

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์

INSPECTION ROBOT FOR STATOR CORE FAULT DETECTION



โดย
ไพฑูรย์ เยาวศรี
ศิริระ ลิขิตदारาวรรณ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**62736**
วัน,เดือน,ปี.....**21 ส.ค. 2549**

b.....
i.....

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม


สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์
Inspection Robot for Stator Core Fault Detection

ผู้จัดทำ นายไพฑูรย์ ยาวตรี 45010559

นายศิระ ลิขิตการวรรณ 45010763


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ชดอน อิศรากร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์

Inspection Robot for Stator Core Fault Detection

โดย

นายไพฑูรย์ เยาวศรี 45010559

นายศิระ ลิขิตการาวรณ 45010763

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์คอน อิศรากร

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นโครงการที่เกี่ยวกับการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องในแกนสเตเตอร์ โดยพื้นที่ที่จะทำการตรวจสอบคือ บริเวณช่องว่างระหว่างแกนโรเตอร์และแกนสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีความสูงประมาณ 5 เซนติเมตร หุ่นยนต์จะทำงานโดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรขับมอเตอร์ วงจรเซนเซอร์ และรับรู้ตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดระยะทาง (เอนโค้ดเดอร์) การเคลื่อนที่ของของหุ่นยนต์จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงใช้เกียร์ทด 2 ตัว ในการเคลื่อนที่ไปในสล็อต และใช้เซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว เคลื่อนที่ในการเปลี่ยนสล็อต การยึดติดตัวหุ่นยนต์กับแกนสเตเตอร์ จะใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าในการยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์

Inspection Robot for Stator Core Fault Detection

โดย

นายไพฑูรย์ เยาวศรี 45010559

นายศิระ ลิขิตदारาวรรณ 45010763

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์คอน อิศรากร

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ABSTRACT

This project presents the design of robot for inspection in stator core. The inspect area is gap between rotor and stator in generator. The gap's height is about 5 centimeters. The robot structure consists of micro controller, drive circuit, sensor circuit and sensing position by encoder. Two DC motors with gear box are used as actuators for robot movement in straight direction. Furthermore, the robot can rotate itself by using two servo motors incorporating with electromagnetic coils.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ดอน อิศรากร อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาแนวทางในการแก้ปัญหา ความคิดริเริ่ม ตลอดจนการฝึกฝนให้ผู้จัดทำโครงการมีความสามารถในการทำโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงให้ความเอาใจใส่ดูแลสอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผู้จัดทำโครงการทำงานอย่างมีระบบและใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณอาจารย์สองเมือง นันทขว้าง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติแก่ผู้จัดทำโครงการเสมอมา ทำให้ผู้จัดทำโครงการเข้าใจปัญหานั้นๆ และได้เป็นกำลังใจให้ผู้จัดทำโครงการด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำโครงการตลอดจนอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้จัดทำโครงการจนสามารถทำโครงการฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ นาย สมรรถชัย ปัญญา รุ่นพี่ที่ได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจ ให้ผู้เขียนด้วยดีเสมอมา

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่รักและเคารพ ที่สนับสนุนให้โอกาสแก่ผู้จัดทำโครงการได้เล่าเรียนจนถึงวันนี้ ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาแมคคาทรอนิกส์ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมาจนสามารถนำสิ่งต่างๆ ที่ได้รับมานั้นจัดทำโครงการฉบับนี้ให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

นายไพฑูรย์ เยาวศรี

นายศิระ ลิขิตदारารวม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน.....	2
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ.....	2
1.4 เนื้อหาที่จะกล่าวในวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เซอร์โวมอเตอร์.....	4
2.2 หลักการของทรานซิสเตอร์.....	6
2.2.1 การต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วม.....	6
2.2.2 การไบอัสที่เบส.....	8
2.2.3 การไบอัสแรงดัน.....	12
2.2.4 สูตรสำหรับการไบอัสแบ่งแรงดัน.....	14
2.3 หลักการของเอนโค้ดเดอร์.....	15
2.4 หลักการของเซนเซอร์อินฟราเรด.....	18
2.5 การส่งผ่านกำลังผ่านชุดเฟือง.....	20
2.5.1 เฟืองตรง (SPUR GEAR).....	20
2.5.2 เฟืองหนอน (WORM GEAR).....	21
2.6 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....	22
2.7 หลักการของการติดต่อแบบพอร์ตอนุกรม.....	23
2.7.1 การเชื่อมต่อตัวคอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232.....	24
2.7.2 การควบคุมสัญญาณ (FLOW CONTROL).....	25
2.7.3 ตัวแปลงสัญญาณ RS-232.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบหุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์และระบบ	
ควบคุมหุ่นยนต์.....	27
3.1 ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์.....	29
3.1.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์.....	29
3.1.2 โครงสร้างของวงจรควบคุมหุ่นยนต์.....	34
3.2 ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์.....	37
3.2.1 ส่วนการขับเซอร์โวมอเตอร์.....	38
3.2.2 ส่วนการติดต่อพอร์ตอนุกรมของเอนโค้ดเดอร์.....	39
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	42
4.1 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้าน	
แนวแกนขึ้น.....	43
4.2 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวตั้ง.....	46
4.3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้าน	
แนวแกนลง.....	48
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป.....	52
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	52
5.2 ปัญหาที่พบในโครงการ.....	52
5.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	52
5.4 แนวทางในการพัฒนาและการประยุกต์.....	53
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก แบบโครงสร้างของหุ่นยนต์.....	55
ภาคผนวก ข โปรแกรมการทำงานของหุ่นยนต์.....	62
ภาคผนวก ค DATASHEET.....	70
ภาคผนวก ง ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เซอร์โวมอเตอร์.....	5
2.2 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์.....	5
2.3 วงจรของทรานซิสเตอร์.....	7
2.4 กราฟของทรานซิสเตอร์ระหว่าง I_C และ V_{CE}	7
2.5 วงจรสมมูลไฟตรงในอุดมคติ.....	8
2.6 การไบอัสที่เบส.....	8
2.7 เส้นโหลดไฟตรง (DC LOAD LINE).....	9
2.8 วงจรขยายที่จุด SAT.....	10
2.9 วงจรขยายที่จุด CUT OFF.....	10
2.10 วงจรขยายที่จุด ACTIVE.....	11
2.11 การไบอัสแบ่งแรงดัน.....	13
2.12 ตัวอย่างของออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้งานทั่วไป.....	15
2.13 อินทรีย์เมนทัลเอนโค้ดเดอร์แบบจานหมุน.....	16
2.14 จานหมุนของอินทรีย์เมนทัลเอนโค้ดเดอร์.....	16
2.15 แอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์.....	18
2.16 จานหมุนของแอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์ กรณีจำนวนช่องแทรกเท่ากับ 8 ($n = 8$).....	18
2.17 รายละเอียดของวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด.....	19
2.18 การติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์.....	19
2.19 การติดตั้งตัวตรวจจับการชนแบบใช้แสงอินฟราเรด.....	20
2.20 เฟืองตรง (SPUR GEAR).....	21
2.21 เฟืองหนอน (WORM GEAR).....	21
2.22 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....	22
2.23 สนามแม่เหล็กและทิศทางที่เกิดขึ้น.....	23
2.24 ทิศทางการไหลของฟลักซ์แม่เหล็ก.....	23
2.25 แสดงการจัดวางตำแหน่งขาคอนเน็คเตอร์แบบ DB-9.....	24
2.26 การเชื่อมต่อตัวรับตัวส่งแบบทั่วไป.....	24
2.27 แสดงโครงสร้างภายใน และตำแหน่งขาของ MAX232.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1	ลักษณะและรูปแบบวิธีการวัดแบบ EL CID.....27
3.2	แกนสแตเตอร์จำลอง.....28
3.3	รูปแบบโดยรวมของระบบ.....29
3.4	แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ.....29
3.5	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อกับชุดเฟืองทด.....30
3.6	รูปแบบและขั้นตอนของการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สลีต.....31
3.7	เซอร์โวมอเตอร์.....31
3.8	แท่งเหล็กอ่อนรูปเกือกม้า.....32
3.9	ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ติดไว้บนตัวของหุ่นยนต์.....32
3.10	เซนเซอร์อินฟราเรด.....33
3.11	เซนเซอร์ที่ประกอบเข้ากับตัวของหุ่นยนต์.....33
3.12	เอนโค้ดเดอร์.....34
3.13	วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด.....34
3.14	วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....35
3.15	วงจรเอนโค้ดเดอร์ที่ติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์.....36
3.16	แสดงรูปวงจรรวมที่ใช้จริง.....36
3.17	แผงวงจรที่ใช้จริง.....37
3.18	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรควบคุม.....38
4.1	แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสแตเตอร์จำลองวางในลักษณะต่างๆ.....42
4.2	ลักษณะการวางแกนสแตเตอร์จำลอง ในแนวระดับและหันด้านแนวแกนขึ้น.....43
4.3	กราฟระหว่างระยะทางที่ได้จากกล้องวีดีโอเทียบกับระยะทางที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์.....44
4.4	กราฟระหว่างความเร็วที่ได้จากกล้องวีดีโอเทียบกับความเร็วที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์.....44
4.5	กราฟระหว่างมุมมองในการกลับตัวของหุ่นยนต์เทียบกับเวลา.....45
4.6	ลักษณะการวางแกนสแตเตอร์จำลองวางในแนวตั้ง.....46
4.7	กราฟระหว่างระยะทางที่ได้จากกล้องวีดีโอเทียบกับระยะทางที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์.....46
4.8	กราฟระหว่างความเร็วที่ได้จากกล้องวีดีโอเทียบกับความเร็วที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์.....47
4.9	กราฟระหว่างมุมมองในการกลับตัวของหุ่นยนต์เทียบกับเวลา.....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ลักษณะการวางแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้านแนวแกนลง.....	49
4.11 กราฟระหว่างระยะทางที่ได้จากกล้องวิดีโอเทียบกับระยะทางที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์.....	49
4.12 กราฟระหว่างความเร็วที่ได้จากกล้องวิดีโอเทียบกับความเร็วที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์.....	50
4.13 กราฟระหว่างมุมมองเสาในการกลับตัวของหุ่นยนต์เทียบกับเวลา.....	50
ก.1 ภาพถ่ายของหุ่นยนต์วางอยู่บนแกนสเตเตอร์จำลอง.....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางค่าความจริงการทำงานของ L293D.....	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ในทุกวันนี้เกิดมาจากการผลิตโดยโรงงานผลิตไฟฟ้าซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความร้อน กระแสไฟฟ้า กระแสลม หรือแม้กระทั่งพลังงานนิวเคลียร์ผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแปลงพลังงานเหล่านั้นออกมาเป็นกระแสไฟฟ้า เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าโรงงานผลิตไฟฟ้าแต่ละแห่งนั้นต้องทำงานตลอดเวลาเพื่อที่จะผลิตไฟฟ้ามาให้ประชาชนใช้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละโรงงานย่อมต้องทำงานหนักตลอดเวลา เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพหรือเกิดการเสียหาย ก็ต้องได้รับการซ่อมแซม

สำหรับการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นต้องใช้เวลาในการดำเนินงานเป็นเวลาโดยประมาณ 2 สัปดาห์ หรืออาจจะมากกว่าขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนั้น ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละโรงงานก็มีขนาดใหญ่อยู่แล้ว การทำการซ่อมบำรุงแต่ละครั้งก็ย่อมเป็นเรื่องที่ยากลำบาก โดยเริ่มต้นจากการถอดตัวโรเตอร์ออก จากนั้นจึงทำการคล่องสายไฟรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปเล็กน้อยเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเกิดเป็นสนามแม่เหล็กอ่อนๆ ขึ้นบนแกนสเตเตอร์ จากนั้นแล้วเจ้าหน้าที่จะทำการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้ผ่านหัวโพรบนำข้อมูลที่ได้อ่านวิเคราะห์โดยเครื่อง DIGITAL EL CID สำหรับหัวโพรบนี้จะติดอยู่บนเครื่องตรวจสอบสนามแม่เหล็กซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญก็คือ หัวโพรบตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก ล้อหมุนที่ติดกับตัวเครื่องให้สามารถลากจูงได้ ค้ำจับสำหรับผู้ใช้จับถือ และแม่เหล็กถาวรที่ใช้สำหรับยึดให้ตัวเครื่องตรวจสอบสนามแม่เหล็กแนบติดกับแกนสเตเตอร์ เจ้าหน้าที่จะลากตัวเครื่องตรวจสอบที่วางนี้ไปในแต่ละคู่อัดของแกนสเตเตอร์จากด้านหนึ่ง ไปจนสุดอีกด้านหนึ่ง เมื่อได้ค่าสนามแม่เหล็กเหล่านี้มาแล้วก็จะนำมาวิเคราะห์ทำให้ทราบจุดที่เกิดการเสียหาย จากนั้นก็ทำเครื่องหมายเอาไว้บนแกนสเตเตอร์ เจ้าหน้าที่จะทำแบบนี้โดยจะเปลี่ยนคู่อัดไปเรื่อยๆ จนครบทุกคู่อัดบนแกนสเตเตอร์ แล้วก็ทำการซ่อมแซมส่วนที่เกิดการเสียหายนั้น เมื่อซ่อมเสร็จแล้วก็จะนำตัวโรเตอร์มาประกอบเข้ากับแกนสเตเตอร์ซึ่งการประกอบนั้นก็ไม่ใช่เรื่องง่าย ต้องประกอบเข้ากันก่อนแล้วทดลองว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ ถ้ายังไม่ได้ก็ต้องปรับ ขยับ ให้ทั้งแกนสเตเตอร์และตัวโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกันและสามารถใช้งานได้เหมือนเดิม เป็นอันว่าเสร็จสิ้นการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จะเห็นว่าการถอดประกอบตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อนำหัวโพรบเข้าไปตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กนั้นเป็นเรื่องที่ลำบากและสิ้นเปลืองเวลาเป็นอย่างมาก ถ้านำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาศึกษาและวิเคราะห์ให้ดี จะพบว่าระหว่างแกนสเตเตอร์และตัวโรเตอร์จะมีช่องว่างขนาดเล็ก โดยมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดประมาณ 5 เซนติเมตร ด้วยปัญหาที่พบและลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้เกิดการ ออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กเพื่อนำเข้าไปในช่องว่างขนาด 5 เซนติเมตรนี้ นำหัวโพรบตรวจวัด สนามแม่เหล็กเข้าไปตรวจสอบหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์แทนที่จะมีทำการถอดประกอบ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แนวคิดในเบื้องต้นของหุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์จะยังไม่นำ หัวโพรบติดเข้าไปกับตัวหุ่นยนต์ แต่จะทำการออกแบบหุ่นยนต์และรูปแบบการเคลื่อนที่ที่จะ สามารถเคลื่อนที่ไปและกลับจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งโดยที่มีการปรับเปลี่ยนสล็อตเป็นคู่ เช่นเดียวกับการวัดและซ่อมบำรุงแบบดั้งเดิม จากนั้นแล้วก็จะทำเหมือนเดิมจนครบทุกสล็อตบน แกนสเตเตอร์ โดยหุ่นยนต์จะเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ ระยะทาง ตำแหน่งของหุ่นยนต์ผ่าน สายควบคุม ซึ่งการทำงานจะเป็นแบบอัตโนมัติและความสูงของหุ่นยนต์จะมีขนาดไม่เกิน 5 เซนติเมตร

สำหรับหุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องในแกนสเตเตอร์จะช่วยลดระยะเวลาในการ ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่อง และความยุ่งยากในการถอดประกอบชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้ง ความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ โรงงานผลิตไฟฟ้าทุกแห่ง

1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน

1. เพื่อศึกษาและออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่เข้าไปปฏิบัติการในช่องว่างระหว่างแกน สเตเตอร์และ โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาและออกแบบการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตามรูปแบบ การตรวจวัดหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์ของ โรงงานผลิตไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาการเขียน โปรแกรม VISUAL BASIC กับ การเชื่อมต่อแบบพอร์ตอนุกรม
4. เพื่อศึกษาและออกแบบ โปรแกรมเพื่อสร้างรูปแบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ

การศึกษาและจัดทำโครงการนี้เริ่มมาจากการศึกษาวิธีการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ โรงงานผลิตไฟฟ้าว่ามีการซ่อมบำรุงกันอย่างไร ลักษณะของแกนสเตเตอร์ว่ามีขนาด ความสูง เท่าไร เพื่อนำมาออกแบบหุ่นยนต์และลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ รวมทั้งการออกแบบการ เคลื่อนที่ที่สามารถจะสลับคู่สล็อตของแกนสเตเตอร์ ในเริ่มต้นโครงการนี้จะสร้างแกนสเตเตอร์ จำลองขึ้นมาเพื่อการทดลอง โดยที่ขนาดนั้นมีขนาดเท่ากับของจริง

การออกแบบหุ่นยนต์จะต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์ และ มอเตอร์ไฟฟ้า

กระแสดตรง รวมทั้งความรู้ทางด้านระบบส่งกำลังแบบต่างๆ แรงแม่เหล็กจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาสร้างหุ่นยนต์ที่มีขนาดเล็ก ที่สามารถเคลื่อนที่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการออกแบบจะทำการทดลองควบคู่ไปด้วย เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ เมื่อออกแบบหุ่นยนต์ได้แล้วก็ทำการเปลี่ยนโครงสร้างของหุ่นยนต์ ให้เป็นอลูมิเนียม เพื่อที่จะมีน้ำหนักที่เบาและแข็งแรง จากนั้นทำการพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมดของหุ่นยนต์ผ่านสายควบคุม

1.4 เนื้อหาที่จะกล่าวในปริิณญาณิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริิณญาณิพนธ์ฉบับนี้คือ

ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์ เช่นเซอร์โอินฟราเรด ทรานซิสเตอร์ เอนโค้ดเดอร์ การส่งผ่านกำลังผ่านชุดเฟือง ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า และการติดต่อแบบพอร์ตอนุกรม

ในบทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์ และระบบควบคุมหุ่นยนต์

ในบทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง โดยจะมีการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ภายใต้อาณาต่างกันไปแล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าระยะทางและความเร็วเฉลี่ยผ่านทางกล้องวีดีโอ เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ผ่านทางเอนโค้ดเดอร์ รวมทั้งการหาค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ทำให้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าภายในตัวหุ่นยนต์สามารถยึดติดได้

ในบทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

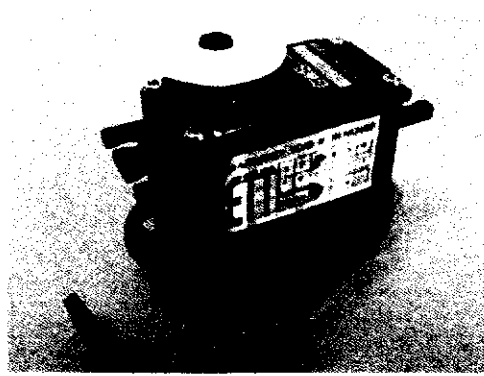
บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

จากแนวคิดในการออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่จะเข้าไปตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องในแกนสเตเตอร์ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทนำ จำเป็นต้องใช้ความรู้ในหลายๆ ด้านมาประกอบกัน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านมอเตอร์ ความรู้ทางด้านเซนเซอร์ ความรู้ทางด้านวงจร และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งสามารถแบ่งหัวข้อในการอธิบายได้ดังนี้

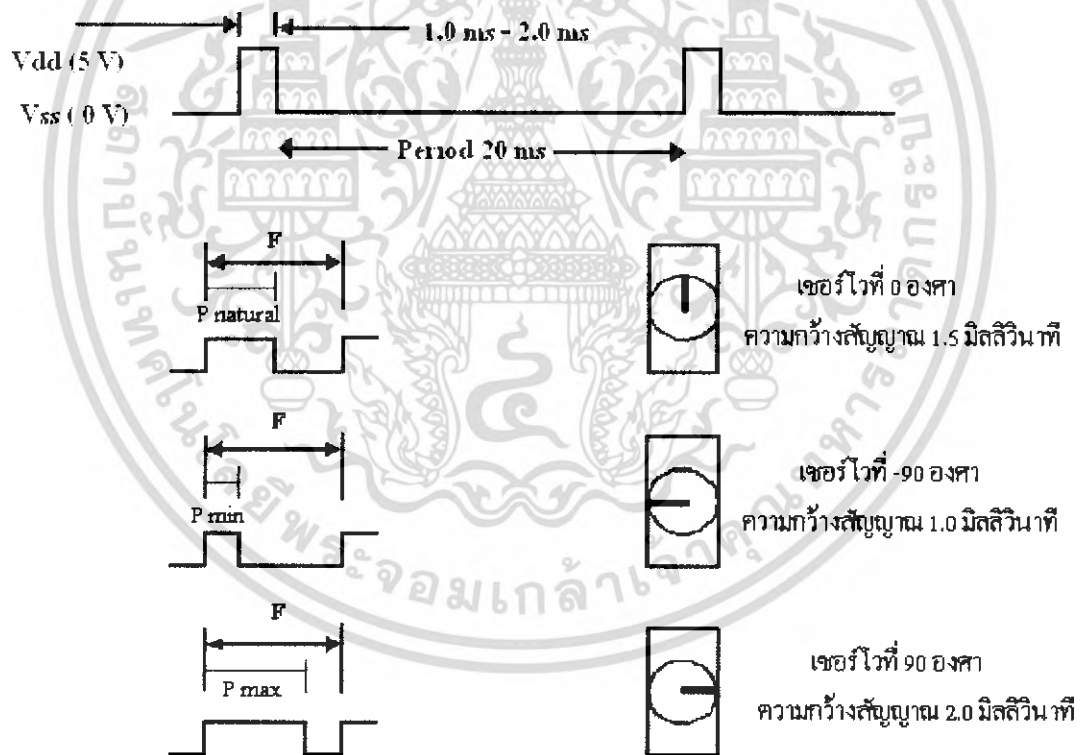
2.1 เซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกประกอบรวมกับชุดเกียร์และส่วนควบคุมต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน ดังรูปที่ 2.1 โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ ไฟเลี้ยง กราวด์ และสายสัญญาณควบคุม ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวาได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ปรับความกว้างของรูปคลื่นได้ (PWM) ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ชนิดนี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ จะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา ให้แรงบิดสูง ใช้พลังงานน้อย สามารถใช้งานได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรซับซ้อนๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่งหรือทิศทางองศาที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่เซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้แค่เพียงในช่วงประมาณ 180 องศา หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น หรือ บางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210 องศา แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และ ตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้น เซอร์โวมอเตอร์จึงถูกออกแบบให้หมุนได้เพียงแค่ประมาณ 180 องศา หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น แต่ถ้าหากเราต้องการให้มอเตอร์หมุนเป็นวงรอบ (360 องศา) นั่นก็สามารถทำได้ โดยจะต้องทำการปรับแต่ง คัดแปลงชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์



รูปที่ 2.1 เซอร์ไวโมเตอร์

การควบคุมการทำงานของเซอร์ไวโมเตอร์ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้น โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูปที่ 2.2 คือ



รูปที่ 2.2 การทำงานของเซอร์ไวโมเตอร์

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 มิลลิวินาที จะควบคุมให้เซอร์ไวโมเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศาหรือ จุดกึ่งกลางของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 มิลลิวินาที จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม -90 องศาหรือ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 มิลลิวินาที จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม +90 องศา หรือ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ค่าความกว้างพัลส์และระยะของสากการหมุนของมอเตอร์ที่อธิบายด้านบนนั้นเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ทั้งนี้ระยะการหมุนและขนาดของพัลส์ที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแต่ละยี่ห้ออาจจะไม่เท่ากันดังนั้นในการใช้งานจึงควรศึกษารายละเอียดของมอเตอร์ในแต่ละรุ่นที่นำมาใช้ ซึ่งโดยปรกติแล้วรายละเอียดต่างๆ ของมอเตอร์มักจะมีติดมากับตัวมอเตอร์นั้นๆ อยู่แล้ว

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆ นั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เป็นระดับความกว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุดทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม -45 องศา เราก็จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และสัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 มิลลิวินาที เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้

โดยหลักการ คือ จะมีการอาศัยการเปรียบเทียบช่วงเวลาของความกว้างพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ทางขาสัญญาณควบคุมกับค่าเวลาของวงจรภายในบอร์ดควบคุมในตัวของมอเตอร์ ซึ่งค่าเวลาของวงจรนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามการหมุนของมอเตอร์ เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าจะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งการหมุนของมอเตอร์จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ค่าเวลาของวงจรเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยในขณะที่ป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุม สัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเวลาของวงจรหากค่าทั้งสองไม่เท่ากัน มอเตอร์ก็จะหมุนทำให้ค่าเวลาของวงจรเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งค่าเวลาความกว้างพัลส์ของวงจรเปลี่ยนแปลงจนเท่ากับสัญญาณพัลส์ทางขาควบคุม มอเตอร์จึงจะหยุดหมุน

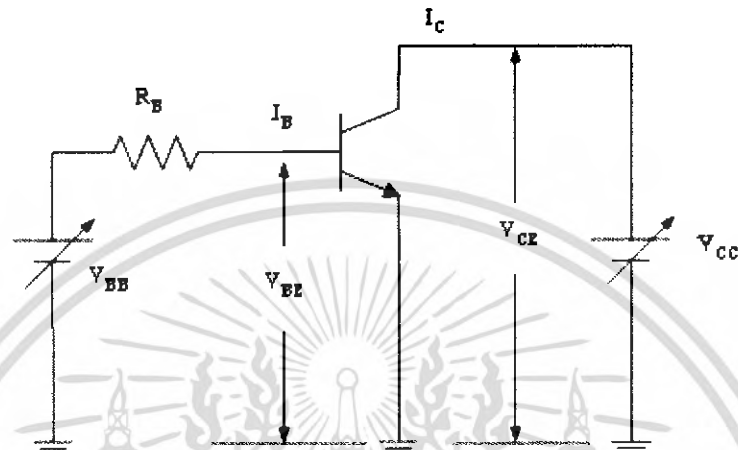
2.2 หลักการของทรานซิสเตอร์

การต่อทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม(CE)เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในช่วงอิเล็คทรอนิกส์ ดังนั้นจะกล่าวถึงเฉพาะวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วม

2.2.1 การต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วม

ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์จะต่อกราวด์เข้าที่ขาอิมิตเตอร์ ไม่เหมือนกับการต่อแบบเบสร่วมซึ่งต่อกราวด์เข้าที่ขาเบสจำไว้เลยว่าถ้าเป็นการต่อแบบขาอะไรร่วมขาทรานซิสเตอร์ขานั้นจะต่อกราวด์ ดังรูปที่ 2.3

จากกราฟรูปที่ 2.4 จะพบว่าทรานซิสเตอร์มีค่า β_{dc} ประมาณ 100 ถ้ากระแสเบสมีค่า 0.01 mA กระแสคอลเลกเตอร์จะมีค่า 1 mA การปรับเปลี่ยนค่า V_{CE} แทนจะไม่มีผลต่อกระแสคอลเลกเตอร์เลย เพราะอิเล็กตรอนเกือบทั้งหมดจะวิ่งจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเลกเตอร์ นั่นคือ I_C ขึ้นกับ I_B มากกว่านั่นเอง



