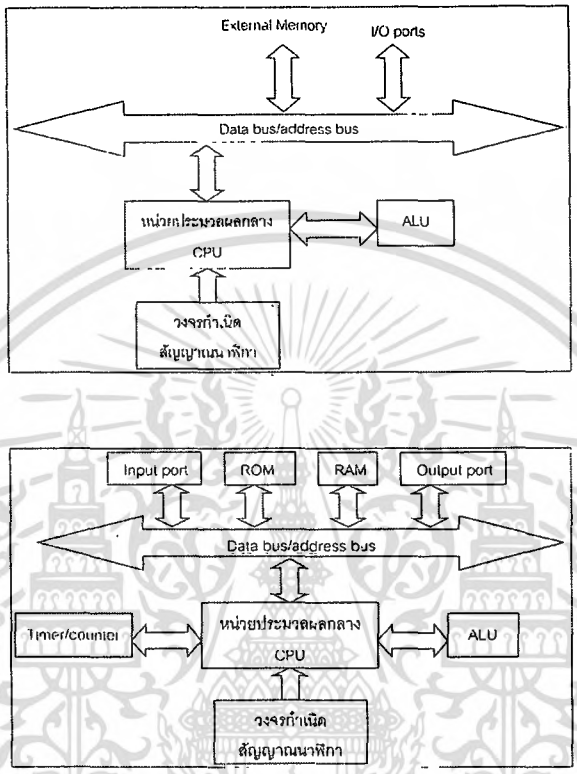
Microcontroller PIC16F877 มีพอร์ตใช้งานทั้งสิ้น 5 พอร์ต คือ PORTA 6 บิท , PORTB 8 บิท , PORTC 8 บิท , PORTD 8 บิท และ PORTE 3 บิท เป็นพอร์ตแบบมี 2 ทิศทาง คือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุต และเอาท์พุต และยังเป็นพอร์ตที่สามารถแปลงสัญญาณ ADC (Analog to Digital Converter) ได้อีกด้วย Microcontroller PIC มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- มีพอร์ต I/O ขนาด 3 บิท , 6 บิท , 8 บิท จำนวน 5 พอร์ต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช 1 ถึง 32 kwords
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม RAM 64 ถึง 1536 bytes
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม EEPROM 256 bytes
- Timer/Counter
  - Timer 0 ขนาด 8 บิท
  - Timer 1 ขนาด 16 บิท
  - Timer 2 ขนาด 8 บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีกระแสซิงก์และกระแสซอร์ส (High Sink/Source Current) 25 mA
- มีวงจรแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter 10 บิท
- มีวงจรแบบอนุกรมทั้ง SPI และ I^2C (Master/Slave)

มีวงจร Pulse Width Modulation (PWM) ความละเอียดสูงถึง 10 บิทมีหน่วยความจำแบบFlash สามารถเขียนและลบได้มากกว่า100,000 ครั้ง



รูปที่ 2.40 แสดงโครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.3.1 พอร์ตอินพุต/เอาท์พุต (I/O port)

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพอร์ตสำหรับติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกแล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งานและคุณสมบัติของพอร์ต โดยสามารถติดต่อสื่อสารภายนอกทำหน้าที่เป็นอินพุตและเอาท์พุตได้ เช่น Pushbutton,Keypad,Sensor,LCD,Timer/Counter ตลอดจนการแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter เป็นต้น

Microcontroller PIC ถูกพัฒนาเพื่อใช้งานด้านอุตสาหกรรมโดยมีการผลิตมากมายหลายชนิดหลายรุ่นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 การออกแบบกลไกการปิดและการลำเลียง

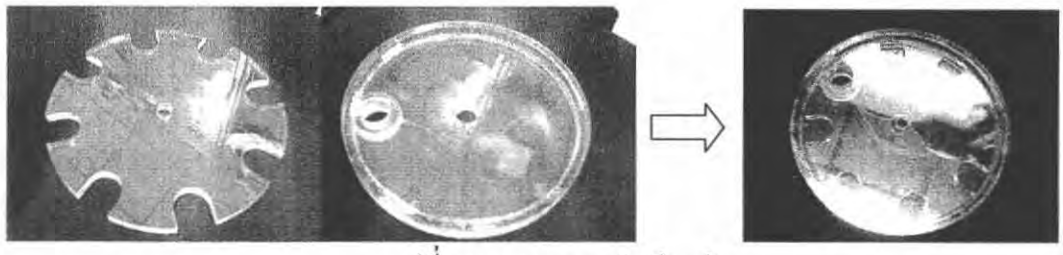
3.1.1 จานลำเลียงหลอด

เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในการลำเลียงหลอดจากสายพานสู่ตำแหน่งที่ทำการ capping โดยใช้ Stepping motor ในการทำงานเนื่องจากทำงานแบบเป็น Step โดยการแบบตั้งออกแบบให้รองรับกับแรงที่กดมาจากแท่งกด ซึ่งมีขนาด 20 นิวตัน วัสดุเลือกใช้ " ซุปเปอร์ลีน " เป็นวัสดุที่มีความเหนียวคงทนและเปลี่ยนรูปยาก การออกแบบได้ทำเป็นลักษณะจานกลมหนา เจาะรูรอบจานจำนวน 8 รู โดยมีขนาดที่พอดีกับหลอด Specimen tube แต่สามารถเทออกมาได้ มีรูอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆของร่องที่เจาะเพื่อทำการระบายอากาศออกขณะที่หลอดกำลังเข้าไปในจาน

รูปที่ 3.1 แสดงจานลำเลียงหลอด

3.1.2 จานลำเลียงฝา

มีลักษณะจานกลมทำจากอะคิลิคชนิดใส ใช้ในการลำเลียงฝาจากรางลำเลียง ซึ่งทำงานโดยใช้ Stepping motor เช่นเดียวกับมอเตอร์ของจานลำเลียงหลอด โดยในจานลำเลียงจะมีตำแหน่งรูที่มีขนาดใหญ่กว่าฝาอยู่ 1 รู เพื่อให้ฝาตกลงไปตำแหน่งหลอดที่อยู่บนจานลำเลียงหลอด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มาบรรจบกันเพื่อจะปิด เนื่องจากชิ้นส่วนนี้ไม่ต้องรับแรงจึงไม่จำเป็นต้องเป็นวัสดุที่แข็งแรงมากนัก จึงใช้อะคิลิก



รูปที่ 3.2 แสดงจานลำเลียงฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 กลไกการปิด

เป็นกลไกที่มีการส่งผ่านแรงไปยังชิ้นส่วนต่างๆ โดยมีการติดตั้งในแนวตั้งประกอบด้วย 3 ชิ้นส่วน ดังนี้

3.1.3.1 แท่งปิด

เนื่องจากเป็นชิ้นที่ต้องปิดฝาดังนั้นจึงต้องมีความแข็งแรง รูปร่างเป็นแท่งกลม ทำจากแสตนเลส ตรงปลายที่จะปิดมีการกลึงให้มีขนาดเท่ากับรูของฝา และมีการตัดหน้าให้มีอากาศระบายออกได้ขณะทำการปิด

รูปที่ 3.3 แสดงแท่งปิด

3.1.3.2 แขนเชื่อมต่อ

ทำจากอลูมิเนียมซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกับเหล็กแต่เบากว่า มีการติดแบริ่งที่รูทั้ง 2 อันเพื่อให้ชิ้นที่มาต่อสามารถหมุนได้

3.1.3.3 ชิ้นยึดกับมอเตอร์

ชิ้นนี้เนื่องจากเป็นชิ้นที่ยึดติดกับมอเตอร์ จำต้องมีการออกแบบที่ให้มีความสมดุล ทำให้แกนมอเตอร์เสียหาย โดยออกแบบเป็นรูปตัวทีการออกแบบได้ทำการหาจุดเซนทรอยด์ เพื่อเป็นจุดยึดกับแกนมอเตอร์ทำให้เกิดความสมดุล

รูปที่ 3.4 แสดงชิ้นยึดติดกับมอเตอร์

3.1.3.4 โครงยึดมอเตอร์

เนื่องจากมอเตอร์มีลักษณะกลมจึงได้มีการทำบล๊อกให้กับมอเตอร์เพื่อกันการสั่นสะเทือน วัสดุทำจากเหล็กชุบเนื่องจากมีความแข็งแรงและราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ออกแบบถังคัดเรียงฝา

การออกแบบได้ทำการศึกษาจากหลักการต่างๆที่ตามโรงงานเคยใช้ ได้แก่ หลักการสร้างสนามแม่เหล็ก โดยการใช้แผ่นคอยล์ อย่างน้อย 2 แผ่น ในการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น ทำให้เกิดการสั่นของตัวถัง ทำให้ ฝาต่างๆ เคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางตามแนวของสนามแม่เหล็ก แต่มีปัญหาคือทำให้เครื่องสั่น ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบกับกลไกการปิด ดังนั้นจึงได้ใช้หลักการอื่นโดยเน้นไปทางการศึกษาลักษณะของฝา โดยจะให้ฝาคว่ำก่อนที่จะถูกนำไปทำการปิด ใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์ หมุนฐานเพื่อให้ฝาตกลงบนเสาแต่ละเสา จากนั้นจึงถูกลำเลียงขึ้นบนรางอะคิลิก เพื่อส่งออกไปยังจานลำเลียงฝา โดยใช้มอเตอร์ขนาดเล็กช่วยในการทำให้หลอดออกจากถังคัดได้เร็วขึ้น

ลักษณะของฝาขณะที่ตกลงไปบนฐานที่หมุน มีลักษณะที่ดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1 ลงในลักษณะคว่ำ

ประเภทที่ 2 ลงในลักษณะอื่นๆ

ประเภทที่ 1 ลงในลักษณะคว่ำ ในลักษณะนี้ฝาจะสามารถลงไปครอบเสาเนื่องจากเสามีขนาดเล็กกว่าฝา ได้มีการทำให้หัวเสามีลักษณะโค้งมน เพื่อให้ฝาสามารถลงไปครอบเสาได้ง่ายขึ้น

ประเภทที่ 1

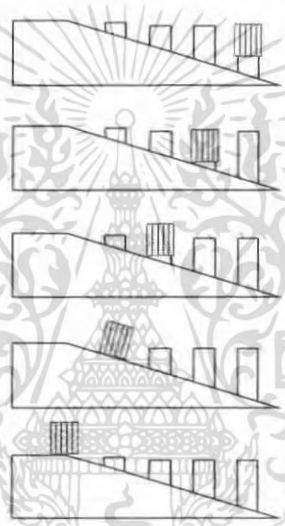
ประเภทที่ 2 ลงในลักษณะอื่นๆ คือลงในลักษณะที่ไม่สามารถลงไปครอบเสาได้ โดยระยะห่างระหว่างเสาที่ได้ออกแบบ ฝาไม่สามารถลงไปได้ แต่ฝาจะสามารถลงไปครอบเสาได้ โดยฐานที่ติดกับมอเตอร์จะหมุนจนกว่าฝาจะลงไปครอบเสา

ประเภทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ฝาได้ลงมาครอบเสาแล้ว จะถูกลำเลียงจนถึงรางอคิลิก ซึ่งจะอยู่ระหว่างเสาที่เคลื่อนที่บนฐานที่ติดกับมอเตอร์ โดยรางอคิลิกนี้จะทำหน้าที่ในการลำเลียงฝาจนออกไปนอกถังคัดในลักษณะฝาที่คว่ำ โดยสามารถอธิบายได้ดังรูปต่อไปนี้

รูปที่ 3.5 แสดงถังคัดฝา



รูปที่ 3.6 แสดงการลำเลียงฝา

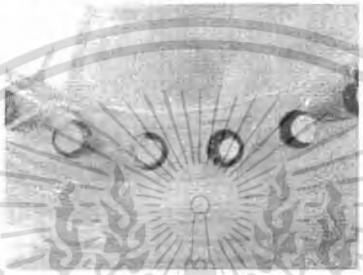
การสร้างเลือกใช้อคิลิกเนื่องจากมีน้ำหนักที่เบาและมีราคาถูก อีกทั้งยังมีความคงทน แต่เนื่องจากอคิลิกหนามีราคาแพงจึงได้นำอคิลิกหนา 5 มิลลิเมตร มาต่อกันเพื่อประกอบเป็นถัง มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

2.1 ตัวถัง ทำจากอะคิลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์

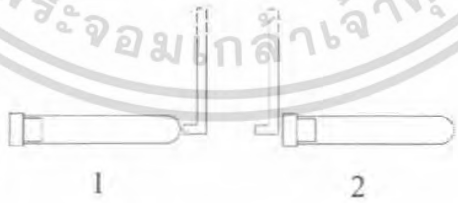
2.3 เสา จำนวน 30 เสา ทำจากไม้



3.1.5 ถังคัดเรียงหลอด

มีหลักการทำงานคือ เมื่อเทหลอดลงในถังคัดที่มีฐานหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หลอดจะตกลงในร่อง ที่ผนังของถังจะมีสปริงซึ่งทำหน้าที่กลับทิศทางของหลอดที่มาในลักษณะที่จุกยางมาก่อน โดยจะมีสปริง 2 ตัวเพื่อเป็นตัวสำรองเมื่อมีการทำงานอย่างรวดเร็ว หรือ มีหลอดที่มาในทิศทางกลับด้านติดกันอย่างน้อย 2 หลอด หลอดที่ออกจากถังคัดจะอยู่ในทิศทางเดียวกัน คือ ปลายหลอดนำ ทิศทางของหลอดที่ตกลงไปในร่องอาจเกิดได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1. ลักษณะปลายหลอดนำ ลักษณะนี้หลอดสามารถผ่านไปได้โดยไม่มีการเกี่ยวของสปริง

