

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กโดยใช้หลักการ STICK-SLIP

DESIGN OF MICRO ROBOT BY USING STICK - SLIP TECHNIQUE



**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF MICRO ROBOT BY USING STICK - SLIP TECHNIQUE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

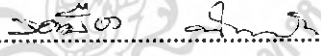
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กโดยใช้หลักการ Stick-Slip
Design of Micro Robot by Using Stick-Slip Technique

ผู้จัดทำ นายกฤติวิทย์ กาลสุวรรณ 45010017
นางสาวปิยะพร ยินดีอนันต์ 45010475



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์คอน อิศรากร)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สองเมือง นันทวง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กโดยใช้หลักการ STICK-SLIP
DESIGN OF MICRO ROBOT BY USING STICK – SLIP TECHNIQUE

โดย

นายกฤติวิทย์ กาลสุวรรณ 45010017

นางสาวปิยะพร ยินดีอนันต์ 45010475

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์คอน อิศรากร

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

บทคัดย่อ

ในอดีตรobotไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ในงานควบคุมระดับไมโครและการเคลื่อนที่ในระดับไมโครเมตร แต่เนื่องจากการเปลี่ยนลักษณะการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในแนวเชิงมุมมาเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นนั้นจำเป็นต้องใช้อาศัยอุปกรณ์ภายนอก เช่น ชุดเฟือง ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีคุณสมบัติของความไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ ดังนั้นจึงได้มีการนำเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกมาใช้แทนมอเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกมีการตอบสนองที่ดีและสามารถเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นได้โดยไม่มีเบ็กแลชหรือแรงเสียดทานสถิต

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับใช้งานทางด้านไมโครเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ โดยใช้เป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกเป็นตัวขับเคลื่อนและใช้หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick - Slip ซึ่งเป็นหลักการเคลื่อนที่แบบ Direct Drive ทำให้ไม่มีผลจากคุณสมบัติของความไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งเกิดจากอุปกรณ์ภายนอกได้ นอกจากนี้หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick - Slip ถือเป็นหลักการอย่างง่ายที่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กโดยใช้หลักการ STICK-SLIP
DESIGN OF MICRO ROBOT BY USING STICK – SLIP TECHNIQUE

โดย

นายกฤตวิทย์ กาลสุวรรณ 45010017

นางสาวปิยะพร ยินคือนันต์ 45010475

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์คอน อิศรากร

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ABSTRACT

In the past, electromagnetic motors have been generally used for micromanipulation and micropositioning. However, the conversion of angular motion to linear motion needs to connect transmission devices such as gear, belt, lead screw which have nonlinear characteristics. To avoid disadvantages, piezoelectrics are employed because they have a fast response and move without backlash or stiction.

Hence, this thesis presents the design of the micro robot for precision mechanism and biotechnology operations. Piezoelectrics are used as actuators by using Stick – Slip technique, which is one of the direct-drive principles. As a result, the micro robot does not take the effect from nonlinear characteristics. Moreover, Stick – Slip technique is a simple method, which gives a good performance.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ตอน อิศรากร และอาจารย์สองเมือง นันทขว้าง อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาแนวทางในการแก้ปัญหา ความคิดริเริ่ม ตลอดจนการฝึกฝนให้ผู้เขียนมีความสามารถในการทำวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงให้ความเอาใจใส่ดูแลสอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผู้เขียนทำงานอย่างมีระบบและใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ แก่ผู้เขียน ทำให้ผู้เขียนเข้าใจและสามารถนำความรู้มาใช้ในการปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณคุณสมรรถชัย ปัญญาที่ได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้ผู้เขียน ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เขียนจนสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสิ้น

และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่รักและเคารพ ที่สนับสนุนให้โอกาสแก่ผู้เขียนได้เล่าเรียนจนถึงวันนี้ ตลอดจนเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในห้องวิจัยทุกคนที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมาจนสามารถนำส่งต่างๆที่ได้รับมานั้นจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

กฤติวิทย์ กาลสุวรรณ

ปิยะพร ยินคือนันต์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
ปกดकरणประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญกราฟ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.4 รายละเอียดของปริญาณิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิค.....	3
2.2 หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอน.....	5
2.3 หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip.....	6
บทที่ 3 โครงสร้างและการออกแบบหุ่นยนต์.....	7
3.1 โครงสร้างและการออกแบบหุ่นยนต์.....	7
3.1.1 ขาของหุ่นยนต์.....	8
3.1.2 แขนกลขนาดเล็ก.....	11
3.2 การประกอบหุ่นยนต์.....	13
3.2.1 ขาของหุ่นยนต์.....	13
3.2.2 แขนกลขนาดเล็ก.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	19
3.3.1 การทำงานของขาหุ่นยนต์.....	20
3.3.2 การทำงานของแขนกลขนาดเล็ก.....	28
บทที่ 4 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมหุ่นยนต์.....	29
4.1 วงจรควบคุมแขนกลขนาดเล็ก.....	29
4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	29
4.1.2 วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็ก.....	30
4.1.2.1 วงจรควบคุมการยึดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบยึดตัวทันทีทันใด.....	30
4.1.2.2 วงจรควบคุมการยึดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบหัดตัวทันทีทันใด.....	31
4.1.2.3 การคำนวณหาค่าความต้านทานที่ต่อกับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก.....	32
4.1.2.4 วงจรรวมควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็ก.....	37
4.2 วงจรควบคุมขาของหุ่นยนต์.....	38
4.2.1 วงจรควบคุมเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก.....	38
4.2.2 วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....	39
บทที่ 5 โปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์.....	41
5.1 โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ผ่านทางคอมพิวเตอร์.....	41
5.2 โปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์.....	43
บทที่ 6 ผลการทดลองและการควบคุมหุ่นยนต์.....	44
6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
6.2 การทดลองที่ 1 การหาผลตอบสนองของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกในส่วนแขนกลขนาดเล็ก ต่อค่าความถี่ต่าง ๆ.....	44
6.2.1 วงจรขับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบยึดตัวทันทีทันใด.....	45
6.2.2 วงจรขับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบหัดตัวทันทีทันใด.....	49
6.2.3 สรุปผลการทดลองที่ 1.....	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3 การทดลองที่ 2 การหาค่าความถี่ที่เหมาะสมที่ทำให้เบนกลขนานเล็กเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนด เว.....	53
6.3.1 สรุปผลการทดลองที่ 2.....	54
6.4 การทดลองที่ 3 การหาความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทางของขาหุ้ยนต.....	54
6.4.1 สรุปผลการทดลองที่ 3.....	55
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
7.1 บทสรุป.....	57
7.2 ปัญหาที่พบในงานวิจัยและแนวทางแก้ไข.....	57
7.3 ข้อเสนอแนะและการพัฒนา.....	58
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	60
ภาคผนวก ข แบบโครงสร้างชิ้นส่วนของหุ่นยนต์.....	83
ภาคผนวก ค โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์.....	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่เดินทางของขาหุ่นยนต์.....	20
3.2 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ถอยหลังของขาหุ่นยนต์.....	21
3.3 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านซ้ายของขาหุ่นยนต์.....	22
3.4 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านขวาของขาหุ่นยนต์.....	23
3.5 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านเฉียงหน้าซ้ายของขาหุ่นยนต์.....	24
3.6 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านเฉียงหน้าขวาของขาหุ่นยนต์.....	25
3.7 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านเฉียงหลังซ้ายของขาหุ่นยนต์.....	26
3.8 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านเฉียงหลังขวาของขาหุ่นยนต์.....	27
6.1 ตารางผลการทดลองทิศการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อใช้วงจรมอเตอร์ที่ทันใด.....	45
6.2 ตารางผลการทดลองทิศการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อใช้วงจรมอเตอร์ที่ทันใด.....	49
6.3 ค่าความถี่ที่เหมาะสมในการทำให้แขนกลเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนด.....	53
6.4 ระยะทางที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ในแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่.....	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก.....	3
2.2 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่เป็นตัวขับเคลื่อน (ที่มา: บริษัท NEC TOKIN).....	4
2.3 โครงสร้างของเปียโซอิเล็กทริกแบบมัลติเลเยอร์ (ที่มา: บริษัท NEC TOKIN).....	4
2.4 การเคลื่อนที่แบบตัวหนอน.....	5
2.5 การเคลื่อนที่แบบ Stick – Slip.....	6
3.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์.....	7
3.2 โครงหุ่นยนต์หลัก.....	8
3.3 โครงหุ่นยนต์รูปตัว L.....	8
3.4 ขาหุ่นยนต์สำหรับปรับความสูง.....	9
3.5 ส่วนยึดจับขาที่ขยับได้.....	9
3.6 ลมคิดเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก.....	10
3.7 ลวดทองแดงและขาหุ่นยนต์ที่พันลวดแล้ว.....	10
3.8 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิก AE0203D08.....	11
3.9 ฐานของแขนกล.....	11
3.10 หัวจับโลหะทรงกลม.....	12
3.11 แขนกลขนาดเล็ก.....	12
3.12 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิก AE0203D04.....	13
3.13 ส่วนประกอบของขาหุ่นยนต์.....	13
3.14 การประกอบส่วนขาหุ่นยนต์.....	14
3.15 ขาหุ่นยนต์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	16
3.16 ส่วนประกอบของแขนกลขนาดเล็ก.....	16
3.17 การประกอบแขนกลขนาดเล็ก.....	17
3.18 ส่วนขับเคลื่อนแขนกลขนาดเล็กที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	19
3.19 หุ่นยนต์เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	19
3.20 การแทนตำแหน่งเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกและขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....	20
3.21 แสดงการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็ก.....	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	29
4.2 วงจรควบคุมการยึดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด.....	30
4.3 สัญญาณแรงดันตกคร่อมเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่เกิดจากวงจรควบคุมการยึดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด	31
4.4 วงจรควบคุมการหดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด.....	31
4.5 สัญญาณแรงดันตกคร่อมเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่เกิดจากวงจรควบคุมการหดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด.....	32
4.6 วงจรแสดงการเก็บประจุของตัวเก็บประจุผ่านตัวต้านทาน.....	33
4.7 รูปสัญญาณผลตอบสนองของระบบต่อสัญญาณหนึ่งหน่วย.....	34
4.8 แสดงคาบเวลาของสัญญาณพัลส์ในหนึ่งลูกคลื่น.....	34
4.9 แสดงการต่อตัวต้านทานแบบเซรามิก.....	36
4.10 วงจรรวมควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็ก.....	37
4.11 วงจรควบคุมแขนกลขนาดเล็กที่เสร็จสมบูรณ์.....	37
4.12 วงจรควบคุมเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก.....	38
4.13 วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....	39
4.14 วงจรควบคุมส่วนขาหุ่นยนต์ที่เสร็จสมบูรณ์.....	39
5.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	40
5.2 หน้าจอควบคุมการทำงานของแขนกลขนาดเล็ก.....	41
5.3 หน้าจอควบคุมการทำงานของขาหุ่นยนต์.....	42
6.1 หมายเลขของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่แสดงในตารางผลการทดลองที่ 1.....	44
6.2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็ก.....	53

สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
6.1 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิลเล็กทริกตัวที่ 1 จากการทดลองที่ 6.2.1.....	47
6.2 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิลเล็กทริกตัวที่ 2 จากการทดลองที่ 6.2.1.....	48
6.3 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิลเล็กทริกตัวที่ 3 จากการทดลองที่ 6.2.1.....	48
6.4 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิลเล็กทริกตัวที่ 1 จากการทดลองที่ 6.2.2.....	51
6.5 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิลเล็กทริกตัวที่ 2 จากการทดลองที่ 6.2.2.....	52
6.6 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิลเล็กทริกตัวที่ 3 จากการทดลองที่ 6.2.2.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันการพัฒนาในทางอุตสาหกรรมและงานวิจัยต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้ความละเอียดในการทำงานที่มากขึ้น เช่น กระบวนการการผลิต IC การผสมเซลล์สิ่งมีชีวิต การประกอบชิ้นส่วนขนาดเล็ก ฯลฯ ในช่วงแรกได้มีการนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้งานประเภทดังกล่าว แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ในแนวเชิงมุมมาเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นนั้น จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอก เช่น ชุดเฟือง ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีคุณสมบัติของความไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ อีกทั้งอุปกรณ์ยังมีขนาดใหญ่มากเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของงาน จึงได้มีการนำ piezoelectric ceramic มาใช้แทนมอเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจาก piezoelectric ceramic มีการตอบสนองที่ดีและสามารถเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นได้โดยไม่มีแบ็กเลชหรือแรงเสียดทานสถิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเกิดขึ้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่มีความละเอียดสูงในการเคลื่อนที่สำหรับใช้งานทางด้านไมโครเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ สำหรับตัวขับเคลื่อนที่ใช้กับหุ่นยนต์ในงานวิจัยได้เลือกใช้ piezoelectric ceramic เป็นตัวขับเคลื่อน เนื่องจากสามารถสร้างการเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้นได้โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ภายนอก (Direct Drive) อีกทั้งยังมีขนาดเล็กสามารถออกแบบโครงสร้างได้หลากหลายและยังให้ความละเอียดในการเคลื่อนที่สูงในระดับไมโครเมตรอีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ใช้ piezoelectric ceramic เป็นตัวขับเคลื่อน โดยใช้หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอน (Inchworm Mechanism) และหลักการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip

1.2.2 ศึกษาการทำงานของ piezoelectric ceramic และพฤติกรรมของ piezoelectric ceramic

1.3 ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์

1.3.2 ออกแบบและสร้างชุดทดลองหลักการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip โดยใช้เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกเป็นตัวขับเคลื่อน

1.3.3 ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ซึ่งใช้หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip และออกแบบวงจรที่ใช้สำหรับควบคุมหุ่นยนต์

1.4 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์

ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็น 7 บท โดยมีรายละเอียดของแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ในการศึกษาและวิจัย ขอบเขตและขั้นตอนในการวิจัย พร้อมทั้งรายละเอียดของปริญญาานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบหุ่นยนต์และความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงโครงสร้างและการออกแบบหุ่นยนต์ การประกอบหุ่นยนต์ การทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทั้งส่วนแกนกลขนาดเล็กและส่วนขาหุ่นยนต์

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึงการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมหุ่นยนต์ โดยจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ วงจรส่วนแกนกลขนาดเล็กและวงจรส่วนขาหุ่นยนต์

บทที่ 5 เป็นการกล่าวถึงการใช้งานและหลักการทำงานของโปรแกรมสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ทั้งในส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์และโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 6 เป็นการทดลองการควบคุมหุ่นยนต์และผลการทดลอง

บทที่ 7 เป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการพัฒนาหุ่นยนต์ขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

ในส่วนท้ายสุดของปริญญาานิพนธ์นี้เป็นภาคผนวก ซึ่งแสดงถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย แบบโครงสร้างชิ้นส่วนของหุ่นยนต์และโปรแกรมที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

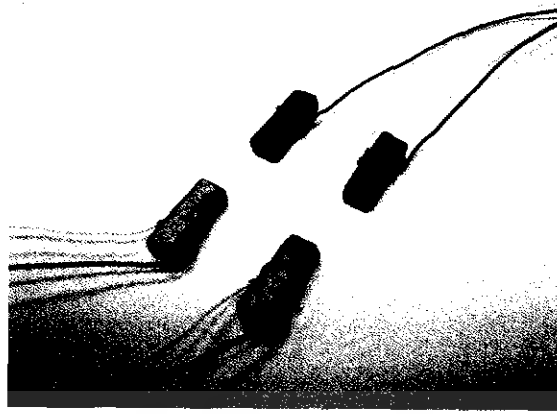
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยจะอธิบายถึงคุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่เลือกใช้ในงานวิจัย หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอนและหลักการเคลื่อนที่แบบ Stick - Slip ซึ่งเป็นหลักการที่นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์

2.1 เพียโซอิเล็กทริกเซรามิก



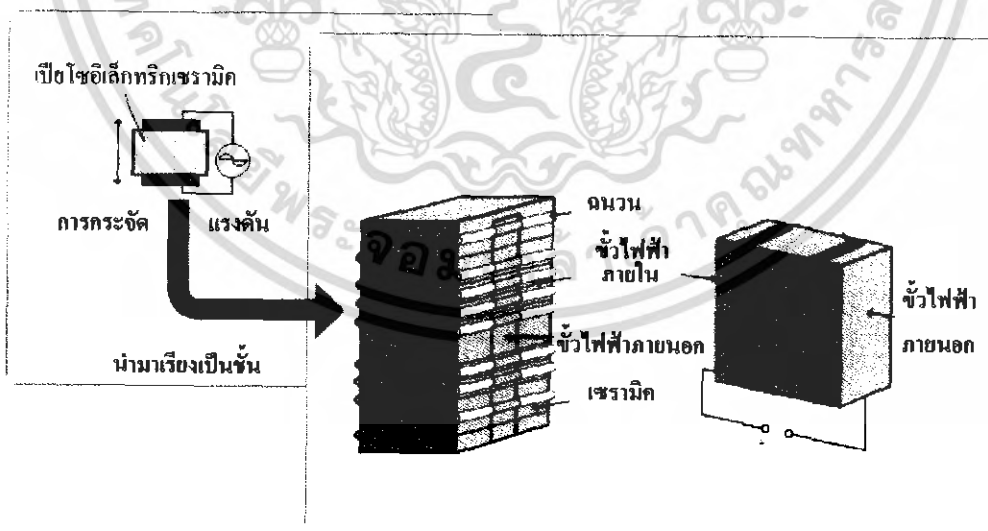
รูปที่ 2.1 คุณสมบัติของ เพียโซอิเล็กทริกเซรามิก

เพียโซอิเล็กทริกเซรามิก คือ เซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษ กล่าวคือเมื่อเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกได้รับแรงกล (Mechanical Force) เช่น แรงกดหรือดึง การสัมผัสเทือน จะให้แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect) ในทางกลับกันเมื่อเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) เกิดแรงกลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การกระจัด แรง การสัมผัสเทือน ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์อินเวิร์สเพียโซอิเล็กทริก (Inverse Piezoelectric Effect) ดังรูปที่ 2.1 โดยคุณสมบัติทั้งสองที่กล่าวข้างต้นนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นในด้านของเซนเซอร์หรือตัวขับเคลื่อน (Actuator)



รูปที่ 2.2 เบ้าเซรามิกเคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันที่แตกหักเป็นชิ้นๆ (ที่มา: บริษัท NEC TOKIN)

สำหรับเบ้าเซรามิกเคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเบ้าเซรามิกเคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันที่ทำหน้าทีเป็นตัวขั้วเร้าดังรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปการกระจัดที่เกิดจากการบิดตัวของเบ้าเซรามิกเคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าจะมีขนาดน้อยมากทำให้ประยุกต์ใช้งานได้อย่างจำกัด เพื่อให้มีขนาดของการกระจัดเพียงพอต่อการใช้งาน จึงเลือกใช้เบ้าเซรามิกเคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันชนิด Multilayer ซึ่งเป็นการนำเบ้าเซรามิกเคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง (ประมาณ 110 ไมโครเมตร) มาซ้อนกันเป็นชั้นจำนวน 200 – 300 ชั้น การกระจัดที่ได้จากการจัดเรียงเบ้าเซรามิกเคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันในลักษณะนี้จะเป็นการกระจัดรวมของเบ้าเซรามิกเคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันทุกตัว ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้น ดังรูปที่ 2.3

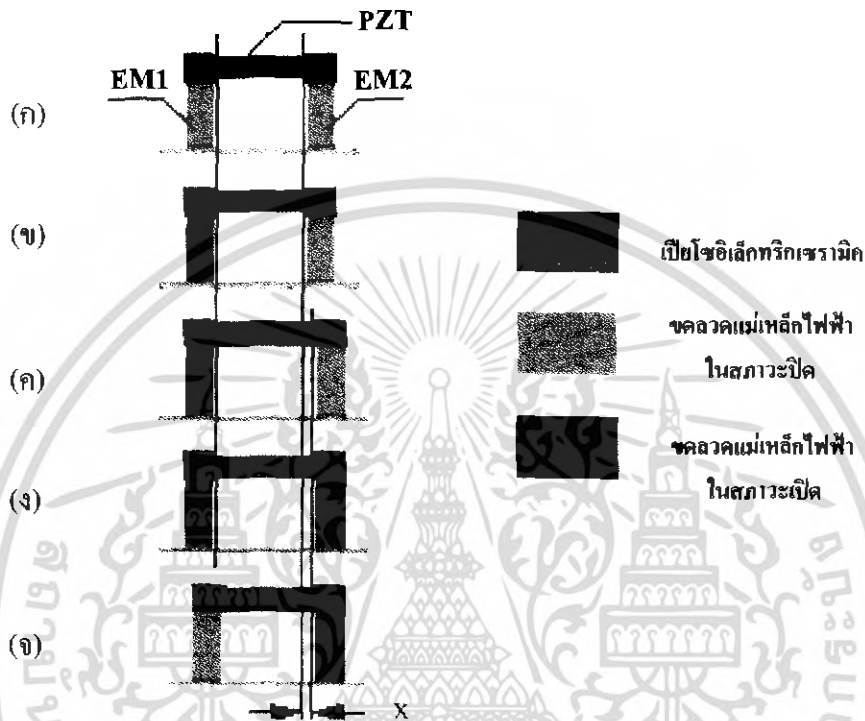


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเบ้าเซรามิกเคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันแบบ Multilayer (ที่มา: บริษัท NEC TOKIN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก. ในตอนท้ายของปริิญาานิพนธ์ฉบับนี้

2.2 หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอน (Inchworm Drive Principle)

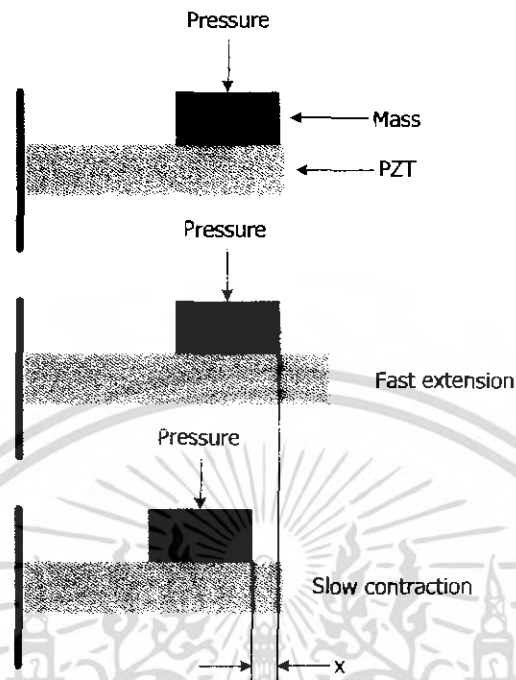


รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบตัวหนอน

หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอน สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.4 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิก (PZT) ถูกยึดติดไว้ระหว่างขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า EM1 และ EM2 ดังรูปที่ 2.4(ก) โครงสร้างเช่นนี้สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอน กล่าวคือเมื่อขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า EM1 ทำงานจะทำให้เกิดแรงยึดติดกับพื้นผิวจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดังรูปที่ 2.4(ข) จากนั้นเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกจะทำการยืดตัวออกดังรูปที่ 2.4(ค) เมื่อเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกยืดตัวจนสุด ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า EM2 ก็จะเริ่มทำงานทำให้เกิดแรงยึดติดกับพื้นผิวดังรูปที่ 2.4(ง) จากนั้นขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า EM 1 และเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกก็จะหยุดการทำงาน การทำงานในลำดับเช่นนี้จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในระยะ x ได้ ดังรูปที่ 2.4(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip (Stick-Slip Drive Principle)



รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip

หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.5 มวล (Mass) ถูกวางกดติดกับเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก (PZT) โดยที่เพียโซอิเล็กทริกเซรามิกถูกยึดติดไว้กับฐาน มวลสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยหลักการ Stick-Slip กล่าวคือขณะที่เพียโซอิเล็กทริกเซรามิกมีการยืดตัวอย่างทันทีทันใด ทำให้เกิดแรงผลักรวมที่มีค่ามากกว่าแรงเสียดทานสถิตระหว่างมวลกับพื้นผิวของเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก ในขั้นตอนนี้มวลจะเกิดการ Slip ขึ้นทำให้มวลคงอยู่ ณ ตำแหน่งเดิม ในขั้นตอนต่อมาทำการหดเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกอย่างช้าๆ ซึ่งแรงผลักรวมจากเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกจะมีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตทำให้มวลถูกดึงติดไปกับเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก ในขั้นตอนนี้จะเรียกว่า Stick ถ้าเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกมีการยืดตัวอย่างทันทีทันใดและหดตัวอย่างช้าๆ ไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้มวลสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทาง x ได้ โดยมวลสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามได้โดยการเปลี่ยนจังหวะการยืดและหดของเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก

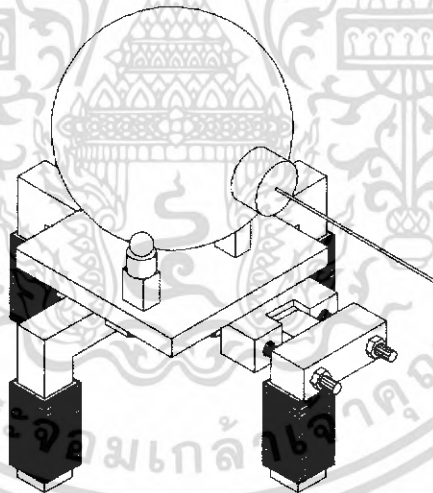
บทที่ 3

โครงสร้างและการออกแบบหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้มีส่วนประกอบหลักสองส่วน ส่วนแรกคือขาของหุ่นยนต์ซึ่งประกอบด้วยเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก 4 ตัวและขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ชุด ใช้หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอน สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งหมด 8 ทิศทางบนพื้นผิวที่เป็นโลหะ ส่วนที่สองคือแขนกลขนาดเล็กซึ่งประกอบด้วยเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก 3 ตัวและลูกโลหะทรงกลม ใช้หลักการการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip ในบทนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างและการออกแบบหุ่นยนต์ การทำงานและทิศทางในการเคลื่อนที่

3.1 โครงสร้างและการออกแบบหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ขนาดเล็กประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 2 ส่วนคือแขนกลขนาดเล็กและขาหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 3.1

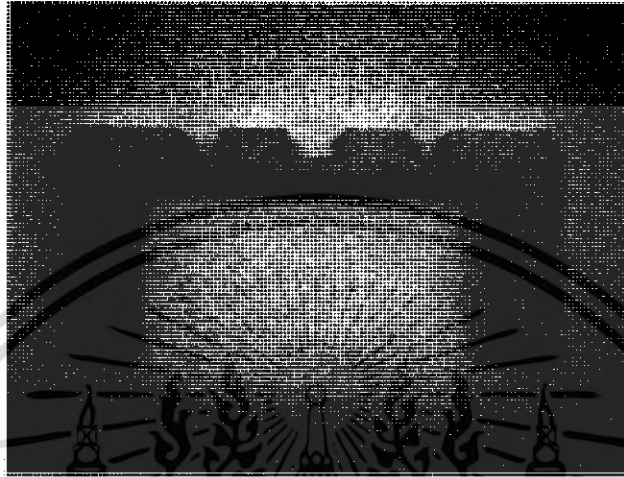


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

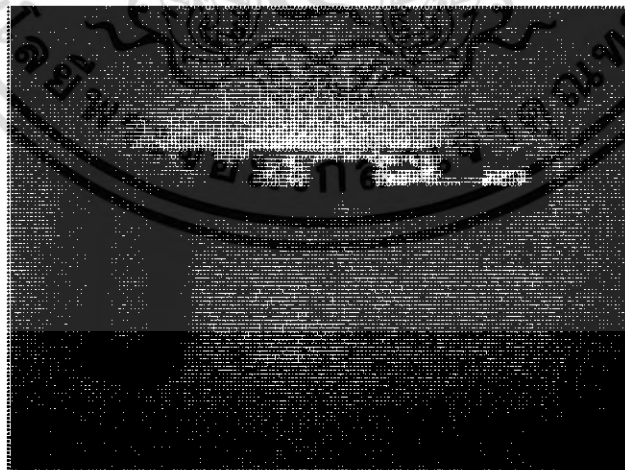
3.1.1 ขาหุ่นยนต์ ประกอบด้วย

1. โครงหุ่นยนต์หลัก ทำจากเหล็กเพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับพื้นผิวขณะเคลื่อนที่ มีขนาดกว้าง 24 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2 สามารถรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.2 โครงหุ่นยนต์หลัก