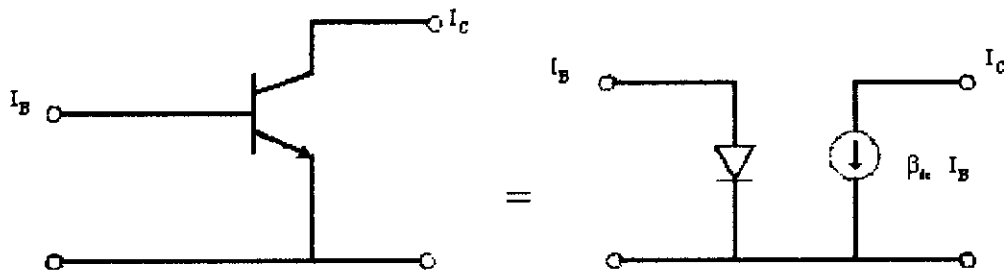
รูปที่ 2.3 วงจรของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.4 กราฟของทรานซิสเตอร์ระหว่าง I_C และ V_{CE}

รูปที่ 2.5 เป็นวงจรสมมูลของทรานซิสเตอร์ NPN แบบอิมิตเตอร์ร่วม ระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์เปรียบเสมือนมีไดโอดถูกไบอัสตรงด้วยกระแส I_B ระหว่างคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์เปรียบเสมือนมีแหล่งจ่ายกระแสที่มีค่า $\beta_{dc} I_B$ ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

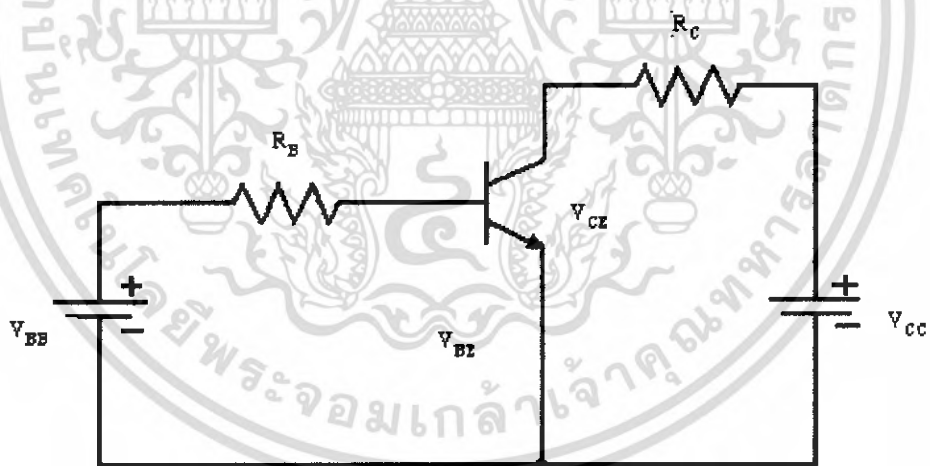


รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลไฟตรงในอุดมคติ

การต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วม ทำให้แหล่งจ่ายกระแสคอลเลกเตอร์จะถูกควบคุมด้วยกระแสเบส ถ้าเราเปลี่ยนค่ากระแสเบส กระแสคอลเลกเตอร์จะเปลี่ยนไปโดยมีค่าเท่ากับ $\beta_{dc} I_B$

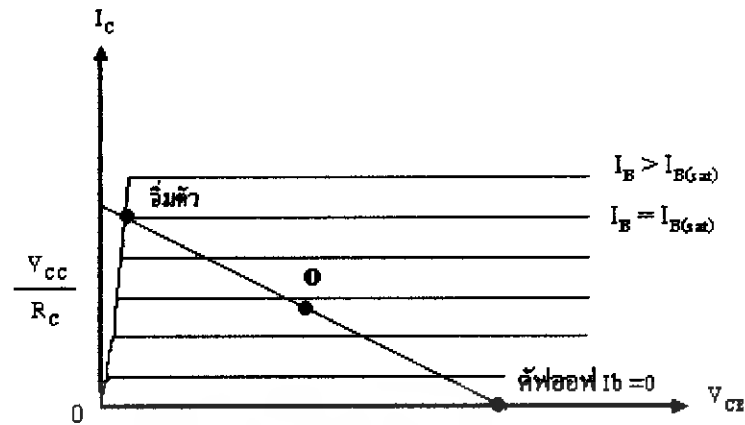
2.2.2 การไบอัสที่เบส

รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงการไบอัสที่เบส เป็นวิธีที่ง่ายในการไบอัสวงจรทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม



รูปที่ 2.6 การไบอัสที่เบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 เส้นโหลดไฟตรง (DC LOAD LINE)

แหล่งจ่ายแรงดัน V_{RR} จะไบอัสตรงให้แก่ิมิตเตอร์ไดโอด โดยมี R_B ช่วยจำกัดกระแส กระแสเบสไฟตรงที่ผ่านทรานซิสเตอร์ตัวนี้ คือ

$$I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B$$

โดยทั่วไป $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ สำหรับซิลิกอนทรานซิสเตอร์

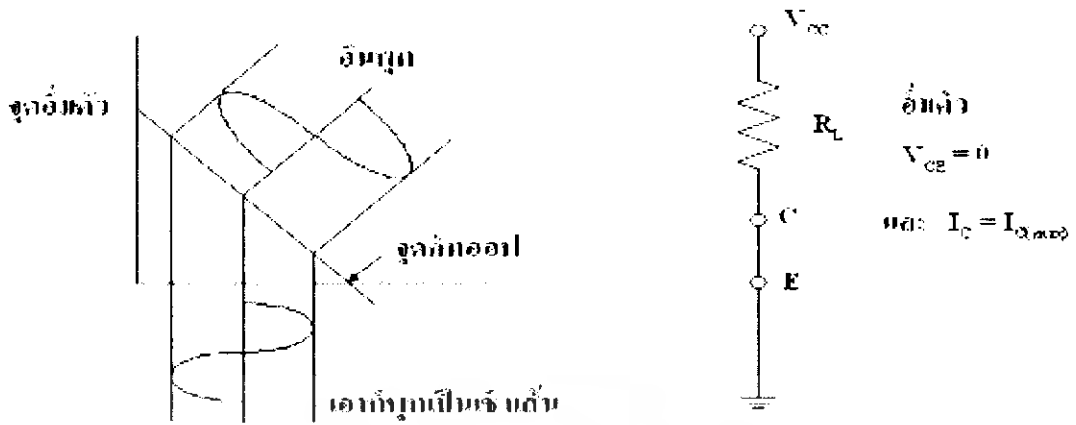
$V_{BE} = 0.3 \text{ V}$ สำหรับเยอรมันเนียมทรานซิสเตอร์

แหล่งจ่ายแรงดัน V_{CC} ไบอัสกลับให้แก่คอลเลคเตอร์ไดโอดโดยผ่านตัวต้านทาน R_C จะหา V_{CE} ได้โดย

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

จากวงจรจะเห็นว่า V_{CC} และ R_C คงที่ แต่ V_{CE} และ I_C สามารถเปลี่ยนค่าได้

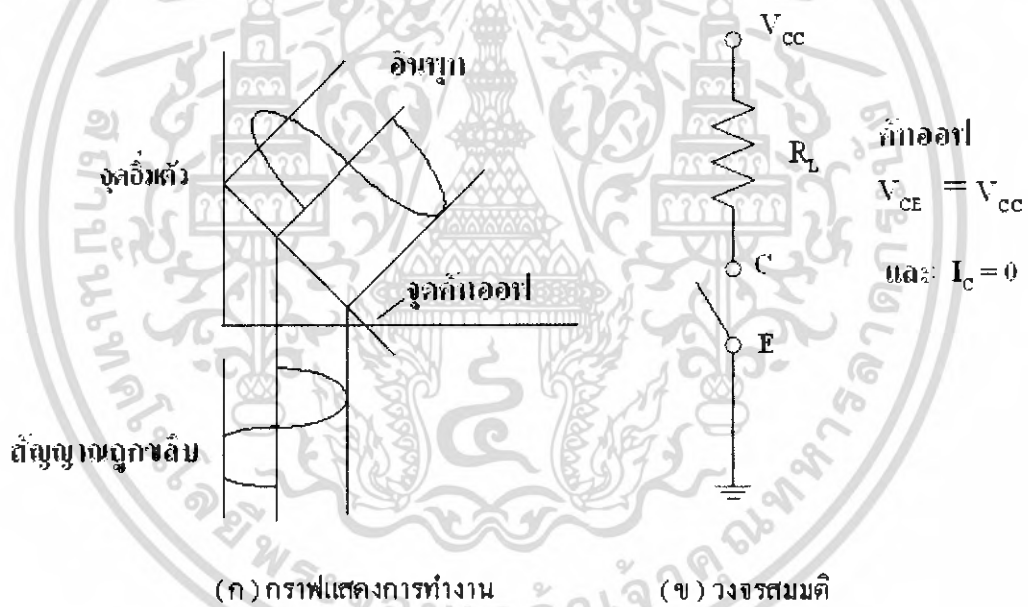
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กราฟแสดงการทำงาน