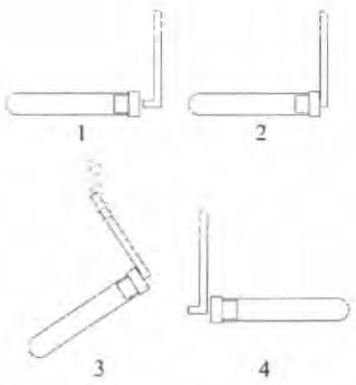


รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะปลายหลอดนำ

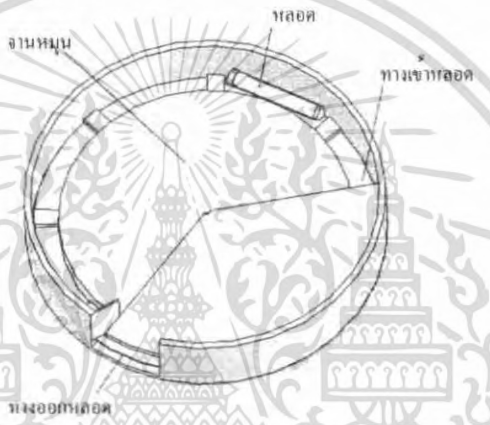
2. ลักษณะจุกยางนำ มีหลักการทำงานของสปริงดังนี้

เมื่อจุกยางหลอดไปถึงสปริงดังรูปที่ 2 ก็จะถูกเกี่ยวขึ้นตามรูปที่ 3 จะทำให้หลอดมีทิศทางเดียวกับลักษณะแรก ดังรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะจุกยางนำ

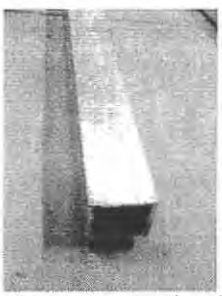


รูปที่ 3.9 แสดงถังคัดเรียงหลอด

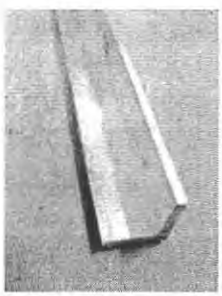
3.2 การออกแบบโครงสร้าง

วัสดุที่ใช้คืออะลูมิเนียมเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความคงทนและสามารถรับแรงกดและเรืองเฉือนได้สูง ลักษณะของอลูมิเนียมที่ใช้เป็นอะลูมิเนียมฉาก และ อะลูมิเนียมแท่งสี่เหลี่ยม ใช้การเชื่อมต่อแต่ละส่วนเข้าด้วยกันด้วยน็อตขนาดต่างๆ เนื่องจากอะลูมิเนียมเชื่อมได้ยาก

หลักการในการออกแบบโครงสร้างจะต้องคำนึงถึงว่าจะมีส่วนไหนที่ต้องรับแรงบ้าง อีกทั้งจะต้องมีความสมดุลของโครงสร้าง เนื่องจากมีแรงกดจากมอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 โวลต์

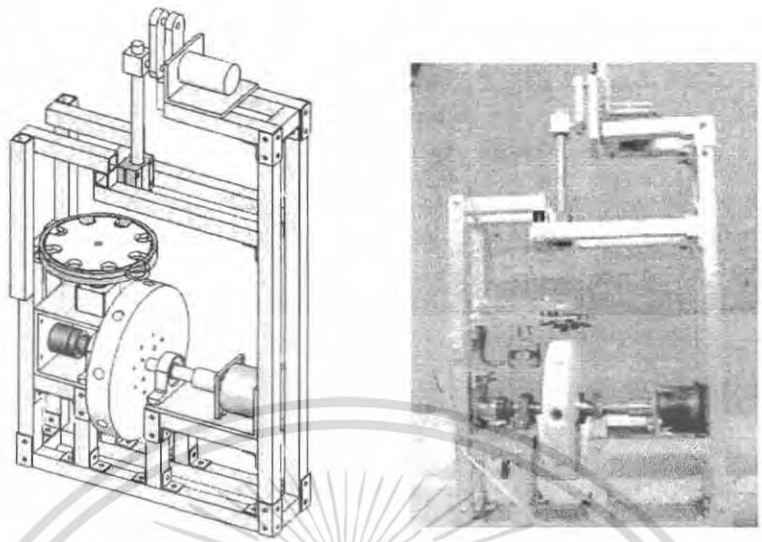


อะลูมิเนียมแท่งสี่เหลี่ยม



อะลูมิเนียมฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงโครงสร้างเครื่อง

3.2.1 การเลือกวัสดุ

วัสดุที่เลือกใช้ในส่วนตัวเครื่องได้เลือกใช้ 5 ชนิด ได้แก่

- เหล็ก SUS (สเตนเลส) เป็นโลหะที่มีสารประกอบของเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล มีลักษณะเด่นคือ ไม่ขึ้นสนิม มีความทนทานต่อความร้อนและความเย็น ชิ้นงานที่ทำจากสแตนเลส ได้แก่ แขนปิด เป็นชิ้นส่วนสำคัญในการปิด และต้องการความแข็งแรงในการกดแกนเพลา เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงเพื่อรับน้ำหนักของการกด

- อะลูมิเนียม ลักษณะพิเศษของอะลูมิเนียม คือ เป็นโลหะที่เบา สามารถทำให้มีความแข็งแรงเทียบเท่ากับเหล็กกล้าได้ โดยการใส่สารประกอบโลหะหรือใช้กระบวนการทางความร้อน ชิ้นงานที่ทำจากอะลูมิเนียมได้แก่ แขนเชื่อมต่อ ชิ้นยึดกับมอเตอร์ และ โครงสร้างตัวเครื่อง

- ซุปเปอร์ลีน (Superlene) เป็นไนลอนที่มีสีขาวใส ทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี ดูดซับเสียงและแรงสั่นสะเทือนได้ดี ทนทานต่อการเสียดสี และมีความลื่นในตัว ชิ้นงานที่ทำจากซุปเปอร์ลีนได้แก่ จานลำเลียงหลอด ใช้ซุปเปอร์ลีนเพราะต้องการวัสดุที่มีความลื่นในตัว

- อะคิลิก เป็นพลาสติกใส มีความแข็งแรงแต่เปราะ เหมาะกับการใช้งานทั่วไปที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมาก ชิ้นงานที่ทำจากอะคิลิก ได้แก่ จานลำเลียงฝา และถังคัดฝา

- เหล็กกล้า ความแข็งแรงของเหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนหรือสารประกอบอื่นๆที่ใส่ลงไป นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการขึ้นรูปความร้อนอีกด้วย อีกทั้งมี ราคาถูก ขึ้นสนิมง่าย เมื่อเทียบกับสเตนเลส แต่แก้ไขโดยการชุบเหล็กเพื่อป้องกันสนิม ชิ้นงานที่ทำจากเหล็กกล้าได้แก่ ตัวรองมอเตอร์

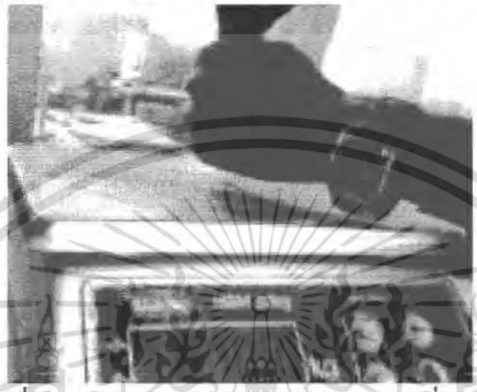
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ทดลองหาขนาดแรงที่ใช้ในการปิด

ทดลองหาขนาดแรงที่ใช้ในการปิดโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 4.1 แสดงการทดลองหาขนาดแรงที่ใช้ปิด

โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงการทดลองหาขนาดแรงที่ใช้ในการปิดฝา

ครั้งที่	ขนาดแรงที่ใช้ปิด (Kg)
1	19.87
2	20.22
3	18.95
4	21.10
5	20.05
6	19.52
7	19.78
8	20.30
9	21.52
10	20.98
เฉลี่ย	18.13
	= 198.46 N

จากผลการทดลองได้ขนาดแรงที่ใช้ในการปิด 198.46 นิวตัน ประมาณ 200 นิวตันจึงไปใช้ในการเลือกขนาดมอเตอร์ ดังนั้นจึงเลือกมอเตอร์ที่สามารถรับน้ำหนักอย่างน้อย 200 นิวตันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทดลองหาขนาดมอเตอร์ที่ใช้ในการปิด

ทดลองเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงในการปิด โดยมอเตอร์แต่ละตัวก็จะมีขนาดของทอร์กแตกต่างกัน อีกทั้งต้องพิจารณาเพลามอเตอร์ว่าสามารถทนต่อแรงที่กดได้หรือไม่

ตารางที่ 4.2 แสดงการทดลองเลือกมอเตอร์ที่ใช้ในการปิดฝา

ชนิดของมอเตอร์	ครั้งที่	ความสมบูรณ์ในการปิด
DC 12 V 50 rpm	1	ไม่สมบูรณ์
	2	ไม่สมบูรณ์
	3	ไม่สมบูรณ์
	4	ไม่สมบูรณ์
	5	ไม่สมบูรณ์
DC 24 V 30 rpm	1	สมบูรณ์
	2	สมบูรณ์
	3	สมบูรณ์
	4	สมบูรณ์
	5	สมบูรณ์

จากการทดลองเลือกมอเตอร์ที่ใช้ในการปิดฝา โดยมอเตอร์ที่เลือกนั้นเป็นมอเตอร์กระแสตรงที่สามารถรับน้ำหนักได้ 200 นิวตัน และจากการทดลองทำให้ได้มอเตอร์ที่เลือกใช้เป็น มอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 V 30 rpm เพราะสามารถทำการปิดฝาได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ทดลองการเรียงและลำเลียงฝา

หลังจากที่ได้สร้างเครื่องคัดเรียงได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของการทำงานของเครื่องที่ขนาดแรงดันไฟฟ้าขนาดต่างๆ โดยแบ่งตามปริมาณฝาที่ใส่ลงไป มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3.1 แสดงการทดลองการเรียงและลำเลียงฝา จำนวน 15 ฝา

	ครั้งที่	จำนวนฝาที่ครอบเสา	% ฝาที่ครอบเสา	จำนวนฝาที่ลำเลียงออกจากเสา	% ฝาที่ลำเลียงออกจากเสา	% รวม
4 V	1	13	86.67	8	61.54	53.33
	2	14	93.33	7	50.00	46.67
	3	14	93.33	8	57.14	53.33
5 V	1	14	93.33	12	85.71	80.00
	2	15	100.00	10	66.67	66.67
	3	14	93.33	13	92.86	86.67
6 V	1	15	100.00	14	93.33	93.33
	2	14	93.33	13	92.86	86.67
	3	14	93.33	14	100.00	93.33
7 V	1	13	86.67	12	92.31	80.00
	2	12	80.00	11	91.67	73.33
	3	12	80.00	12	100.00	80.00

ตารางที่ 4.3.2 แสดงการทดลองการเรียงและลำเลียงฝา จำนวน 20 ฝา

	ครั้งที่	จำนวนฝาที่ครอบเสา	% ฝาที่ครอบเสา	จำนวนฝาที่ลำเลียงออกจากเสา	% ฝาที่ลำเลียงออกจากเสา	% รวม
4 V	1	17	85.00	12	70.59	60.00
	2	19	95.00	14	73.68	70.00
	3	18	90.00	13	72.22	65.00
5 V	1	18	90.00	15	83.33	75.00
	2	18	90.00	14	77.78	70.00
	3	17	85.00	16	94.12	80.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ครั้งที่	จำนวนฝาที่ครอบเสา	% ฝาที่ครอบเสา	จำนวนฝาที่ลำเลียงออกจากเสา	% ฝาที่ลำเลียงออกจากเสา	% รวม
6 V	1	18	90.00	17	94.44	85.00
	2	19	95.00	18	94.74	90.00
	3	19	95.00	18	94.74	90.00
7 V	1	16	80.00	15	93.75	75.00
	2	16	80.00	15	93.75	75.00
	3	16	80.00	14	87.50	70.00

ตารางที่ 4.3.3 แสดงการทดลองการเรียงและลำเลียงฝา จำนวน 30 ฝา

	ครั้งที่	จำนวนฝาที่ครอบเสา	% ฝาที่ครอบเสา	จำนวนฝาที่ลำเลียงออกจากเสา	% ฝาที่ลำเลียงออกจากเสา	% รวม
4 V	1	26	86.67	21	80.77	70.00
	2	28	93.33	22	78.57	73.33
	3	29	96.67	23	79.31	76.67
5 V	1	27	90.00	23	85.19	76.67
	2	27	90.00	24	88.89	80.00
	3	28	93.33	25	89.29	83.33
6 V	1	28	93.33	26	92.86	86.67
	2	27	90.00	27	100.00	90.00
	3	28	93.33	27	96.43	90.00
7 V	1	25	83.33	24	96.00	80.00
	2	22	73.33	21	95.45	70.00
	3	24	80.00	23	95.83	76.67

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องคัดเรียงจะสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่แรงดันไฟฟ้าขนาด6 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 เครื่องปิดฝา

จากการทดลองการทำงานของเครื่องปิดฝา พบว่าแขนปิดสามารถปิดฝาได้เมื่อตำแหน่งของฝาและหลอดอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ แต่ในบางครั้งแขนปิดไม่สามารถปิดฝาได้ เนื่องจากตำแหน่งของฝาและหลอดคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่กำหนดไว้ การหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ตามที่ต้องการคือหมุนครั้งละ 45 องศา ทำให้หลอดทำมุม 90 องศากับพื้นและขนานกับแขนปิด เมื่อสเตปปิ้งมอเตอร์กระตุกทำให้มุมของหลอดคลาดเคลื่อนไปไม่ขนานกับแขนปิด จึงไม่สามารถปิดฝาได้ สาเหตุที่ทำให้สเตปปิ้งมอเตอร์เกิดการกระตุกเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนในแต่ละครั้งคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถกำหนดค่าสัญญาณเริ่มต้นที่วงจรขับสร้างไปควบคุมมอเตอร์ได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งเพียงสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมความเร็วและสัญญาณ enable วงจรขับเท่านั้น เมื่อวงจรขับสร้างสัญญาณควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไม่สอดคล้องกับตำแหน่งปัจจุบันของสเตปปิ้งมอเตอร์ ทำให้สเตปปิ้งมอเตอร์เกิดการหมุนไปยังตำแหน่งที่สอดคล้องกับสัญญาณควบคุมสัญญาณแรกก่อนที่จะหมุนไปอีก 45 องศา ทำให้หลอดที่จะปิดไม่อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