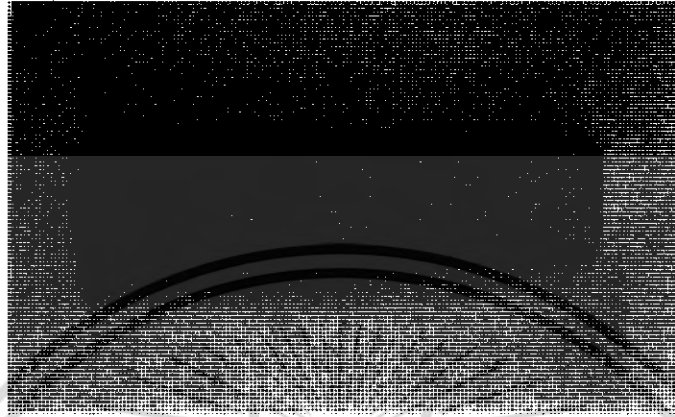
2. โครงหุ่นยนต์รูปตัว L ทำจากเหล็กเพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับพื้นผิวขณะเคลื่อนที่ มีขนาดกว้าง 24 มิลลิเมตร ยาว 45 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.3 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.3 โครงหุ่นยนต์รูปตัว L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขาหุ่นยนต์สำหรับปรับความสูง ทำจากเหล็กเพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กับพื้นผิวขณะเคลื่อนที่ มีขนาดกว้าง 5 มิลลิเมตรยาว 27 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.4 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.4 ขาหุ่นยนต์สำหรับปรับความสูง

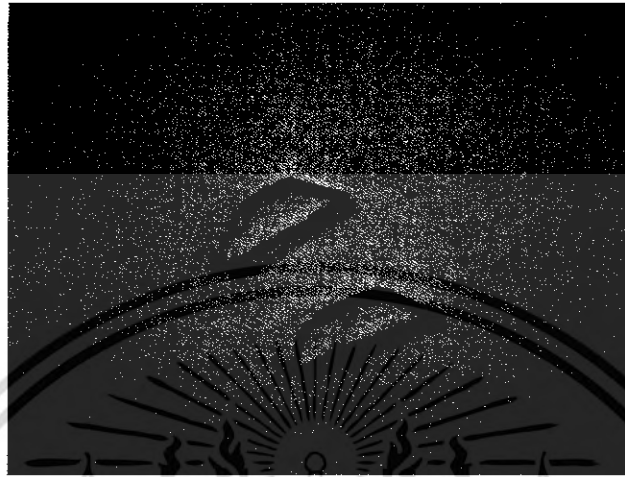
4. ส่วนยึดจับขาที่ขยับได้ ทำจากอะคริลิกเพื่อให้มีน้ำหนักเบาประกอบด้วยชิ้นส่วน ๖ ชิ้น คือชิ้นส่วนรูปตัว B และชิ้นส่วนรูปสี่เหลี่ยมยึดติดกันด้วยน็อตเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร ชิ้นส่วนรูปตัว B มีขนาดกว้าง 6 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตรและ ชิ้นส่วนรูปสี่เหลี่ยมมีขนาดกว้าง 6 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.5 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.5 ส่วนยึดจับขาที่ขยับได้

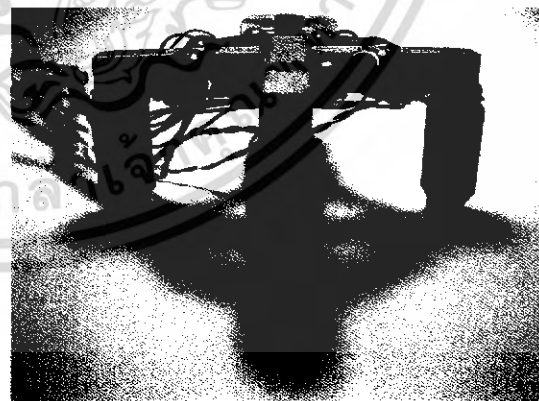
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ลิ่มติดเปียโซอิลีทริกเซรามิค ลิ่มติดเปียโซอิลีทริกเซรามิคทำจากอะคลีลิกมีขนาดกว้าง 4 มิลลิเมตร ยาว 14 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.6 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.6 ลิ่มติดตัวเปียโซอิลีทริกเซรามิค

6. ลวดทองแดง ใช้สำหรับพันรอบโครงหุ่นยนต์หลัก โครงหุ่นยนต์รูปตัว L และขาหุ่นยนต์สำหรับปรับความสูงเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยลวดที่ใช้เป็นลวดอบน้ำยาเบอร์ 34 พันรอบส่วนขาของชิ้นส่วนที่กล่าวข้างต้น 4 ชั้น โดยแต่ละชั้นพันด้วยจำนวนรอบเท่ากับ 48, 45, 42 และ 38 รอบตามลำดับ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลวดทองแดงและขาหุ่นยนต์ที่พันลวดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เปียโซอิเล็กทริกเซรามิก เป็นตัวขับเคลื่อน (Actuator) ของขาหุ่นยนต์ สำหรับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่ใช้ในส่วนขาเป็นของบริษัท NEC TOKIN โดยเป็นชนิด AE0203D08 โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตร และสูง 8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิก AE 0203D08

3.1.2 แขนกลขนาดเล็ก ประกอบด้วย

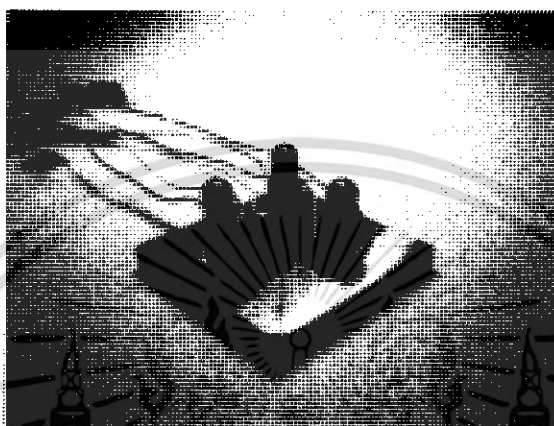
1. ฐานของแขนกล ทำจากอลูมิเนียม มีขนาดกว้าง 29 มิลลิเมตร ยาว 29 มิลลิเมตรหนา 4 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.9 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.9 ฐานของแขนกล

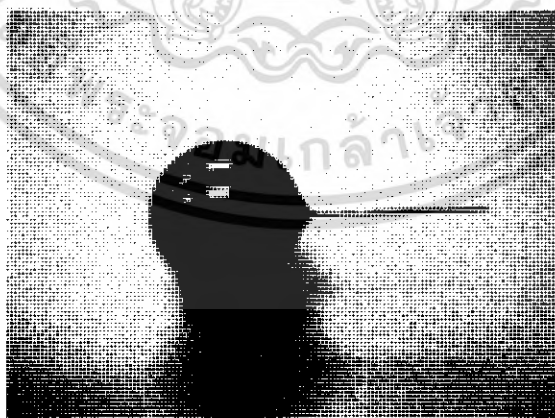
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หัวขั้วโลหะทรงกลมประกอบด้วยชิ้นส่วนสองชิ้นคือ ทรงกลมขนาดเล็กและอลูมิเนียมทรงกระบอกยึดติดกันด้วยกาวอีพ็อกซี ทรงกลมขนาดเล็กทำจากเหล็กเคลือบผิวด้วยโครเมียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ส่วนอลูมิเนียมทรงกระบอกทำจากอลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 4 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 3 มิลลิเมตร สูง 3 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.10 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.10 หัวขั้วโลหะทรงกลม

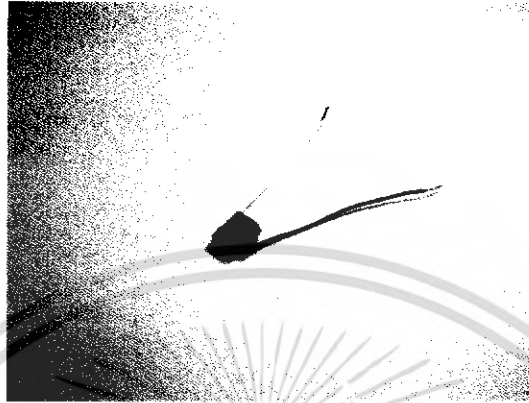
3. แขนกลขนาดเล็ก ประกอบด้วยชิ้นส่วนสองชิ้นคือส่วนที่เป็นทรงกลมขนาดใหญ่และส่วนที่เป็นแขนกลยึดติดกันด้วยกาวอีพ็อกซี ทรงกลมขนาดใหญ่ทำจากเหล็กเคลือบผิวด้วยโครเมียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ส่วนแขนกลทำจากเหล็ก ขาว 23 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.11 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.11 แขนกลขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เป็ยโซอิล็กทริกเซรามิก เป็นตัวขับเร้าของแขนกลขนาดเล็ก สำหรับเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกที่ใช้ในแขนกลขนาดเล็ก เป็นของบริษัต์ NEC TOKIN โดยเป็นชนิด AE0203D04 โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตร และสูง 4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.12



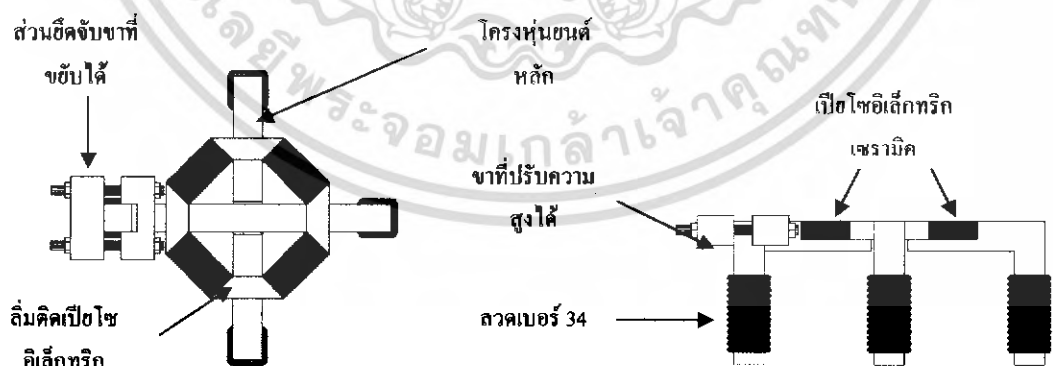
รูปที่ 3.12 เป็ยโซอิล็กทริกเซรามิก AE0203D04

3.2 การประกอบหุ่นยนต์

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้อธิบายถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ไปแล้ว หัวข้อนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการประกอบส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันเป็นหุ่นยนต์ที่สมบูรณ์ เพื่อเป็นการง่ายต่อการอธิบาย จะแบ่งการประกอบหุ่นยนต์ออกเป็น 2 ส่วนคือ

3.2.1 ขาของหุ่นยนต์ ขาของหุ่นยนต์ประกอบด้วยโครงสร้างต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่

3.13



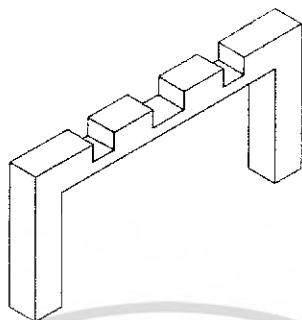
(ก) ขาหุ่นยนต์ด้าน TOP VIEW

(ข) ขาหุ่นยนต์ด้าน FRONT VIEW

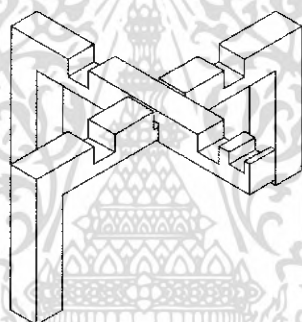
รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบของขาหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

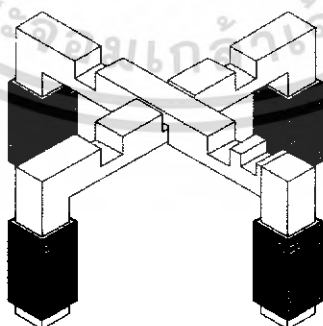
ส่วนของหุ่นยนต์สามารถประกอบได้ดังนี้



รูปที่ 3.14(ก) การประกอบส่วนขาหุ่นยนต์

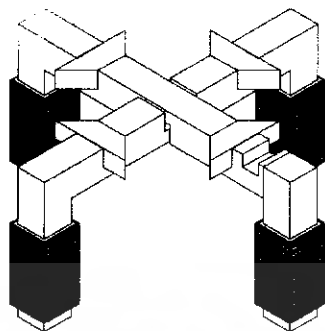


รูปที่ 3.14(ข) การประกอบส่วนขาหุ่นยนต์

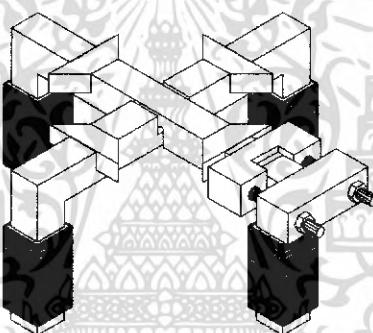


รูปที่ 3.14(ค) การประกอบส่วนขาหุ่นยนต์

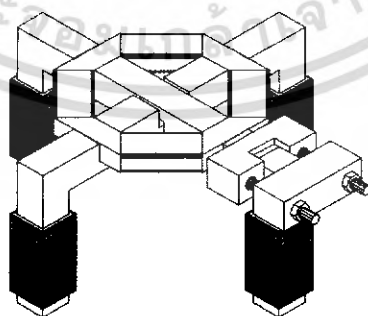
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14(ง) การประกอบส่วนขาหุ่นยนต์



รูปที่ 3.14(จ) การประกอบส่วนขาหุ่นยนต์



รูปที่ 3.14(ฉ) การประกอบส่วนขาหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 3.14(ข) แสดงโครงหุ่นยนต์หลักและโครงหุ่นยนต์รูปตัว L วางทำมุม 90 องศาต่อกัน
- รูปที่ 3.14(ค) แสดงการพันขลวดรอบขาทั้งสี่ข้างเพื่อใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- รูปที่ 3.14(ง) แสดงการติดลิ้มทั้ง 4 ชั้น โดยยึดติดด้วยกาวอีพ็อกซี
- รูปที่ 3.14(จ) แสดงการติดส่วนยึดจับขาที่ขยับได้เข้ากับโครงของหุ่นยนต์โดยยึดติดด้วยกาวอีพ็อกซี
- รูปที่ 3.14(ฉ) แสดงการติดเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกทั้ง 4 ตัวเข้ากับลิ้มโดยยึดติดกันด้วยกาวอีพ็อกซี

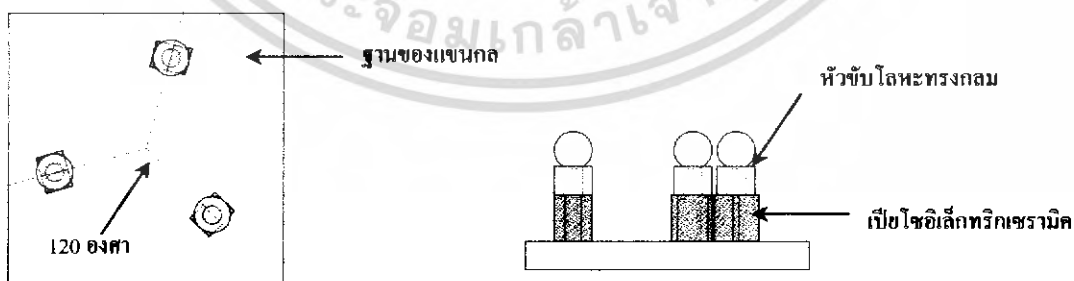
ขาหุ่นยนต์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ขาหุ่นยนต์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

3.2.2 แขนกลขนาดเล็ก แขนกลขนาดเล็กประกอบด้วยโครงสร้างต่าง ๆ ดังแสดงในรูป

รูปที่ 3.16



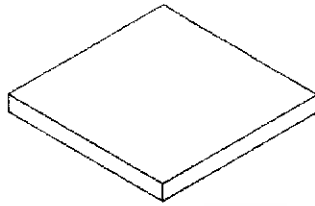
(ก) แขนกลด้าน TOP VIEW

(ข) ขากลด้าน FRONT VIEW

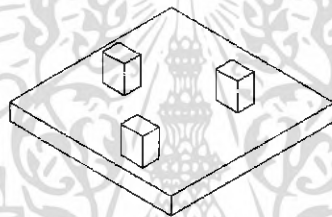
รูปที่ 3.16 ส่วนประกอบของแขนกลขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

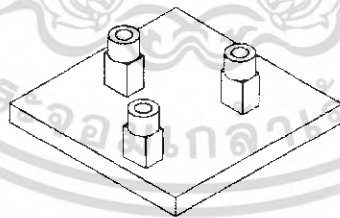
ส่วนแขนกลขนาดเล็กสามารถประกอบได้ดังนี้



รูปที่ 3.17(ก) การประกอบแขนกลขนาดเล็ก



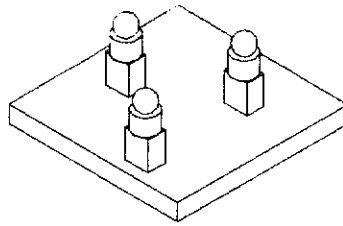
รูปที่ 3.17(ข) การประกอบแขนกลขนาดเล็ก



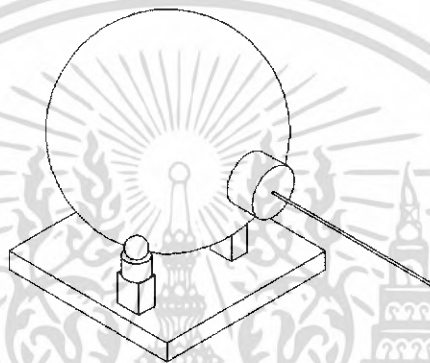
รูปที่ 3.17(ค) การประกอบแขนกลขนาดเล็ก

62440

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17(ง) การประกอบแขนกลขนาดเล็ก

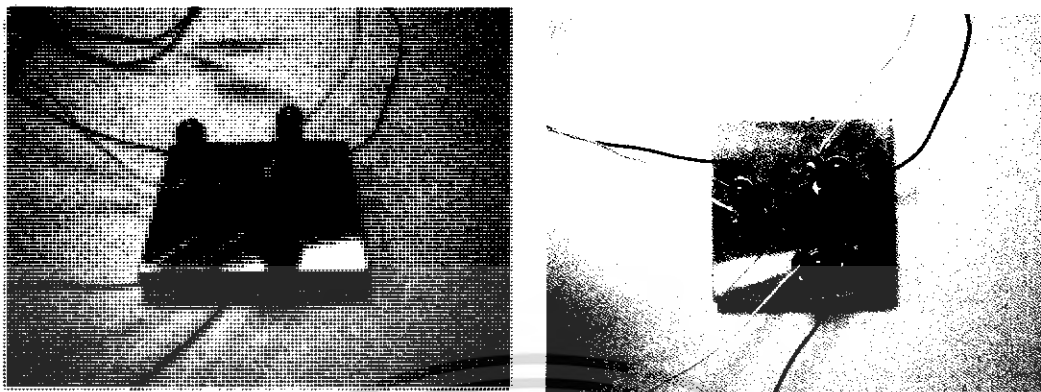


รูปที่ 3.17(จ) การประกอบแขนกลขนาดเล็ก

- รูปที่ 3.17(ข) แสดงการติดเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกทั้ง 3 ตัว โดยแต่ละตัวทำมุม 120 องศาต่อกัน และห่างจากจุดศูนย์กลางฐานของแขนกล 10 มิลลิเมตร โดยขึ้นส่วนทั้งสองยึดติดกัน โดยใช้กาวอีพ็อกซี
- รูปที่ 3.17(ค) แสดงการติดอลูมิเนียมทรงกระบอกเข้ากับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกโดยขึ้นส่วนทั้งสองยึดติดกัน โดยใช้กาวอีพ็อกซี
- รูปที่ 3.17(ง) แสดงการติดทรงกลมขนาดเล็กที่ปลายของอลูมิเนียมทรงกระบอก โดยขึ้นส่วนทั้งสองยึดติดกัน โดยใช้กาวอีพ็อกซี
- รูปที่ 3.17(จ) แขนกลขนาดเล็กถูกวางอยู่บนโครงสร้างที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนขับเคลื่อนแขนกลขนาดเล็กที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ส่วนขับเคลื่อนแขนกลขนาดเล็กที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

เมื่อนำทั้งสองส่วนมาประกอบกันก็จะได้หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.19



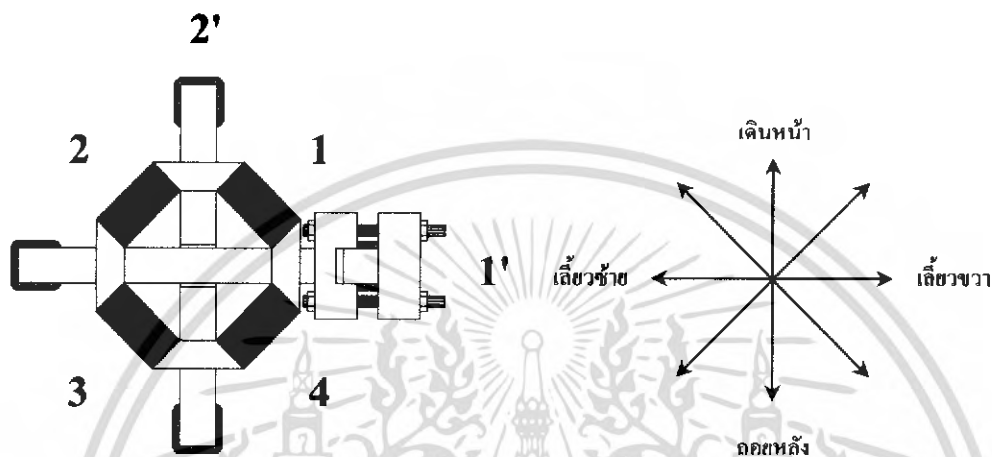
รูปที่ 3.19 หุ่นยนต์เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์

3.3 การทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

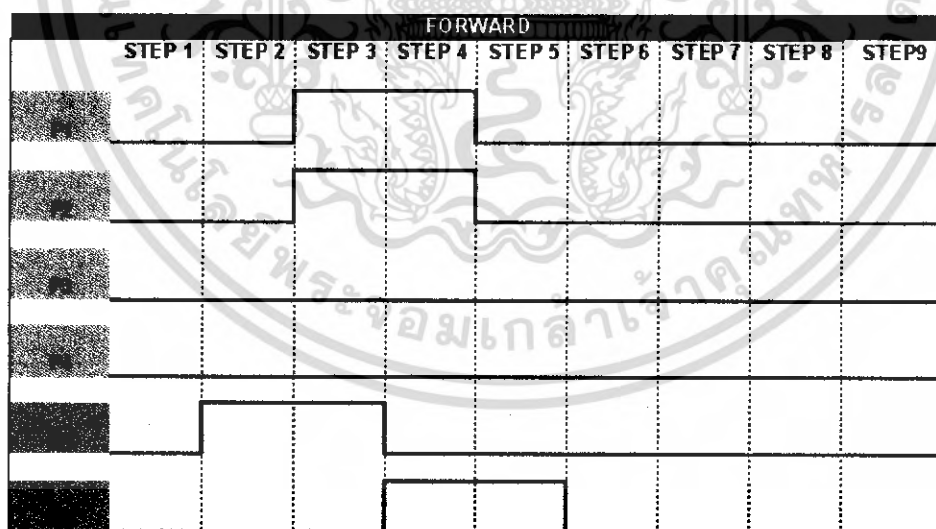
หุ่นยนต์ขนาดเล็กประกอบด้วยส่วนประกอบหลังสองส่วน คือ ขาหุ่นยนต์และแขนกลขนาดเล็ก โดยทั้งสองส่วนใช้หลักการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน กล่าวคือในส่วนขาหุ่นยนต์จะใช้หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอนและส่วนแขนกลขนาดเล็กที่ใช้หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick - Slip ดังนั้นเพื่อเป็นการง่ายต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ จึงแบ่งการอธิบายการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็น 2 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การทำงานของขาหุ่นยนต์ ใช้หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอน(หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอนได้อธิบายไว้ในบทที่ 2) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบที่มีลำดับขั้นตอน (Sequence) ตารางที่ 3.1 – 3.8 เป็นการอธิบายการเคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ ทั้ง 8 ทิศทาง โดยในการอธิบายจะแทนเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกทั้ง 4 ตัวด้วยหมายเลขตั้งแต่ 1 -4 และแทนขลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ชุดด้วยหมายเลข 1' และ 2' ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การแทนตำแหน่งเปียโซอิเล็กทริกและขลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

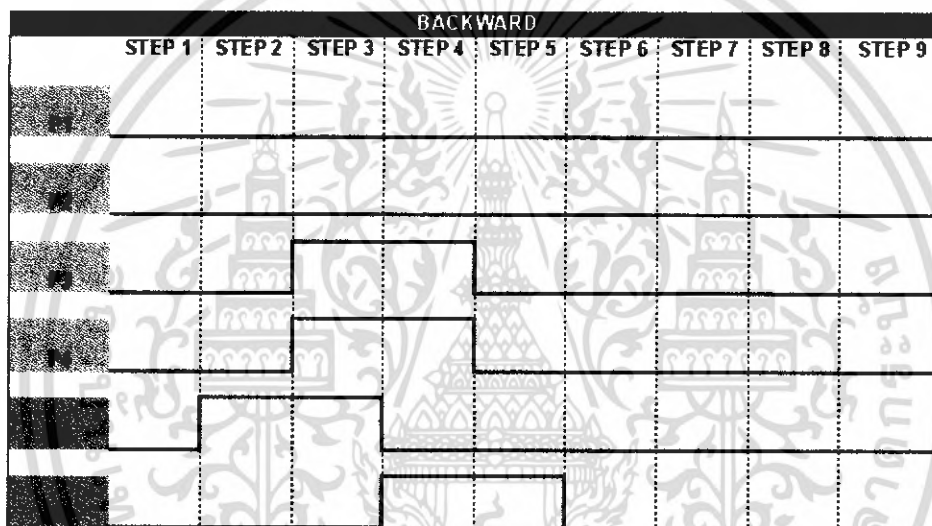


ตารางที่ 3.1 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ที่เดินหน้าของขาหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดินหน้า จากตารางที่ 3.1 สามารถอธิบายการเดินหน้าของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

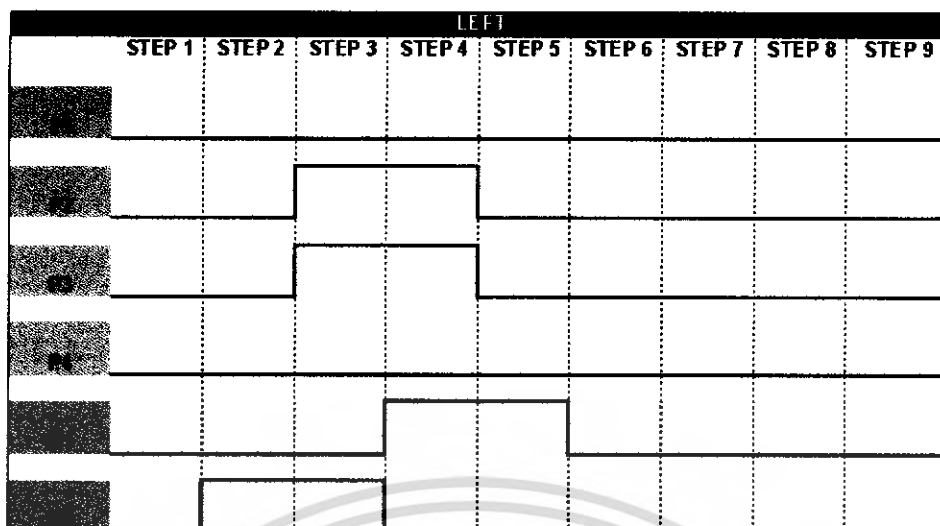
- ขั้นตอนที่ 1 เป็นสถานะเริ่มต้นของขาหุ่นยนต์
- ขั้นตอนที่ 2 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' เริ่มทำงาน
- ขั้นตอนที่ 3 เปีย โซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 2 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 4 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' (เปีย โซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 2 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 5 เปีย โซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 2 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 6 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงาน



ตารางที่ 3.2 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ถอยหลังของขาหุ่นยนต์

ถอยหลัง จากตารางที่ 3.2 สามารถอธิบายการเดินถอยหลังของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