(ข) วงจรสมมติ

รูปที่ 2.8 วงจรขยายที่จุด SAT

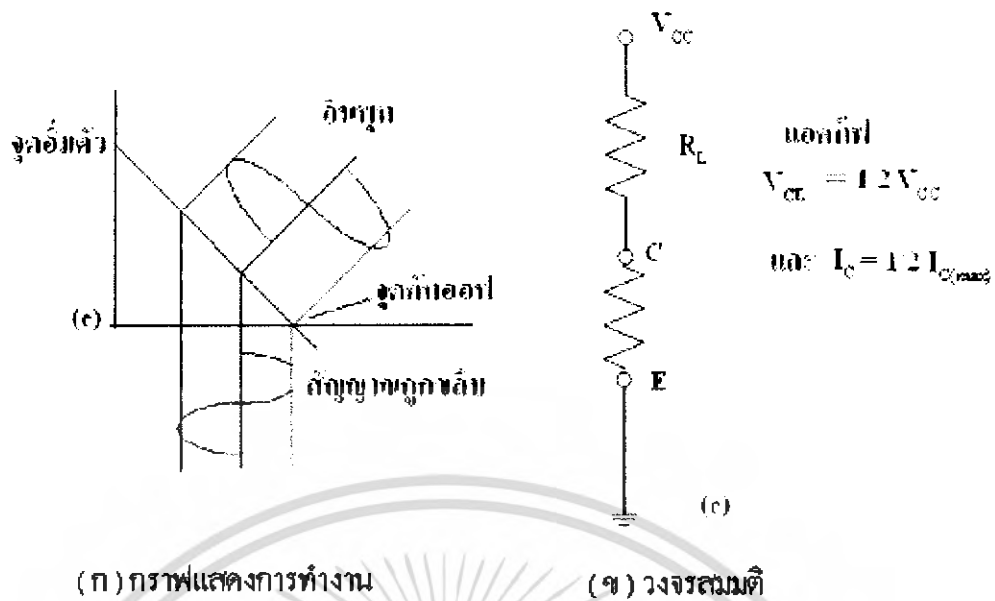


(ก) กราฟแสดงการทำงาน

(ข) วงจรสมมติ

รูปที่ 2.9 วงจรขยายที่จุด CUT OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจรขยายที่จุด ACTIVE

จากสมการเชิงเส้น เป็นเส้นตรงที่ลากทับอยู่บนกราฟของคอลเลคเตอร์ (รูปที่ 2.7) เส้นตรงที่ตัดเส้นในแนวนอนที่จุด V_{CC} และเส้นในแนวตั้งที่จุด V_{CC} / R_C เส้นตรงนี้มีชื่อว่า “เส้นโหลดไฟตรง” ซึ่งมีจุดทำงานได้ทุกจุดบนเส้นโหลดไฟตรงของทรานซิสเตอร์ดังนั้นสามารถใช้วงจขยายให้ทำงานที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นโหลดไฟตรงได้

จุดทำงานที่ดีที่สุดปกติจะอยู่ที่กึ่งกลางของเส้นโหลด เส้นโหลดจะช่วยให้เห็นจุดการทำงานของวงจร ดังรูปที่ 2.8 ณ จุดทำงานที่อยู่กึ่งกลางเส้นโหลด เมื่อสัญญาณอินพุตที่แกว่งขึ้นลงจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่ไม่ผิดเพี้ยนเลย ส่วนรูปที่ 2.9 จุดทำงานอยู่ใกล้กับจุดอิ่มตัว สัญญาณเอาต์พุตจะถูกขลิบด้านบน ส่วนรูปที่ 2.10 จุดทำงานอยู่ใกล้กับจุดคัทออฟ สัญญาณจะถูกขลิบด้านล่างจะเห็นได้ว่าจุดทำงานที่ดีที่สุดควรอยู่ใกล้ๆ จุดกึ่งกลางของเส้นโหลด เพราะสัญญาณจะได้แกว่งขึ้นและลงได้โดยไม่ผิดเพี้ยนเนื่องจากถูกขลิบ

โดยปกติแล้ว ไม่ควรเกิดการคัทออฟและอิ่มตัวขึ้นในวงจขยายเชิงเส้น เพราะจะทำให้สัญญาณถูกขลิบ และผิดเพี้ยนได้ สภาวะการทำงานทั้ง 3 แบบของทรานซิสเตอร์แสดงอยู่ในรูปที่ 2.8 รูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าวงจขยายที่สภาวะอิ่มตัวเปรียบเสมือนกับสวิตช์ปิดวงจร กระแสไหลผ่านจึงไม่เกิดแรงดันตกคร่อมสวิตช์ปิด ดังนั้น $V_{CE} = 0$ รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่า วงจขยายที่สภาวะคัทออฟ ทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน จึงไม่มีกระแสไหลผ่านตัวมัน แรงดันที่คร่อมสวิตช์เปิด V_{CE} มีค่าเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยง ถ้าทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะแอกทีฟตัวทรานซิสเตอร์จะเปรียบเสมือนเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่ง ถ้าต้องการให้จุดทำงาน Q ของทรานซิสเตอร์อยู่กึ่งกลาง ควร

ออกแบบให้กระแสคอลเลกเตอร์มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของกระแสสูงสุดของวงจรมันและ V_{CE} มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟเลี้ยง

ที่สภาวะคัทออฟ อิมิตเตอร์ไดโอดไม่ได้ถูกไบอัสตรง ส่วนที่สภาวะอิ่มตัว คอลเลกเตอร์ไดโอดไม่ได้ถูกไบอัสกลับนั้น เพราะ $V_{CE(SAT)} = 0$ (เนื่องจาก $V_{CE(SAT)}$ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ V_{CC} จึงไม่นำมาคิดในที่นี้) จึงพอประมาณค่ากระแสคอลเลกเตอร์อิ่มตัว ($I_{C(SAT)}$) ได้คือ

$$I_{C(SAT)} = I_{C(MAX)} = (V_{CC} - V_{CE(SAT)}) / R_C$$

$I_{C(SAT)}$ เป็นกระแสสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในวงจรจึงเปรียบเสมือน $I_{C(SAT)} = I_{C(MAX)}$ ได้ ถ้าเราหาค่า I_C ในวงจรพบว่ามีค่า $I_C < I_{C(SAT)}$ แล้วแสดงว่าทรานซิสเตอร์ตัวนี้ทำงานได้ (แอกทีฟ) ถ้า $I_C > I_{C(SAT)}$ แสดงว่าทรานซิสเตอร์อิ่มตัวแล้ว ถ้า $I_C = 0$ แสดงว่าทรานซิสเตอร์คัทออฟ การมีกระแสเบสไหล จะทำให้เกิดกระแสคอลเลกเตอร์ได้ ดังนั้นแรงดันที่คร่อมระหว่างขาเบสกับกราวด์จะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันที่คร่อมระหว่างขาเบสกับอิมิตเตอร์ (V_{BE}) จึงมีกระแสเบสไหลได้ ไม่เช่นนั้นจะไม่มีกระแสเบสไหล เมื่อไม่มีกระแสเบสไหล กระแสคอลเลกเตอร์ก็ไม่เกิดขึ้น

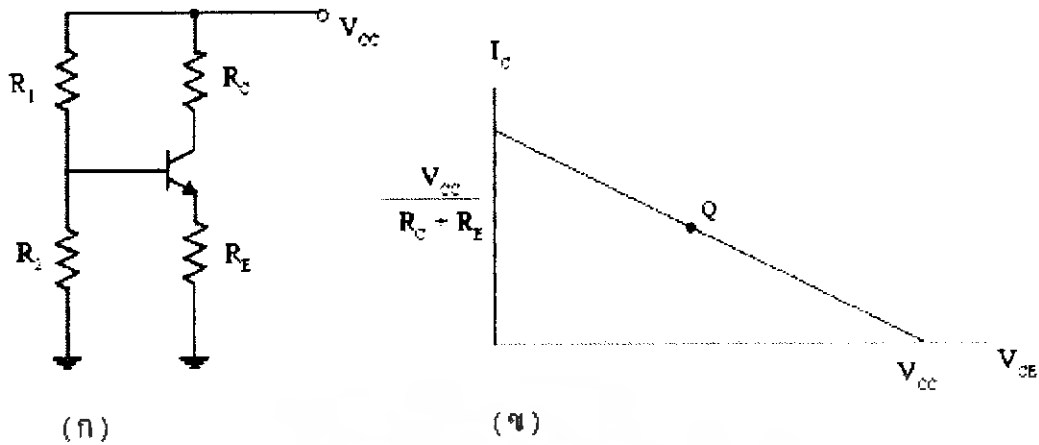
2.2.3 การไบอัสแรงดัน

วงจรทรานซิสเตอร์เชิงเส้น (LINEAR TRANSISTOR CIRCUIT) จะทำงานได้เสมอในสภาวะแอกทีฟ หรือทรานซิสเตอร์ในวงจรเชิงเส้นไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะคัทออฟ และอิ่มตัว

โดยปกติ แหล่งจ่ายไฟตรง (DC SOURCE) จะเลือกจุดทำงาน Q ให้ใกล้กับจุดกึ่งกลางของเส้น โหลดให้มากที่สุด และแหล่งจ่ายสัญญาณไฟสลับที่มีขนาดเล็ก (SMALL AC SOURCE) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของกระแส และแรงดันคอลเลกเตอร์

รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงวิธีการไบอัสแบ่งแรงดัน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้แพร่หลายในวงจรทรานซิสเตอร์เชิงเส้นเพราะค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_2 จะไบอัสตรงให้แก่อิมิตเตอร์และจะให้กระแสคอลเลกเตอร์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับค่าของ β ของทรานซิสเตอร์

จากวิธีการไบอัสแบ่งแรงดัน กระแสเบสในรูปที่ 2.11 มีค่าน้อยกว่ากระแสที่ผ่าน R_1 และ R_2 จะได้แรงดันที่ตกคร่อม R_2



รูปที่ 2.11 การไบอัสแบ่งแรงดัน (ก) วงจร (ข) เส้นโหลดไฟตรง

$$V_2 = V_{CC} [R_2 / (R_1 + R_2)]$$

จะได้

$$V_E = V_2 - V_{BE}$$

ดังนั้น

$$I_E = V_E / R_E = (V_2 - V_{BE}) / R_E$$

เมื่อทรานซิสเตอร์อิ่มตัว V_{CE} จะมีค่าใกล้เคียง 0 มาก เปรียบเสมือนคอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์นั้นลัดวงจรถึงกัน จะได้กระแสคอลเลกเตอร์อิ่มตัว

$$I_{C(SAT)} = V_{CC} / (R_C + R_E)$$

ในทางตรงกันข้าม เมื่อทรานซิสเตอร์คัทออฟระหว่างคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์จะเปิดวงจร แหล่งจ่ายแรงดันของรูปที่ 2.11 คือแรงดันที่คร่อมระหว่างขั้วคอลเลกเตอร์กับอิมิตเตอร์จะได้

$$V_{CC} = V_{CC(คัทออฟ)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสคอลเลคเตอร์มีค่าประมาณกระแสอิมิตเตอร์

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

ในการตรวจสอบวงจร วิธีการวัดค่าแรงดันคอลเลคเตอร์เมื่อเทียบกับกราวด์จะสะดวกกว่าแรงดันที่คร่อมระหว่างคอลเลคเตอร์กับอิมิตเตอร์ จะได้แรงดันคร่อมคอลเลคเตอร์

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

ที่กล่าวมาแล้วเบื้องต้น จะหาค่าแรงดันที่คร่อมระหว่างอิมิตเตอร์กับกราวด์ได้

$$V_E = V_2 - V_{BE}$$

2.2.4 สมการสำหรับการไบอัสแบ่งแรงดัน

โดยการใช้ทฤษฎีเทวินินกับวิธีไบอัสแบ่งแรงดัน ก็จะได้กระแสคอลเลคเตอร์

$$I_C = (V_{BB} - V_{BE}) / [R_E + (R_1 + (R_1 // R_2)) / \beta_{DC}]$$

ในวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์นั้นมีปัญหาใหญ่ที่สำคัญ คือ ค่า β_{DC} สามารถเปลี่ยนแปลงได้แม้ว่าเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดเดียวกันก็ตาม เช่น ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3904 มีค่า β_{DC} ต่ำสุดเท่ากับ 100 และ β_{DC} สูงสุดเท่ากับ 300 ยิ่งไปกว่านั้น β_{DC} ยังเปลี่ยนค่าได้ตามอุณหภูมิอีกด้วย การที่ β_{DC} เปลี่ยนค่าได้ ทำให้เราต้องใช้วิธีไบอัสที่เหมาะสมในวงจรเชิงเส้น เนื่องจากเราจะกำหนดตำแหน่งจุด Q ให้แน่นอนได้ยาก แต่วิธีการแบ่งแรงดันไบอัส ทำให้ค่า β_{DC} มีผลต่อ I_C ในวงจรมีผลน้อยลง ทำให้เรากำหนดจุดทำงาน Q ได้แน่นอนขึ้น

ดังนั้น ถ้าเราเลือกค่า R_1 , R_2 และ R_E โดยให้อยู่ในสภาวะนี้ คือ

$$R_E \gg (R_1 // R_2) / \beta_{DC}$$

จะได้สมการ

$$I_E = (V_2 - V_{BE}) / R_E$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าได้ตั้งค่า β_{DC} ทำให้กระแสฮิมิตเตอร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่า β_{DC} อีกต่อไป

2.3 หลักการของเอนโค้ดเดอร์

ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ คือ เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดระยะขจัดที่ให้ระยะขจัดเชิงเส้นหรือระยะขจัดเชิงมุมมีค่าแปรผันไปตามการส่งผ่านแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (SOURCE) จนถึงตัวตรวจจับแสง (DETECTOR) โดยให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล และเนื่องจากสัญญาณออกที่ได้จากออปติคัลเอนโค้ดเดอร์นี้เป็นสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัล จึงทำให้เซนเซอร์แบบนี้ มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ และระบบดิจิทัล อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มากมาย ตัวอย่างของออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไปแสดงได้ดังรูปที่ 2.12



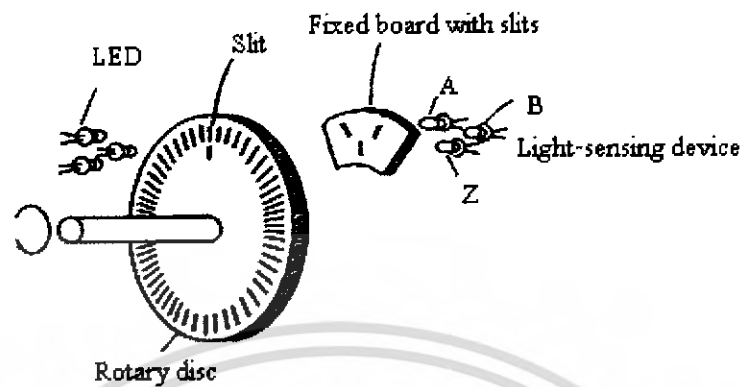
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ใช้งานทั่วไป

ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ อินครีเมนทัลเอนโค้ดเดอร์ (INCREMENTAL ENCODER) และ แอบโซลูทเอนโค้ดเดอร์ (ABSOLUTE ENCODER)

- อินครีเมนทัลเอนโค้ดเดอร์ คือ ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแสดงถึงระยะขจัดของแกนหมุนที่เกิดขึ้น จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตช่วงถัดไปจะถูกตรวจวัดและทำการแปลงให้อยู่ในรูปของระยะขจัดเชิงมุมที่เกิดขึ้นของเพลาหมุน
- แอบโซลูทเอนโค้ดเดอร์ คือ ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแสดงถึงระยะขจัดเชิงมุมทั้งหมดของเพลาหมุนที่เกิดขึ้น โดยนับจากตำแหน่ง 0

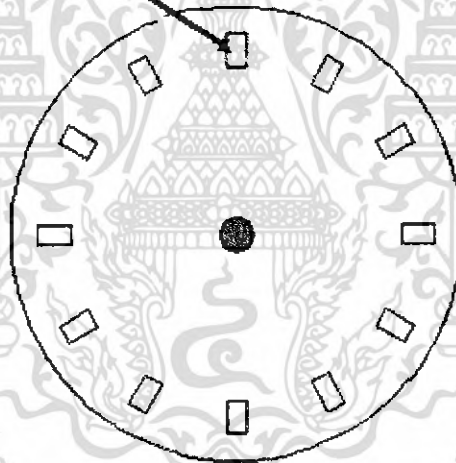
หลักการทำงานพื้นฐานของอินครีเมนทัลเอนโค้ดเดอร์แบบจานหมุนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งประกอบด้วยแผ่นจานหมุนซึ่งยึดติดอยู่กับเพลาหมุนที่ต้องการจะตรวจวัดระยะขจัดเชิงมุม โดยมี LED (LIGHT EMITTING DIODE) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง แผ่นจานหมุนจะถูกเจาะให้เป็นร่องหรือในที่นี่จะเรียกว่า “ช่องหน้าต่าง(WINDOW)” เพื่อให้ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสามารถพุ่งผ่านไปได้ และส่วนที่เหลือก็จะเป็นส่วนทึบแสง เพื่อปิดกั้นไม่ให้แสงผ่านไปได้อีกส่วนนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวตรวจจับแสงเป็นส่วนทำหน้าที่ตรวจจับแสงที่ผ่านมาช่องหน้าต่างเพื่อสร้างให้เป็นสัญญาณเอาต์พุทของวงจรต่อไป