แนวทางการแก้ไขการกระตุกของสเตปปิ้งมอเตอร์ คือ ใช้วงจรขับสเตปปิ้งมอเตอร์ที่สามารถเขียนโปรแกรมกำหนดสเตปของสัญญาณควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้ และเขียนโปรแกรมให้สัญญาณควบคุมการหมุนของมอเตอร์สัญญาณแรกในแต่ละครั้งเหมือนกับสัญญาณควบคุมสัญญาณสุดท้ายของครั้งก่อนหน้า ทำให้สัญญาณควบคุมที่ไปยังสเตปปิ้งมอเตอร์สอดคล้องกับตำแหน่งปัจจุบันของมอเตอร์ และสเตปปิ้งมอเตอร์ไม่เกิดการกระตุก

5.1 เครื่องคัดเรียงฝา

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าฝายังลงไปครอบตัวเสาไม่สมบูรณ์ เนื่องจากฝาลงไปครอบเสาได้ยาก มีแนวทางการแก้ไขคือ ใช้วัสดุที่มีความเสียดทานต่ำ และ ทำให้ปลายเสามีความโค้งมนเพื่อให้ฝาลงไปครอบเสาได้ง่าย

อีกทั้งจำนวนฝาที่คัดเรียงออกมาได้ ยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากฝาที่ลำเลียงออกมาฝาสุดท้ายออกมาได้ยาก มีแนวทางการแก้ไขโดยการติดตั้งมอเตอร์ขนาดเล็กพร้อมล้อหมุนที่ทางออกเพื่อช่วยให้ฝาสุดท้ายออกได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ดร.ไพศาล สมประกิจ. " การวิเคราะห์แรงในระบบกลไก " . **กลศาสตร์เครื่องจักรกล.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. 2541

[2] มณฑล ใจกุศล, พงษ์ศักดิ์ ชินนาบุญ, วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ. " แรงกระทำแบบกระจายเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก-จุดเซนทรอยด์ ". **กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตยศาสตร์.** บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด. 2546

[3] ผศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. " เซนเซอร์ตรวจวัดระยะขจัดและการเคลื่อนที่ ". **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม.** สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. . 2548

[4] เดชฤทธิ์ มณีธรรม, สำเริง เต็มราม. " โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ ". **คำภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC.** สำนักพิมพ์ เค ที พี . 2549

[5] ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์, รศ.ชาญ ถนัดงาน. " การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย". **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1.** บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน). 2549

[6] ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร. **กลศาสตร์เครื่องจักรกล (Mechanics of Machinery).** 2546

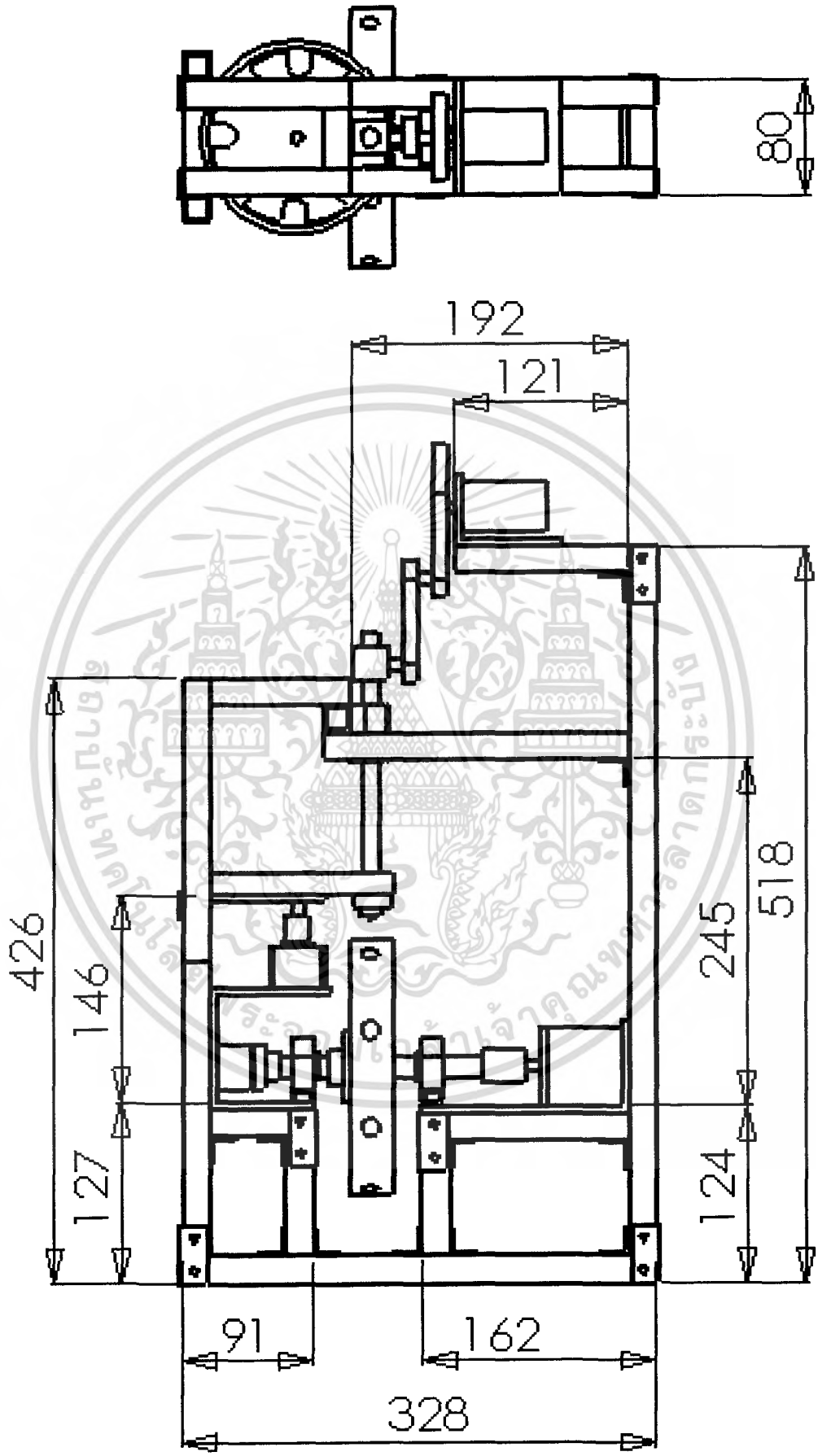
[7] ร.อ.วาที ปริยพงศ์. **เส้นทางสู่นักประดิษฐ์หุ่นยนต์.** สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. . 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

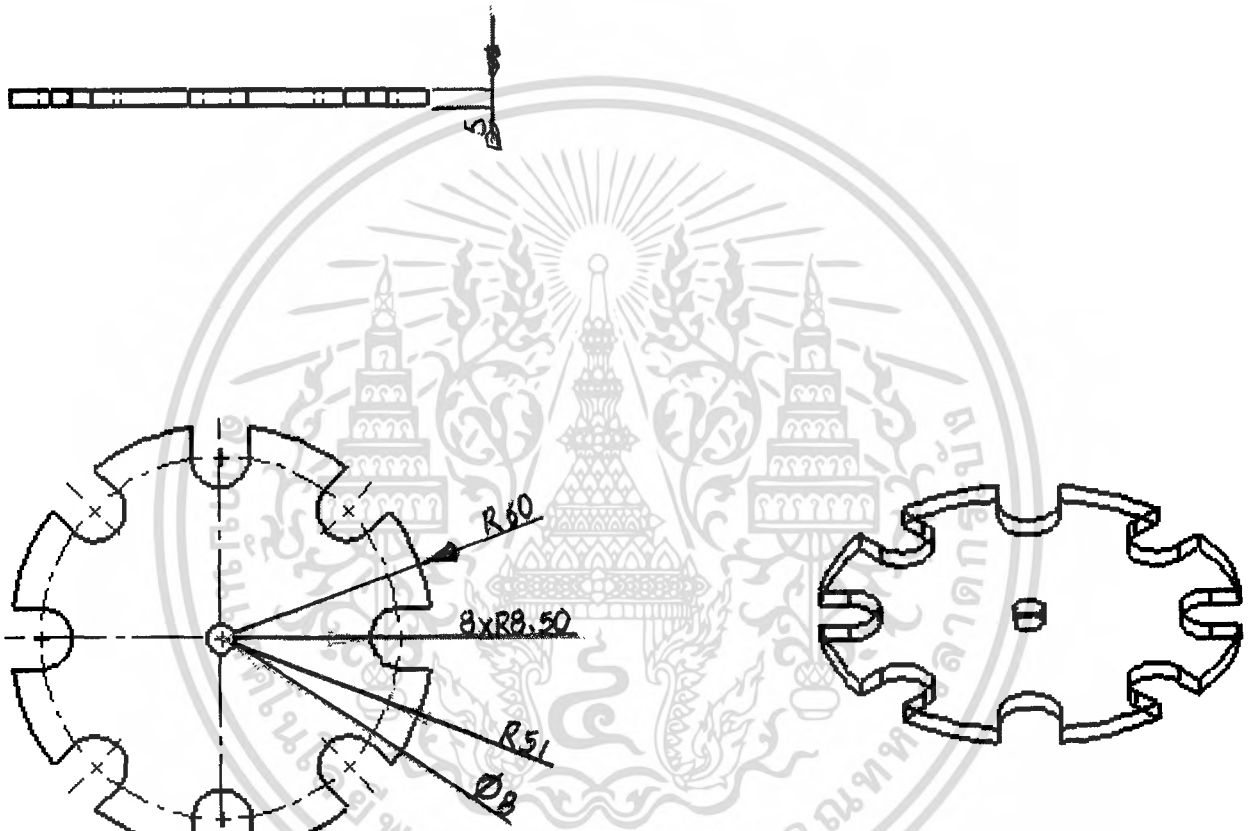
แบบโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