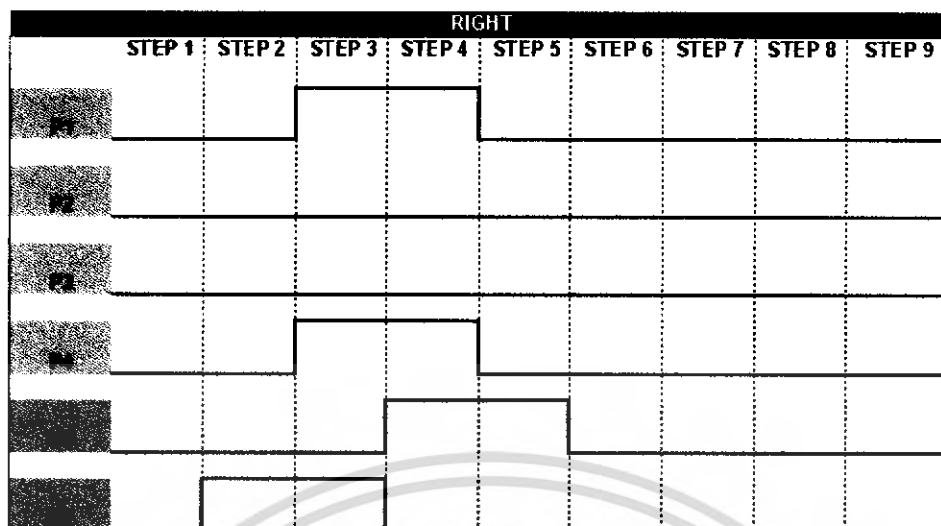
- ขั้นตอนที่ 1 เป็นสถานะเริ่มต้นของขาหุ่นยนต์
- ขั้นตอนที่ 2 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' เริ่มทำงาน
- ขั้นตอนที่ 3 เปีย โซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 3 และ 4 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 4 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' (เปีย โซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 3 และ 4 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 5 เปีย โซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 3 และ 4 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 6 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงาน



ตารางที่ 3.3 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านซ้ายของขาหุ่นยนต์

เส้นทางซ้าย จากตารางที่ 3.3 สามารถอธิบายการเดินทางซ้ายของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

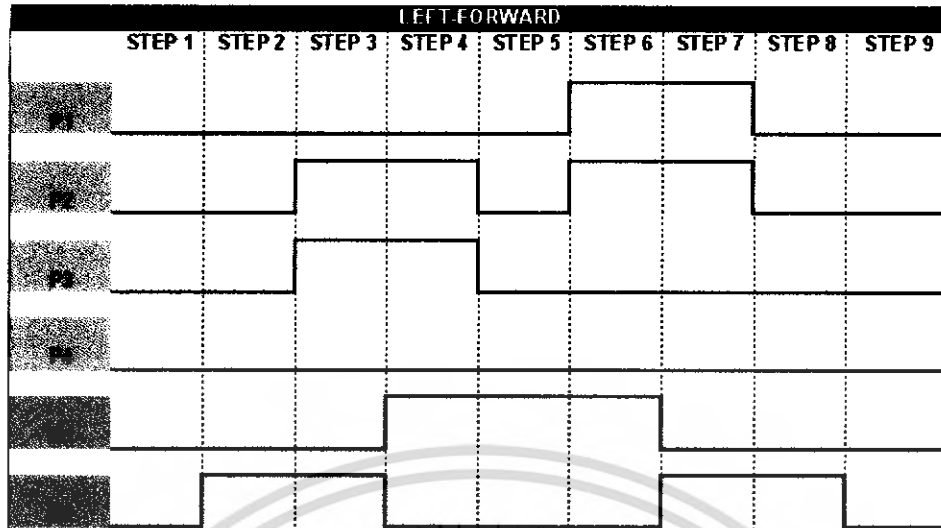
- ขั้นตอนที่ 1 เป็นสถานะเริ่มต้นของขาหุ่นยนต์
- ขั้นตอนที่ 2 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' เริ่มทำงาน
- ขั้นตอนที่ 3 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 2 และ 3 ทำการยืดตัว
- ขั้นตอนที่ 4 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' (เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 2 และ 3 ยังคงยืดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 5 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 2 และ 3 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 6 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' หยุดทำงาน



ตารางที่ 3.4 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านขวาของขาหุ่นยนต์

เส้นทางขวา จากตารางที่ 3.4 สามารถอธิบายการเดินทางขวาของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

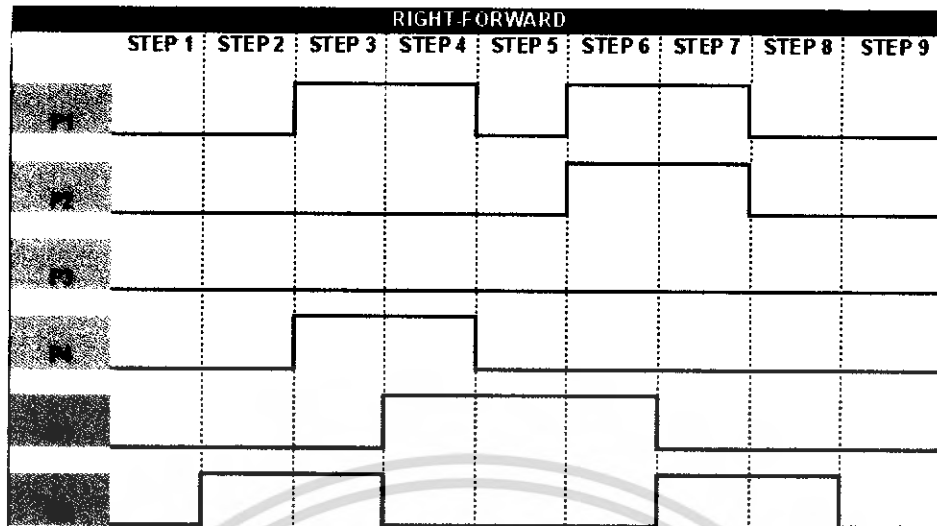
- ขั้นตอนที่ 1 เป็นสถานะเริ่มต้นของขาหุ่นยนต์
- ขั้นตอนที่ 2 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' เริ่มทำงาน
- ขั้นตอนที่ 3 เปีย โซอิเล็คทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 4 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 4 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' (เปีย โซอิเล็คทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 4 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 5 เปีย โซอิเล็คทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 4 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 6 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' หยุดทำงาน



ตารางที่ 3.5 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านเฉียงหน้าซ้ายของขาหุ่นยนต์

เฉียงหน้าซ้าย จากตารางที่ 3.25 สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ด้านเฉียงหน้าซ้ายของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

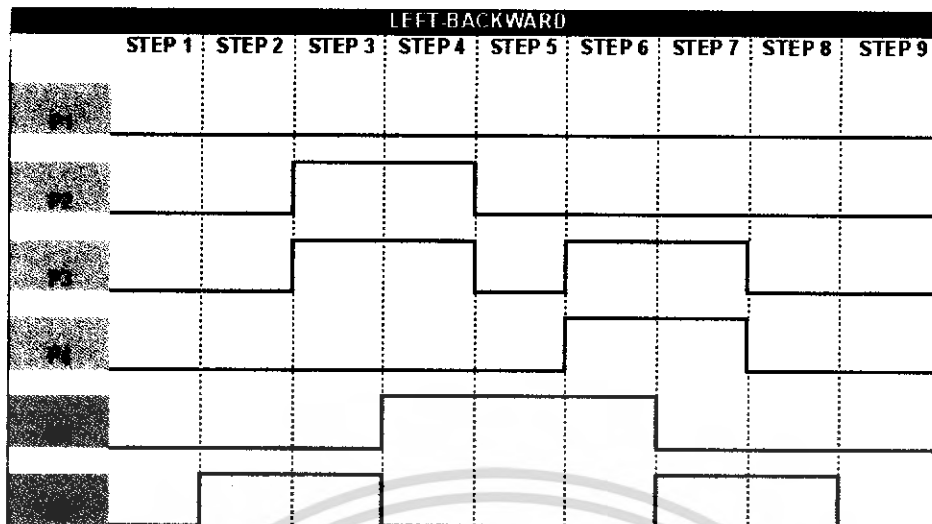
- ขั้นตอนที่ 1 เป็นสถานะเริ่มต้นของขาหุ่นยนต์
- ขั้นตอนที่ 2 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' เริ่มทำงาน
- ขั้นตอนที่ 3 เบี่ยงโซอิลีทริกเซรามิกตัวที่ 2 และ 3 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 4 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' (เบี่ยงโซอิลีทริกเซรามิกตัวที่ 2 และ 3 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 5 เบี่ยงโซอิลีทริกเซรามิกตัวที่ 2 และ 3 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 6 เบี่ยงโซอิลีทริกเซรามิกตัวที่ 1 และ 2 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 7 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' (เบี่ยงโซอิลีทริกเซรามิกตัวที่ 1 และ 2 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 8 เบี่ยงโซอิลีทริกเซรามิกตัวที่ 1 และ 2 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 9 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงาน



ตารางที่ 3.6 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านเฉียงหน้าขวาของขาหุ่นยนต์

เฉียงหน้าขวา จากตารางที่ 3.6 สามารถอธิบายการเคลื่อนที่เฉียงหน้าขวาของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

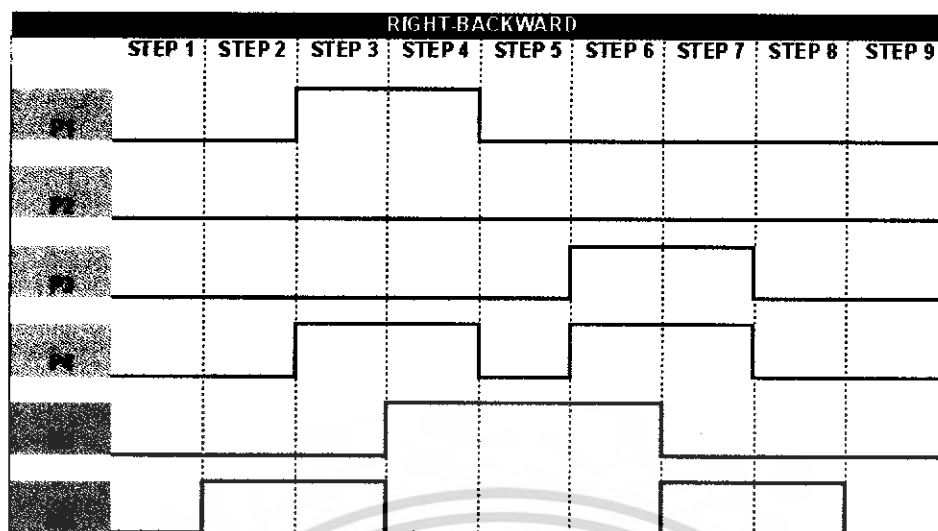
- ขั้นตอนที่ 1 เป็นสถานะเริ่มต้นของขาหุ่นยนต์
- ขั้นตอนที่ 2 ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 2' เริ่มทำงาน
- ขั้นตอนที่ 3 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 4 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 4 ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของ ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 1' (เปียโซอิเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 4 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 5 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 4 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 6 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 2 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 7 ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 1' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของ ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 2' (เปียโซอิเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 2 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 8 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 1 และ 2 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 9 ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงาน



ตารางที่ 3.7 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางคานเฉียงหลังซ้ายของขาหุ่นยนต์

เฉียงหลังซ้าย จากตารางที่ 3.27 สามารถอธิบายการเดินเฉียงหลังซ้ายของขาหุ่นยนต์ได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เป็นสถานะเริ่มต้นของขาหุ่นยนต์
- ขั้นตอนที่ 2 ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 2' เริ่มทำงาน
- ขั้นตอนที่ 3 เบี่ยงโซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 2 และ 3 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 4 ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของ ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 1' (เบี่ยงโซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 2 และ 3 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 5 เบี่ยงโซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 2 และ 3 ทำการหลุดตัว
- ขั้นตอนที่ 6 เบี่ยงโซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 3 และ 4 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 7 ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 1' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของ ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 2' (เบี่ยงโซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 3 และ 4 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 8 เบี่ยงโซอิลเล็กทริกเซรามิคตัวที่ 3 และ 4 ทำการหลุดตัว
- ขั้นตอนที่ 9 ขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงาน

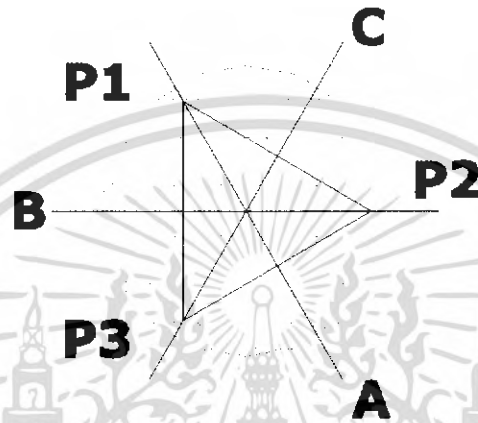


ตารางที่ 3.28 ตารางอธิบายการเคลื่อนที่ทางด้านเชิงหลังขวาของขาหุ่นยนต์

เชิงหลังขวา จากตารางที่ 3.8 สามารถอธิบายการเคลื่อนที่เชิงหลังขวาของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เป็นสถานะเริ่มต้นของขาหุ่นยนต์
- ขั้นตอนที่ 2 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' เริ่มทำงาน
- ขั้นตอนที่ 3 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 1 และ 4 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 4 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' (เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 1 และ 4 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 5 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 1 และ 4 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 6 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 3 และ 4 ทำการยึดตัว
- ขั้นตอนที่ 7 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 1' หยุดทำงานพร้อมกับการเริ่มทำงานของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' (เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 3 และ 4 ยังคงยึดตัวอยู่)
- ขั้นตอนที่ 8 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 3 และ 4 ทำการหดตัว
- ขั้นตอนที่ 9 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดที่ 2' หยุดทำงาน

3.2.2 การทำงานของแขนกลขนาดเล็ก ใช้หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip (หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick - Slip ใช้อธิบายไว้ในบทที่ 2) โดยการอธิบายการทำงานและทิศทางการเคลื่อนที่ที่จะแทนตำแหน่งเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกทั้ง 3 ตัวด้วยอักษร P1 ถึง P3 ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.21 แสดงการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็ก

จากรูปที่ 3.21 สามารถอธิบายทิศทางการเคลื่อนที่ได้ดังนี้
 การเคลื่อนที่ในแนวแกน A เกิดขึ้นเมื่อเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกหมายเลข P1 ทำงาน
 การเคลื่อนที่ในแนวแกน B เกิดขึ้นเมื่อเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกหมายเลข P2 ทำงาน
 การเคลื่อนที่ในแนวแกน C เกิดขึ้นเมื่อเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกหมายเลข P3 ทำงาน

บทที่ 4

วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมหุ่นยนต์

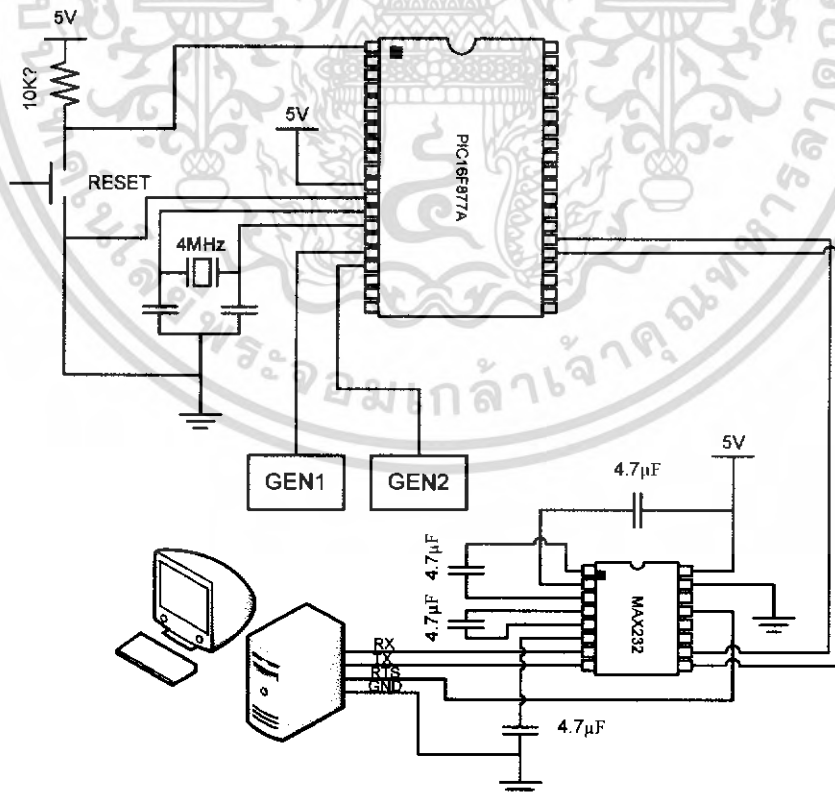
ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรเพื่อใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ขนาดเล็ก โดยวงจรที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์แบ่งออกเป็นสองส่วนคือวงจรควบคุมแกนกลขนาดเล็กและวงจรควบคุมขาหุ่นยนต์ ในส่วนของวงจรควบคุมแกนกลขนาดเล็กเป็นวงจรที่ใช้ควบคุมเปียโซอิเล็กทรอนิกส์เซรามิก 3 ตัวให้เคลื่อนที่ตามหลักการ Stick-Slip โดยใช้ความถี่ ส่วนของวงจรควบคุมขาหุ่นยนต์เป็นวงจรที่ใช้ควบคุมเปียโซอิเล็กทรอนิกส์เซรามิก 4 ตัวและขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ชุดให้ทำงานอย่างเป็นลำดับขั้นตอนตามหลักการเคลื่อนที่แบบคัวนอน

4.1 วงจรควบคุมแกนกลขนาดเล็ก

วงจรควบคุมแกนกลขนาดเล็กประกอบด้วยวงจรสองวงรดังต่อไปนี้

1. วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนกลขนาดเล็ก

4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

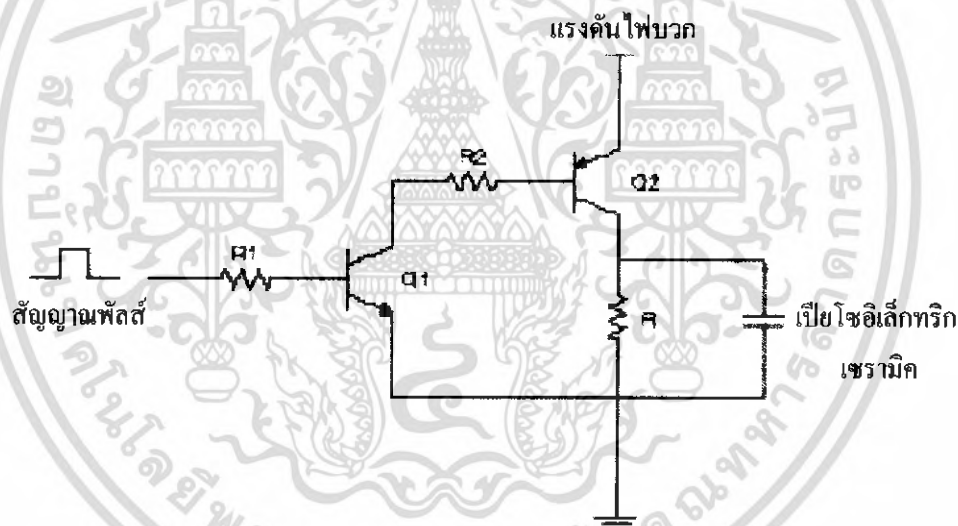
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรในรูปที่ 4.1 จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877 เป็นตัวให้กำเนิดสัญญาณพัลส์โดยรับคำสั่งจากพอร์ตคอนโทรลเลอร์ของคอมพิวเตอร์ สัญญาณพัลส์จะถูกส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทางขา HPWM รายละเอียดของโปรแกรมจะกล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป

4.1.2 วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็ก

วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็กประกอบด้วยวงจรรย่อย 2 วงจร คือ วงจรควบคุมการยึดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใดและวงจรควบคุมการหดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด โดยในการออกแบบวงจรจะใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกซึ่งทำตัวเสมือนตัวเก็บประจุในการออกแบบ โดยหลักการทำงานและการออกแบบวงจรอธิบายได้ดังนี้

4.1.2.1 วงจรควบคุมการยึดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด

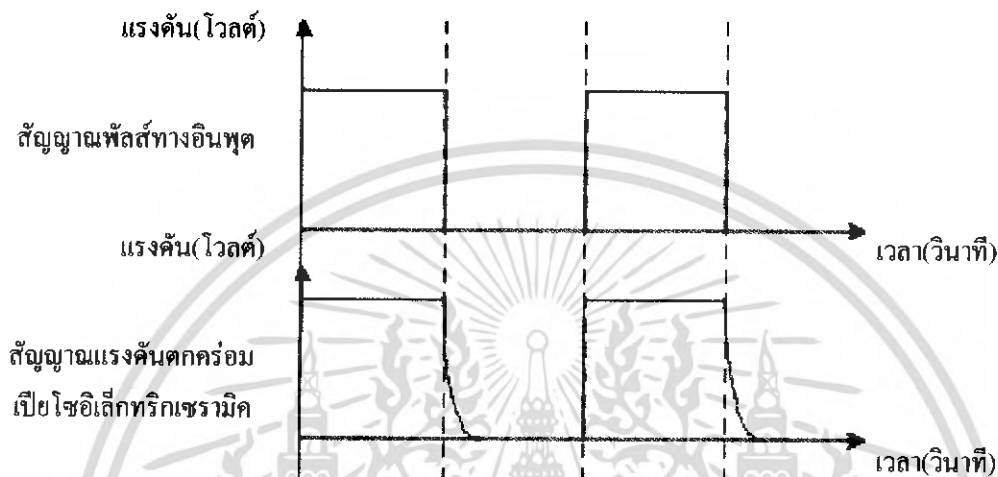


รูปที่ 4.2 วงจรควบคุมการยึดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด

จากรูปที่ 4.2 การทำงานของวงจรอธิบายดังนี้ ทรานซิสเตอร์ Q1 รับสัญญาณพัลส์เข้ามาทางขาเบสทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานและหยุดทำงานสลับกันตามความถี่ของสัญญาณพัลส์ เมื่อสัญญาณพัลส์มีค่าเป็นบวกทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงานกระแสจะไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ Q2 เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานและเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกอย่างทันทีทันใดทำให้เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกยึดตัวอย่างทันทีทันใด เมื่อสัญญาณพัลส์มีค่าเป็นศูนย์ ทรานซิสเตอร์ Q1 หยุดทำงานทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 หยุดทำงานไม่มีกระแสไหลผ่าน

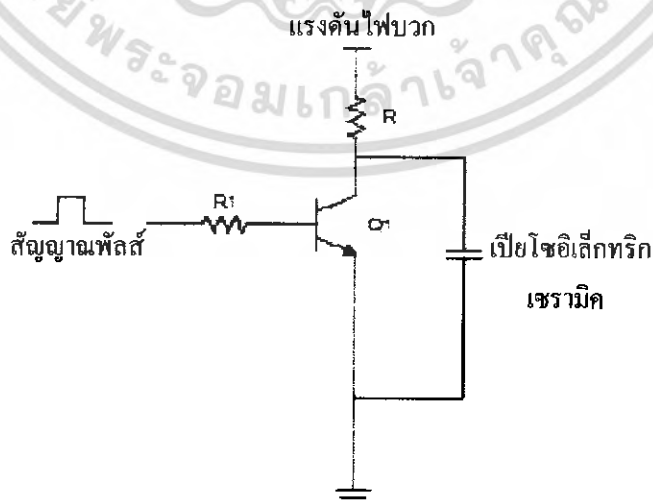
ทรานซิสเตอร์ Q2 เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกจะค่อย ๆ คายประจุออกผ่านทางตัวต้านทานทำให้เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกค่อย ๆ หดตัวลง

จากวงจรควบคุมการยึดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใดทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกเมื่อเทียบกับสัญญาณพัลส์ทางด้านอินพุตดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สัญญาณแรงดันตกคร่อมเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่เกิดจากวงจรควบคุมการยึดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด

4.1.2.2 วงจรควบคุมการหดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด

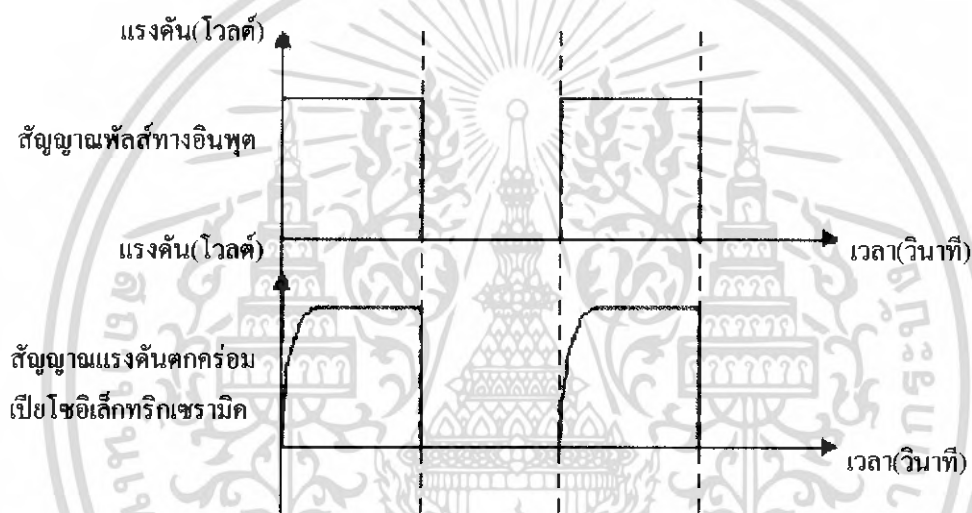


รูปที่ 4.4 วงจรควบคุมการหดตัวของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่เช่นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 การทำงานของวงจรถอธบายคั้งนี้ ทรานซิสเตอร์ Q1 รับสัญญาณพัลส์เข้ามาทางขาเบสทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานและหยุดทำงานตามความถี่ของสัญญาณพัลส์ เมื่อสัญญาณพัลส์มีค่าเป็นศูนย์ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 หยุดทำงาน เป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกค้อย ๆ เก็บประจุผ่านตัวต้านทานทำให้ตัวเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกค้อย ๆ ชีดตัวออก เมื่อสัญญาณพัลส์มีค่าเป็นบวกทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกค้อยประจุอย่างทันทีทันใดเกิดสภาวะหกดตัวอย่างทันทีทันใด

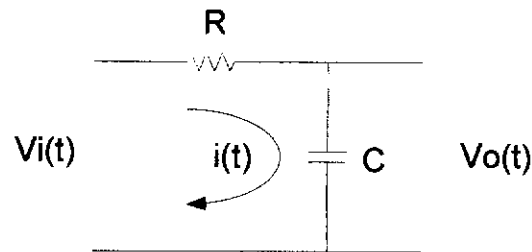
จากวงจรถควบคุมการหกดตัวของเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใดทำให้เกิดแรงดันคคกร้อมตัวเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกเมื่อเทียบกับสัญญาณพัลส์ทางด้านอินพุตดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สัญญาณแรงดันคคกร้อมตัวเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกที่เกิดจากวงจรถควบคุมการหกดตัวของเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกแบบทันทีทันใด

4.1.2.3 การคำนวณหาค่าความต้านทานที่ค้อยกับเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิก

การคำนวณหาค่าความต้านทานที่ค้อยกับเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกสามารถคำนวณได้จากสมการการเก็บประจุของตัวเก็บประจุผ่านตัวต้านทาน เพื่อนำค่าความต้านทานนั้นมาค้อยกับเป็ยโซอิล็กทริกเซรามิกซึ่งมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเสมือนตัวเก็บประจุ ซึ่งเมื่อค้อยแล้วทำให้เวลาในการเก็บประจุมีช่วงเวลาอยู่ภายในช่วงความกว้างของสัญญาณพัลส์ ซึ่งความกว้างของพัลส์ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่จ่ายเข้ามา วิธีการคำนวณหาสมการที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานมีวิธีการค้อยนี้



รูปที่ 4.6 วงจรแสดงการเก็บประจุของตัวเก็บประจุผ่านตัวต้านทาน

$$V_i(t) = Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (4.1)$$

$$V_o(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (4.2)$$

แปลงลาปลาซสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$V_i(s) = RI(s) + \frac{1}{CS} I(s) \quad (4.3)$$

$$V_o(s) = \frac{1}{CS} I(s) \quad (4.4)$$

จากสมการที่ 4.4

$$I(s) = CSV_o(s) \quad (4.5)$$

แทนสมการที่ 4.5 ในสมการที่ 4.3

$$V_i(s) = RCSV_o(s) + V_o(s)$$

$$V_i(s) = [RCS + 1]V_o(s)$$

$$V_o(s) = \left[\frac{1}{RCS + 1} \right] V_i(s) \quad (4.6)$$

เนื่องจากสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณพัลส์จึงแทน $V_i(s) = \frac{1}{S}$ ในสมการที่ 4.6