รูปที่ 2.13 อินทรีย์เมนทลเอนโค้ดเคอร์แบบจานหมุน

ช่องหน้าต่าง

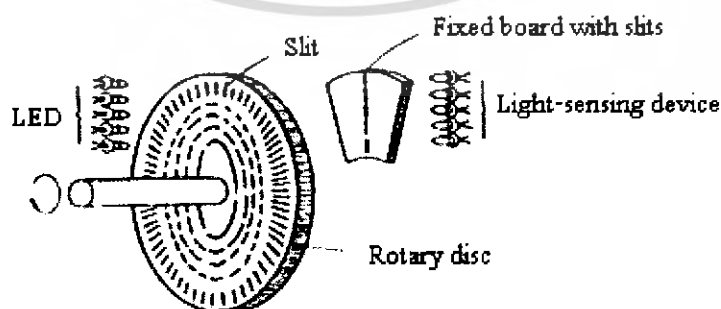


รูปที่ 2.14 งานหมุนของอินทรีย์เมนทลเอนโค้ดเคอร์

ลักษณะงานหมุนของอินทรีย์เมนทลเอนโค้ดเคอร์แสดงดังรูปที่ 2.14 เมื่อเพลามีการหมุนขึ้นหรือมีการเคลื่อนที่เชิงมุมเกิดขึ้นลำแสงจากแหล่งกำเนิดสามารถพุ่งผ่านไปยังตัวตรวจจับแสงได้ โดยผ่านช่องหน้าต่าง บนงานหมุนนอกเหนือจากนั้นก็จะถูกปิดกั้นด้วยงานหมุนนั้น หมายความว่าจำนวนลำแสงที่สามารถพุ่งไปยังตัวตรวจจับแสงได้ ต้องมีค่า เท่ากับจำนวนช่องหน้าต่างบนงานหมุนนั่นเอง ดังนั้น ตัวตรวจจับแสงจึงสร้างสัญญาณพัลส์เอาต์พุทตามจำนวนของลำแสงที่ได้รับซึ่งมีค่าสอดคล้องเป็นไปตาม การหมุนของเพลลา หรือ งานหมุน และ มุมต่างเฟสของสัญญาณพัลส์เอาต์พุทนั้นแสดงถึงทิศทางของการหมุน ทำให้สรุปได้ว่าจำนวนพัลส์มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมุมในการหมุนของเพลลา และระยะขาดเชิงมุมที่เกิดขึ้นจึงสามารถคำนวณได้จากตำแหน่งอ้างอิงที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

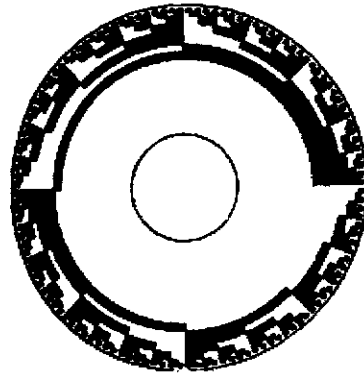
กำหนดไว้ ค่าความละเอียด (RESOLUTION) ที่ได้จากการวัดขึ้นอยู่กับจำนวนช่องหน้าต่างบนจานหมุน กล่าวคือ หากช่องหน้าต่างมีจำนวนมากขึ้นก็จะทำให้ค่าความละเอียดมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก $2r$ เรเดียน (360 องศา)หารด้วยจำนวนช่องหน้าต่างบนจานหมุน (มีจำนวนประมาณ 60 ช่องจนถึง 1000 ช่อง) และโดยทั่วไปค่าความละเอียดของอินคริเมนทัล เอนโค้ดเดอร์แบบจานหมุนนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.0034 เรเดียน (0.2 องศา) ถึง 0.102 เรเดียน (6 องศา)

สำหรับแอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์มีส่วนประกอบแสดงได้ดังรูปที่ 2.15 โดยมีหลอด LED จำนวน 4 หลอดทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงส่งลำแสงผ่านจานหมุนไปยังตัวตรวจจับแสงที่ติดตั้งไว้ทางด้านขวามือ เอนโค้ดเดอร์แบบนี้ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักคล้ายกับอินคริเมนทัล เอนโค้ดเดอร์ แต่ส่วนที่แตกต่างก็คือ แอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์จะให้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถูกออกมาอยู่ในรูปของเลขฐาน 2 หรือเลขไบนารี (BINARY CODE) กล่าวคือหากลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงมีตำแหน่งตรงกับช่องหน้าต่าง และสามารถผ่านจานหมุนไปยังตัวตรวจจับแสงแล้ว ทำให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับมีสถานะเป็น “HIGH” หรือมีลอจิกเท่ากับ “1” แต่ในทางกลับกัน หากลำแสงมีตำแหน่งตรงกับส่วนที่บดบังแสงบนจานหมุน ซึ่ง ปิดกั้นแสงไม่ให้พุ่งไปยังตัวตรวจจับแสง ทำให้สถานะเช่นนี้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับแสงมีสถานะเป็น “LOW” หรือมีลอจิกเท่ากับ “0” ดังนั้นเพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่ในรูปเลขฐาน 2 ช่องหน้าต่างบนแผ่นจานหมุนจึงต้องทำการเจาะให้เป็นไปตามลำดับของเลขฐาน 2 จาก 0 ถึง $2^n - 1$ โดยที่ n คือ จำนวนช่องแทรก (TRACK) บนจานหมุน ตัวอย่างจานหมุนของแอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์ที่มีจำนวนช่องแทรก n เท่ากับ 4 (4 บิต) ดังรูปที่ 2.15 กรณีเช่นนี้จำนวนระดับทั้งหมดมีค่า 2^4 เท่ากับ 16 ระดับ และลำดับของเลขฐาน 2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง $(2^4 - 1 = 15)$ หรือตั้งแต่ 0000 จนถึง 1111 ค่าความละเอียดสามารถหาได้จาก 2π เรเดียน (360 องศา) หารด้วยจำนวนระดับทั้งหมด (16 ระดับ) ซึ่งจะได้ค่าความละเอียดในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 0.393 เรเดียน (22.5 องศา) และถ้าเลือกใช้งานหมุนที่มีจำนวนช่องแทรก n เท่ากับ 8 (8 บิต) กรณีนี้จำนวนระดับทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2^8 เท่ากับ 256 ระดับ และจะได้ค่าความละเอียดมีค่าเท่ากับ 0.024 เรเดียน (1.41 องศา)



รูปที่ 2.15 แอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

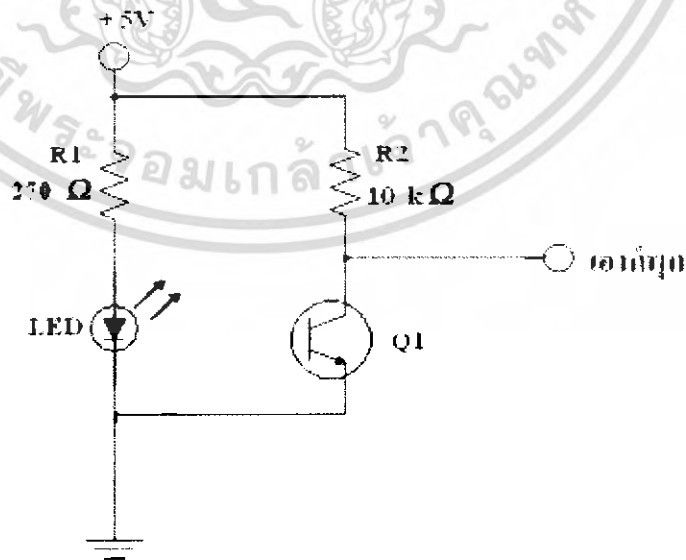


รูปที่ 2.16 งานหมุนของแอบไซกุธอนโค้ดเดอร์ กรณีจำนวนช่องแตรกเท่ากับ 8 ($n = 8$)

2.4 หลักการของเซนเซอร์อินฟราเรด

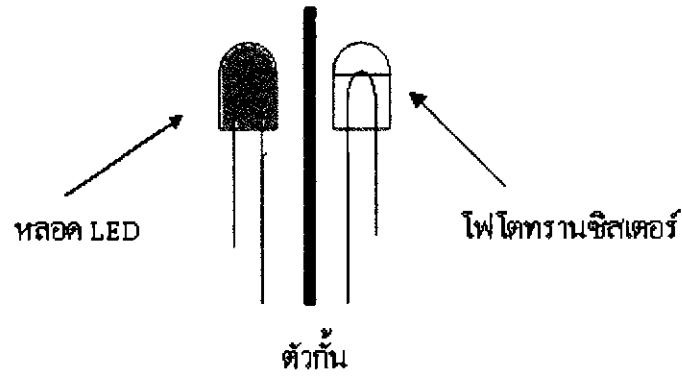
แสงเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตลอดเวลา แต่จะเกิดการสะท้อนกลับเมื่อไปกระทบกับวัตถุใดๆ ซึ่งเราสามารถนำข้อดีนี้มาใช้ในการสร้างระบบการหลักเล็งการชนโดยใช้แสงอินฟราเรด เพื่อสามารถบอกหุ่นยนต์ ได้ว่ามีวัตถุขวางทางอยู่หรือไม่ หรือสามารถให้ข้อมูลรายละเอียดของสิ่งแวดล้อมรอบตัวให้กับคอมพิวเตอร์หรือวงจรควบคุม

ตัวตรวจวัดแบบใช้แสงอินฟราเรดอย่างง่าย แสดงดังรูปที่ 2.17 ซึ่งใช้ LED แบบอินฟราเรด และโฟโตทรานซิสเตอร์แบบอินฟราเรด โดยเอาต์พุต ของทรานซิสเตอร์ สามารถต่อเข้ากับวงจรควบคุมใดๆก็ได้หรือวงจรของคอมพิวเตอร์ก็ใช้งานได้ดี โดยจะส่งข้อมูลให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ว่าจะไปหรือไม่ไป รูปที่ 2.18 แสดงการติดตั้ง LED และโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งอาจจะติดตั้งด้านบนของหุ่นยนต์เพื่อใช้สำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวางเช่น ผนัง แก้ว ไม้ หรือคนเป็นต้น