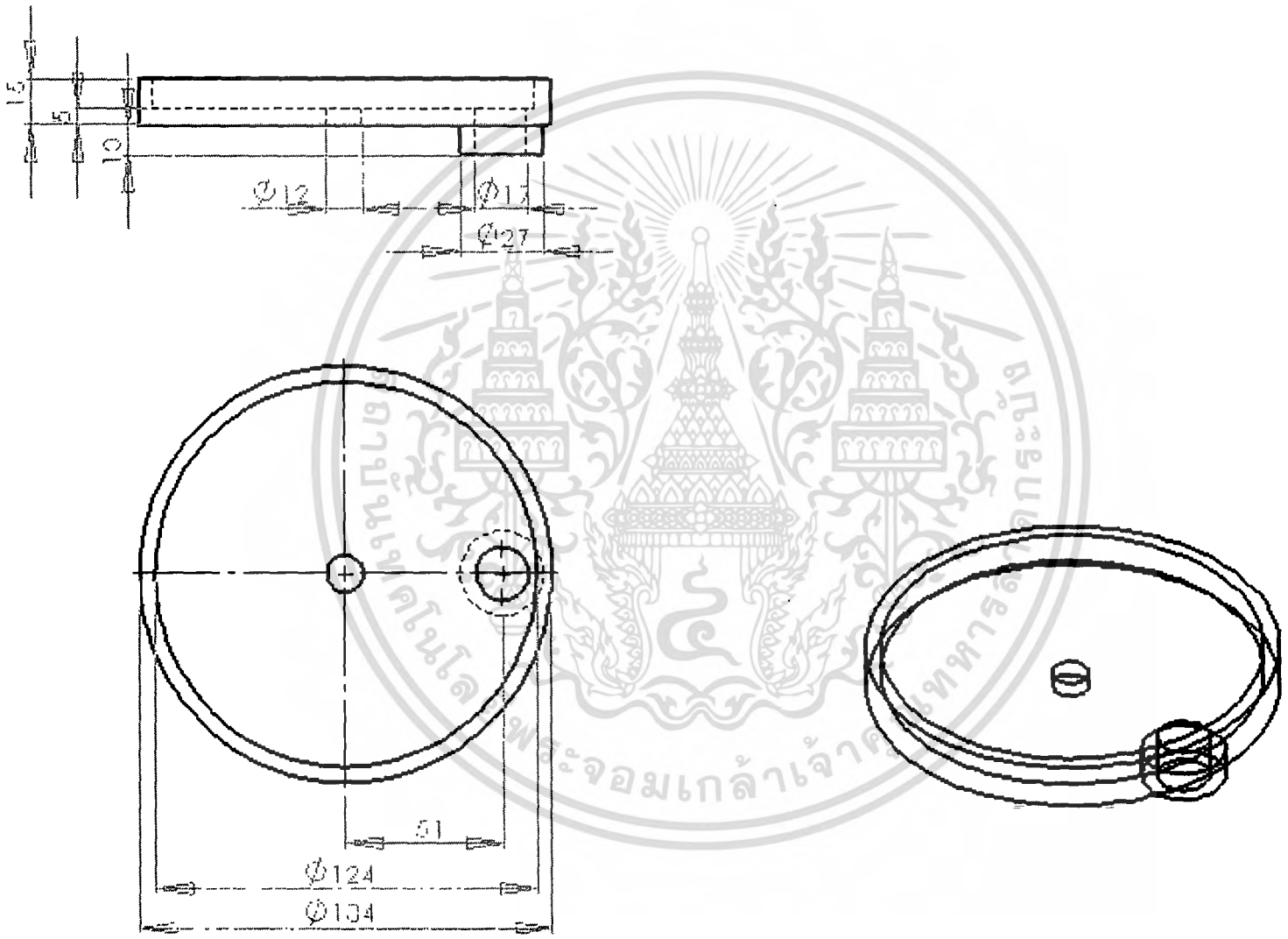
โครงสร้างเครื่อง scale 1:4

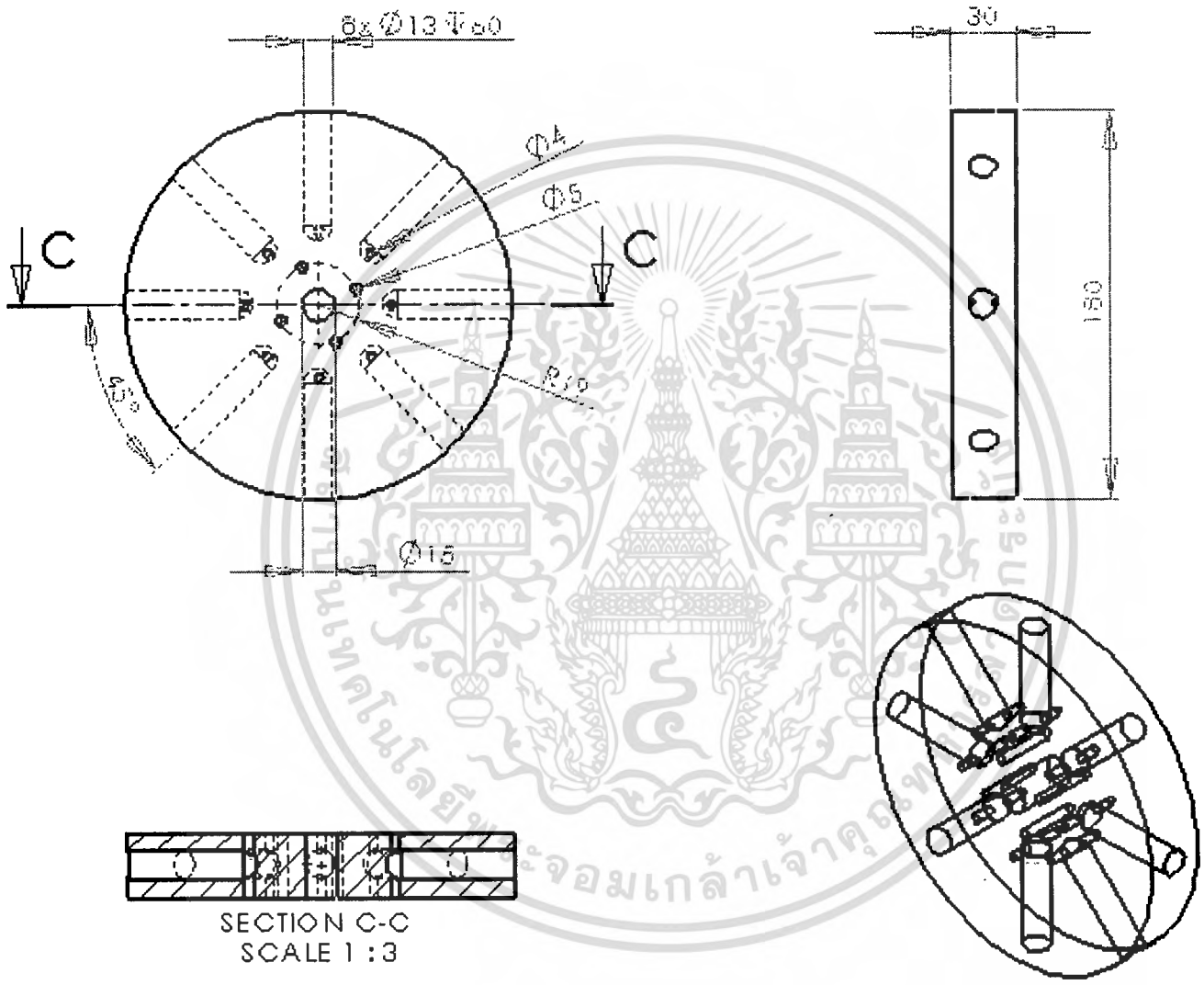
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จานสำเร็จรูป

scale 1:2


15
5
12
Φ12
Φ17
Φ27
51
Φ124
Φ134



จานสำเร็จเพลาด

scale 1:3

ภาคผนวก ข

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <16F877a.h>
#use delay(clock=4000000)
#fuses HS,NOWDT,NOLVP

#define S1   PIN_B0
#define S2   PIN_B1
#define limit   PIN_B2

#define CLK1   PIN_C0
#define DIR1   PIN_C1
#define EN1   PIN_C2
#define CLK2   PIN_C3
#define DIR2   PIN_C4
#define EN2   PIN_C5
#define M3   PIN_C6

void on_m1()
{
  int i;
  output_low(EN1);
  for(i=1;i<=50;++i)
  {
    output_high(CLK1);
    delay_ms(10);
    output_low(CLK1);
    delay_ms(10);
  }
  output_high(EN1);
  delay_ms(500);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void on_m2()
{
  int i;
  output_low(EN2);
  for(i=1;i<=50;++i)
  {
    output_high(CLK2);
    delay_ms(10);
    output_low(CLK2);
    delay_ms(10);
  }
  output_high(EN2);
  delay_ms(2000);
}

int cap;

void main() {

  port_b_pullups(TRUE);
  setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
  setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
  setup_psp(PSP_DISABLED);
  setup_spi(FALSE);
  setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_2);
  setup_timer_1(T1_DISABLED);
  setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);

  set_tris_b(0xff);
  set_tris_c(0x00);
  output_c(0x00);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  output_high(EN1);
  output_high(EN2);


while(1)
{
  delay_ms(300);
  if(!input(S1)) //ไม่มีหลอด
  {
    delay_ms(300);
    while(!input(S1))
    on_m1();
  }
  else        //มีหลอด
  {
    cap = 0;
    while(cap==0)
     {
       delay_ms(300);
       if(!input(S2))    //ไม่มีฝา
       {
         delay_ms(300);
         while(!input(S2))
         on_m2();
       }
       else         // มีฝา
       {
         while(cap==0)
         {
           output_high(M3);
           delay_ms(1000);
           if(!input(limit))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            {while(!input(limit))
            {
              ;
            }
            }
            output_low(M3);
            delay_ms(300);
            on_m1();
            cap = 1;
          }
        }
      }
  }
}
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

(DATA SHEET)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

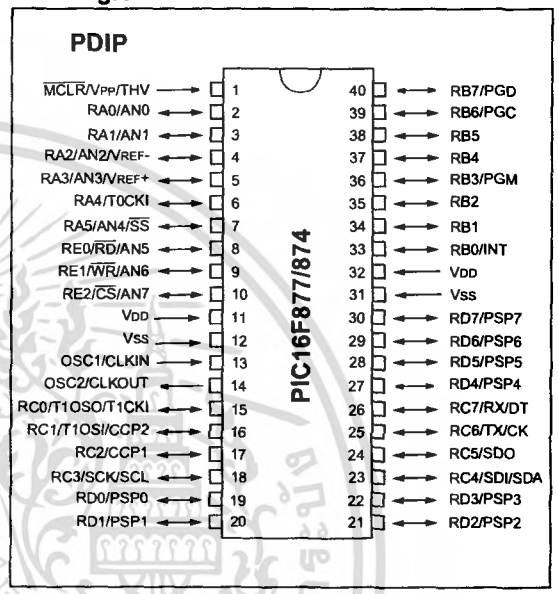
- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High-performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
  Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
  Up to 256 x 8 bytes of EEPROM data memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
  Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low-power, high-speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

PDIP



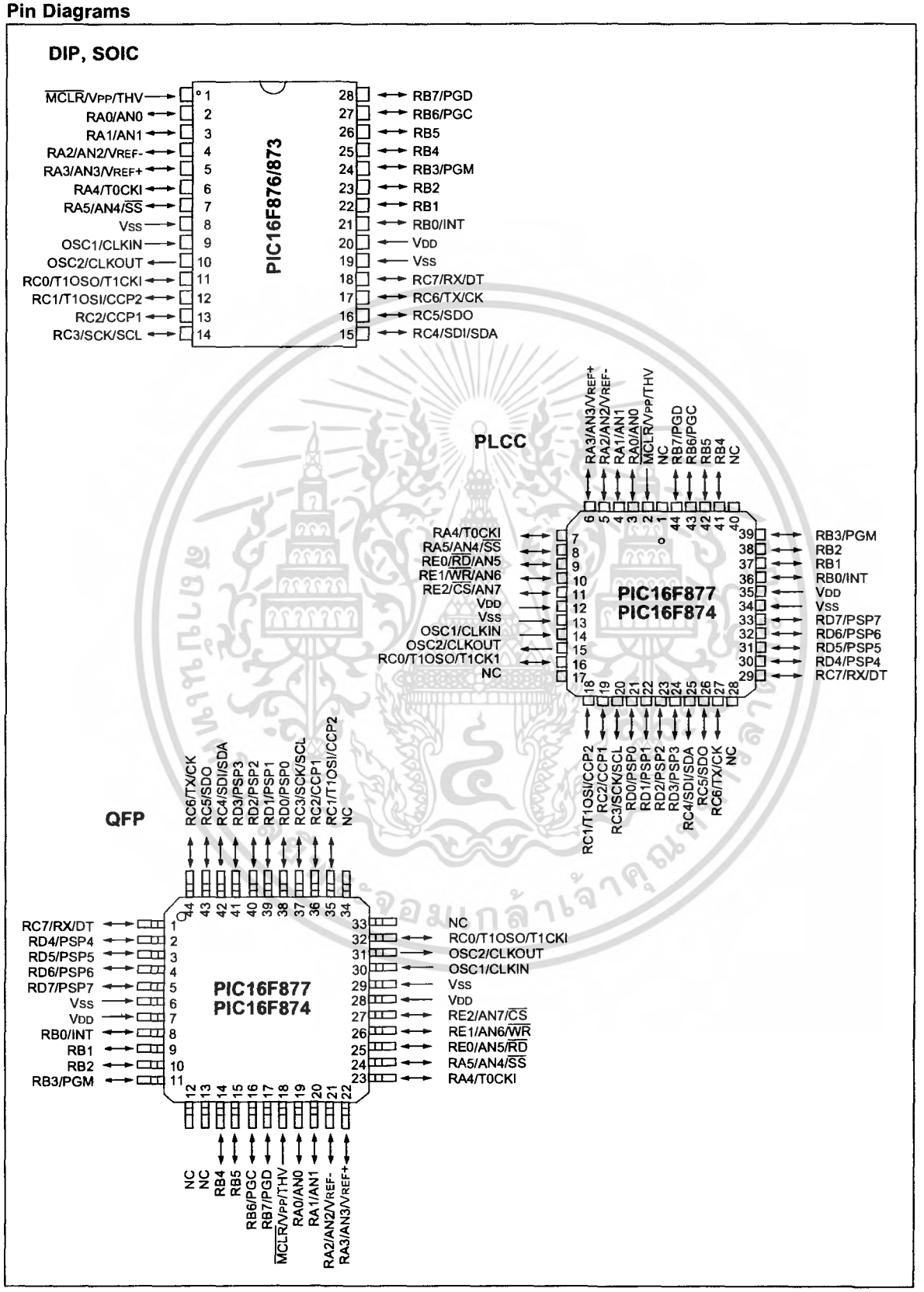
Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master Mode) and I^2C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external $\overline{RD}$, $\overline{WR}$ and $\overline{CS}$ controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

© 1999 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Diagrams



© 1999 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS(4)	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
$\overline{MCLR}$/VPP/THV	1	2	18	I/P	ST	Master clear (reset) input or programming voltage input or high voltage test mode control. This pin is an active low reset to the device.
						PORTA is a bi-directional I/O port.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	RA0 can also be analog input0
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	RA1 can also be analog input1
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type.
RA5/$\overline{SS}$/AN4	7	8	24	I/O	TTL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
						PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST(1)	RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	RB3 can also be the low voltage programming input
RB4	37	41	14	I/O	TTL	Interrupt on change pin.
RB5	38	42	15	I/O	TTL	Interrupt on change pin.
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST(2)	Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST(2)	Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
						PORTC is a bi-directional I/O port.
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I^2C modes.
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I^2C mode).
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

© 1999 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
						PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL(3)	
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL(3)	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL(3)	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL(3)	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL(3)	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL(3)	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL(3)	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL(3)	
						PORTE is a bi-directional I/O port.
RE0/$\overline{RD}$/AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL(3)	RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5.
RE1/$\overline{WR}$/AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL(3)	RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6.
RE2/$\overline{CS}$/AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL(3)	RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
Vss	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28, 40	12,13, 33,34		—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.0 I/O PORTS

Some pins for these I/O ports are multiplexed with an alternate function for the peripheral features on the device. In general, when a peripheral is enabled, that pin may not be used as a general purpose I/O pin.

Additional information on I/O ports may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual, (DS33023).

3.1 PORTA and the TRISA Register

PORTA is a 6-bit wide bi-directional port. The corresponding data direction register is TRISA. Setting a TRISA bit (=1) will make the corresponding PORTA pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a hi-impedance mode). Clearing a TRISA bit (=0) will make the corresponding PORTA pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

Reading the PORTA register reads the status of the pins, whereas writing to it will write to the port latch. All write operations are read-modify-write operations. Therefore, a write to a port implies that the port pins are read, the value is modified and then written to the port data latch.

Pin RA4 is multiplexed with the Timer0 module clock input to become the RA4/T0CKI pin. The RA4/T0CKI pin is a Schmitt Trigger input and an open drain output. All other PORTA pins have TTL input levels and full CMOS output drivers.