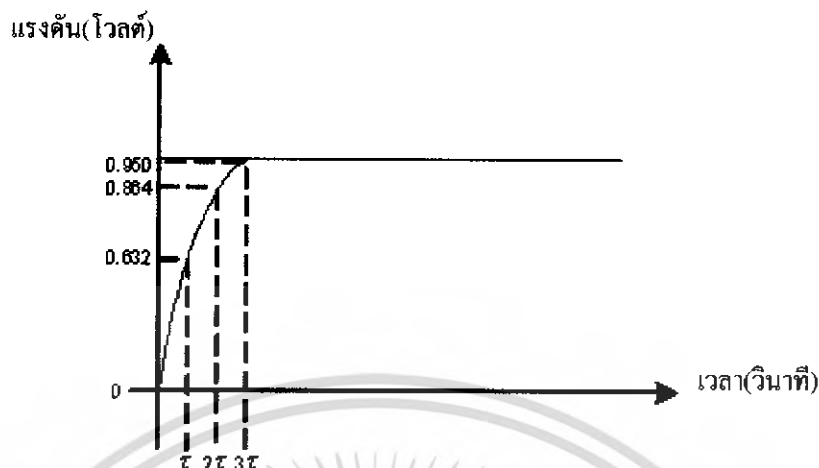
$$V_o(s) = \frac{1}{S(RCS + 1)} \quad (4.7)$$

แปลงลาปลาซกลับในสมการที่ 4.7 กำหนดให้ $RC = \tau$

$$V_o(t) = 1 - e^{-\frac{t}{RC}} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟผลตอบสนองของระบบต่อสัญญาณหนึ่งหน่วย แสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณผลตอบสนองของระบบต่อสัญญาณหนึ่งหน่วย

จากรูปที่ 4.7 แรงดันที่ติดคร่อมตัวเก็บประจุจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าแรงดันที่เวลา $3t$ หรือเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณอินพุตจึงจะทำให้สัญญาณทางเอาต์พุตมีแรงดันใกล้เคียงกับแรงดันอินพุต ดังนั้นสัญญาณของพัลส์ในช่วงที่มีสัญญาณเป็นบวกต้องมีค่าช่วงคาบเวลามากกว่าหรือเท่ากับ $3t$ นำเงื่อนไขที่กล่าวมานี้เขียนสมการหาค่าความต้านทานได้ดังนี้

กำหนดให้ช่วงคาบเวลาที่สัญญาณพัลส์มีค่าเป็นบวกเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น



รูปที่ 4.8 แสดงคาบเวลาของสัญญาณพัลส์ในหนึ่งลูกคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{T}{2} \geq 3\tau \quad (4.8)$$

แทนค่า: $\tau = RC, T = \frac{1}{f}$ ในสมการที่ 4.8

$$\frac{1}{2f} \geq 3RC$$

สมการหาค่าความต้านทาน คือ

$$R \leq \frac{1}{6Cf} \quad (4.9)$$

จากสมการที่ 4.9 จำนวนหาค่าความต้านทานโดยแทนค่า $C = 0.09$ ไมโครฟารัด ซึ่งเป็นค่าคุณสมบัติการเก็บประจุของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก กำหนดค่าความถี่เท่ากับ 20 กิโลเฮิร์ต แทนค่า $C = 0.09 \times 10^{-6}$, $f = 20 \times 10^3$ ในสมการที่ 4.9

$$R \leq \frac{1}{6(0.09 \times 10^{-6})(20 \times 10^3)}$$

$$R \leq 92.5 \Omega$$

เนื่องจากแรงดันที่ใช้ในการขับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกมีค่าสูงจึงต้องคำนึงถึงค่ากำลังงานที่ตัวต้านทานสามารถทนได้ ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวต้านทานแบบเซรามิกที่สามารถทนกำลังงานได้สูงนำมาต่ออนุกรมและขนานเพื่อให้ค่าความต้านทานมีค่าตรงกับค่าความต้านทานที่ได้จากการคำนวณ วิธีการกำลังงานของตัวต้านทานมีวิธีการดังนี้

กำหนดค่าแรงดันเท่ากับ 30 โวลต์

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{(30)^2}{82} = 10.96 \text{ วัตต์}$$

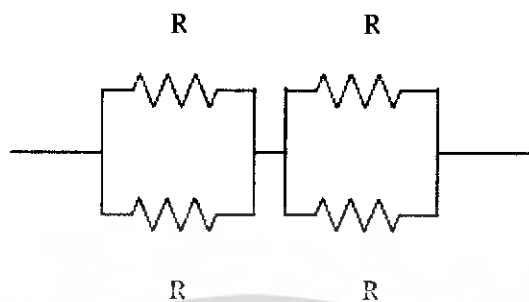
โดย $P =$ กำลังงาน

$E =$ แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน

$R =$ ค่าความต้านทานของตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อตัวต้านทานจะใช้ตัวต้านทานแบบเซรามิกมีค่า 82 โอห์ม 10 วัตต์ มาต่ออนุกรมและขนานเพื่อให้ได้ค่าความต้านทาน 82 โอห์ม แสดงวิธีการต่อดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการต่อตัวต้านทานแบบเซรามิก

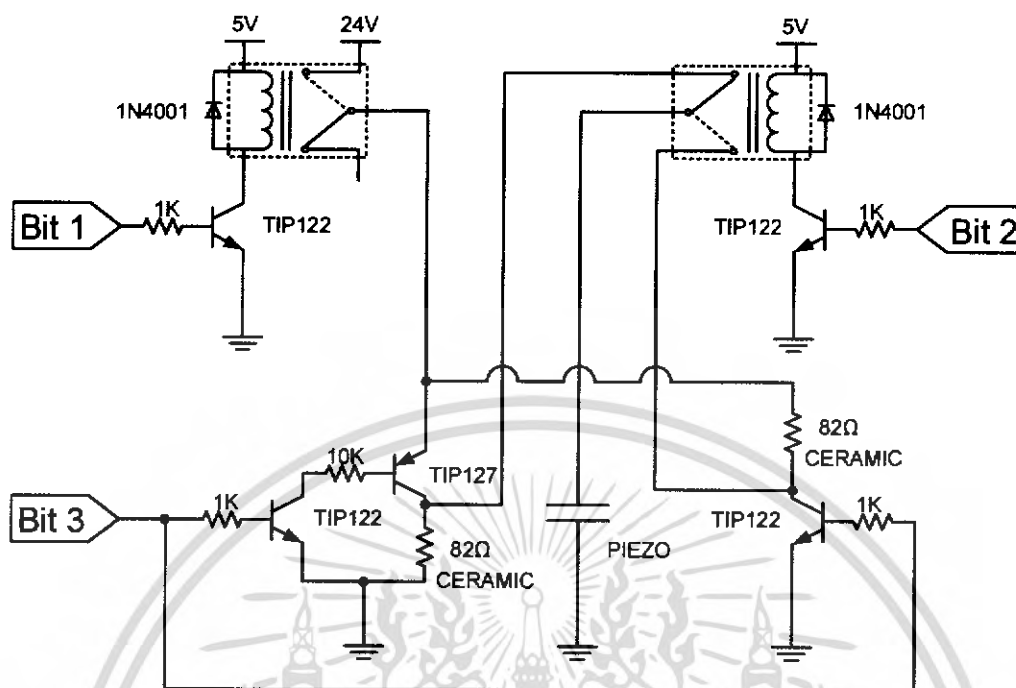
จากรูปที่ 4.9 กำลังงานของตัวต้านทานแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ

$$P_R = \frac{E_R^2}{R} = \frac{[30/2]^2}{82} = 2.74 \text{ วัตต์}$$

โดย E_R = แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว
 R = ค่าความต้านทานของตัวต้านทาน

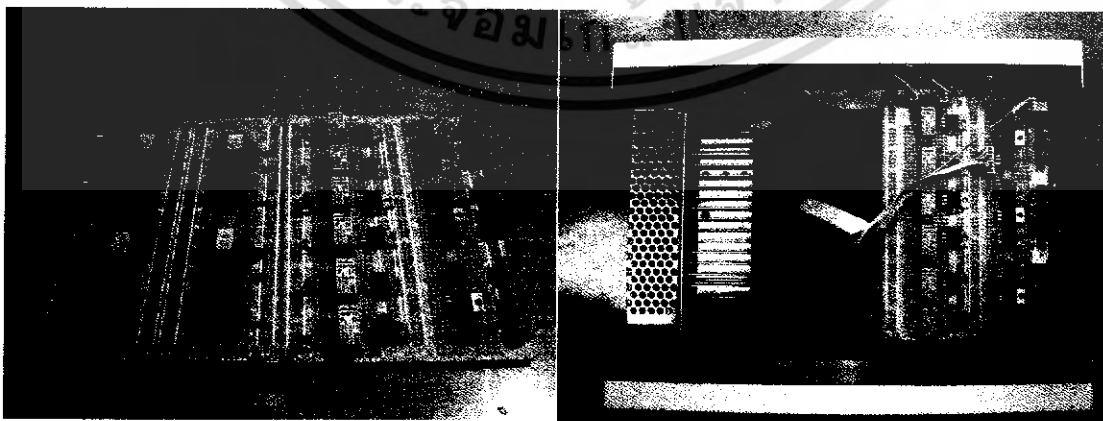
จากการคำนวณได้ค่ากำลังงานตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 2.74 วัตต์ ซึ่งหมายความว่าตัวต้านทานแต่ละตัวสามารถทนกำลังงานตกคร่อมได้ เนื่องจากตัวต้านทานแต่ละตัวสามารถทนกำลังงานได้ 10 วัตต์

4.1.2.4 วงจรรวมควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็ก



รูปที่ 4.10 วงจรรวมควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็ก

รูปที่ 4.10 เป็นวงจรรวมที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็กซึ่งเป็นการรวมเอาวงจรขับเบี่ยโซลิดสเตททรานซิสเตอร์แบบหัดตัวทันทีทันใดและวงจรขับเบี่ยโซลิดสเตททรานซิสเตอร์แบบยึดตัวทันทีทันใดไว้ในวงจรเดียวกัน การควบคุมแหล่งจ่ายไฟและการเลือกการทำงานของวงจรถูกควบคุมโดยบิตควบคุมที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนบิตที่ 3 จะเป็นบิตที่ส่งค่าความถี่ให้กับวงจรขับเบี่ยโซลิดสเตททรานซิสเตอร์ โดยวงจรในรูปที่ 4.9 นี้เป็นวงจรที่ใช้ขับเบี่ยโซลิดสเตททรานซิสเตอร์ได้จำนวน 1 ตัว วงจรควบคุมแขนกลขนาดเล็กที่เสร็จสมบูรณ์มีลักษณะดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 วงจรควบคุมแขนกลขนาดเล็กที่เสร็จสมบูรณ์

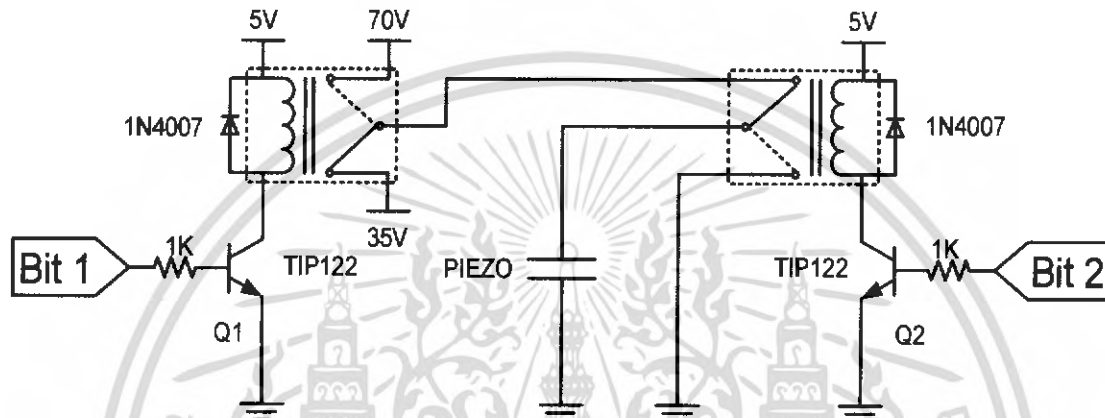
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรควบคุมขาของหุ่นยนต์

วงจรที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของขาหุ่นยนต์ประกอบด้วยวงจรรย่อย 2 วงจรคือ

1. วงจรควบคุมเบี่ยงโซอิล็กทริกเซรามิก
2. วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

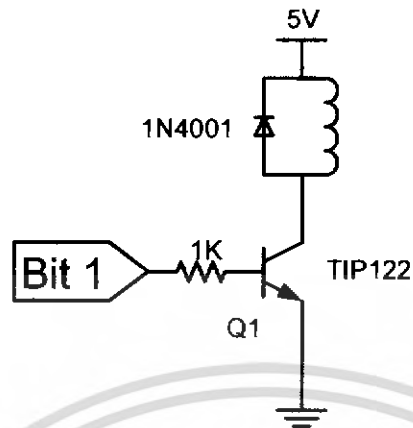
4.2.1 วงจรควบคุมเบี่ยงโซอิล็กทริกเซรามิก



รูปที่ 4.12 วงจรควบคุมเบี่ยงโซอิล็กทริกเซรามิก

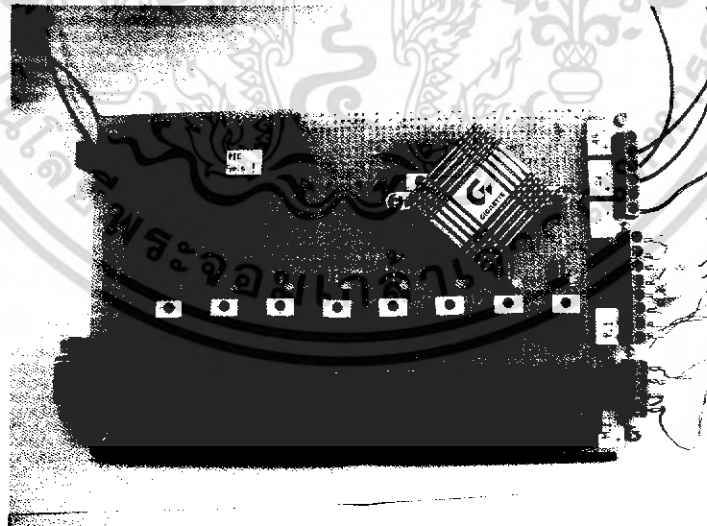
รูปที่ 4.12 เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมเบี่ยงโซอิล็กทริกเซรามิก 1 ตัวที่ส่วนขาของหุ่นยนต์ โดยบิตที่ 1 จะใช้ในการควบคุมแหล่งจ่ายไฟ เมื่อได้รับลอจิก 1 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานเป็นการเลือกแหล่งจ่ายไฟ 70 โวลต์และจะเลือกแหล่งจ่ายไฟ 35 โวลต์เมื่อได้รับลอจิก 0 ส่วนบิตที่ 2 ใช้ในการควบคุมการยืดและหดตัวของเบี่ยงโซอิล็กทริกเซรามิก เมื่อได้รับลอจิก 1 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงานเบี่ยงโซอิล็กทริกเซรามิกจะทำการคายประจุทำให้หดตัวลงและเมื่อได้รับลอจิก 0 เบี่ยงโซอิล็กทริกเซรามิกก็จะทำการยืดตัว

4.2.2 วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.



รูปที่ 4.13 วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

รูปที่ 4.13 เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ขดที่ส่วนขาของหุ่นยนต์ โดย เมื่อได้รับลอจิก 1 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงาน กระแสจะไหลผ่านขดลวดและทรานซิสเตอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น เมื่อได้รับลอจิก 0 ทรานซิสเตอร์ Q1 จะหยุดทำงาน ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดจึงไม่เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า รูปที่ 4.14 เป็นรูปแสดงวงจรควบคุมส่วนขาหุ่นยนต์ที่เสร็จสมบูรณ์



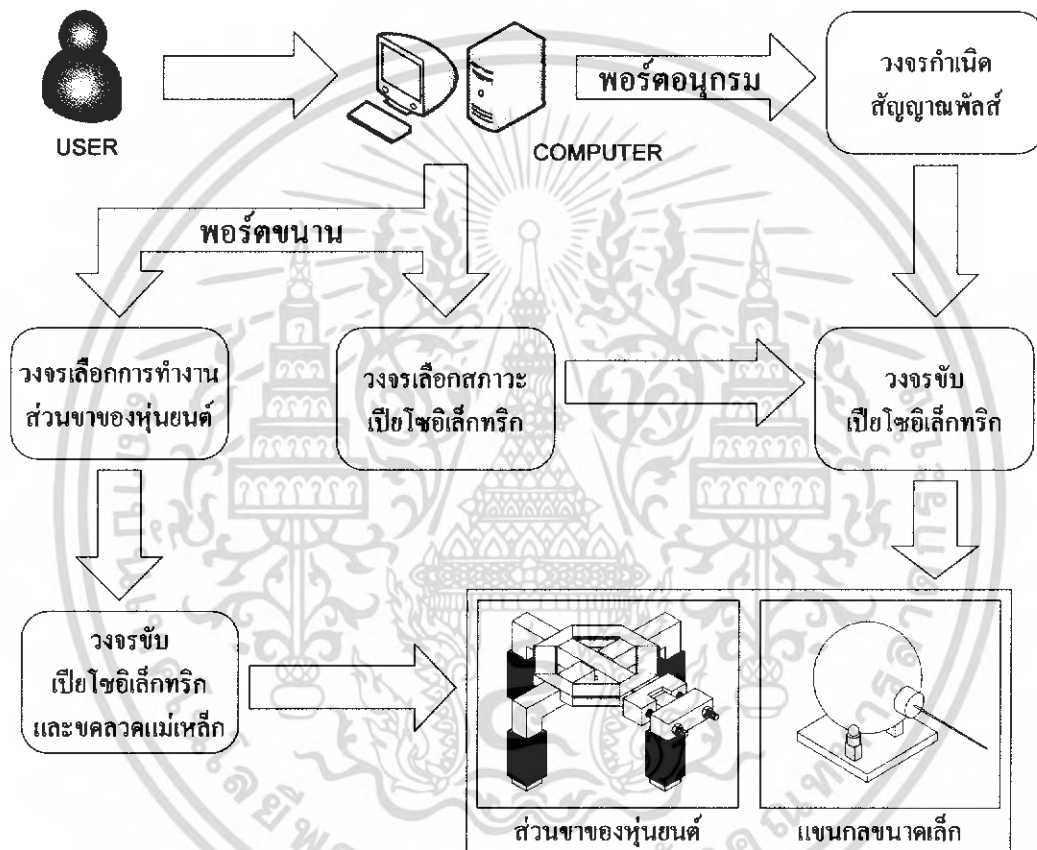
รูปที่ 4.14 วงจรควบคุมส่วนขาหุ่นยนต์ที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

ในบทนี้จะกล่าวถึงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ผ่านทางคอมพิวเตอร์และโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถเขียนเป็นบล็อกไคอะแกรมแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 บล็อกไคอะแกรมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

จากรูปที่ 5.1 อธิบายการทำงานของบล็อกไคอะแกรมได้ดังนี้ ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขนาดเล็กได้โดยผ่านทางคอมพิวเตอร์ ในส่วนของการควบคุมแขนกลขนาดเล็ก คอมพิวเตอร์ควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมให้วงจรถ้าเนิดสัญญาณพัลส์และส่งสัญญาณควบคุมผ่านทางพอร์ตขนานไปยังวงจรถือสถานะ Piezoelectric เซรามิก เพื่อใช้ในการจับแขนกลขนาดเล็ก ในส่วนขาหุ่นยนต์คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตขนานไปยังวงจรถือการทํางานส่วนขาหุ่นยนต์เพื่อใช้จับส่วนขาหุ่นยนต์ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ในรูปแบบใด

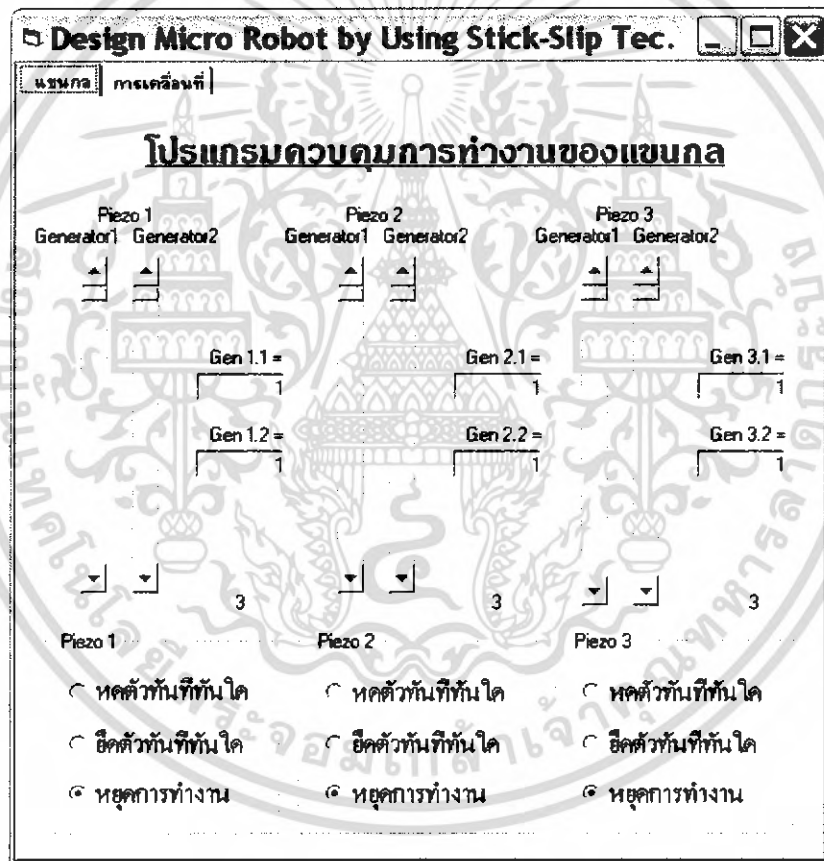
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ผ่านทางคอมพิวเตอร์

ผู้ใช้งานสามารถควบคุมหุ่นยนต์ขนาดเล็กโดยผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ โดยหน้าจอควบคุมแบ่งออกเป็น 2 แบบดังนี้

1. หน้าจอควบคุมการทำงานของแขนกลขนาดเล็ก
2. หน้าจอควบคุมการทำงานของขาหุ่นยนต์

รูปที่ 5.2 เป็นหน้าจอควบคุมการทำงานของแขนกลขนาดเล็ก สามารถควบคุมเปียโซอิเล็กทรอนิกส์เซรามิกทั้ง 3 ตัวแบบแยกอิสระต่อกัน โดยสามารถกำหนดว่าจะทำงานในสภาวะใด (หกดัวทันทีทันใด ยึดตัวทันทีทันใดและหยุดการทำงาน) และสามารถกำหนดค่าความถี่ใช้งานได้ตั้งแต่ 0 - 20 กิโลเฮิร์ต



รูปที่ 5.2 หน้าจอควบคุมการทำงานของแขนกลขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้งานกำหนดรูปแบบการทำงานให้กับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณควบคุม 2 สัญญาณออกจากคอมพิวเตอร์ สัญญาณควบคุมแรกเป็นสัญญาณที่ใช้ในการเลือกการทำงานของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกว่าจะให้เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวใดทำงานและทำงานในสถานะใด โดยสัญญาณดังกล่าวนี้จะส่งออกมาทางพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ตัวหลักของวงจรควบคุมแขนกลขนาดเล็ก ส่วนสัญญาณควบคุมที่สองเป็นค่าของความถี่ที่ใช้ในการขับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก โดยจะส่งออกมาทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่ส่งไปยังวงจรขับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกทางขา HPWM



รูปที่ 5.3 หน้าจอควบคุมการทำงานของขาหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 เป็นหน้าจอบคุมการทำงานของขานุ่นยนต์ ผู้ใช้งานสามารถเลือกทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้จากปุ่มกำหนดทิศทาง เมื่อปุ่มใดปุ่มหนึ่งถูกกดคอมพิวเตอร์จะทำการส่งสัญญาณลักษณะการเคลื่อนที่นั้น ๆ ออกจากคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนานส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ตัวหลักของวงจรควบคุมขานุ่นยนต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสร้างสัญญาณควบคุมที่มีลักษณะเป็นลำดับขั้น (Sequence) ไปยังวงจรควบคุมเปียโซอิเล็กทริกเซรามิค และวงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

การเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ผ่านทางคอมพิวเตอร์ ใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกในการเขียน สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะอยู่ในภาคผนวก ก. ในส่วนท้ายของปริญญานิพนธ์

5.2 โปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ในส่วนแขนกลขนาดเล็กละจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด 4 ตัว แบ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับสร้างความถี่ 3 ตัวและไมโครคอนโทรลเลอร์หลักในการควบคุมแขนกลขนาดเล็กละ 1 ตัว ในส่วนขาของหุ่นยนต์จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 ตัวในการควบคุมลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

โปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้จะอยู่ในภาคผนวก ก. ในส่วนท้ายของปริญญานิพนธ์

บทที่ 6

ผลการทดลองและการควบคุมหุ่นยนต์

การทดลองในบทนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลตอบสนองของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกในส่วนแขนกลขนาดเล็กต่อค่าความถี่ต่าง ๆ การหาค่าความถี่ที่เหมาะสมที่ทำให้แขนกลขนาดเล็กเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ และการหาอัตราเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทางของขาหุ่นยนต์

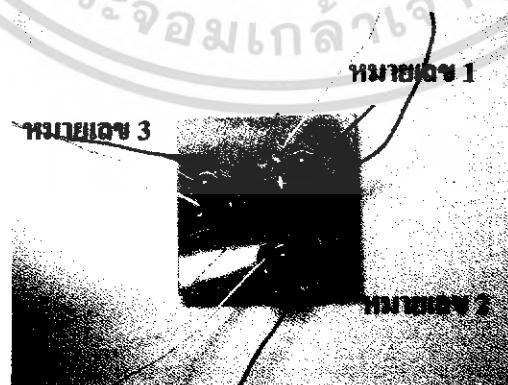
6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. หุ่นยนต์ขนาดเล็ก
2. วงจรขับแขนกลขนาดเล็กและวงจรขับขาหุ่นยนต์
3. โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่
4. แผ่นเหล็กผิวเรียบสำหรับใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

6.2 การทดลองที่ 1 การหาผลตอบสนองของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกในส่วนแขนกลขนาดเล็กต่อค่าความถี่ต่าง ๆ

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาผลตอบสนองทางความถี่ของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกในส่วนแขนกลขนาดเล็กแต่ละตัวว่าในย่านความถี่ใดที่สามารถทำงานตามหลักการที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ โดยเริ่มจากวงจรขับแบบฮีดตัวทันทีทันใดและวงจรขับแบบหาคตัวทันทีทันใดตามลำดับสังเกตทิศทางการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็กที่ได้จากการทดลอง โดยกำหนดให้เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกบนส่วนแขนกลขนาดเล็กมีหมายเลขดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 หมายเลขของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่แสดงในตารางผลการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1 วงจรขับเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบยึดตัวทันทีทันใด

จากการทดลองพบว่าผลการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 6.1

- 0 หมายถึง หุ่นยนต์ไม่เคลื่อนที่
 1 หมายถึง หุ่นยนต์เคลื่อนตามแนวแกน (ตามรูปที่ 3.21 ในบทที่ 3)
 -1 หมายถึง หุ่นยนต์เคลื่อนที่นอกแนวแกน

ความถี่ (Hz)	เพียโซอิเล็กทริกตัวที่			ความถี่ (Hz)	เพียโซอิเล็กทริกตัวที่		
	1	2	3		1	2	3
200	1	1	-1	4200	-1	1	0
400	0	0	0	4400	-1	1	-1
600	1	0	-1	4600	-1	1	-1
800	0	0	0	4800	-1	1	0
1000	0	0	0	5000	-1	1	0
1200	0	0	0	5200	-1	1	0
1400	1	-1	-1	5400	-1	1	1
1600	1	1	-1	5600	-1	1	1
1800	0	1	-1	5800	1	1	1
2000	1	1	-1	6000	-1	1	1
2200	1	0	1	6200	-1	1	-1
2400	1	0	-1	6400	-1	1	1
2600	-1	0	-1	6600	-1	1	1
2800	-1	0	0	6800	0	1	-1
3000	-1	0	-1	7000	0	1	-1
3200	1	1	0	7200	0	1	-1
3400	-1	1	-1	7400	1	1	-1
3600	-1	1	-1	7600	1	1	-1
3800	-1	1	-1	7800	1	1	1
4000	1	1	-1	8000	1	1	1

ตารางที่ 6.1 ตารางผลการทดลองทิศการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อใช้วงจรยึดตัวทันทีทันใด
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ (Hz)	เฟสโวลติจ์ที่			ความถี่ (Hz)	เฟสโวลติจ์ที่		
	1	2	3		1	2	3
8200	0	1	1	13000	-1	1	1
8400	1	1	1	13200	-1	1	1
8600	-1	1	1	13400	-1	1	1
8800	1	1	1	13600	1	1	1
9000	1	1	1	13800	1	-1	1
9200	1	1	-1	14000	-1	-1	1
9400	1	1	-1	14200	-1	-1	1
9600	1	1	-1	14400	1	-1	1
9800	1	1	-1	14600	1	-1	1
10000	1	1	-1	14800	1	-1	1
10200	1	1	1	15000	-1	-1	1
10400	1	1	-1	15200	-1	-1	1
10600	1	1	1	15400	-1	-1	1
10800	1	-1	1	15600	-1	-1	1
11000	1	-1	1	15800	-1	-1	1
11200	1	1	0	16000	1	-1	1
11400	1	1	1	16200	0	-1	1
11600	-1	1	1	16400	-1	1	1
11800	-1	1	1	16600	-1	1	1
12000	-1	1	1	16800	-1	1	1
12200	-1	1	1	17000	-1	1	1
12400	-1	1	1	17200	-1	1	1
12600	-1	1	1	17400	-1	1	1
12800	-1	1	1	17600	-1	1	1

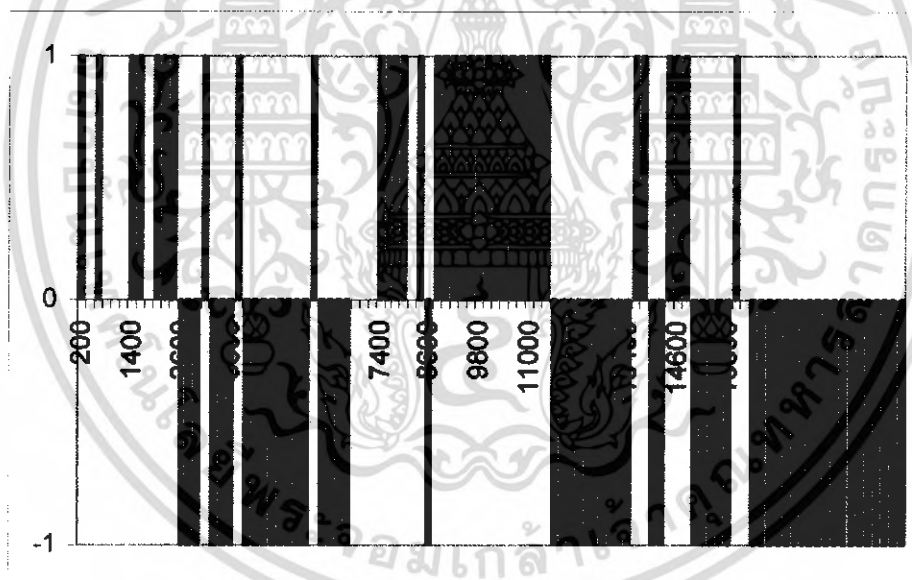
ตารางที่ 6.1 ตารางผลการทดลองที่ผลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อใช้วงจรยึดตัวทันทีทันใด (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ (Hz)	เป็ยโซอิเล็กทริกตัวที่			ความถี่ (Hz)	เป็ยโซอิเล็กทริกตัวที่		
	1	2	3		1	2	3
17800	-1	1	1	19000	-1	0	1
18000	-1	1	-1	19200	-1	0	1
18200	-1	0	-1	19400	-1	0	-1
18400	-1	0	1	19600	-1	0	-1
18600	-1	0	1	19800	-1	-1	-1
18800	-1	0	1	20000	-1	-1	-1

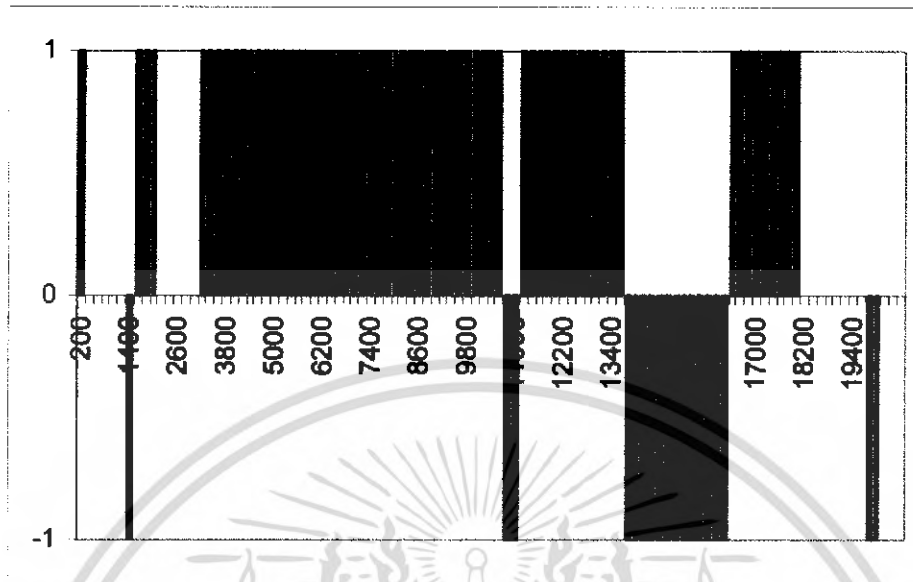
ตารางที่ 6.1 ตารางผลการทดลองทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อใช้วงจรมอเตอร์ที่ทันใด (ต่อ)

กราฟแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของเป็ยโซอิเล็กทริกเซรามิค

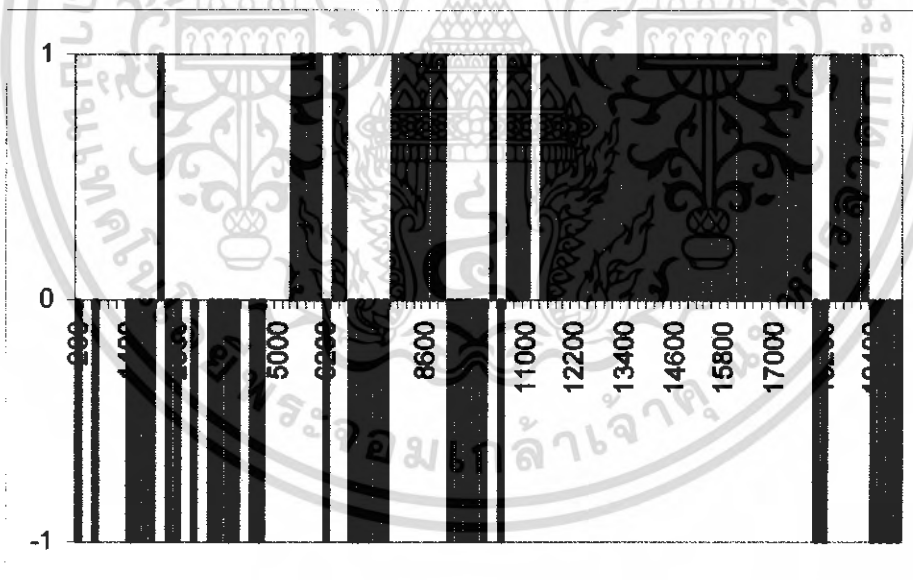


กราฟที่ 6.1 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิเล็กทริกตัวที่ 1 จากการทดลองที่ 6.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6.2 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิลีกทริกคว์ที่ 2 จากการทดลองที่ 6.2.1



กราฟที่ 6.3 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิลีกทริกคว์ที่ 3 จากการทดลองที่ 6.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 วงจรขับเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกแบบหกดตัวทันทีทันใด

จากการทดลองพบว่าผลการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 6.2

- 0 หมายถึง หุ่นยนต์ไม่เคลื่อนที่
 1 หมายถึง หุ่นยนต์เคลื่อนตามแนวแกน (ตามรูปที่ 3.21 ในบทที่ 3)
 -1 หมายถึง หุ่นยนต์เคลื่อนที่นอกแนวแกน

ความถี่ (Hz)	เพียโซอิเล็กทริกตัวที่			ความถี่ (Hz)	เพียโซอิเล็กทริกตัวที่		
	1	2	3		1	2	3
200	1	1	0	4200	1	1	1
400	0	0	0	4400	1	0	1
600	1	-1	1	4600	1	-1	1
800	0	0	0	4800	1	0	1
1000	0	0	0	5000	1	0	1
1200	0	0	0	5200	1	0	1
1400	0	0	0	5400	0	-1	1
1600	0	0	-1	5600	1	0	1
1800	1	-1	-1	5800	1	0	1
2000	1	-1	-1	6000	1	1	1
2200	1	0	0	6200	1	1	-1
2400	1	0	0	6400	0	1	-1
2600	1	0	0	6600	0	1	-1
2800	0	0	0	6800	1	-1	-1
3000	1	0	0	7000	1	-1	1
3200	1	0	0	7200	1	-1	1
3400	1	1	1	7400	1	-1	1
3600	1	0	0	7600	1	-1	1
3800	1	1	0	7800	1	-1	1
4000	1	1	1	8000	1	1	1

ตารางที่ 6.2 ตารางผลการทดลองทิศการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อใช้วงจรหกดตัวทันทีทันใด
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ (Hz)	เฟียโซอิเล็กทริกตัวที่			ความถี่ (Hz)	เฟียโซอิเล็กทริกตัวที่		
	1	2	3		1	2	3
8200	1	1	1	13000	0	1	1
8400	1	1	1	13200	1	0	1
8600	1	1	1	13400	1	0	1
8800	1	1	1	13600	1	0	1
9000	1	1	1	13800	1	1	1
9200	1	1	1	14000	1	1	1
9400	1	1	1	14200	1	1	1
9600	1	1	1	14400	1	1	1
9800	1	1	1	14600	1	1	1
10000	1	1	1	14800	1	1	1
10200	1	-1	1	15000	1	1	1
10400	1	-1	1	15200	1	1	1
10600	1	-1	1	15400	1	1	1
10800	1	-1	1	15600	1	1	1
11000	0	-1	1	15800	-1	1	1
11200	0	1	1	16000	-1	1	1
11400	0	1	1	16200	1	1	1
11600	0	1	1	16400	1	1	1
11800	0	1	0	16600	1	1	0
12000	0	1	0	16800	1	1	0
12200	0	1	-1	17000	1	1	0
12400	0	1	-1	17200	1	1	0
12600	0	1	-1	17400	1	1	-1
12800	0	1	1	17600	1	1	-1

ตารางที่ 6.2 ตารางผลการทดลองทิศการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อใช้วงจรถดตัวทันทีทันใด (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ (Hz)	เป็ยโซอิเล็กทริกตัวที่			ความถี่ (Hz)	เป็ยโซอิเล็กทริกตัวที่		
	1	2	3		1	2	3
17800	1	1	-1	19000	1	-1	0
18000	1	1	0	19200	-1	-1	1
18200	1	-1	0	19400	-1	-1	1
18400	1	-1	0	19600	-1	-1	-1
18600	1	-1	0	19800	-1	-1	1
18800	1	-1	0	20000	1	-1	1

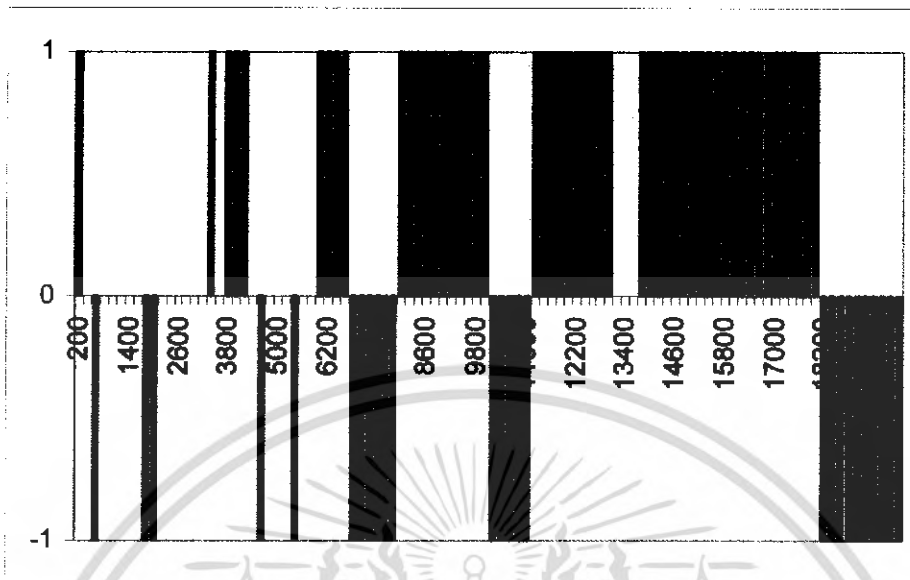
ตารางที่ 6.2 ตารางผลการทดลองที่ผลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อใช้วงจรหลอดตัวทันทีทันใด (ต่อ)

กราฟแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของเป็ย โซอิเล็กทริกเซรามิค



กราฟที่ 6.4 กราฟแสดงทิศทางของเป็ย โซอิเล็กทริกตัวที่ 1 จากการทดลองที่ 6.2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6.5 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิดเล็กทริกตัวที่ 2 จากการทดลองที่ 6.2 ?



กราฟที่ 6.6 กราฟแสดงทิศทางของเป็ยโซอิดเล็กทริกตัวที่ 3 จากการทดลองที่ 6.2 ?

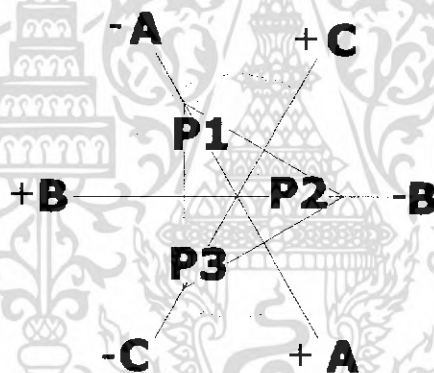
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3 สรุปผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองที่ 6.2.1 และ 6.2.2 พบว่าเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกจะมีความถี่ที่สามารถใช้งานได้เป็นช่วง ๆ โดยพิจารณาจากช่วงความถี่ที่ทำให้แกนกลขนาดเล็กละเอียดเคลื่อนที่อยู่ในแนวแกนตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแต่ละตัวจะมีช่วงค่าความถี่ใช้งานที่ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้วงจรขับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่แตกต่างกัน (วงจรมีตัวอย่างทันทีทันใดและหัดตัวแบบทันทีทันใด) สองวงจรขับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวเดิม ช่วงความถี่ใช้งานของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกก็จะแตกต่างกัน

6.3 การทดลองที่ 2 การหาค่าความถี่ที่เหมาะสมที่ทำให้แกนกลขนาดเล็กละเอียดเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนดไว้

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่าความถี่ที่เหมาะสมที่ทำให้แกนกลขนาดเล็กละเอียดเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนดไว้ทั้ง 6 ทิศทาง โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของแกนกลขนาดเล็กละเอียดแสดงดังรูปที่ 6.2 และบันทึกค่าความถี่ที่ได้ลงในตารางที่ 6.3



รูปที่ 6.2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแกนกลขนาดเล็กละเอียด

ทิศทางการหมุน	เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 1		เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 2		เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกตัวที่ 2	
	วงจรมี	วงจรมี	วงจรมี	วงจรมี	วงจรมี	วงจรมี
-A ไป +A	8815	3828	-	-	-	-
+A ไป -A	10813	18587	-	-	-	-
-B ไป +B	-	-	1848,4459	8434	-	-

ตารางที่ 6.3 ค่าความถี่ที่เหมาะสมในการทำให้แกนกลเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทาง การหมุน	เปียโซอิเล็กทริกเซรามิก ตัวที่ 1		เปียโซอิเล็กทริกเซรามิก ตัวที่ 2		เปียโซอิเล็กทริกเซรามิก ตัวที่ 2	
	วงจรรีด	วงจรถัด	วงจรรีด	วงจรถัด	วงจรรีด	วงจรถัด
+B ไป -B	-	-	-	19734	-	-
-C ไป +C	-	-	-	-	-	4391
+C ไป -C	-	-	-	-	5666,13816	7781

ตารางที่ 6.3 ค่าความถี่ที่เหมาะสมในการทำให้แกนกลเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนด (ต่อ)

6.3.1 สรุปผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองพบว่า ความถี่ที่เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ ของแกนกลขนาดเล็กจะอยู่ในช่วงความถี่ใช้งานของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแต่ละตัวที่หาได้จากผลการทดลองที่ 1 โดยการเคลื่อนที่ของแกนกลขนาดเล็กในทิศทางใดทิศทางหนึ่งนั้น สามารถมีค่าความถี่ใช้งานได้เป็นจำนวนหลายค่า

6.4 การทดลองที่ 3 การหาอัตราเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทางของขาหุ่นยนต์

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทางของขาหุ่นยนต์ โดยจะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นระยะเวลา 30 นาทีจากนั้นทำการวัดระยะทางที่ได้แล้วนำมาคำนวณเป็นอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของขาหุ่นยนต์และบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 6.4

รูปแบบ การเคลื่อนที่	ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในเวลา 30 นาที (1800 วินาที)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
เดินหน้า	4	4	4
ถอยหลัง	4	4	5
เลี้ยวซ้าย	4	4	4
เลี้ยวขวา	5	4	4

ตารางที่ 6.4 ระยะทางที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ในแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ การเคลื่อนที่	ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในเวลา 30 นาที (1800 วินาที)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
เดินเฉียงหน้าซ้าย	2.5	2.5	2.5
เดินเฉียงหน้าขวา	3	2.5	3
เดินเฉียงหลังซ้าย	2.5	3	3
เดินเฉียงหลังขวา	2.5	2.5	2.5

ตารางที่ 6.4 ระยะทางที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ในแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่ (ต่อ)

6.4.1 สรุปผลการทดลองที่ 3

จากการทดลองพบว่าระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้จากการเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยแล้วจะมีค่าเท่ากับ 4, 4.33, 4 และ 4.33 มิลลิเมตรตามลำดับ โดยการคำนวณหาอัตราเร็วของหุ่นยนต์สามารถหาได้ดังนี้

การคำนวณหาอัตราเร็วของขาหุ่นยนต์

ภายในเวลา 1.5 วินาทีที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ 1 STEP

ภายในเวลา 1800 วินาทีที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ $1800 / 1.5 = 1200$ STEP

จากตารางผลการทดลองที่ 6.4

ระยะทางเฉลี่ยที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในทิศเดินหน้ามีค่าเท่ากับ 4 มิลลิเมตร

ระยะทางในการเคลื่อนที่ต่อหนึ่ง STEP มีค่าเท่ากับ $4 / 1200 = 3$ ไมโครเมตรต่อSTEP

อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ต่อหนึ่ง STEP มีค่าเท่ากับ $3 / 1.5 = 2$ ไมโครเมตรต่อวินาที

สำหรับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ในทิศถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา มีค่าเท่ากับ 2.4, 2 และ 2.4 ไมโครเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ส่วนระยะเวลาของการเคลื่อนที่ 1 STEP ของการเคลื่อนที่แบบเดินเฉียงหน้าซ้าย เดินหน้าขวา เดินเฉียงหลังซ้ายและเดินเฉียงหลังขวา มีค่าเท่ากับ 2 วินาที ดังนั้นในเวลา 30 นาทีจะมีการเคลื่อนที่ทั้งหมด $1800/2 = 900$ STEP เมื่อคำนวณโดยใช้การคำนวณข้างต้นสามารถหาอัตราเร็วในการเคลื่อนที่แบบเดินเฉียงหน้าซ้าย, เดินเฉียงหน้าขวา, เดินเฉียงหลังซ้ายและเดินเฉียงหลังขวาได้เท่ากับ 1.3, 1.6, 1.6 และ 1.3 ไมโครเมตรต่อวินาทีตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับใช้งานทางด้านไมโครเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ โดยใช้เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกเป็นตัวขับเคลื่อนและใช้หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip ซึ่งเป็นหลักการเคลื่อนที่แบบ Direct Drive ทำให้ไม่มีผลจากคุณสมบัติของความไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกได้ หุ่นยนต์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักสองส่วน คือแกนกลขนาดเล็กซึ่งใช้หลักการเคลื่อนที่แบบ Stick-Slip และขาหุ่นยนต์ซึ่งใช้หลักการเคลื่อนที่แบบตัวหนอน การควบคุมหุ่นยนต์ใช้การควบคุมโดยผ่านทางคอมพิวเตอร์

จากสมมติฐานที่ตั้งไว้เบื้องต้นคือแกนกลขนาดเล็กจะทำงานได้เร็วขึ้นเมื่อความถี่ที่ป้อนให้กับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกมีค่ามาก แต่เมื่อทำการทดลองแล้วพบว่าค่าความถี่ที่มีค่าน้อยบางค่าก็สามารถทำให้แกนกลขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าค่าความถี่สูง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากค่าความถี่ธรรมชาติในการตอบสนองของเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกรวมกับวัตถุที่ต้องการให้เคลื่อนที่จะตอบสนองความถี่ได้ดีในช่วง ๆ หนึ่งเท่านั้น ปัจจัยที่มีผลกระทบทำให้ความถี่ธรรมชาติของตัวเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกเปลี่ยนแปลงคือ ตำแหน่งการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกแต่ละตัวที่ติดตั้งบนฐานของหุ่นยนต์จะตอบสนองต่อช่วงความถี่ที่แตกต่างกัน

ในส่วนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ได้ทำการหาอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ พบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในทิศทางเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย 2.20 ไมโครเมตรต่อวินาที เคลื่อนที่ในทิศทางเฉียงหน้าซ้าย เฉียงหน้าขวา เฉียงหลังซ้ายเฉียงหลังขวาดูด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย 1.45 ไมโครเมตรต่อวินาที

7.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางแก้ไข

ปัญหาที่พบในการทำวิจัยนี้จะเกี่ยวกับการทดลองเป็นส่วนมาก เนื่องจากหุ่นยนต์มีความละเอียดในการเคลื่อนที่สูงในระดับไมโครเมตร ทำให้การทดสอบหุ่นยนต์ว่าทำงานได้ถูกต้องหรือไม่และการบันทึกผลการทดลองหุ่นยนต์เป็นไปได้ยาก เพื่อการวิจัยที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ควรมีเครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนที่ที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

7.3 ข้อเสนอแนะและการพัฒนา

1. ปรับปรุงในส่วนวงจรการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ให้มีขนาดที่เล็กลง โดยนำเปียโซอิเล็กทริกทรานฟอเมอร์มาใช้งาน
2. ปรับปรุงให้หุ่นยนต์มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ให้มากขึ้นโดยการเปลี่ยนขนาดเปียโซอิเล็กทริกเซรามิกให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและเพิ่มแรงดันที่ใช้ขับเปียโซอิเล็กทริกเซรามิก (ในงานวิจัยนี้ใช้แรงดันเท่ากับ 70 โวลต์)
3. ปรับปรุงการเคลื่อนที่ของแขนกลขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้เปียโซอิเล็กทริกเซรามิกที่มีหน้าตัดมากขึ้น
4. คิดตั้งเซนเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับวัดค่าระยะทางที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

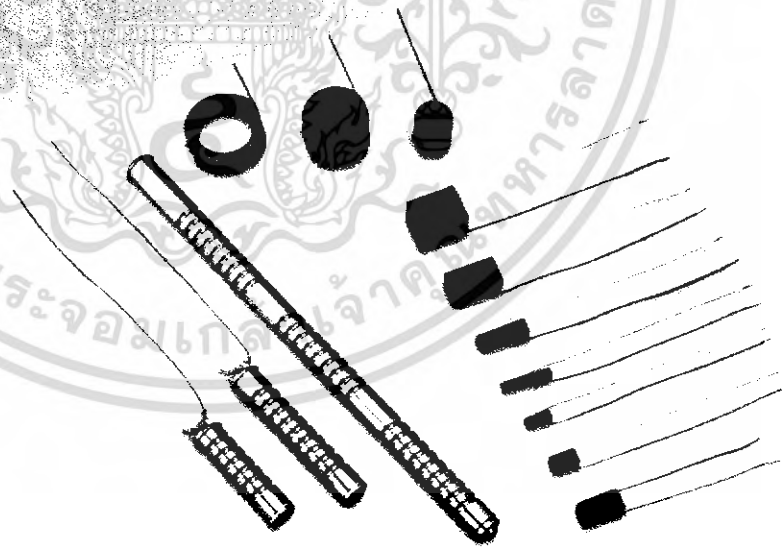


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vol.02

Multilayer Piezoelectric Actuators

Multilayer Piezoelectric Actuators



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NEC TOKIN's multilayer piezoelectric actuators are available in three series.

Resin-coated type General-purpose	Metal cased type High-power General-purpose
85°C rated AE series	85°C rated ASB series
	150°C rated ASL series

*AE series is resin-coated products. Therefore we recommend metallic case type, ASB or ASL series in high humidity condition.

NEC TOKIN's multilayer piezoelectric actuators were produced by our unique element structure technology using ceramic materials with high electrostrictive factors developed by NEC TOKIN.

Features

- Special ceramics developed by NEC TOKIN are used in piezoelectric ceramic elements.
- As compared with conventional actuator elements, NEC TOKIN's multilayer piezoelectric actuators have the following advantages:

■ Advantages over electromagnetic actuators

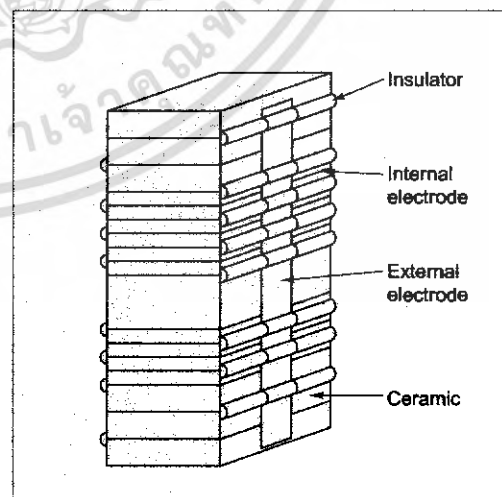
- Superior response
- High resolution for positioning
- Low power consumption
- No electromagnetic noise

■ Advantages over bimorph piezoelectric actuators

- High energy conversion efficiency (around 7 times the energy conversion efficiency of the bimorph type actuator), and low power consumption
- Large generated force
- Stable displacement, and reduced shift and creep phenomena
- Higher response speed (more than 100 times the response speed of the bimorph piezoelectric actuator)

■ Advantages over stacked piezoelectric actuators

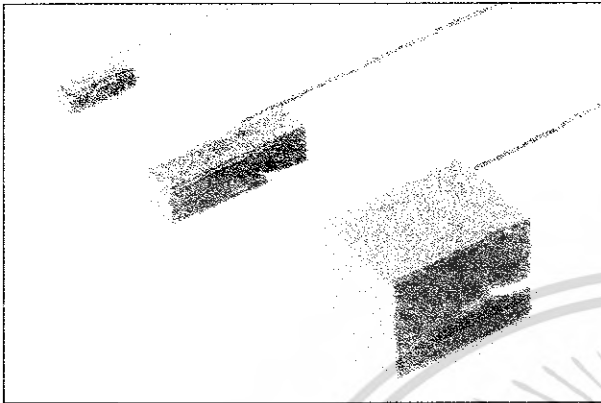
- Compact (less than 1/10 the specific ratio of the stacked piezoelectric actuator)
- Low drive voltage, and ease of use
- Inexpensive



Structure of NEC TOKIN's Multilayer Piezoelectric Actuator

Resin coated type multilayer piezoelectric actuators

AE Series



Outline

Multilayer piezoelectric actuators are ceramic elements for converting electrical energy into mechanical energy such as displacement or force by utilizing the piezoelectric longitudinal effect.

NEC TOKIN's multilayer piezoelectric actuators are produced based on our unique element structure design by making use of originally developed piezoelectric ceramic materials with high electrostrictive factors. Compared to conventional piezoelectric actuators, they are smaller in size but can generate higher displacement and force at low voltages.

Especially, the resin-coated AE series actuators feature compact size and wide variety in shape for use in ultra-fine positioning mechanisms and drive sources for various applications.