Other PORTA pins are multiplexed with analog inputs and analog VREF input. The operation of each pin is selected by clearing/setting the control bits in the ADCON1 register (A/D Control Register1).

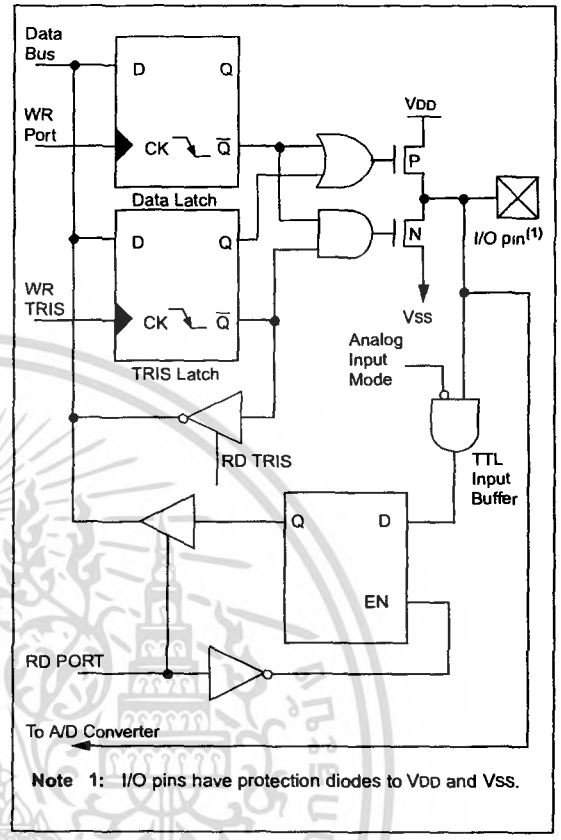
Note:	On a Power-on Reset, these pins are configured as analog inputs and read as '0'.

The TRISA register controls the direction of the RA pins, even when they are being used as analog inputs. The user must ensure the bits in the TRISA register are maintained set when using them as analog inputs.

EXAMPLE 3-1: INITIALIZING PORTA

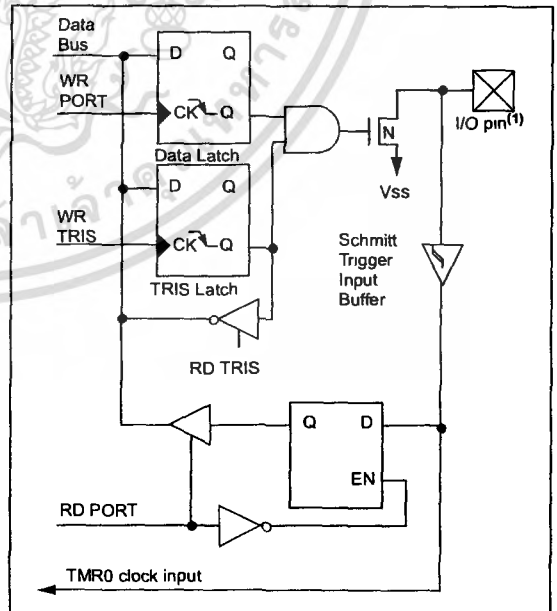
```
BCF     STATUS, RP0     ;
BCF     STATUS, RP1     ; Bank0
CLRF    PORTA           ; Initialize PORTA by
                        ; clearing output
                        ; data latches
BSF     STATUS, RP0     ; Select Bank 1
MOVLW   0x06            ; Configure all pins
MOVWF   ADCON1          ; as digital inputs
MOVLW   0xCF            ; Value used to
                        ; initialize data
                        ; direction
MOVWF   TRISA           ; Set RA<3:0> as inputs
                        ; RA<5:4> as outputs
                        ; TRISA<7:6> are always
                        ; read as '0'.
```

FIGURE 3-1: BLOCK DIAGRAM OF RA3:RA0 AND RA5 PINS



Note 1: I/O pins have protection diodes to VDD and VSS.

FIGURE 3-2: BLOCK DIAGRAM OF RA4/ T0CKI PIN



Note 1: I/O pin has protection diodes to VSS only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 3-1: PORTA FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RA0/AN0	bit0	TTL	Input/output or analog input
RA1/AN1	bit1	TTL	Input/output or analog input
RA2/AN2	bit2	TTL	Input/output or analog input
RA3/AN3/VREF	bit3	TTL	Input/output or analog input or VREF
RA4/T0CKI	bit4	ST	Input/output or external clock input for Timer0 Output is open drain type
RA5/$\overline{SS}$/AN4	bit5	TTL	Input/output or slave select input for synchronous serial port or analog input

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

TABLE 3-2: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTA

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other resets
05h	PORTA	—	—	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	--0x 0000	--0u 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented locations read as '0'. Shaded cells are not used by PORTA.

Note: When using the SSP module in SPI slave mode and $\overline{SS}$ enabled, the A/D converter must be set to one of the following modes where PCFG3:PCFG0 = 0100, 0101, 011x, 1101, 1110, 1111.

© 1999 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

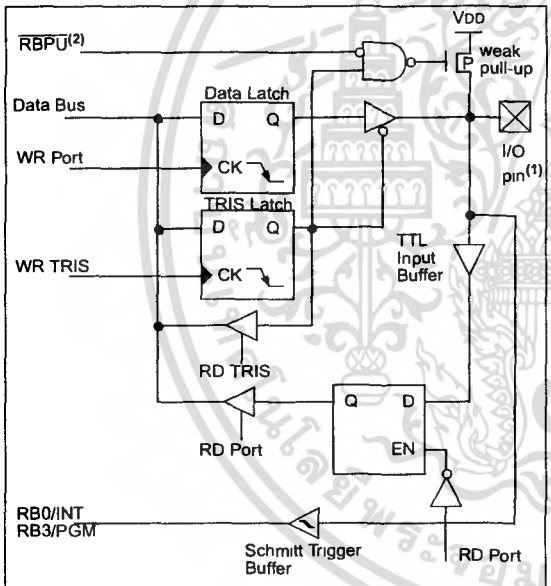
3.2 PORTB and the TRISB Register

PORTB is an 8-bit wide, bi-directional port. The corresponding data direction register is TRISB. Setting a TRISB bit (=1) will make the corresponding PORTB pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a hi-impedance mode). Clearing a TRISB bit (=0) will make the corresponding PORTB pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

Three pins of PORTB are multiplexed with the Low Voltage Programming function; RB3/PGM, RB6/PGC and RB7/PGD. The alternate functions of these pins are described in the Special Features Section.

Each of the PORTB pins has a weak internal pull-up. A single control bit can turn on all the pull-ups. This is performed by clearing bit $\overline{\text{RBPU}}$ (OPTION_REG<7>). The weak pull-up is automatically turned off when the port pin is configured as an output. The pull-ups are disabled on a Power-on Reset.

FIGURE 3-3: BLOCK DIAGRAM OF RB3:RB0 PINS



Note 1: I/O pins have diode protection to VDD and VSS.
2: To enable weak pull-ups, set the appropriate TRIS bit(s) and clear the $\overline{\text{RBPU}}$ bit (OPTION_REG<7>)

Four of PORTB's pins, RB7:RB4, have an interrupt on change feature. Only pins configured as inputs can cause this interrupt to occur (i.e. any RB7:RB4 pin configured as an output is excluded from the interrupt on change comparison). The input pins (of RB7:RB4) are compared with the old value latched on the last read of PORTB. The "mismatch" outputs of RB7:RB4 are OR'ed together to generate the RB Port Change Interrupt with flag bit RBIF (INTCON<0>).

This interrupt can wake the device from SLEEP. The user, in the interrupt service routine, can clear the interrupt in the following manner:

a) Any read or write of PORTB. This will end the mismatch condition.

b) Clear flag bit RBIF.

A mismatch condition will continue to set flag bit RBIF. Reading PORTB will end the mismatch condition and allow flag bit RBIF to be cleared.

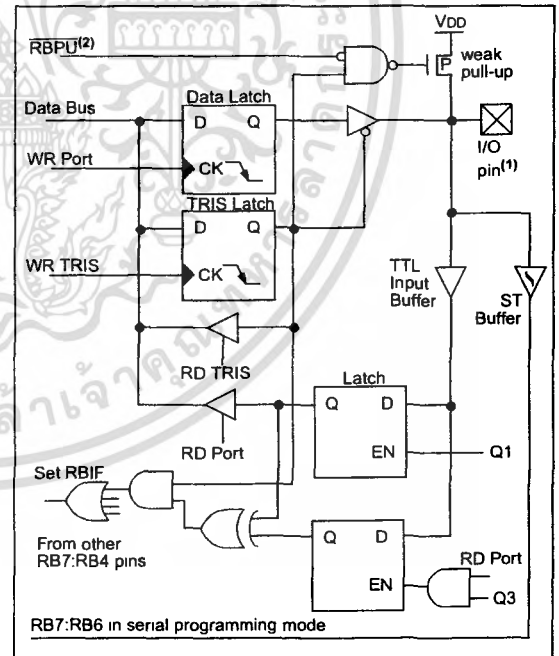
The interrupt on change feature is recommended for wake-up on key depression operation and operations where PORTB is only used for the interrupt on change feature. Polling of PORTB is not recommended while using the interrupt on change feature.

This interrupt on mismatch feature, together with software configureable pull-ups on these four pins, allow easy interface to a keypad and make it possible for wake-up on key-depression. Refer to the Embedded Control Handbook, *"Implementing Wake-Up on Key Stroke"* (AN552).

RB0/INT is an external interrupt input pin and is configured using the INTEDG bit (OPTION_REG<6>).

RB0/INT is discussed in detail in Section 12.10.1.

FIGURE 3-4: BLOCK DIAGRAM OF RB7:RB4 PINS



Note 1: I/O pins have diode protection to VDD and VSS.
2: To enable weak pull-ups, set the appropriate TRIS bit(s) and clear the $\overline{\text{RBPU}}$ bit (OPTION_REG<7>)

Note: When using Low Voltage ICSP Programming (LVP) and the pull-ups on PORTB are enabled, bit 3 in the TRISB register must be cleared to disable the pull-up on RB3 and ensure the proper operation of the device.

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 3-3: PORTB FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0/INT	bit0	TTL/ST(1)	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3/PGM	bit3	TTL	Input/output pin or programming pin in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit4	TTL	Input/output pin (with interrupt on change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit5	TTL	Input/output pin (with interrupt on change). Internal software programmable weak pull-up.
RB6/PGC	bit6	TTL/ST(2)	Input/output pin (with interrupt on change) or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7/PGD	bit7	TTL/ST(2)	Input/output pin (with interrupt on change) or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in serial programming mode.

TABLE 3-4: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTB

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other resets
06h, 106h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxx xxxx	uuuu uuuu
86h, 186h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
81h, 181h	OPTION_REG	$\overline{RBPU}$	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged. Shaded cells are not used by PORTB.

© 1999 Microchip Technology Inc.
เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 PORTC and the TRISC Register

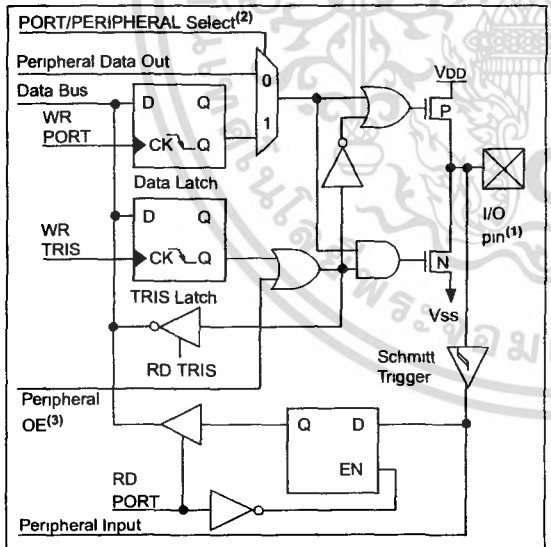
PORTC is an 8-bit wide, bi-directional port. The corresponding data direction register is TRISC. Setting a TRISC bit (=1) will make the corresponding PORTC pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a hi-impedance mode). Clearing a TRISC bit (=0) will make the corresponding PORTC pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

PORTC is multiplexed with several peripheral functions (Table 3-5). PORTC pins have Schmitt Trigger input buffers.

When the I^2C module is enabled, the PORTC (3:4) pins can be configured with normal I^2C levels or with SMBUS levels by using the CKE bit (SSPSTAT <6>).

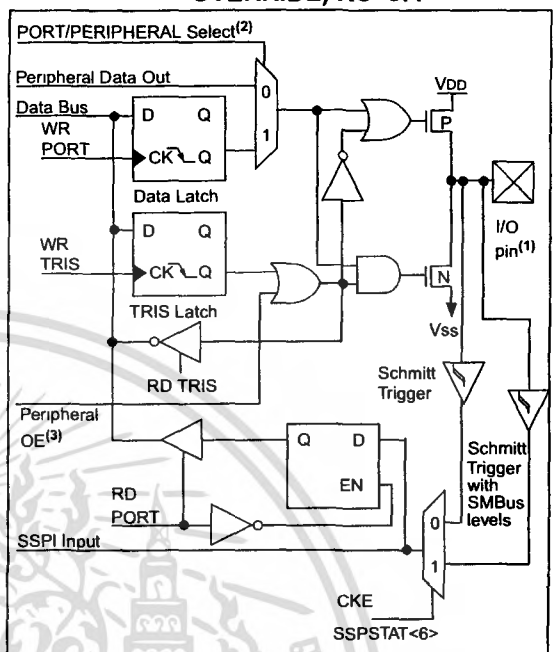
When enabling peripheral functions, care should be taken in defining TRIS bits for each PORTC pin. Some peripherals override the TRIS bit to make a pin an output, while other peripherals override the TRIS bit to make a pin an input. Since the TRIS bit override is in effect while the peripheral is enabled, read-modify-write instructions (`BSF`, `BCF`, `XORWF`) with TRISC as destination should be avoided. The user should refer to the corresponding peripheral section for the correct TRIS bit settings.