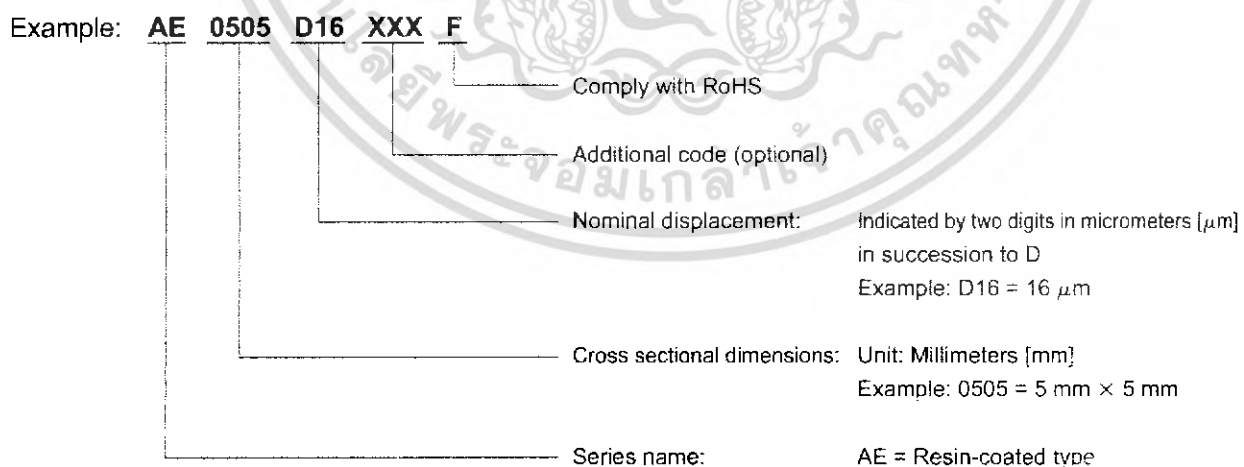
Features

- Large generated force: 3,500 N/cm² (typ.)
- High-speed response: Driving up to about 1/3 of self-resonant frequency (in several ten kHz) is possible.
- Accurate positioning: Controllable in nm.
- Low power consumption: Can be retained at the leakage current (100 μ A or less).
- Very small size: 1/10 or less of conventional multilayer actuators

Applications

Printer/magnetic head position adjustment, mirror/prism positioning, linear motors, pumps, vibration, valve drive, manipulators, etc.

Numbering system



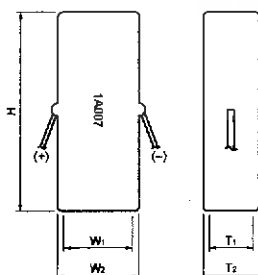
Standard Parts List

Model	Displacement [μm]		Generated force [N]	Resonance frequency [kHz]	Capacitance [μF]	Insulation resistance [M Ω] min.	Overall length [mm]
	Maximum driving voltage	Recommended driving voltage					
AE0203D04	4.6 \pm 1.5	3.0 \pm 1.5	200	261	0.09	100	5
AE0203D08	9.1 \pm 1.5	6.1 \pm 1.5	200	138	0.18	100	10
AE0203D16	17.4 \pm 2.0	11.6 \pm 2.0	200	69	0.35	50	20
AE0203D44H40	42.0 \pm 6.6	28.0 \pm 6.6	200	34	0.82	20	40
AE0505D08	9.1 \pm 1.5	6.1 \pm 1.5	850	138	0.75	50	10
AE0505D16	17.4 \pm 2.0	11.6 \pm 2.0	850	69	1.4	10	20
AE0505D44H40	42.0 \pm 6.6	28.0 \pm 6.6	850	34	3.4	5	40
AE1010D16	18.4 \pm 3.5	12.3 \pm 3.5	3,500	69	5.4	5	20
AE1010D44H40	42.0 \pm 6.6	28.0 \pm 6.6	3,500	34	13.6	2	40
AE1414D16	18.4 \pm 3.5	12.3 \pm 3.5	7,000	69	10.8	2	20
AE2525D15	15.6 \pm 2.0	10.1 \pm 2.0	20,000	69	30.5	0.4	20

Performance

Item	Standard	Conditions
Operating temperature range	-25 to +85 C	When applied with a DC voltage: Ambient temperature When driven by an AC voltage: Ambient temperature + Temperature rise due to generated heat
Maximum driving voltage	150VDC	
Recommended driving voltage	100VDC	
Displacement	See the standard parts list	
Generated force (compression resistance)	See the standard parts list	The force required for restricting the displacement to 0 when the maximum driving voltage is applied.
Capacitance	See the standard parts list	
Capacitance allowance	+/-20 %	f=1kHz
Dissipation factor	3.5 to 5.0%	
Insulation resistance	See the standard parts list	Value obtained in 1 minute at 150 VDC
Resonance frequency	See the standard parts list	With both ends of element in free state Typical value of the element under our test conditions
Tensile strength	1/10 of generated force	Typical value of the element under our test conditions
Young's modulus	4.4 x 10 ¹⁰ N/m ²	Typical value of the element under our test conditions
Temperature cycle test	Displacement: Initial value \pm 20%	Room temperature (3 min)
	Capacitance: Initial value \pm 30%	-25 C (30 min.)
	tan δ : Less than initial rated value	Room temperature (3 min)
	Insulation resistance: 1 M Ω or more	+85 C (30 min.)
Appearance: No noticeable defect	Repetition of 10 cycles of the above	

Outer Dimensions



Unit: mm

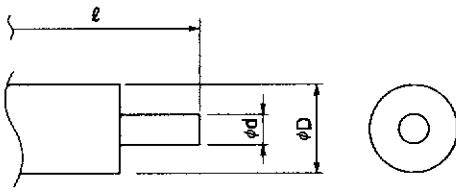
Model	T ₁	W ₁	H	T ₂	W ₂	ℓ*
AE0203D04	2 \pm 0.1	3 \pm 0.1	5 \pm 0.1	3.5max.	4.5max.	100
AE0203D08	2 \pm 0.1	3 \pm 0.1	10 \pm 0.1	3.5max.	4.5max.	100
AE0203D16	2 \pm 0.1	3 \pm 0.1	20 \pm 0.1	3.5max.	4.5max.	100
AE0203D44H40	2 \pm 0.1	3 \pm 0.1	40 \pm 0.1	3.5max.	4.5max.	100
AE0505D08	5 \pm 0.1	5 \pm 0.1	10 \pm 0.1	6.5max.	6.5max.	100
AE0505D16	5 \pm 0.1	5 \pm 0.1	20 \pm 0.1	6.5max.	6.5max.	100
AE0505D44H40	5 \pm 0.1	5 \pm 0.1	40 \pm 0.1	6.5max.	6.5max.	100
AE1010D16	10 \pm 0.1	10 \pm 0.1	20 \pm 0.1	11.5max.	11.5max.	100
AE1010D44H40	10 \pm 0.1	10 \pm 0.1	40 \pm 0.1	11.5max.	11.5max.	100
AE1414D16	14.2 \pm 0.1	14.2 \pm 0.1	20 \pm 0.1	15.7max.	15.7max.	100
AE2525D15	25.1 \pm 0.1	25.1 \pm 0.1	20 \pm 0.1	26.6max.	26.6max.	100

Note:

Factory-shipped polarization : Red lead wire = (+),
white lead wire = (-)

*Length of lead wire

Wire diameter



φd = Diameter of lead wire
 φD = Outer diameter including the thickness of coating
 ℓ = Length of lead wire

Model Number	φd*	φD*	ℓ*
AE0203D08	0.3	0.5	100
AE0203D16	0.3	0.5	100
AE0505D08	0.3	0.5	100
AE0505D16	0.5	0.8	100
AE1010D16	0.5	0.8	100
AE1414D16	0.5	0.8	100

* Typ.

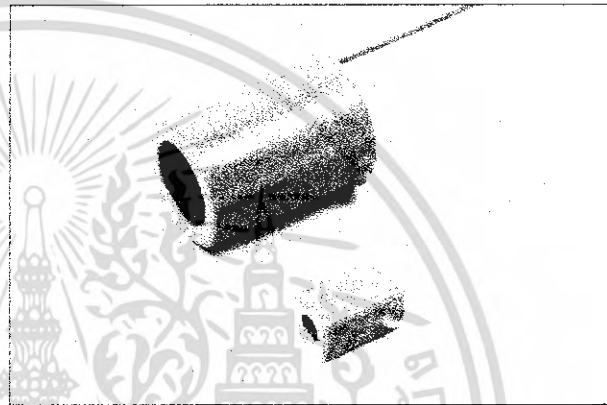
Special Design Parts

Non-standard parts may be manufactured on order. With regard to the generated displacement and generated force, use the guideline below with the performance of the standard parts as the reference.

Displacement: Roughly proportional to the element length

Generated force: Roughly proportional to the sectional area of the element

Please contact us for further details.



Characteristic Data

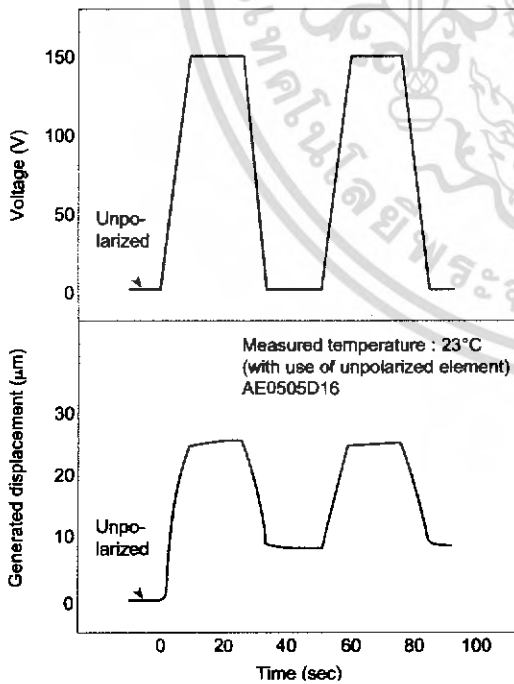


Fig. 1 Voltage and generated displacement vs time characteristics

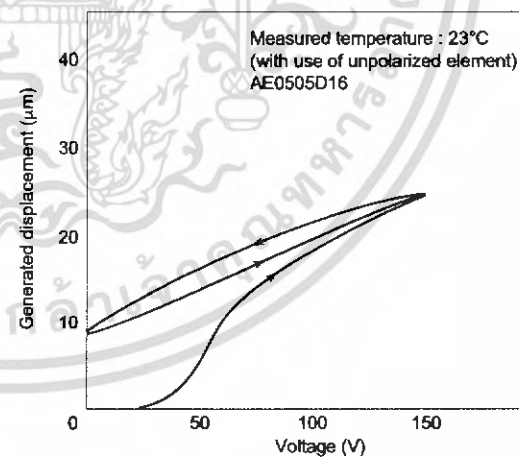


Fig. 2 Voltage vs generated displacement characteristics

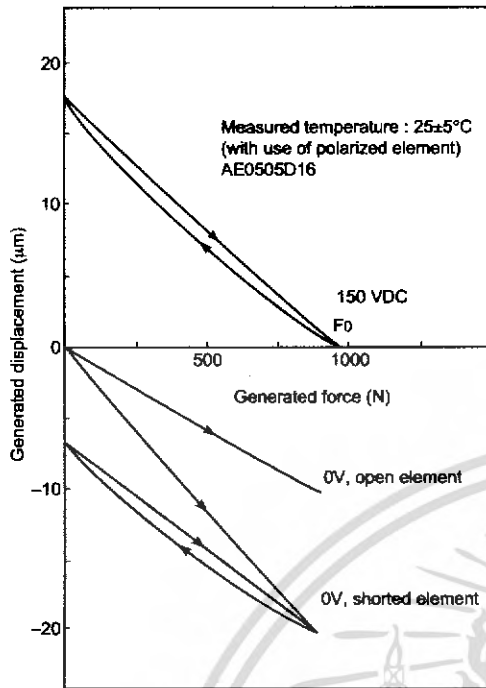


Fig. 3 Generated Force vs Generated Displacement Characteristics

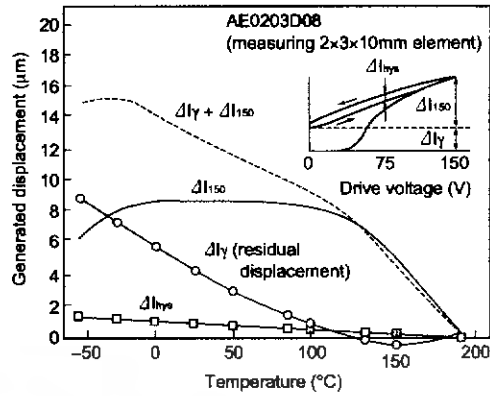


Fig. 4 Temperature characteristics of generated displacement

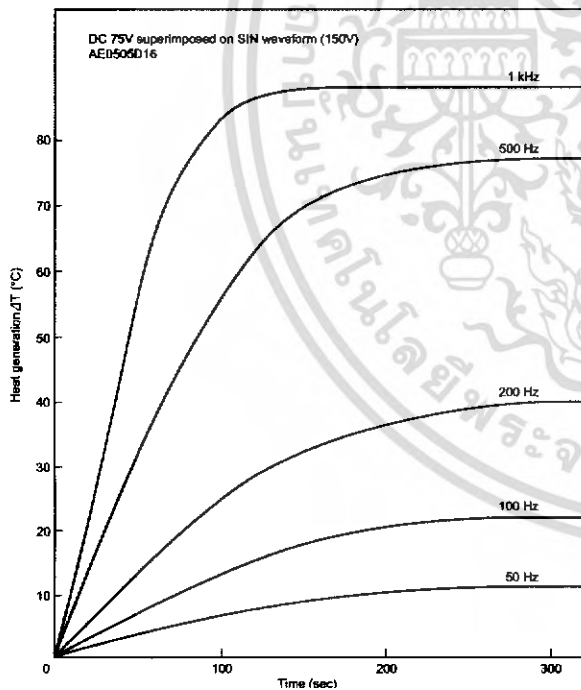


Fig. 5 Heat development characteristics

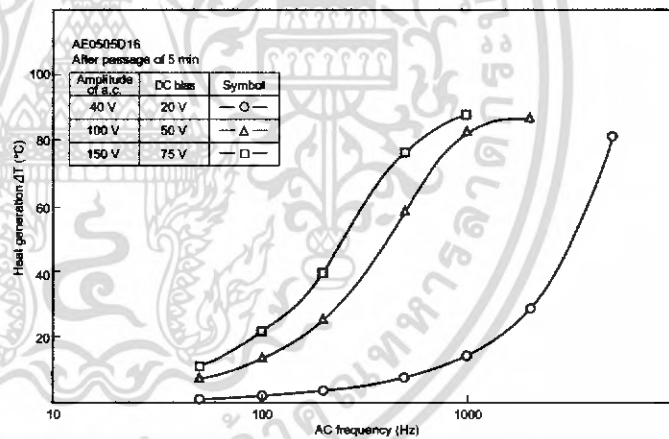


Fig. 6 Heat generation vs frequency characteristics

Reliability

Majority of failure mode of multilayer piezoelectric actuators is the short circuit due to degraded insulation. Though the cause of degradation of insulation has not been clarified perfectly, it has been found that the failure rate varies greatly between static uses (DC voltage application) and dynamic uses (pulse voltage application). Since it has been found that the influence of humidity is great in addition to the ambient temperature as in the case of other general electronic parts, the metal sealed type featuring high reliability by elimination of the influence of the atmosphere has been added in the product line.

This section describes the reliability guidelines for static and dynamic uses for each of the resin-coated and metal sealed types.

Reliability of our multilayer piezoelectric actuators is represented by MTTF (mean time to failure) on assumption of static uses. Though the number of repetitions is considered to be used to represent the reliability in the case of dynamic uses, the accurate relationship between the indicator and cause has not been obtained because of various influential causes and the mutual action between them. For the present, therefore, only the obtained data and our concept are described.

(1) Resin-coated Type (AE Series)

a. DC voltage application

The acceleration factor has been obtained empirically for each of the drive voltage, ambient temperature and relative humidity based on many experimental result data. The MTTF_r in an actual application is estimated using equation (1) below with MTTF_s observed under accelerated condition as the reference value.

$$MTTF_r = MTTF_s \times A_v \times A_h \times A_t \quad \dots \dots (1)$$

MTTF_r : Estimated value

MTTF_s : Reference value (=500h) Typical value as of the year 1990

A_v : Acceleration factor for drive voltage = $\left(\frac{150}{V_r}\right)^{3.2}$ V_r : Actual voltage (V)

A_h : Acceleration factor for relative humidity = $\left(\frac{90}{H_r}\right)^{4.9}$ H_r : Actual relative humidity (RH%)

A_t : Acceleration factor for ambient temperature = $1.5^{\frac{40-T}{10}}$ T : Actual ambient temperature(°C)

[Example] The following calculation is made for the case of use at 25°C, 60% RH and 100 V:

$$\begin{aligned} MTTF_r &= 500 \times \left(\frac{150}{100}\right)^{3.2} \times \left(\frac{90}{60}\right)^{4.9} \times 1.5^{\frac{40-25}{10}} \\ &= 500 \times 3.66 \times 7.29 \times 1.84 \\ &\approx 24,500\text{h (2.8years)} \end{aligned}$$

b. Pulse voltage application

When this element is driven by a pulse voltage, temperature rise occurs as a result of heating due to dielectric loss of ceramics. Therefore, the element is not likely to be influenced by the humidity, thus extending the service life greatly. Since this effect is affected by the element shape, pulse waveform and frequency, it cannot be calculated by an equation as in the case of DC voltage application.

It has been seen that no failure occurred after application of 0 to 150-V rectangular pulse wave at 500 Hz to the AE0203D08 for 500 hours (equivalent to 900 million pulses).

On the other hand, physical damage due to ringing phenomenon due to element fixing method and voltage rising speed may arise, so attention should be paid.

Please refer to the separately printed "Guide to Multilayer Actuator" for more detailed data.

Guide to Use

Fixing Method:

- Carefully prevent any bending, twisting or tensile force from being applied to this product.

Reference: Guide for tolerance of twisting and tension

	Reference value	Remarks
Twisting force	3×10^{-1} N·m or less	For an actuator which generates a force of 800 N (compression resistance)
Tension	50 N or less	

- Install the actuator so that the center axis of generated displacement is aligned with the center axis of the load.

a. Resin-coated type

- Epoxy-based adhesives are usable for bonding. Select a type featuring high rigidity and minimum thickness so that the generation force and displacement would not be spoiled.
- When thermosetting resin is used, perform polarizing treatment (see the caution section) again after setting.
- This type is weak to a tensile force because of its structure and may be broken when applied with tension. Use in the state constantly applied with compression is effective in preventing any mechanical damage. The pressure applied to this element should be kept at 20 to 50% of the force generated by this element (compression resistance).
- Install the element so that the axis of generated displacement is vertical to the mounting surface.

b. Metal sealed type

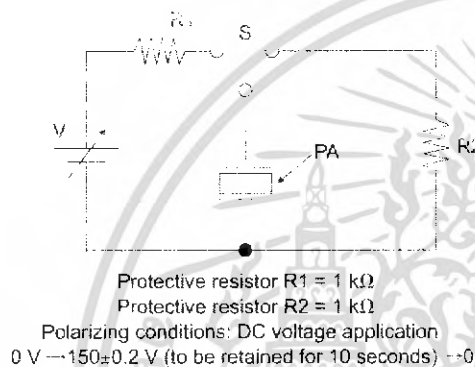
- Select the mounting bracket (female thread type or flange type) according to the mounting method, and install the element utilizing the bracket.
- Fix the element securely so as not to damp the generated force or displacement.
- Connect the driven item at the displacement generating end after securing the mounting portion so as to avoid unnecessary stress application at the time of installation.
- Though this product is designed to apply a compressive force to the internal element by the metal case, avoid any usage causing application of bending, twisting or tension at the time of driving.

Driving Method:

- Connect the red lead wire to the positive (+) terminal of the power supply. Also prevent reverse voltage application.
- Basically the voltage controls the aimed displacement and generated force. In driving, however, it is also necessary to take ringing due to the resonance or hysteresis of the element itself into consideration. In pulse driving, it is further necessary to pay sufficient attention to heat generation due to dielectric loss, charge/discharge current due to the capacitive component and the power output impedance as well. Please refer to the separately printed Guide for Use of Multilayer Piezoelectric Actuators".

Precautions

- Connect the red lead wire to the positive (+) terminal of the power supply.
- Carefully avoid electric shock since a high voltage is in use.
- Never apply an excessive tension to a lead wire. Do not handle the product by picking up or moving the lead wire.
- Do not disassemble the case of the metal sealed type.
- Machining of the actuator element and replacement of the lead wire are prohibited.
- Do not handle the resin-coated type (AE series) with bare hands. Otherwise, the reliability of the element would be degraded.
- Do not wash resin-coated type (AE series) by organic solvent.
- Avoid excessive physical shock resulting from, for example, dropping. Otherwise, the internal piezoelectric ceramic element may be damaged.
- If exposed to high temperatures above 100°C or for use after long storage (for more than three months), the actuator should be used after being polarized using the following circuit configuration and conditions shown below.



- Do not apply voltage exceeding MAX. driving voltage value to the actuator. Otherwise, degraded reliability or mechanical fracture may arise.
- Do not use the actuator in a high concentration of highly inflammable gas. Otherwise, ignition may occur.
- Use the actuator so as not to cause bending, twisting or tension. Furthermore, align the center axis of displacement of the actuator with the center axis of the mechanical load.
- Drive the actuator at an initial speed exceeding three times the resonance cycle to prevent damage caused by ringing.
- Store the resin-coated type (AE series) preferably in a dry atmosphere (desirably below 40% RH) at ordinary temperatures (-5 to +40°C).
- Store actuators where there is no vibration.


MICROCHIP

PIC16F87X

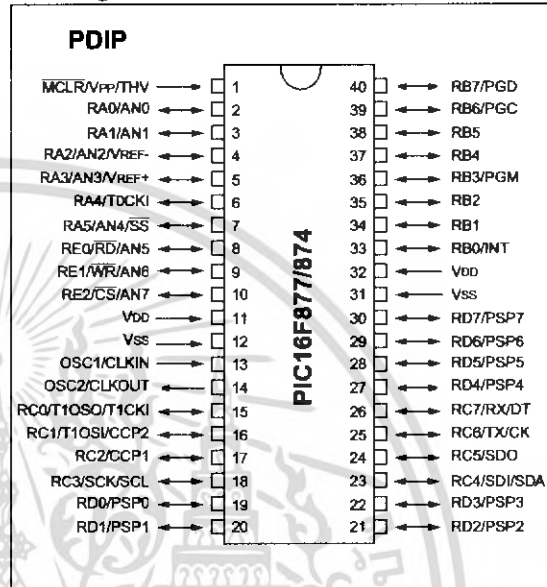
28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

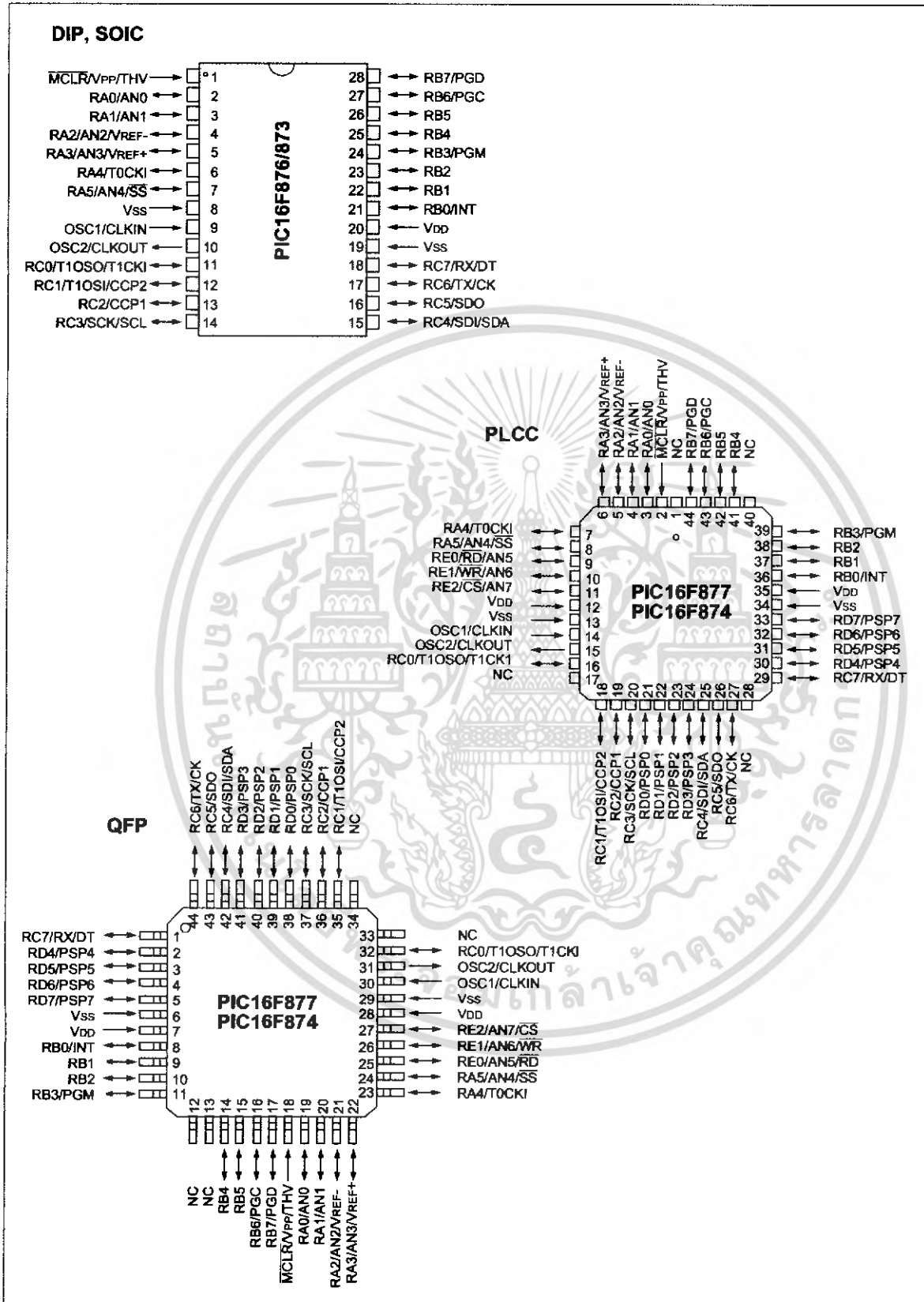
- High-performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (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

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 I²C™ (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)

PIC16F87X

Pin Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

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

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

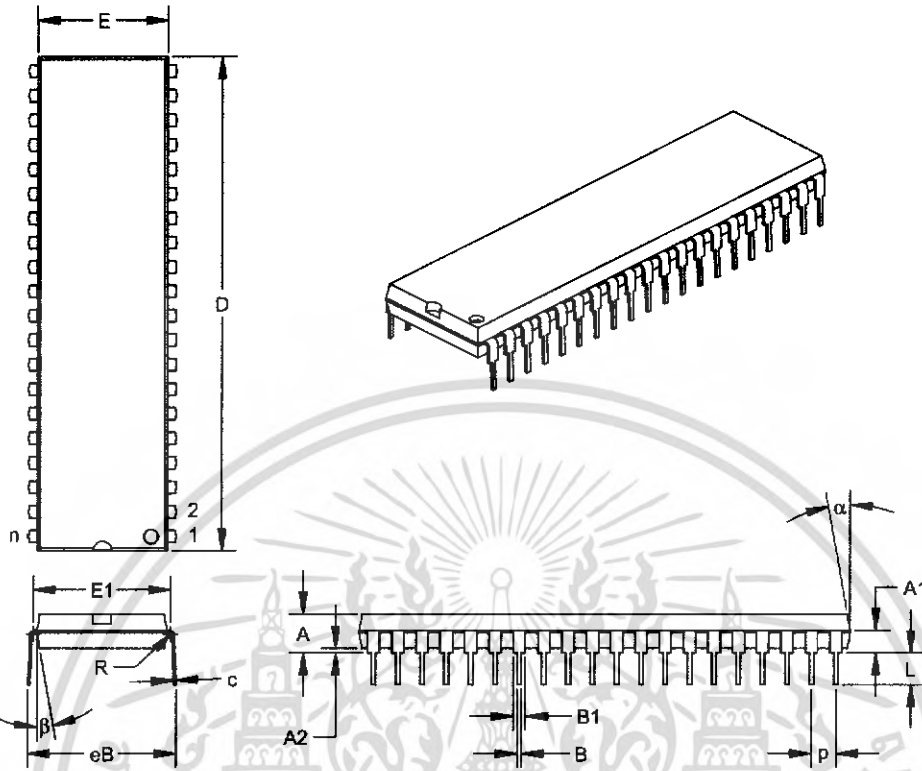
TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
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⁾	
RE0/RD \bar{A} N5	8	9	25	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6. RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
RE1/W \bar{R} A/N6	9	10	26	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE2/C \bar{S} A/N7	10	11	27	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
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.