FIGURE 3-5: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<0:2> RC<5:7>



Note 1: I/O pins have diode protection to VDD and VSS.
2: Port/Peripheral select signal selects between port data and peripheral output.
3: Peripheral OE (output enable) is only activated if peripheral select is active.

FIGURE 3-6: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<3:4>



Note 1: I/O pins have diode protection to VDD and VSS.
2: Port/Peripheral select signal selects between port data and peripheral output.
3: Peripheral OE (output enable) is only activated if peripheral select is active.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 3-5: PORTC FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RC0/T1OSO/T1CKI	bit0	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator output/Timer1 clock input
RC1/T1OSI/CCP2	bit1	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator input or Capture2 input/ Compare2 output/PWM2 output
RC2/CCP1	bit2	ST	Input/output port pin or Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output
RC3/SCK/SCL	bit3	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock for both SPI and I^2C modes.
RC4/SDI/SDA	bit4	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I^2C mode).
RC5/SDO	bit5	ST	Input/output port pin or Synchronous Serial Port data output
RC6/TX/CK	bit6	ST	Input/output port pin or USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock
RC7/RX/DT	bit7	ST	Input/output port pin or USART Asynchronous Receive or Synchronous Data

Legend: ST = Schmitt Trigger input

TABLE 3-6: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTC

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other resets
07h	PORTC	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	xxxx xxxx	uuuu uuuu
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged.

© 1999 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

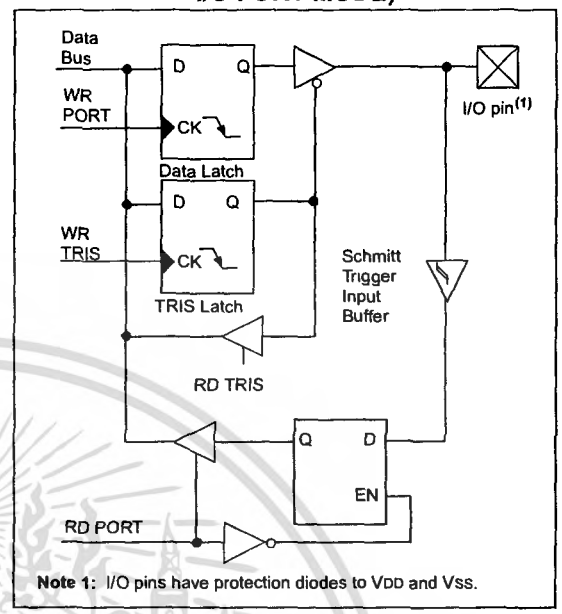
3.4 PORTD and TRISD Registers

This section is not applicable to the PIC16F873 or PIC16F876.

PORTD is an 8-bit port with Schmitt Trigger input buffers. Each pin is individually configurable as an input or output.

PORTD can be configured as an 8-bit wide microprocessor port (parallel slave port) by setting control bit PSPMODE (TRISE<4>). In this mode, the input buffers are TTL.

FIGURE 3-7: PORTD BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)



Note 1: I/O pins have protection diodes to VDD and VSS.

TABLE 3-7: PORTD FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RD0/PSP0	bit0	ST/TTL(1)	Input/output port pin or parallel slave port bit0
RD1/PSP1	bit1	ST/TTL(1)	Input/output port pin or parallel slave port bit1
RD2/PSP2	bit2	ST/TTL(1)	Input/output port pin or parallel slave port bit2
RD3/PSP3	bit3	ST/TTL(1)	Input/output port pin or parallel slave port bit3
RD4/PSP4	bit4	ST/TTL(1)	Input/output port pin or parallel slave port bit4
RD5/PSP5	bit5	ST/TTL(1)	Input/output port pin or parallel slave port bit5
RD6/PSP6	bit6	ST/TTL(1)	Input/output port pin or parallel slave port bit6
RD7/PSP7	bit7	ST/TTL(1)	Input/output port pin or parallel slave port bit7

Legend: ST = Schmitt Trigger input TTL = TTL input
Note 1: Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffer when in Parallel Slave Port Mode.

TABLE 3-8: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTD

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other resets
08h	PORTD	RD7	RD6	RD5	RD4	RD3	RD2	RD1	RD0	xxxx xxxx	uuuu uuuu
88h	TRISD	PORTD Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
89h	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction Bits			0000 -111	0000 -111

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented read as '0'. Shaded cells are not used by PORTD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

www.fairchildsemi.com

LM555/NE555/SA555

Single Timer

Features

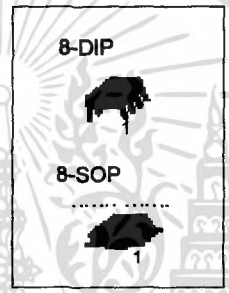
- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From μSec to Hours
- Turn off Time Less Than 2μSec

Applications

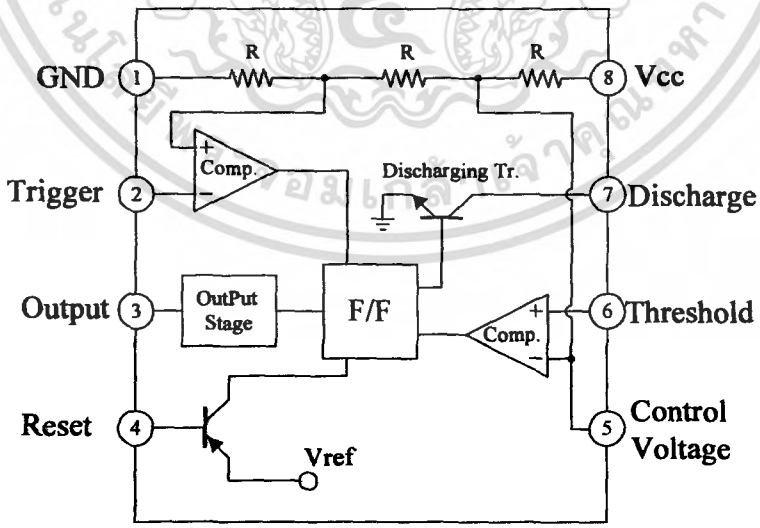
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With a monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With an astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled by two external resistors and one capacitor.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.3

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (T_A = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	16	V
Lead Temperature (Soldering 10sec)	T_{LEAD}	300	°C
Power Dissipation	P_D	600	mW
Operating Temperature Range LM555/NE555 SA555	T_{OPR}	 0 ~ +70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(T_A = 25°C, V_{CC} = 5 ~ 15V, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	-	4.5	-	16	V
Supply Current (Low Stable) (Note1)	I_{CC}	V_{CC} = 5V, R_L = ∞	-	3	6	mA
		V_{CC} = 15V, R_L = ∞	-	7.5	15	mA
Timing Error (Monostable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta t/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	R_A = 1kΩ to100kΩ C = 0.1μF	-	1.0 50 0.1	3.0 0.5	% ppm/°C %/V
Timing Error (Astable) Intial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta t/\Delta T$ $\Delta t/\Delta V_{CC}$	R_A = 1kΩ to 100kΩ C = 0.1μF	-	2.25 150 0.3	-	% ppm/°C %/V
Control Voltage	V_C	V_{CC} = 15V	9.0	10.0	11.0	V
		V_{CC} = 5V	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	V_{TH}	V_{CC} = 15V	-	10.0	-	V
		V_{CC} = 5V	-	3.33	-	V
Threshold Current (Note3)	I_{TH}	-	-	0.1	0.25	μA
Trigger Voltage	V_{TR}	V_{CC} = 5V	1.1	1.67	2.2	V
		V_{CC} = 15V	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	I_{TR}	V_{TR} = 0V		0.01	2.0	μA
Reset Voltage	V_{RST}	-	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	I_{RST}	-		0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	V_{OL}	V_{CC} = 15V I_{SINK} = 10mA I_{SINK} = 50mA	-	0.06 0.3	0.25 0.75	V V
		V_{CC} = 5V I_{SINK} = 5mA	-	0.05	0.35	V
High Output Voltage	V_{OH}	V_{CC} = 15V I_{SOURCE} = 200mA I_{SOURCE} = 100mA	 12.75	12.5 13.3	-	 V V
		V_{CC} = 5V I_{SOURCE} = 100mA	2.75	3.3	-	V
Rise Time of Output (Note4)	t_R	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output (Note4)	t_F	-	-	100	-	ns
Discharge Leakage Current	I_{LKG}	-	-	20	100	nA

Notes:

1. When the output is high, the supply current is typically 1mA less than at V_{CC} = 5V.
2. Tested at V_{CC} = 5.0V and V_{CC} = 15V.
3. This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation, the max. total R = 20MΩ, and for 5V operation, the max. total R = 6.7MΩ.
4. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Information

Table 1 below is the basic operating table of 555 timer:

Table 1. Basic Operating Table

Threshold Voltage (Vth)(PIN 6)	Trigger Voltage (Vtr)(PIN 2)	Reset(PIN 4)	Output(PIN 3)	Discharging Tr. (PIN 7)
Don't care	Don't care	Low	Low	ON
Vth > 2Vcc / 3	Vth > 2Vcc / 3	High	Low	ON
Vcc / 3 < Vth < 2 Vcc / 3	Vcc / 3 < Vth < 2 Vcc / 3	High	-	-
Vth < Vcc / 3	Vth < Vcc / 3	High	High	OFF

When the low signal input is applied to the reset terminal, the timer output remains low regardless of the threshold voltage or the trigger voltage. Only when the high signal is applied to the reset terminal, the timer's output changes according to threshold voltage and trigger voltage.

When the threshold voltage exceeds 2/3 of the supply voltage while the timer output is high, the timer's internal discharge Tr. turns on, lowering the threshold voltage to below 1/3 of the supply voltage. During this time, the timer output is maintained low. Later, if a low signal is applied to the trigger voltage so that it becomes 1/3 of the supply voltage, the timer's internal discharge Tr. turns off, increasing the threshold voltage and driving the timer output again at high.

1. Monostable Operation

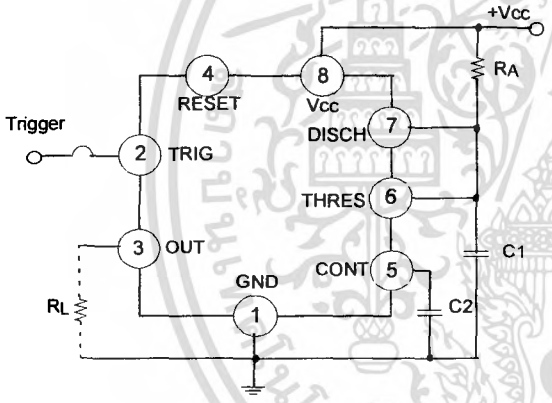


Figure 1. Monoatable Circuit

Figure 2. Resistance and Capacitance vs. Time delay(td)

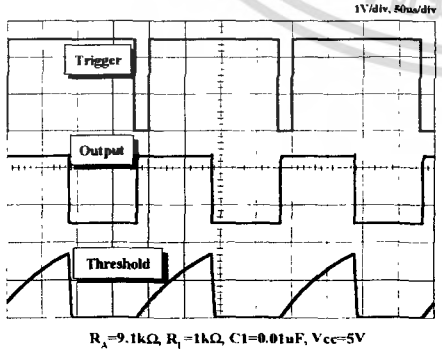


Figure 3. Waveforms of Monostable Operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1 illustrates a monostable circuit. In this mode, the timer generates a fixed pulse whenever the trigger voltage falls below Vcc/3. When the trigger pulse voltage applied to the #2 pin falls below Vcc/3 while the timer output is low, the timer's internal flip-flop turns the discharging Tr. off and causes the timer output to become high by charging the external capacitor C1 and setting the flip-flop output at the same time.
The voltage across the external capacitor C1, V_{C1} increases exponentially with the time constant $t=R_A*C$ and reaches 2Vcc/3 at $td=1.1R_A*C$. Hence, capacitor C1 is charged through resistor R_A. The greater the time constant R_AC, the longer it takes for the V_{C1} to reach 2Vcc/3. In other words, the time constant R_AC controls the output pulse width.
When the applied voltage to the capacitor C1 reaches 2Vcc/3, the comparator on the trigger terminal resets the flip-flop, turning the discharging Tr. on. At this time, C1 begins to discharge and the timer output converts to low.
In this way, the timer operating in the monostable repeats the above process. Figure 2 shows the time constant relationship based on R_A and C. Figure 3 shows the general waveforms during the monostable operation.
It must be noted that, for a normal operation, the trigger pulse voltage needs to maintain a minimum of Vcc/3 before the timer output turns low. That is, although the output remains unaffected even if a different trigger pulse is applied while the output is high, it may be affected and the waveform does not operate properly if the trigger pulse voltage at the end of the output pulse remains at below Vcc/3. Figure 4 shows such a timer output abnormality.

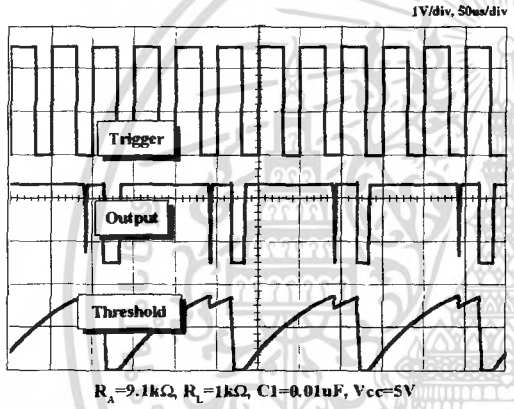


Figure 4. Waveforms of Monostable Operation (abnormal)

2. Astable Operation

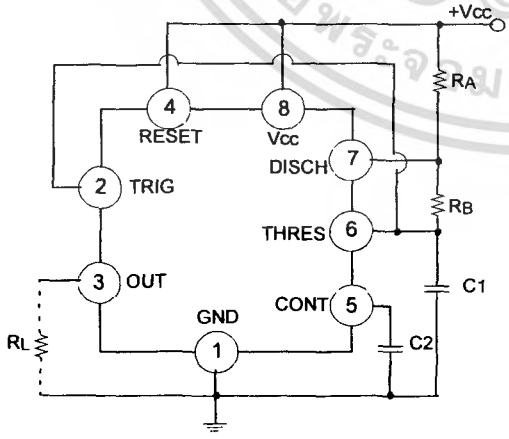


Figure 5. Astable Circuit

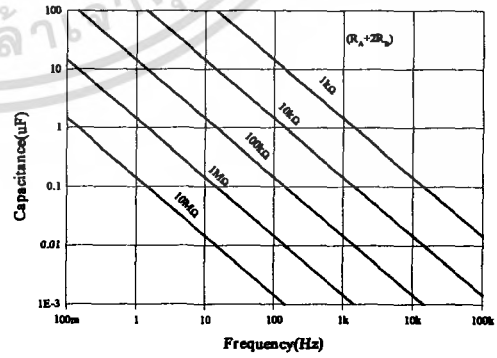


Figure 6. Capacitance and Resistance vs. Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

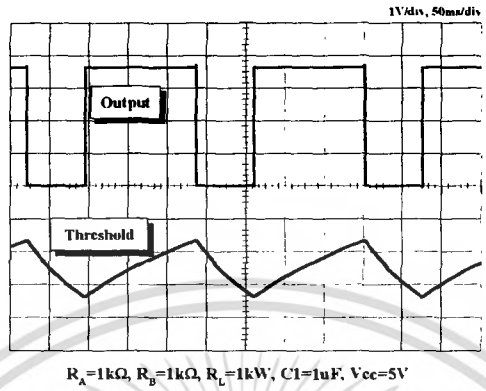
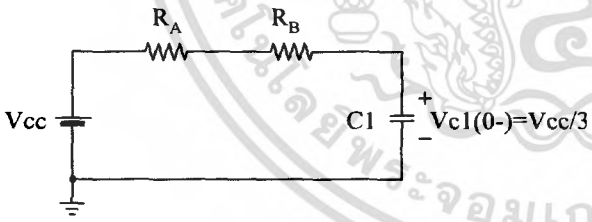


Figure 7. Waveforms of Astable Operation

An astable timer operation is achieved by adding resistor R_B to Figure 1 and configuring as shown on Figure 5. In the astable operation, the trigger terminal and the threshold terminal are connected so that a self-trigger is formed, operating as a multi vibrator. When the timer output is high, its internal discharging Tr. turns off and the V_{C1} increases by exponential function with the time constant $(R_A+R_B)*C$.

When the V_{C1}, or the threshold voltage, reaches 2Vcc/3, the comparator output on the trigger terminal becomes high, resetting the F/F and causing the timer output to become low. This in turn turns on the discharging Tr. and the C1 discharges through the discharging channel formed by R_B and the discharging Tr. When the V_{C1} falls below Vcc/3, the comparator output on the trigger terminal becomes high and the timer output becomes high again. The discharging Tr. turns off and the V_{C1} rises again.

In the above process, the section where the timer output is high is the time it takes for the V_{C1} to rise from Vcc/3 to 2Vcc/3, and the section where the timer output is low is the time it takes for the V_{C1} to drop from 2Vcc/3 to Vcc/3. When timer output is high, the equivalent circuit for charging capacitor C1 is as follows:



$$C_1\frac{dv_{c1}}{dt} = \frac{V_{cc} - V(0\text{-})}{R_A + R_B} \quad (1)$$

$$V_{C1}(0+) = V_{CC}/3 \quad (2)$$

$$V_{C1}(t) = V_{CC}\left(1 - \frac{2}{3}e^{-\left(\frac{t}{(R_A+R_B)C1}\right)}\right) \quad (3)$$

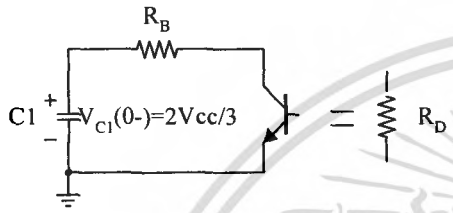
Since the duration of the timer output high state(t_H) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach 2Vcc/3,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC} = V_{CC}\left(1-\frac{2}{3}e^{-\left(\frac{t_H}{(R_A+R_B)C1}\right)}\right) \quad (4)$$

$$t_H = C_1(R_A+R_B)\ln 2 = 0.693(R_A+R_B)C_1 \quad (5)$$

The equivalent circuit for discharging capacitor C1, when timer output is low is, as follows:



$$C_1\frac{dv_{C1}}{dt} + \frac{1}{R_A+R_B}V_{C1} = 0 \quad (6)$$

$$V_{C1}(t) = \frac{2}{3}V_{CC}e^{-\frac{t}{(R_A+R_D)C1}} \quad (7)$$

Since the duration of the timer output low state(t_L) is the amount of time it takes for the $V_{C1}(t)$ to reach Vcc/3,

$$\frac{1}{3}V_{CC} = \frac{2}{3}V_{CC}e^{-\frac{t_L}{(R_A+R_D)C1}} \quad (8)$$

$$t_L = C_1(R_B+R_D)\ln 2 = 0.693(R_B+R_D)C_1 \quad (9)$$

Since R_D is normally $R_B >> R_D$ although related to the size of discharging Tr.,

$t_L = 0.693R_BC_1$ (10)

Consequently, if the timer operates in astable, the period is the same with '$T=t_H+t_L=0.693(RA+RB)C_1+0.693R_BC_1=0.693(R_A+2R_B)C_1$' because the period is the sum of the charge time and discharge time. And since frequency is the reciprocal of the period, the following applies.

$$\text{frequency,} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A+2R_B)C_1} \quad (11)$$

3. Frequency divider

By adjusting the length of the timing cycle, the basic circuit of Figure 1 can be made to operate as a frequency divider. Figure 8. illustrates a divide-by-three circuit that makes use of the fact that retriggering cannot occur during the timing cycle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

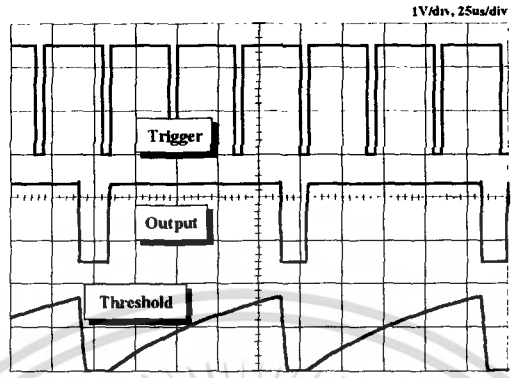


Figure 8. Waveforms of Frequency Divider Operation

4. Pulse Width Modulation

The timer output waveform may be changed by modulating the control voltage applied to the timer's pin 5 and changing the reference of the timer's internal comparators. Figure 9 illustrates the pulse width modulation circuit.
When the continuous trigger pulse train is applied in the monostable mode, the timer output width is modulated according to the signal applied to the control terminal. Sine wave as well as other waveforms may be applied as a signal to the control terminal. Figure 10 shows the example of pulse width modulation waveform.

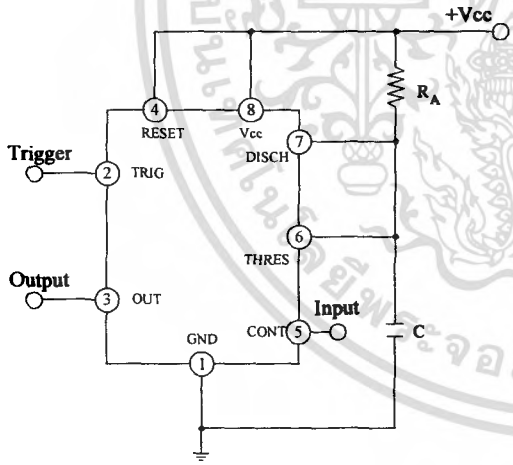


Figure 9. Circuit for Pulse Width Modulation

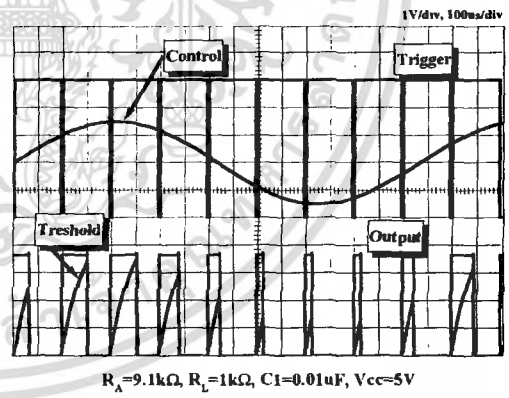


Figure 10. Waveforms of Pulse Width Modulation

5. Pulse Position Modulation

If the modulating signal is applied to the control terminal while the timer is connected for the astable operation as in Figure 11, the timer becomes a pulse position modulator.
In the pulse position modulator, the reference of the timer's internal comparators is modulated which in turn modulates the timer output according to the modulation signal applied to the control terminal.
Figure 12 illustrates a sine wave for modulation signal and the resulting output pulse position modulation : however, any wave shape could be used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

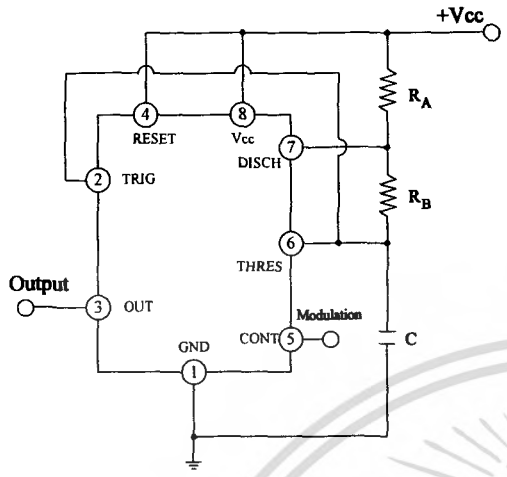


Figure 11. Circuit for Pulse Position Modulation

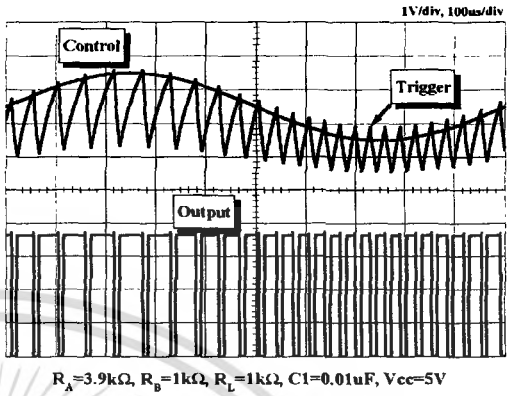


Figure 12. Waveforms of pulse position modulation

6. Linear Ramp

When the pull-up resistor RA in the monostable circuit shown in Figure 1 is replaced with constant current source, the V_{C1} increases linearly, generating a linear ramp. Figure 13 shows the linear ramp generating circuit and Figure 14 illustrates the generated linear ramp waveforms.

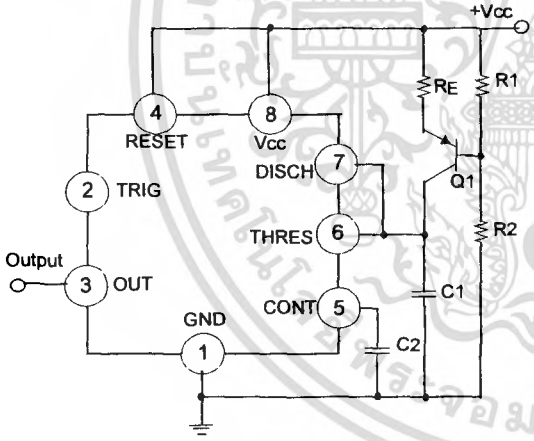


Figure 13. Circuit for Linear Ramp

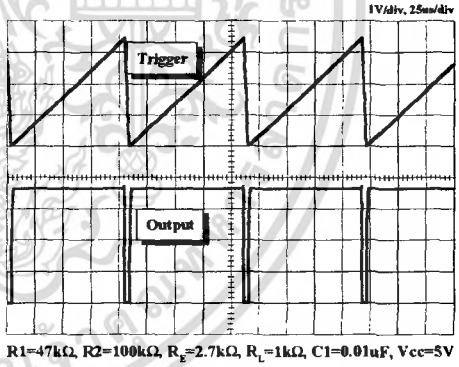


Figure 14. Waveforms of Linear Ramp

In Figure 13, current source is created by PNP transistor Q1 and resistor R1, R2, and R_E.

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} \qquad (12)$$

Here, V_E is

$$V_E = V_{BE} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \qquad (13)$$

For example, if Vcc=15V, R_E=20kΩ, R1=5kW, R2=10kΩ, and V_{BE}=0.7V,
V_E=0.7V+10V=10.7V
Ic=(15-10.7)/20k=0.215mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

When the trigger starts in a timer configured as shown in Figure 13, the current flowing through capacitor C1 becomes a constant current generated by PNP transistor and resistors.
Hence, the V_C is a linear ramp function as shown in Figure 14. The gradient S of the linear ramp function is defined as follows:

$$S = \frac{V_{p-p}}{T} \quad (14)$$

Here the Vp-p is the peak-to-peak voltage.
If the electric charge amount accumulated in the capacitor is divided by the capacitance, the V_C comes out as follows:

$$V=Q/C \quad (15)$$

The above equation divided on both sides by T gives us

$$\frac{V}{T} = \frac{Q/T}{C} \quad (16)$$

and may be simplified into the following equation.

$$S=I/C \quad (17)$$

In other words, the gradient of the linear ramp function appearing across the capacitor can be obtained by using the constant current flowing through the capacitor.
If the constant current flow through the capacitor is 0.215mA and the capacitance is 0.02μF, the gradient of the ramp function at both ends of the capacitor is S = 0.215m/0.022μ = 9.77V/ms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Order this document by ULN2803/D

MOTOROLA

Octal High Voltage, High Current Darlington Transistor Arrays

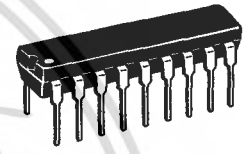
ULN2803
ULN2804

OCTAL PERIPHERAL DRIVER ARRAYS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

The eight NPN Darlington connected transistors in this family of arrays are ideally suited for interfacing between low logic level digital circuitry (such as TTL, CMOS or PMOS/NMOS) and the higher current/voltage requirements of lamps, relays, printer hammers or other similar loads for a broad range of computer, industrial, and consumer applications. All devices feature open–collector outputs and free wheeling clamp diodes for transient suppression.