17.4 K04-016 40-Lead Plastic Dual In-line (P) – 600 mil



Units		INCHES*			MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
PCB Row Spacing			0.600			15.24	
Number of Pins	n		40			40	
Pitch	p		0.100			2.54	
Lower Lead Width	B	0.016	0.018	0.020	0.41	0.46	0.51
Upper Lead Width	B1 [†]	0.045	0.050	0.055	1.14	1.27	1.40
Shoulder Radius	R	0.000	0.005	0.010	0.00	0.13	0.25
Lead Thickness	c	0.009	0.010	0.011	0.23	0.25	0.28
Top to Seating Plane	A	0.110	0.160	0.160	2.79	4.06	4.06
Top of Lead to Seating Plane	A1	0.073	0.093	0.113	1.85	2.36	2.87
Base to Seating Plane	A2	0.020	0.020	0.040	0.51	0.51	1.02
Tip to Seating Plane	L	0.125	0.130	0.135	3.18	3.30	3.43
Package Length	D [‡]	2.013	2.018	2.023	51.13	51.26	51.38
Molded Package Width	E [‡]	0.530	0.535	0.540	13.46	13.59	13.72
Radius to Radius Width	E1	0.545	0.565	0.585	13.84	14.35	14.86
Overall Row Spacing	eB	0.630	0.610	0.670	16.00	15.49	17.02
Mold Draft Angle Top	α	5	10	15	5	10	15
Mold Draft Angle Bottom	β	5	10	15	5	10	15

* Controlling Parameter.
[†] Dimension "B1" does not include dam-bar protrusions. Dam-bar protrusions shall not exceed 0.003" (0.076 mm) per side or 0.006" (0.152 mm) more than dimension "B1."
[‡] Dimensions "D" and "E" do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010" (0.254 mm) per side or 0.020" (0.508 mm) more than dimensions "D" or "E."

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

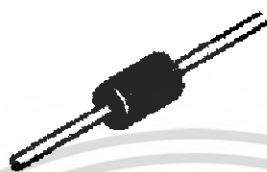
FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

Discrete **POWER & Signal**
Technologies

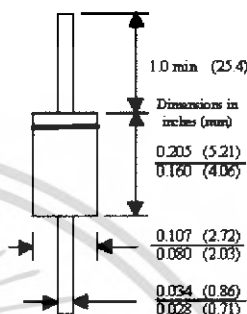
1N4001 - 1N4007

Features

- Low forward voltage drop.
- High surge current capability.



DO-41
COLOR BAND DENOTES CATHODE



1.0 Ampere General Purpose Rectifiers

Absolute Maximum Ratings* T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
I _O	Average Rectified Current 375" lead length @ T _A = 75°C	1.0	A
i _{F(surge)}	Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half-sine-wave Superimposed on rated load (JEDEC method)	30	A
P _D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	2.5 20	W mW/°C
R _{θJA}	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	°C/W
T _{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +175	°C
T _J	Operating Junction Temperature	-55 to +150	°C

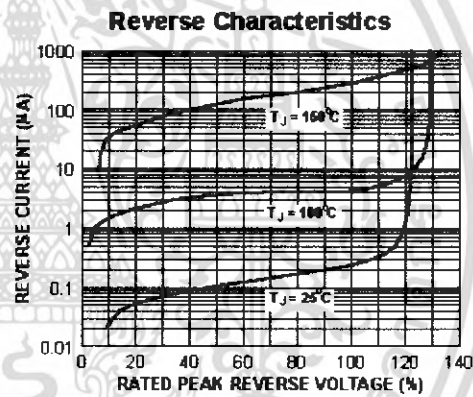
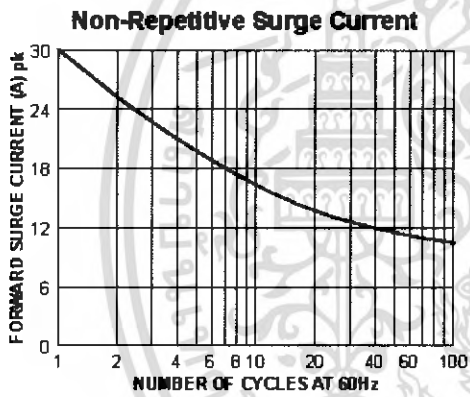
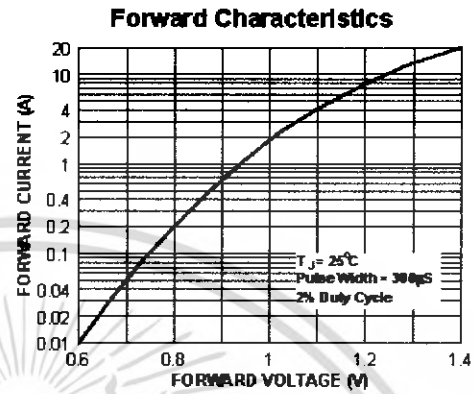
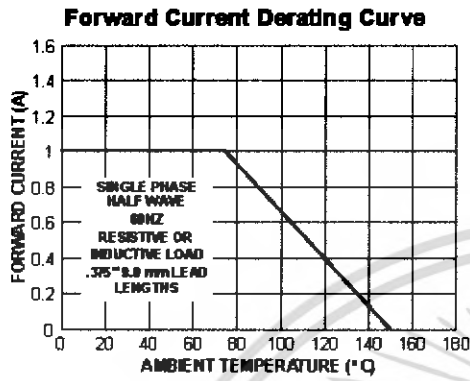
*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Electrical Characteristics T_A = 25°C unless otherwise noted

Parameter	Device							Units	
	4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007		
Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V	
DC Reverse Voltage (Rated V _R)	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum Reverse Current @ rated V _R									
T _A = 25°C								5.0	μA
T _A = 100°C								500	μA
Maximum Forward Voltage @ 1.0 A								1.1	V
Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle								30	μA
Typical Junction Capacitance V _R = 4.0 V, f = 1.0 MHz								15	pF

General Purpose Rectifiers (continued)

Typical Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TIP120/121/122

Medium Power Linear Switching Applications

- Complementary to TIP125/126/127



1 Base 2 Collector 3 Emitter

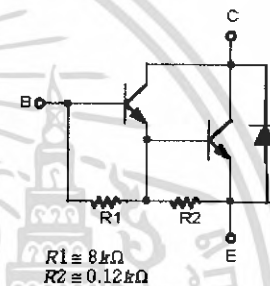
1.Base 2.Collector 3.Emitter

NPN Epitaxial Darlington Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units	
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	TIP120	60	V
		TIP121	80	V
		TIP122	100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	TIP120	60	V
		TIP121	80	V
		TIP122	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V	
I_C	Collector Current (DC)	5	A	
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	8	A	
I_B	Base Current (DC)	120	mA	
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	2	W	
	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	65	W	
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$	
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ\text{C}$	

Equivalent Circuit



Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CE0(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 0$	60		V
			80		V
			100		V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = 40\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = 50\text{V}, I_B = 0$		0.5	mA
				0.5	mA
				0.5	mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 60\text{V}, I_E = 0$ $V_{CB} = 80\text{V}, I_E = 0$ $V_{CB} = 100\text{V}, I_E = 0$		0.2	mA
				0.2	mA
				0.2	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{BE} = 5\text{V}, I_C = 0$		2	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$	1000		
		$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{A}$	1000		
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 3\text{A}, I_B = 12\text{mA}$		2.0	V
		$I_C = 5\text{A}, I_B = 20\text{mA}$		4.0	V
$V_{BE(on)}$	* Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{A}$		2.5	V
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{V}, I_E = 0, f = 0.1\text{MHz}$		200	pF

* Pulse Test : PWS300 μs , Duty cycles \leq 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical characteristics

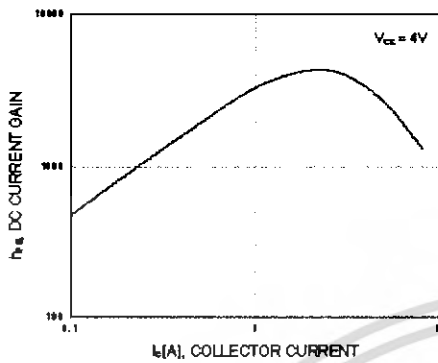


Figure 1. DC current Gain

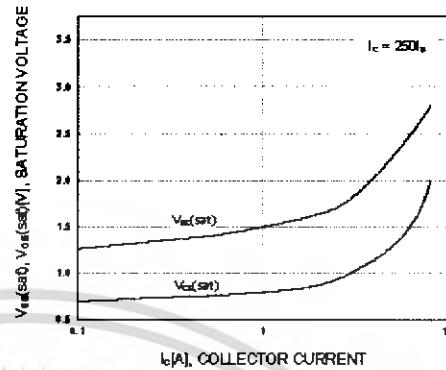


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

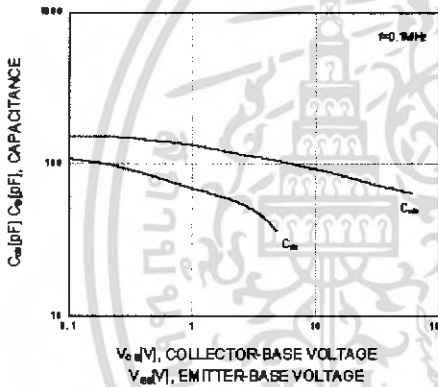


Figure 3. Output and Input Capacitance vs. Reverse Voltage

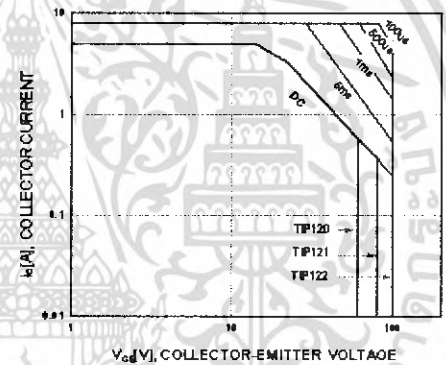


Figure 4. Safe Operating Area

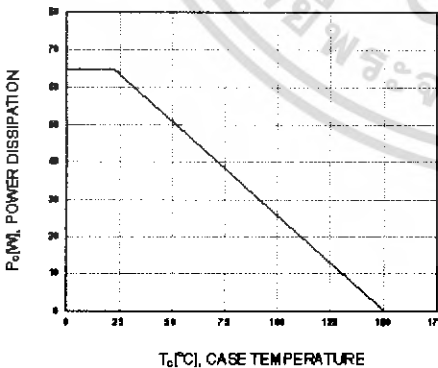
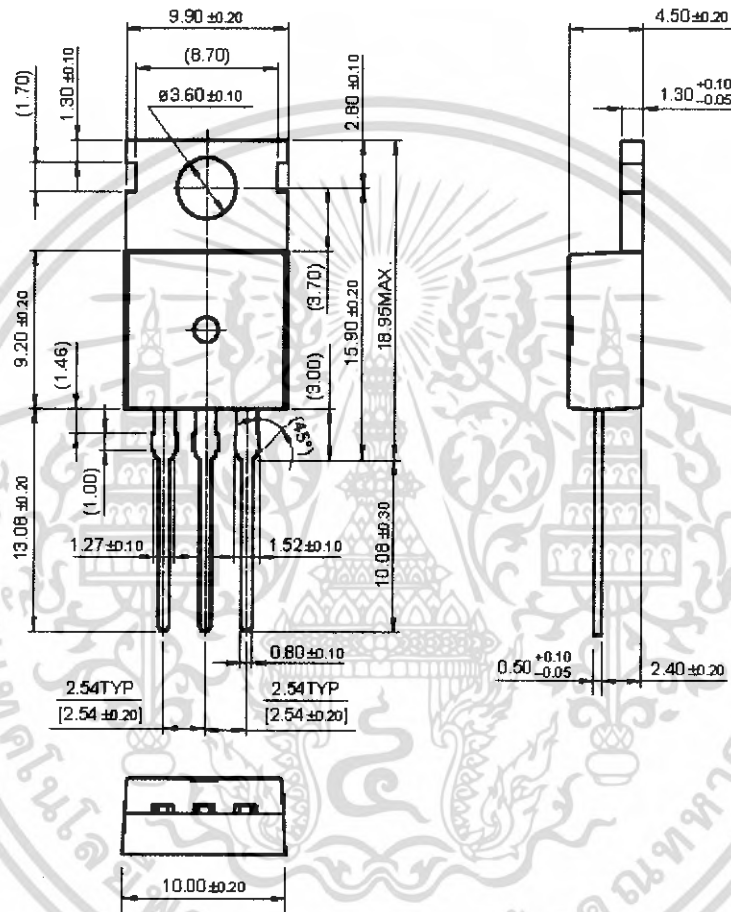


Figure 5. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

TO-220



Dimensions in Millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR

TIP125/126/127

Medium Power Linear Switching Applications

- Complementary to TIP120/121/122

1 TO-220

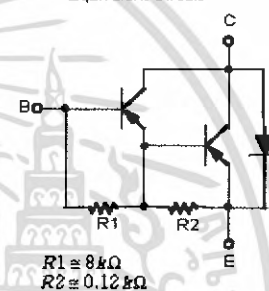
1.Base 2.Collector 3.Emitter

PNP Epitaxial Darlington Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	TIP125 : -60 TIP126 : -80 TIP127 : -100	V
	Collector-Emitter Voltage	TIP125 : -60 TIP126 : -80 TIP127 : -100	V
	Emitter-Base Voltage	-5	V
I_C	Collector Current (DC)	-5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	-8	A
I_B	Base Current (DC)	-120	mA
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	2	W
	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	65	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Equivalent Circuit



Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CE0(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = -100\text{mA}, I_B = 0$	-60		V
	: TIP125		-80		V
	: TIP126		-120		V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = -30\text{V}, I_B = 0$		-2	mA
	: TIP125			-2	mA
	: TIP126			-2	mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = -50\text{V}, I_B = 0$		-1	mA
	: TIP125			-1	mA
	: TIP126			-1	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{BE} = -5\text{V}, I_C = 0$		-2	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = -3\text{V}, I_C = 0.5\text{A}$ $V_{CE} = -3\text{V}, I_C = -3\text{A}$	1000	1000	
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -3\text{A}, I_B = -12\text{mA}$ $I_C = -5\text{A}, I_B = -20\text{mA}$		-2 -4	V
$V_{BE(on)}$	* Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = -3\text{V}, I_C = -3\text{A}$		-2.5	V
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = -10\text{V}, I_E = 0, f = 0.1\text{MHz}$		300	pF

* Pulse Test : PWS300 μs , Duty cycle $\leq 2\%$

Typical Characteristics

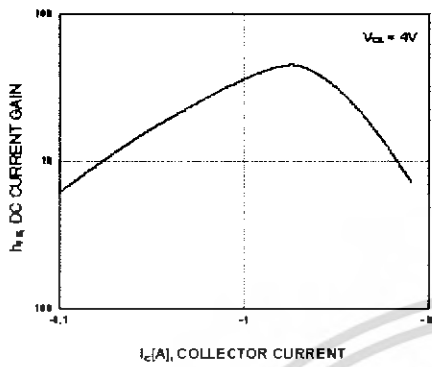


Figure 1. DC current Gain

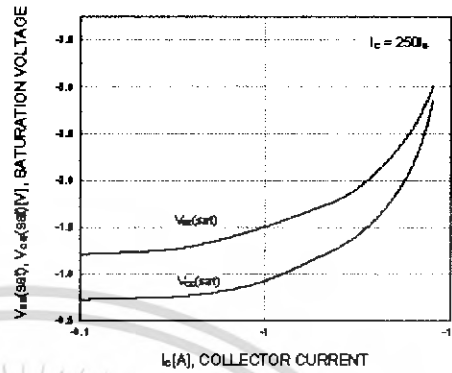


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

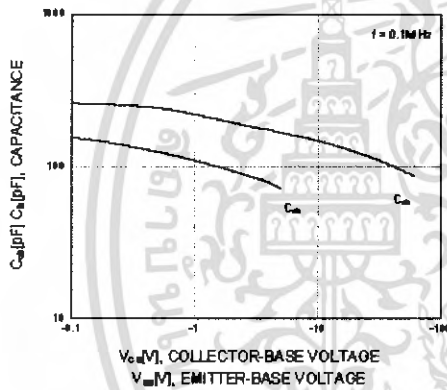


Figure 3. Output and input Capacitance
vs. Reverse Voltage

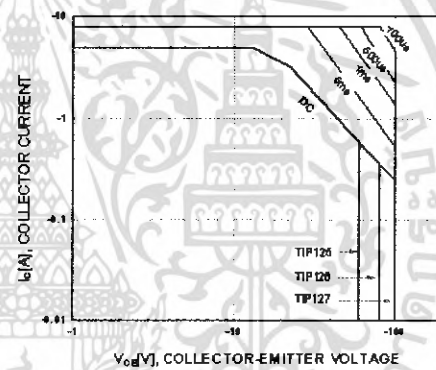


Figure 4. Safe Operating Area

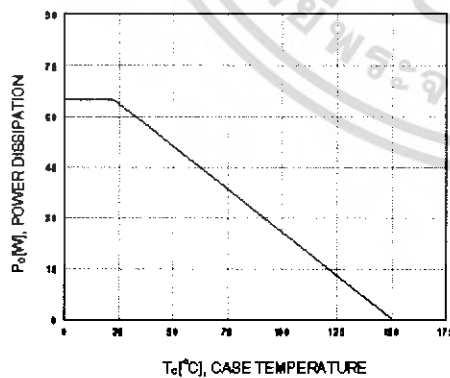


Figure 5. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REVISIONS		DESCRIPTION	DATE	APPROVED
ZONE	REV			

DRAW BY		PIYAPORN YINDEEANANTA		
TITLE		CHASIS-ARM		
MATERIAL		ALUMINUM		
DATE		15 FEBRUARY 2006		
SIZE	FSCM NO.	DWG NO.	REV	
A	-	SS-001A-48	-	
SCALE	1:1	MILLIMETER	SHEET	1/1

MECHATRONICS ENGINEERING
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REVISIONS		DESCRIPTION	DATE	APPROVED
ZONE	REV			

TITLE		DRAW BY	
DRIVING TIP-ARM		PIYAPORN YINDEEANANTA	
3 PIECES		MECHATRONICS ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	
MATERIAL	SIZE	FSCM NO.	DWG NO.
STEEL & ALUMINUM	A	-	SS-002A-48
DATE	SCALE	MILLIMETER	SHEET
15 FEBRUARY 2006	1:1		1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REVISIONS		DESCRIPTION	DATE	APPROVED
ZONE	REV			

Technical drawing of a manipulator arm. A circular detail shows a hole with diameter 20.0. The main drawing shows a vertical arm with a length of 23.0.

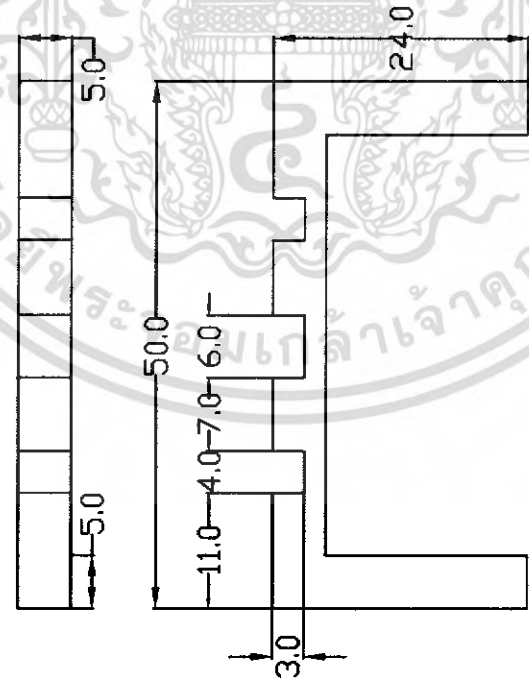
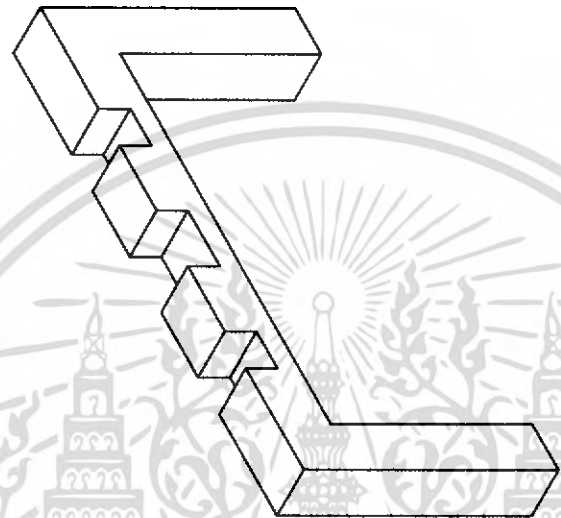
DRAW BY		PIYAPORN YINDEEAMANTA		
TITLE		MECHATRONICS ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		
MATERIAL	STEEL	SIZE	FSCM NO.	DWG NO.
DATE	15 FEBRUARY 2006	A	-	SS-003A-48
				REV
				-
		SCALE	1:1	MILLIMETER
				SHEET
				1/1

MANIPULATOR
1 PIECE

←

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REVISIONS		DESCRIPTION	DATE	APPROVED
ZONE	REV			



TITLE
MAIN CHASIS LEG

DRAW BY
PIYAPORN YINDEEANANTA

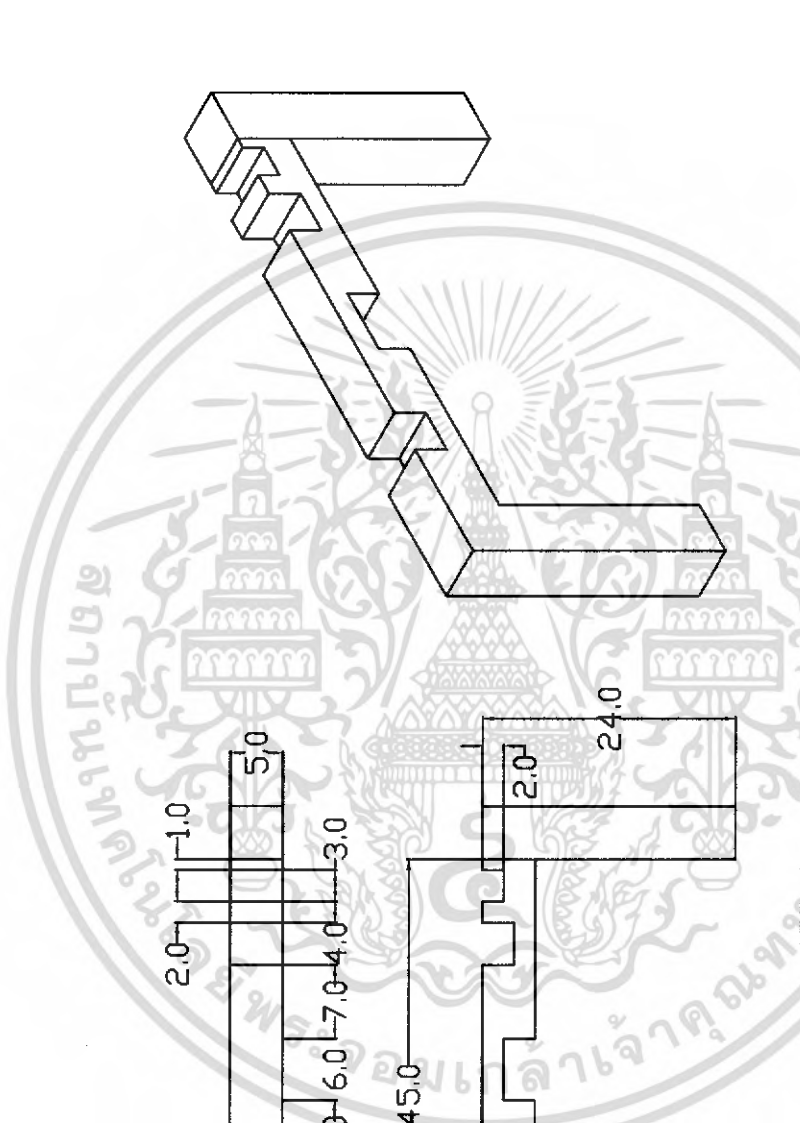
MECHATRONICS ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

MATERIAL	STEEL	SIZE	FSCM NO.	DWG NO.	REV
DATE	15 FEBRUARY 2006	A	-	SS-004L-48	-
SCALE			1:1	MILLIMETER	SHEET
					1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REVISIONS		
ZONE	REV	DESCRIPTION

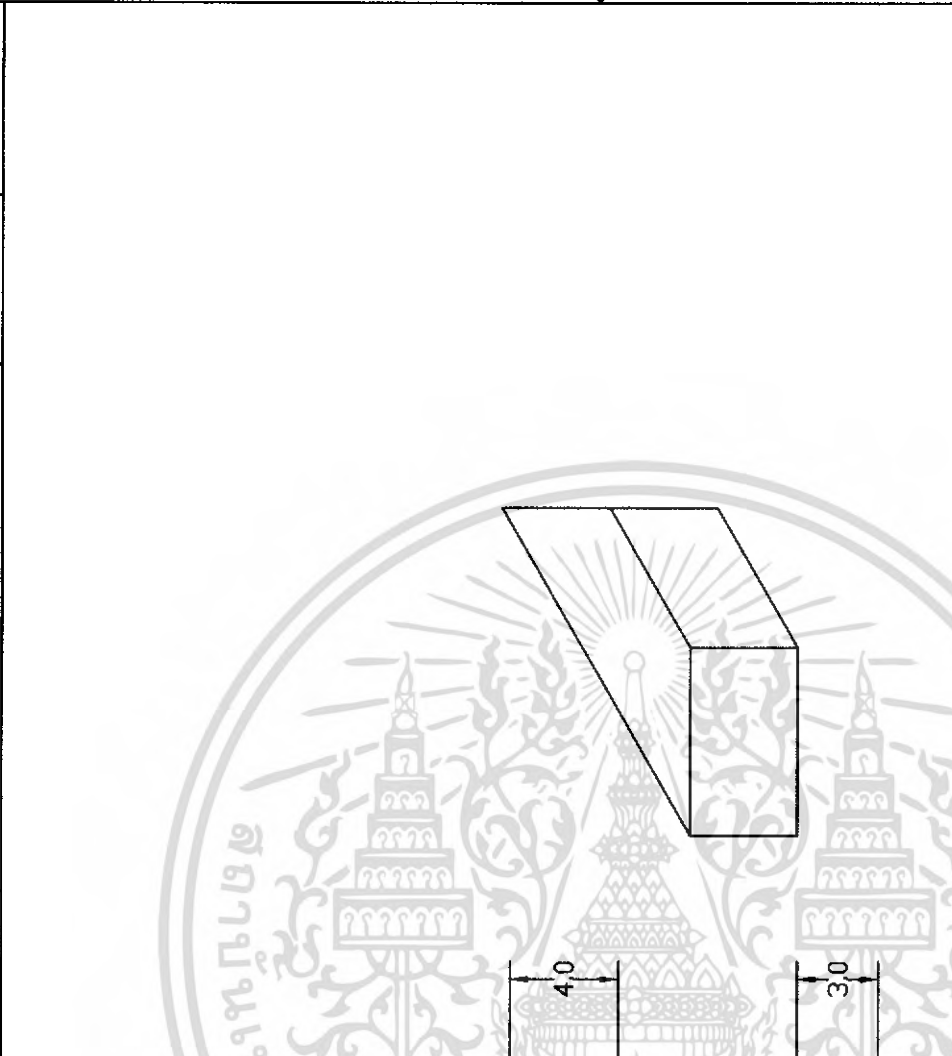
DATE	APPROVED



DRAW BY		KRITTIWIT KALSUWAN	
MECHATRONICS ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			
SIZE	FSCM NO.	DWG NO.	REV
A	-	SS-005L-48	-
SCALE	1:1	MILLIMETER	SHEET 1/1
DATE		15 FEBRUARY 2006	
MATERIAL		STEEL	
TITLE		L-CHASIS & LEG	
		1 PIECE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