The ULN2803 is designed to be compatible with standard TTL families while the ULN2804 is optimized for 6 to 15 volt high level CMOS or PMOS.



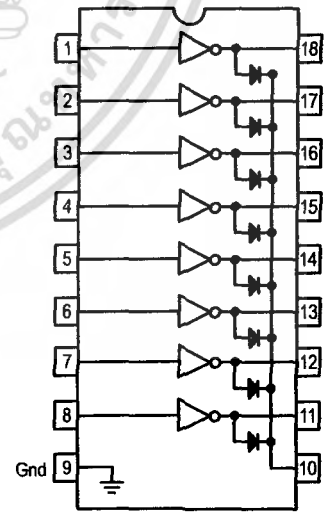
A SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 707

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C and rating apply to any one device in the package, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Output Voltage	V_O	50	V
Input Voltage (Except ULN2801)	V_I	30	V
Collector Current – Continuous	I_C	500	mA
Base Current – Continuous	I_B	25	mA
Operating Ambient Temperature Range	T_A	0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	–55 to +150	°C
Junction Temperature	T_J	125	°C

$R_{\theta JA}$ = 55°C/W
Do not exceed maximum current limit per driver

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Characteristics		
	Input Compatibility	V_{CE}(Max)/I_C(Max)	Operating Temperature Range
ULN2803A ULN2804A	TTL, 5.0 V CMOS 6 to 15 V CMOS, PMOS	50 V/500 mA	T_A = 0 to + 70°C

© Motorola, Inc. 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output Leakage Current (Figure 1)		I_{CEX}				µA
(V_O = 50 V, T_A = +70°C)	All Types		–	–	100	
(V_O = 50 V, T_A = +25°C)	All Types		–	–	50	
(V_O = 50 V, T_A = +70°C, V_I = 6.0 V)	ULN2802		–	–	500	
(V_O = 50 V, T_A = +70°C, V_I = 1.0 V)	ULN2804		–	–	500	
Collector–Emitter Saturation Voltage (Figure 2)		$V_{CE(sat)}$				V
(I_C = 350 mA, I_B = 500 µA)	All Types		–	1.1	1.6	
(I_C = 200 mA, I_B = 350 µA)	All Types		–	0.95	1.3	
(I_C = 100 mA, I_B = 250 µA)	All Types		–	0.85	1.1	
Input Current – On Condition (Figure 4)		$I_{I(on)}$				mA
(V_I = 17 V)	ULN2802		–	0.82	1.25	
(V_I = 3.85 V)	ULN2803		–	0.93	1.35	
(V_I = 5.0 V)	ULN2804		–	0.35	0.5	
(V_I = 12 V)	ULN2804		–	1.0	1.45	
Input Voltage – On Condition (Figure 5)		$V_{I(on)}$				V
(V_{CE} = 2.0 V, I_C = 300 mA)	ULN2802		–	–	13	
(V_{CE} = 2.0 V, I_C = 200 mA)	ULN2803		–	–	2.4	
(V_{CE} = 2.0 V, I_C = 250 mA)	ULN2803		–	–	2.7	
(V_{CE} = 2.0 V, I_C = 300 mA)	ULN2803		–	–	3.0	
(V_{CE} = 2.0 V, I_C = 125 mA)	ULN2804		–	–	5.0	
(V_{CE} = 2.0 V, I_C = 200 mA)	ULN2804		–	–	6.0	
(V_{CE} = 2.0 V, I_C = 275 mA)	ULN2804		–	–	7.0	
(V_{CE} = 2.0 V, I_C = 350 mA)	ULN2804		–	–	8.0	
Input Current – Off Condition (Figure 3) (I_C = 500 µA, T_A = +70°C)	All Types	$I_{I(off)}$	50	100	–	µA
DC Current Gain (Figure 2) (V_{CE} = 2.0 V, I_C = 350 mA)	ULN2801	h_{FE}	1000	–	–	–
Input Capacitance		C_I	–	15	25	pF
Turn–On Delay Time (50% E_I to 50% E_O)		t_{on}	–	0.25	1.0	µs
Turn–Off Delay Time (50% E_I to 50% E_O)		t_{off}	–	0.25	1.0	µs
Clamp Diode Leakage Current (Figure 6) (V_R = 50 V)	T_A = +25°C T_A = +70°C	I_R	–	–	50 100	µA
Clamp Diode Forward Voltage (Figure 7) (I_F = 350 mA)		V_F	–	1.5	2.0	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST FIGURES

(See Figure Numbers in Electrical Characteristics Table)

Figure 1.

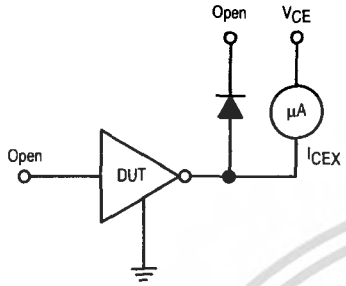


Figure 2.

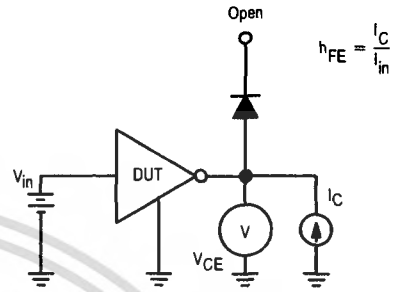


Figure 3.

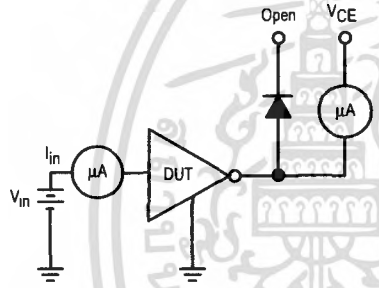


Figure 4.

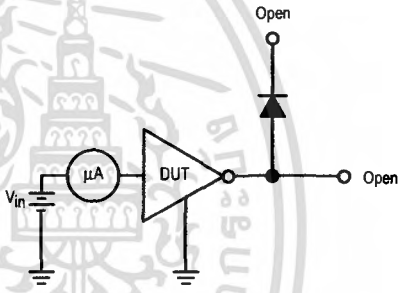


Figure 5.

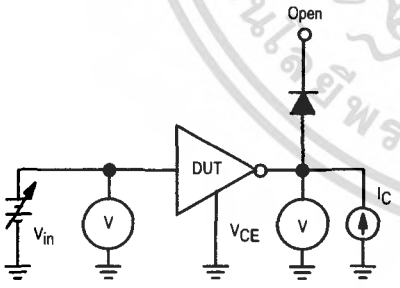


Figure 6.

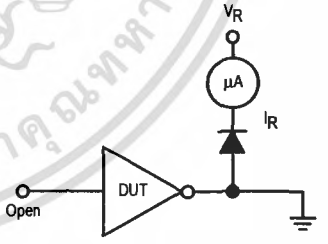
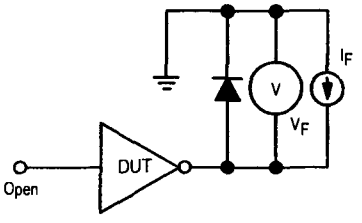


Figure 7.



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTIC CURVES – T_A = 25°C, unless otherwise noted

Output Characteristics

Figure 8. Output Current versus Saturation Voltage

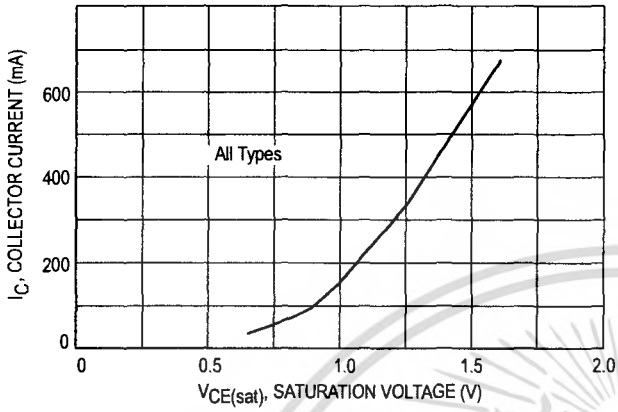
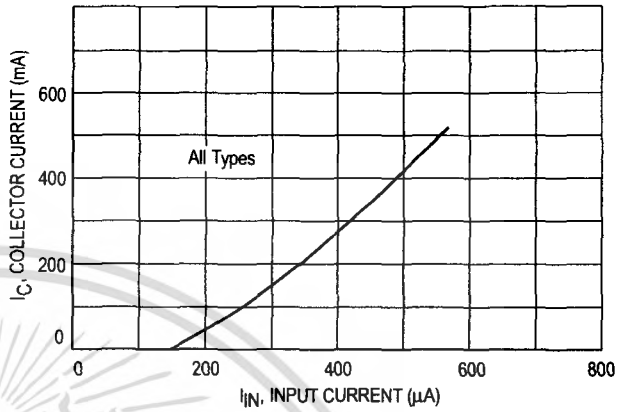


Figure 9. Output Current versus Input Current



Input Characteristics

Figure 10. ULN2803 Input Current versus Input Voltage

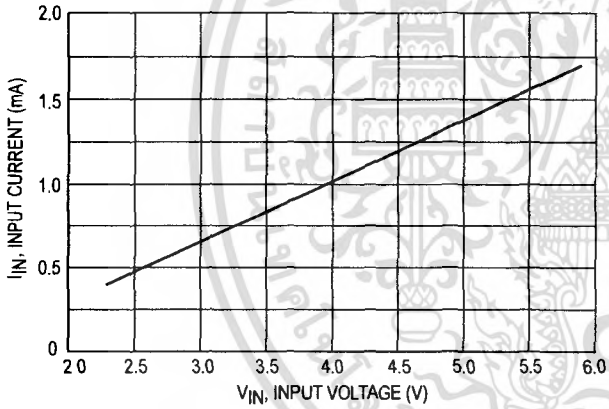


Figure 11. ULN2804 Input Current versus Input Voltage

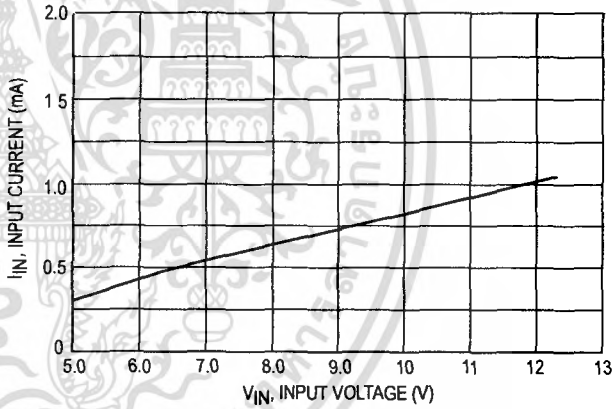
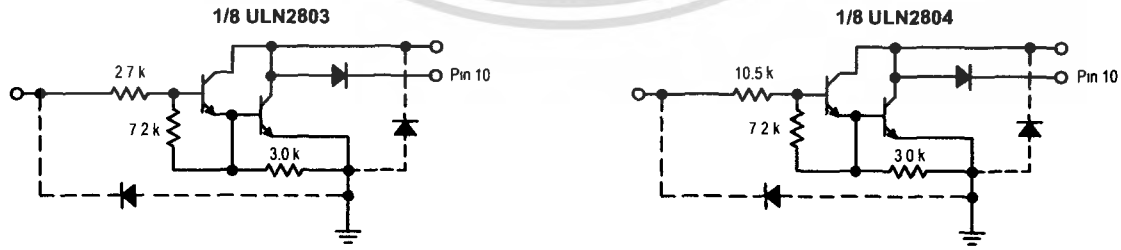


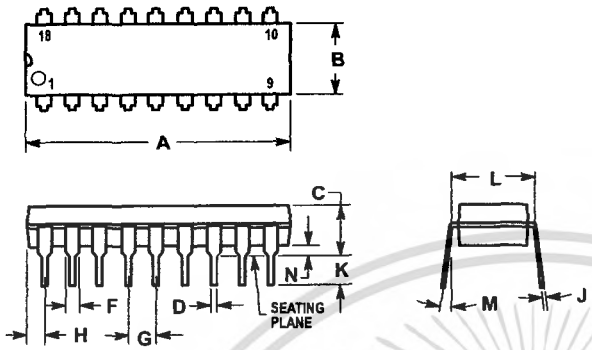
Figure 12. Representative Schematic Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DIMENSIONS

A SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 707–02
ISSUE C



NOTES.
1. POSITIONAL TOLERANCE OF LEADS (D), SHALL BE WITHIN 0.25 (0.010) AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION, IN RELATION TO SEATING PLANE AND EACH OTHER.
2. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
3. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	22.22	23.24	0.875	0.915
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.56	4.57	0.140	0.180
D	0.36	0.56	0.014	0.022
F	1.27	1.78	0.050	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	1.02	1.52	0.040	0.060
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	2.92	3.43	0.115	0.135
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.51	1.02	0.020	0.040

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้