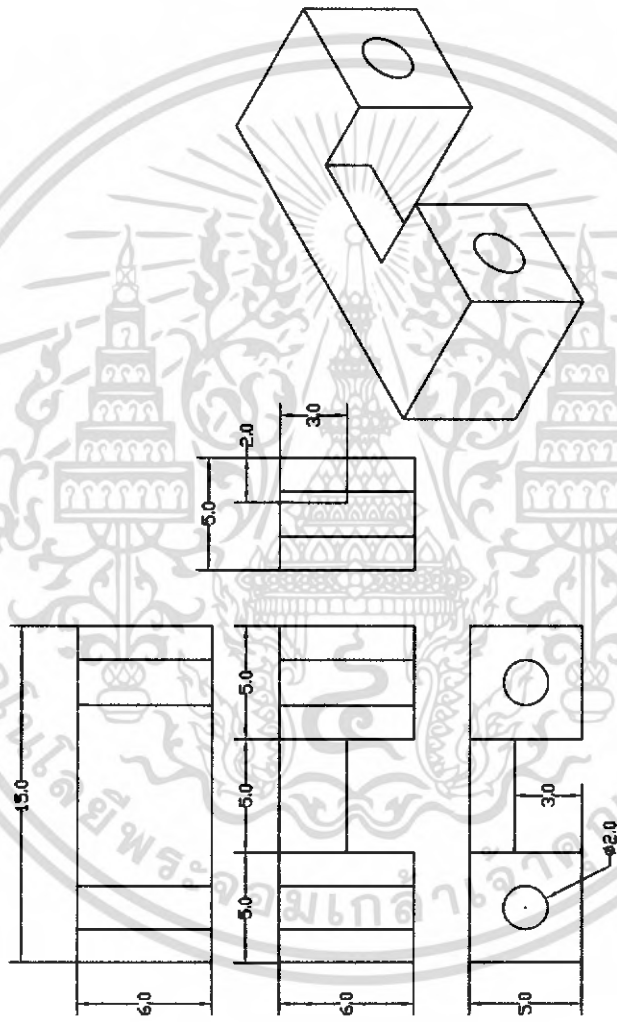
REVISIONS		
ZONE	REV	DESCRIPTION



DRAW BY		KRITTIWIT KALSUWAN	
PIEZO-ACRYLIC 4 PIECES			
MATERIAL	ACRYLIC	FSCM NO.	-
DATE	15 FEBRUARY 2006	DWG NO.	SS-006L-48
SCALE	1:1	MILLIMETER	SHEET
			1/1
REV	-		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REVISIONS			DATE	APPROVED
ZONE	REV	DESCRIPTION		



DRAW BY		KRITTIWIT KALSUWAN		
MECHATRONICS ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG				
MATERIAL	ACRYLIC	SIZE	FSCM NO.	DWG NO.
DATE	15 FEBRUARY 2006	A	-	SS-007L-48
TITLE		SCALE	MILLIMETER	SHEET
LOCK-LEG		1:1		1/1
1 PIECE		REV		
		-		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ทางคอมพิวเตอร์ (เบรแกรมที่เขียนกรเขียน: Visual Basic 6.0)

```
Private Declare Sub out Lib "DllPort.dll" Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
```

```
Public pwrite As Integer
```

```
Dim P1 As Integer
```

```
Dim P2 As Integer
```

```
Dim P3 As Integer
```

```
Dim P11 As Integer
```

```
Dim P12 As Integer
```

```
Dim P21 As Integer
```

```
Dim P22 As Integer
```

```
Dim P31 As Integer
```

```
Dim P32 As Integer
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    Timer1.Enabled = False
```

```
    out pwrite, &H2C
```

```
    Label16.Caption = "LEFT-FRONT"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
    Timer1.Enabled = False
```

```
    out pwrite, &HAC
```

```
    Label16.Caption = "FRONT"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
    Timer1.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

out pwrite, &H28
Label16.Caption = "RIGHT-FRONT"

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
```

```

Timer1.Enabled = False
out pwrite, &H3C
Label16.Caption = "LEFT"

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()
```

```

Timer1.Enabled = False
out pwrite, &HBC
Label16.Caption = "RIGHT"

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command6_Click()
```

```

Timer1.Enabled = False
out pwrite, &H38
Label16.Caption = "LEFT-BACK"

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command7_Click()
```

```

Timer1.Enabled = False
out pwrite, &H24
Label16.Caption = "BACK"

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command8_Click()
```

```

Timer1.Enabled = False
out pwrite, &HA4
Label16.Caption = "RIGHT-BACK"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

End Sub

Private Sub Command9_Click()
    Timer1.Enabled = True
    out pwrite, &HFF
    Label16.Caption = "STOP"
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
    MSComm1.CommPort = 1
    MSComm1.Settings = "9600,n,8,1"
    MSComm1.PortOpen = True

    Timer1.Interval = 50
    Timer1.Enabled = True

    P1 = 3
    P2 = 3
    P3 = 3

    Label5.Caption = P1
    Label6.Caption = P2
    Label7.Caption = P3

    MSComm1.Output = Chr$(255) & Chr$(0) & Chr$(0) & Chr$(2)
    MSComm1.Output = Chr$(135) & Chr$(0) & Chr$(0) & Chr$(2)
    MSComm1.Output = Chr$(254) & Chr$(0) & Chr$(0) & Chr$(3)

    pwrite = &H378
    out pwrite, &HFF
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub mnuExit_Click()
```

```
    MSComm1.Output = Chr$(255) & Chr$(0) & Chr$(0) & Chr$(2)
```

```
    MSComm1.Output = Chr$(135) & Chr$(0) & Chr$(0) & Chr$(2)
```

```
    MSComm1.Output = Chr$(254) & Chr$(0) & Chr$(0) & Chr$(3)
```

```
    out pwrite, &HFF
```

```
End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuNew_Click()
```

```
    P1 = 3
```

```
    P2 = 3
```

```
    P3 = 3
```

```
    Text1.Text = "1"
```

```
    Text2.Text = "1"
```

```
    Text3.Text = "1"
```

```
    Text4.Text = "1"
```

```
    Text5.Text = "1"
```

```
    Text6.Text = "1"
```

```
    Option3.Value = True
```

```
    Option6.Value = True
```

```
    Option9.Value = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuOpen_Click()
```

```
    Text1.Text = P11
```

```
    Text2.Text = P21
```

```
    Text3.Text = P31
```

```
    Text4.Text = P12
```

```
    Text5.Text = P22
```

```
    Text6.Text = P32
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

End Sub
Private Sub mnuSave_Click()
    P11 = CInt(Text1.Text)
    P12 = CInt(Text4.Text)
    P21 = CInt(Text2.Text)
    P22 = CInt(Text5.Text)
    P31 = CInt(Text3.Text)
    P32 = CInt(Text6.Text)
End Sub

```

```

Private Sub Option1_Click()
    P1 = 1
    Label5.Caption = P1
End Sub

```

```

Private Sub Option2_Click()
    P1 = 2
    Label5.Caption = P1
End Sub

```

```

Private Sub Option3_Click()
    P1 = 3
    Label5.Caption = P1
End Sub

```

```

Private Sub Option4_Click()
    P2 = 1
    Label6.Caption = P2
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Option5_Click()
```

```
    P2 = 2
```

```
    Label6.Caption = P2
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Option6_Click()
```

```
    P2 = 3
```

```
    Label6.Caption = P2
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Option7_Click()
```

```
    P3 = 1
```

```
    Label7.Caption = P3
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Option8_Click()
```

```
    P3 = 2
```

```
    Label7.Caption = P3
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Option9_Click()
```

```
    P3 = 3
```

```
    Label7.Caption = P3
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text1_Change()
```

```
Dim Gen As Double
```

```
Gen = Cdbl(Text1.Text)
```

```
If Gen < 0 Or Gen > 20000 Then
```

```
    MsgBox "Error! Value must between 0 - 20000", vbOKOnly, "Error!!!"
```

```
    Text1.Text = "0"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Exit Sub

End If

VScroll1.Value = Gen

End Sub

Private Sub Text2_Change()
Dim Gen As Double
Gen = CDbI(Text2.Text)
If Gen < 0 Or Gen > 20000 Then
MsgBox "Error! Value must between 0 - 20000", vbOKOnly, "Error!!!"
Text2.Text = "0"
Exit Sub
End If
VScroll2.Value = Gen
End Sub

Private Sub Text3_Change()
Dim Gen As Double
Gen = CDbI(Text3.Text)
If Gen < 0 Or Gen > 20000 Then
MsgBox "Error! Value must between 0 - 20000", vbOKOnly, "Error!!!"
Text3.Text = "0"
Exit Sub
End If
VScroll3.Value = Gen
End Sub

Private Sub Text4_Change()
Dim Gen As Double
Gen = CDbI(Text4.Text)
If Gen < 0 Or Gen > 20000 Then
MsgBox "Error! Value must between 0 - 20000", vbOKOnly, "Error!!!"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Text4.Text = "0"
Exit Sub
End If
VScroll4.Value = Gen
End Sub

```

```

Private Sub Text5_Change()

```

```

Dim Gen As Double

```

```

Gen = Cdbl(Text5.Text)

```

```

If Gen < 0 Or Gen > 20000 Then

```

```

    MsgBox "Error! Value must between 0 - 20000", vbOKOnly, "Error!!!"

```

```

    Text5.Text = "0"

```

```

    Exit Sub

```

```

End If

```

```

VScroll5.Value = Gen

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Text6_Change()

```

```

Dim Gen As Double

```

```

Gen = Cdbl(Text6.Text)

```

```

If Gen < 0 Or Gen > 20000 Then

```

```

    MsgBox "Error! Value must between 0 - 20000", vbOKOnly, "Error!!!"

```

```

    Text6.Text = "0"

```

```

    Exit Sub

```

```

End If

```

```

VScroll6.Value = Gen

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Timer1_Timer()

```

```

Dim A As Integer

```

```

Dim A1 As Integer

```

```

Dim A2 As Integer

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dim B As Integer

Dim B1 As Integer

Dim B2 As Integer

Dim C As Integer

Dim C1 As Integer

Dim C2 As Integer

Dim D As Integer

Dim D1 As Integer

Dim D2 As Integer

Dim E As Integer

Dim E1 As Integer

Dim E2 As Integer

Dim F As Integer

Dim F1 As Integer

Dim F2 As Integer

A = CInt(Text1.Text)

A1 = Fix(A / 256)

A2 = A - (A1 * 256)

B = CInt(Text2.Text)

B1 = Fix(B / 256)

B2 = B - (B1 * 256)

C = CInt(Text3.Text)

C1 = Fix(C / 256)

C2 = C - (C1 * 256)

D = CInt(Text4.Text)

D1 = Fix(D / 256)

D2 = D - (D1 * 256)

E = CInt(Text5.Text)

E1 = Fix(E / 256)

E2 = E - (E1 * 256)

F = CInt(Text6.Text)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F1 = Fix(F / 256)

F2 = F - (F1 * 256)

If P1 = 1 Then

MSComm1.Output = Chr\$(255) & Chr\$(A1) & Chr\$(A2) & Chr\$(2)

VScroll4.Enabled = False

VScroll1.Enabled = True

ElseIf P1 = 2 Then

MSComm1.Output = Chr\$(255) & Chr\$(D1) & Chr\$(D2) & Chr\$(2)

VScroll1.Enabled = False

VScroll4.Enabled = True

ElseIf P1 = 3 Then

MSComm1.Output = Chr\$(255) & Chr\$(A1) & Chr\$(A2) & Chr\$(2)

VScroll1.Enabled = True

VScroll4.Enabled = True

End If

If P2 = 1 Then

MSComm1.Output = Chr\$(135) & Chr\$(B1) & Chr\$(B2) & Chr\$(2)

VScroll5.Enabled = False

VScroll2.Enabled = True

ElseIf P2 = 2 Then

MSComm1.Output = Chr\$(135) & Chr\$(E1) & Chr\$(E2) & Chr\$(2)

VScroll2.Enabled = False

VScroll5.Enabled = True

ElseIf P2 = 3 Then

MSComm1.Output = Chr\$(135) & Chr\$(B1) & Chr\$(B2) & Chr\$(2)

VScroll2.Enabled = True

VScroll5.Enabled = True

End If

If P3 = 1 Then

MSComm1.Output = Chr\$(254) & Chr\$(C1) & Chr\$(C2) & Chr\$(3)

VScroll6.Enabled = False

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

VScroll3.Enabled = True
ElseIf P3 = 2 Then
    MSComm1.Output = Chr$(254) & Chr$(F1) & Chr$(F2) & Chr$(3)
    VScroll3.Enabled = False
    VScroll6.Enabled = True
ElseIf P3 = 3 Then
    MSComm1.Output = Chr$(254) & Chr$(C1) & Chr$(C2) & Chr$(3)
    VScroll3.Enabled = True
    VScroll6.Enabled = True
End If

'MSComm1.Output = Chr$(255) & Chr$(A1) & Chr$(A2) & Chr$(2) 'P.5
'MSComm1.Output = Chr$(135) & Chr$(B1) & Chr$(B2) & Chr$(2) 'P.9
'MSComm1.Output = Chr$(254) & Chr$(C1) & Chr$(C2) & Chr$(3) 'P.7

If (P1 = 1) And (P2 = 1) And (P3 = 1) Then
    out pwrite, &HF
ElseIf (P1 = 1) And (P2 = 1) And (P3 = 2) Then
    out pwrite, &H4F
ElseIf (P1 = 1) And (P2 = 1) And (P3 = 3) Then
    out pwrite, &HD

ElseIf (P1 = 1) And (P2 = 2) And (P3 = 1) Then
    out pwrite, &H8F
ElseIf (P1 = 1) And (P2 = 2) And (P3 = 2) Then
    out pwrite, &HCF
ElseIf (P1 = 1) And (P2 = 2) And (P3 = 3) Then
    out pwrite, &H8D

ElseIf (P1 = 1) And (P2 = 3) And (P3 = 1) Then
    out pwrite, &HB
ElseIf (P1 = 1) And (P2 = 3) And (P3 = 2) Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

out pwrite, &H4B
ElseIf (P1 = 1) And (P2 = 3) And (P3 = 3) Then
    out pwrite, &H9

ElseIf (P1 = 2) And (P2 = 1) And (P3 = 1) Then
    out pwrite, &H1F
ElseIf (P1 = 2) And (P2 = 1) And (P3 = 2) Then
    out pwrite, &H5F
ElseIf (P1 = 2) And (P2 = 1) And (P3 = 3) Then
    out pwrite, &H1D

ElseIf (P1 = 2) And (P2 = 2) And (P3 = 1) Then
    out pwrite, &H9F
ElseIf (P1 = 2) And (P2 = 2) And (P3 = 2) Then
    out pwrite, &HDF
ElseIf (P1 = 2) And (P2 = 2) And (P3 = 3) Then
    out pwrite, &H9D
ElseIf (P1 = 2) And (P2 = 3) And (P3 = 1) Then
    out pwrite, &H1B
ElseIf (P1 = 2) And (P2 = 3) And (P3 = 2) Then
    out pwrite, &H5B
ElseIf (P1 = 2) And (P2 = 3) And (P3 = 3) Then
    out pwrite, &H19

ElseIf (P1 = 3) And (P2 = 1) And (P3 = 1) Then
    out pwrite, &H7
ElseIf (P1 = 3) And (P2 = 1) And (P3 = 2) Then
    out pwrite, &H47
ElseIf (P1 = 3) And (P2 = 1) And (P3 = 3) Then
    out pwrite, &H5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ElseIf (P1 = 3) And (P2 = 2) And (P3 = 1) Then
    out pwrite, &H87
ElseIf (P1 = 3) And (P2 = 2) And (P3 = 2) Then
    out pwrite, &HC7
ElseIf (P1 = 3) And (P2 = 2) And (P3 = 3) Then
    out pwrite, &H85

ElseIf (P1 = 3) And (P2 = 3) And (P3 = 1) Then
    out pwrite, &H3
ElseIf (P1 = 3) And (P2 = 3) And (P3 = 2) Then
    out pwrite, &H43
ElseIf (P1 = 3) And (P2 = 3) And (P3 = 3) Then
    out pwrite, &HFF
End If
End Sub

Private Sub VScroll1_Change()
    Text1.Text = VScroll1.Value
End Sub

Private Sub VScroll2_Change()
    Text2.Text = VScroll2.Value
End Sub

Private Sub VScroll3_Change()
    Text3.Text = VScroll3.Value
End Sub

Private Sub VScroll4_Change()
    Text4.Text = VScroll4.Value
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub VScroll5_Change()
```

```
Text5.Text = VScroll5.Value
```

```
End Sub
```

```
Private Sub VScroll6_Change()
```

```
Text6.Text = VScroll6.Value
```

```
End Sub
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสร้างควมถี่ ให้กับขาหุ่นยนต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ตัวที่ 1

```

@ DEVICE PIC16F877A,HS_OSC,LVP_OFF,BOD_OFF,WDT_OFF
DEFINE OSC 20
DEFINE CCP1_REG PORTC  P1-255-2 ,P2-135-2 ,P3-254-3
DEFINE CCP1_BIT 2
DEFINE CCP2_REG PORTC
DEFINE CCP2_BIT 1
pp VAR BYTE
num1 var word
num1 = 0

LOOP:  serin2 PORTC.7,84,[WAIT(255),num1.HighByte,num1.LowByte,pp]
      IF pp = 2 THEN PU
      GOTO LOOP
PU:    Hpwm I,127,num1
      goto loop
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสร้างควมถี่ โทกบชาหุณยนตของเมครคอนเทรลเลอร์ PIC 16F877 ดาวท2

```

@ DEVICE PIC16F877A,HS_OSC,LVP_OFF,BOD_OFF,WDT_OFF
DEFINE OSC 20
DEFINE CCP1_REG PORTC 'P1-255-2 ,P2-135-2 ,P3-254-3
DEFINE CCP1_BIT 2
DEFINE CCP2_REG PORTC
DEFINE CCP2_BIT 1
pp VAR BYTE
num1 var word
num1 = 0

LOOP: serin2 PORTC.7,84,[WAIT(135),num1.HighByte,num1.LowByte,pp]
    IF pp = 2 THEN PU
    GOTO LOOP
PU: Hpwm 1,127,num1
    goto loop
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรแกรมสร้างควมถ เหกบขาหุณนคของเมครคณเทรตเดอร PIC 16F877A // พจทว

```

@ DEVICE PIC16F877A,HS_OSC,LVP_OFF,BOD_OFF,WDT_OFF
DEFINE OSC 20
DEFINE CCP1_REG PORTC 'P1-255-2 ,P2-135-2 ,P3-254-3
DEFINE CCP1_BIT 2
DEFINE CCP2_REG PORTC
DEFINE CCP2_BIT 1
pp VAR BYTE
num1 var word
num1 = 0

LOOP: serin2 PORTC.7,84,[WAIT(254),num1.HighByte,num1.LowByte,pp]
    IF pp = 3 THEN PU
    GOTO LOOP
PU: Hpwm 1,127,num1
    goto loop
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมเดกสภาวะสวนแกนกลางขนาดเล็ก

```

@ DEVICE PIC16F877A,HS_OSC,LVP_OFF,BOD_OFF,WDT_OFF
DEFINE OSC 20
TRISB = %11111111
TRISC = %00000000
TRISD = %00000000
PORTC = %11111111
PORTD = %11111111
LOOP: IF PORTB = %11111111 THEN ST
    IF PORTB = %01010010 THEN MOVE1
    IF PORTB = %01110010 THEN MOVE2
    IF PORTB = %01000010 THEN MOVE3
    IF PORTB = %11010010 THEN MOVE4
    IF PORTB = %11110010 THEN MOVE5
    IF PORTB = %11000010 THEN MOVE6
    IF PORTB = %00010010 THEN MOVE7
    IF PORTB = %00110010 THEN MOVE8

    IF PORTB = %01010101 THEN ARM1
    IF PORTB = %01011101 THEN ARM2
    IF PORTB = %01010001 THEN ARM3
    IF PORTB = %01110101 THEN ARM4
    IF PORTB = %01111101 THEN ARM5
    IF PORTB = %01110001 THEN ARM6
    IF PORTB = %01000101 THEN ARM7
    IF PORTB = %01001101 THEN ARM8
    IF PORTB = %01000001 THEN ARM9

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If PORTB = %11010101 THEN ARM10
IF PORTB = %11011101 THEN ARM11
IF PORTB = %11010001 THEN ARM12
If PORTB = %11110101 THEN ARM13
IF PORTB = %11111101 THEN ARM14
IF PORTB = %11110001 THEN ARM15
If PORTB = %11000101 THEN ARM16
IF PORTB = %11001101 THEN ARM17
IF PORTB = %11000001 THEN ARM18

```

```

If PORTB = %00010101 THEN ARM19
IF PORTB = %00011101 THEN ARM20
IF PORTB = %00010001 THEN ARM21
If PORTB = %00110101 THEN ARM22
IF PORTB = %00111101 THEN ARM23
IF PORTB = %00110001 THEN ARM24
If PORTB = %00000101 THEN ARM25
IF PORTB = %00001101 THEN ARM26
GOTO LOOP

```

```

ST: PORTC = %00000000
PORTD = %00000000
GOTO LOOP
MOVE1: PORTC = %11110000
PORTD = %00000000
GOTO LOOP
MOVE2: PORTC = %01110000
PORTD = %00000000
GOTO LOOP
MOVE3: PORTC = %00110000
PORTD = %00000000
GOTO LOOP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVE4: PORTC = %11010000
        PORTD = %00000000
        GOTO LOOP
MOVE5: PORTC = %01010000
        PORTD = %00000000
        GOTO LOOP
MOVE6: PORTC = %00010000
        PORTD = %00000000
        GOTO LOOP
MOVE7: PORTC = %11000000
        PORTD = %00000000
        GOTO LOOP
MOVE8: PORTC = %01000000
        PORTD = %00000000
        GOTO LOOP
ARM1:  PORTD = %11111100
        PORTC = %00000000
        GOTO LOOP
ARM2:  PORTD = %01111100
        PORTC = %00000000
        GOTO LOOP
ARM3:  PORTD = %00111100
        PORTC = %00000000
        GOTO LOOP
ARM4:  PORTD = %11011100
        PORTC = %00000000
        GOTO LOOP
ARM5:  PORTD = %01011100
        PORTC = %00000000
        GOTO LOOP
ARM6:  PORTD = %00011100
        PORTC = %00000000

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GOTO LOOP
ARM7: PORTD = %11001100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM8: PORTD = %01001100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM9: PORTD = %00001100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM10: PORTD = %11110100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM11: PORTD = %01110100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM12: PORTD = %00110100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM13: PORTD = %11010100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM14: PORTD = %01010100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM15: PORTD = %00010100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM16: PORTD = %11000100
      PORTC = %00000000
      GOTO LOOP
ARM17: PORTD = %01000100

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PORTC = %00000000
GOTO LOOP
ARM18: PORTD = %00000100
PORTC = %00000000
GOTO LOOP
ARM19: PORTD = %11110000 '311
PORTC = %00000000
GOTO LOOP
ARM20: PORTD = %01110000 '312
PORTC = %00000000
GOTO LOOP
ARM21: PORTD = %00110000 '313
PORTC = %00000000
GOTO LOOP
ARM22: PORTD = %11010000 '321
PORTC = %00000000
GOTO LOOP
ARM23: PORTD = %01010000 '322
PORTC = %00000000
GOTO LOOP
ARM24: PORTD = %00010000 '323
PORTC = %00000000
GOTO LOOP
ARM25: PORTD = %11000000 '331
PORTC = %00000000
GOTO LOOP
ARM26: PORTD = %01000000 '332
PORTC = %00000000
GOTO LOOP
END

```

โปรแกรมเลือกการทำงานสวนขาหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
@ DEVICE PIC16F877,HS_OSC,LVP_OFF,BOD_OFF,WDT_OFF
```

```
DEFINE OSC 20
```

```
TRISC = %00000000
```

```
TRISD = %00000000
```

```
PORTC = %00000000 '50% ,0-1 24,0-2 long
```

```
PORTD = %00000000 'M1,M2-0 not work
```

```
LOOP: IF PORTB = %11111111 THEN ST
```

```
IF PORTB = %01010010 THEN LFR '[LF]
```

```
IF PORTB = %01110010 THEN FRONT '[F]
```

```
IF PORTB = %01000010 THEN RFR '[RF]
```

```
IF PORTB = %11010010 THEN LEFT '[L]
```

```
IF PORTB = %11110010 THEN RIGHT '[R]
```

```
IF PORTB = %11000010 THEN LBA '[LB]
```

```
IF PORTB = %00010010 THEN BACK '[B]
```

```
IF PORTB = %00110010 THEN RBA '[RB]
```

```
GOTO LOOP
```

```
ST: PORTC = %01010101
```

```
PORTD = %00000000
```

```
GOTO LOOP
```

```
LEFT: PORTC = %01010101 '0% [1] 00-50%, 10-100%, 01-0%
```

```
PAUSE 250
```

```
PORTD = %01000000 'M2-1 [2]
```

```
PAUSE 250
```

```
PORTC = %01101001 'P3,P2-100% [3]
```

```
PAUSE 250
```

```
PORTD = %00010000 'M1-1 [4]
```

```
PAUSE 250
```

```
PORTC = %01010101 '0% [5]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAUSE 250

PORTD = %00000000 'M1,M2-0 [6]

PAUSE 250

GOTO LOOP

RIGHT: PORTC = %01010101 '0% [1] 00-50%, 10-100%, 01-0%

PAUSE 250

PORTD = %01000000 'M2-1 [2]

PAUSE 250

PORTC = %10010110 'P1,P4-100% [3]

PAUSE 250

PORTD = %00010000 'M1-1 [4]

PAUSE 250

PORTC = %01010101 '0% [5]

PAUSE 250

PORTD = %00000000 'M1,M2-0 [6]

PAUSE 250

GOTO LOOP

FRONT: PORTC = %01010101 '0% [1] 00-50%, 10-100%, 01-0%

PAUSE 250

PORTD = %00010000 'M1-1 [2]

PAUSE 250

PORTC = %10100101 'P1,P2-100% [3]

PAUSE 250

PORTD = %01000000 'M2-1 [4]

PAUSE 250

PORTC = %01010101 '0% [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAUSE 250

PORTD = %00000000 'M1,M2-0 [6]

PAUSE 250

GOTO LOOP

BACK: PORTC = %01010101 '0% [1] 00-50%, 10-100%, 01-0%

PAUSE 250

PORTD = %00010000 'M1-1 [2]

PAUSE 250

PORTC = %01011010 'P3,P4-100% [3]

PAUSE 250

PORTD = %01000000 'M2-1 [4]

PAUSE 250

PORTC = %01010101 '0% [5]

PAUSE 250

PORTD = %00000000 'M1,M2-0 [6]

PAUSE 250

GOTO LOOP

RFR: PORTC = %01010101 '0% [1]

PAUSE 250

PORTD = %01000000 'M2-1 [2]

PAUSE 250

PORTC = %10010110 'P1,P4-100% [3]

PAUSE 250

PORTD = %00010000 'M1-1 [4]

PAUSE 250

PORTC = %01010101 '0% [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PAUSE 250
PORTC = %10100101 'P1,P2-100% [6]
PAUSE 250

```

```

PORTD = %01000000 'M2-1 [7]
PAUSE 250
PORTC = %01010101 '0% [8]
PAUSE 250

```

```

PORTD = %00000000 'M1,M2-0 [9]
PAUSE 250
GOTO LOOP

```

```

LFR: PORTC = %01010101 '0% [1]

```

```

PAUSE 250

```

```

PORTD = %01000000 'M2-1 [2]

```

```

PAUSE 250

```

```

PORTC = %01101001 'P2,P3-100% [3]

```

```

PAUSE 250

```

```

PORTD = %00010000 'M1-1 [4]

```

```

PAUSE 250

```

```

PORTC = %01010101 '0% [5]

```

```

PAUSE 250

```

```

PORTC = %10100101 'P1,P2-100% [6]

```

```

PAUSE 250

```

```

PORTD = %01000000 'M2-1 [7]

```

```

PAUSE 250

```

```

PORTC = %01010101 '0% [8]

```

```

PAUSE 250

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PORTD = %00000000 'M1,M2-0 [9]

PAUSE 250

GOTO LOOP

RBA: PORTC = %01010101 '0% [1]

PAUSE 250

PORTD = %01000000 'M2-1 [2]

PAUSE 250

PORTC = %10010110 'P1,P4-100% [3]

PAUSE 250

PORTD = %00010000 'M1-1 [4]

PAUSE 250

PORTC = %01010101 '0% [5]

PAUSE 250

PORTC = %01011010 'P3,P4-100% [6]

PAUSE 250

PORTD = %01000000 'M2-1 [7]

PAUSE 250

PORTC = %01010101 '0% [8]

PAUSE 250

PORTD = %00000000 'M1,M2-0 [9]

PAUSE 250

GOTO LOOP

LBA: PORTC = %01010101 '0% [1]

PAUSE 250

PORTD = %01000000 'M2-1 [2]

PAUSE 250

PORTC = %01101001 'P2,P3-100% [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAUSE 250

PORTD = %00010000 'M1-1 [4]

PAUSE 250

PORTC = %01010101 '0% [5]

PAUSE 250

PORTC = %01011010 'P3,P4-100% [6]

PAUSE 250

PORTD = %01000000 'M2-1 [7]

PAUSE 250

PORTC = %01010101 '0% [8]

PAUSE 250

PORTD = %00000000 'M1,M2-0 [9]

PAUSE 250

GOTO LOOP

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้