รูปที่ 2.17 รายละเอียดของวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

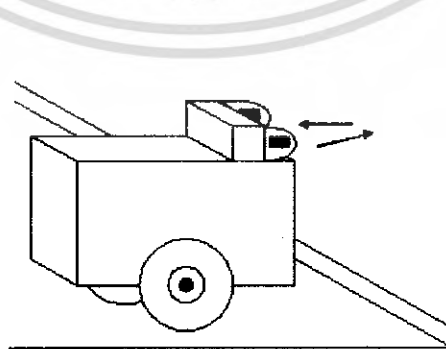


รูปที่ 2.18 การติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์

การปรับค่าอ้างอิงที่ตัวต้านทานทางคานโฟโตทรานซิสเตอร์แบบอินฟราเรดจะเป็นการเพิ่มหรือลดค่าความไวของวงจรการเพิ่มค่าความไว จะทำให้หุ่นยนต์สามารถตรวจจับวัตถุได้ไกลขึ้น และการลดค่าความไวจะทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปใกล้วัตถุได้มากขึ้นก่อนที่จะตรวจจับวัตถุนั้นได้ซึ่งวงจรต้นแบบที่ใช้จะมีระยะที่มีประสิทธิภาพ (EFFECTIVE RANGE) ประมาณ 6 นิ้ว ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าความไวให้กับวงจรมากที่สุดเท่าที่สามารถปรับได้แล้วแต่ถ้าต้องการเพิ่มระยะขึ้นไปอีก ก็สามารถใช้โฟโตทรานซิสเตอร์แบบคู่ที่มีเลนส์ติดมาด้วยได้

วัตถุทุกชนิดสามารถสะท้อนแสงได้แตกต่างกัน บางทีอาจจะต้องปรับค่าความไวของวงจรเพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานได้ดีที่สุดในห้องที่มีผนังเป็นสีขาว แต่บางครั้งเมื่อหุ่นยนต์ผ่านเข้าไปใกล้โซฟาสีน้ำตาลเข้ม หรือชุดสูทสีเทา ค่าความไวนั้นอาจจะไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุด

โฟโตทรานซิสเตอร์แบบใช้แสงอินฟราเรดจะต้องมีแผ่นกันแสง ทั้งแสงที่กระจายอยู่ในห้องและแสงจากหลอด LED ซึ่งตำแหน่งของหลอด LED และโฟโตทรานซิสเตอร์นี้สำคัญมาก จะต้องจัดวางให้ถูกต้อง บางทีเราอาจจะติดตั้งหลอด LED และโฟโตทรานซิสเตอร์ไว้ในกล่องเล็กๆ ที่ทำมาจากไม้ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การติดตั้งตัวตรวจจับการชนแบบใช้แสงอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การส่งผ่านกำลังผ่านชุดเฟือง

2.5.1 เฟืองตรง (SPUR GEAR)

เฟืองตรง (SPUR GEAR) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป โดยใช้ทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลานึงไปยังอีกเพลานึงที่ขนานกัน ส่วนมากเฟืองขับ (DRIVING GEARS) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (DRIVEN GEARS) และมีชื่อเรียกเป็นพิเศษว่า พิเนียน (PINION) ส่วนเฟืองขนาดใหญ่เรียกว่าเฟืองตาม แต่การใช้งานบางโอกาสก็อาจใช้เฟืองใหญ่เป็นเฟืองขับก็ได้ เนื่องจากเฟืองที่ผลิตและใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ยังคงใช้ระบบหน่วยอังกฤษอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็จำเป็นต่อการเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรกลที่ชำรุดเสียหาย ฉะนั้นเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษก็ยังคงจะต้องผลิตออกมาเป็นอีกเป็นเวลานาน ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 เฟืองตรง (SPUR GEAR)

2.5.2 เฟืองหนอน (WORM GEAR)

ชุดเฟืองหนอน (WORM GEAR SET) ใช้สำหรับส่งกำลังระหว่างเพลานานและไม่ตัดกัน ซึ่งต้องการให้มีอัตราทดสูง ชุดเฟืองหนอนประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (WORM) และเฟืองหนอน (WORM GEAR) โดยปกติแล้วมักจะใช้ชุดเฟืองหนอนส่งกำลังระหว่างเพลานานที่มุมกัน 90 องศา แม้ว่าจะสามารถใช้เฟืองเฉียงส่งกำลังในลักษณะเดียวกันนี้ได้ แต่ก็ไม่สามารถจะส่งกำลังได้มากเท่ากับชุดเฟืองหนอน นอกจากนี้ชุดเฟืองหนอนยังสามารถทำงานด้วยอัตราทดสูงถึง 300 โดยที่ใช้การทดเพียงครั้งเดียว แต่ถ้าใช้เฟืองเฉียงจะเกิดปัญหาขึ้นในทางปฏิบัติ เช่น จะต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟืองที่มีจำนวนฟัน 10 ฟัน ขับเฟืองที่มีฟัน 3000 ฟัน เป็นต้น การทำงานของชุดเฟืองหนอนจะเรียกว่าเฟืองเฉียง แต่ข้อเสียของชุดเฟืองหนอนก็คือ ประสิทธิภาพของการส่งกำลังจะต่ำและมีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสี (SLIDING) ระหว่างฟันมากกว่า ทำให้ต้องคำนึงถึงเรื่องระบายความร้อนที่เหมาะสมด้วย ดังรูปที่ 2.21



2.6 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือ โซลินอยล์คือสนามแม่เหล็กที่เกิดมาจากการพันขดลวดทองแดง รอบแท่งเหล็กดังรูปที่ 2.22 ซึ่งมาจากกฎมือขวา เมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวดจะเกิดสนามแม่เหล็กรอบเส้นลวด มีทิศทาง ดังรูปที่ 2.23

เมื่อพันเส้นลวดมากรอบขึ้น ก็จะมีการส่งเสริมกันของสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดทิศทาง การไหล ของฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้นเป็นขั้วเหนือ และ ขั้วใต้ภายในแท่งเหล็กทำให้แท่งเหล็ก มีสนามแม่เหล็ก เกิดเป็นแท่งแม่เหล็กขึ้น ดังรูปที่ 2.24

สมการสนามแม่เหล็กของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

$$B = \mu_r NI$$

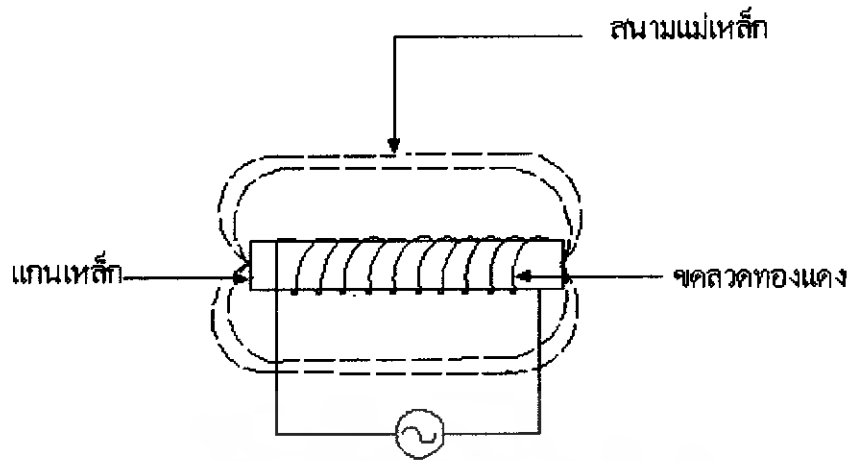
เมื่อ B คือ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

μ_r คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่สนามแม่เหล็ก

N คือ จำนวนรอบที่พันขดลวด (รอบ)

I คือ กระแสที่ไหลผ่านขดลวด (แอมป์)

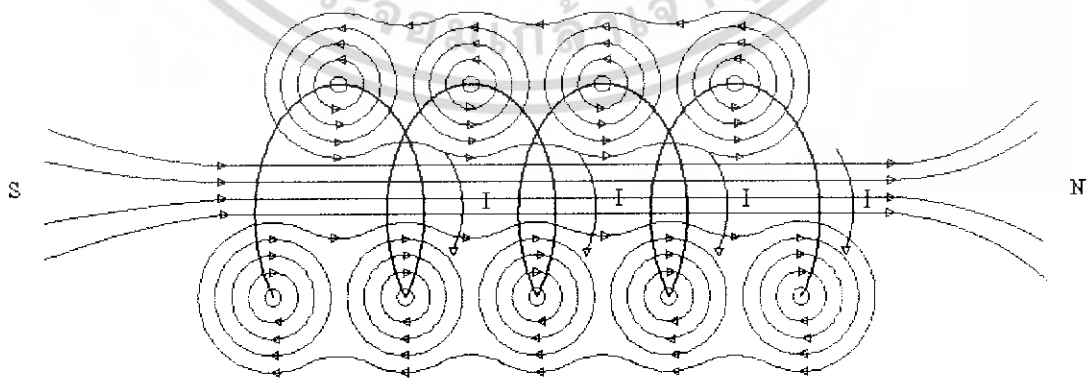
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.23 สนามแม่เหล็กและทิศทางที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.24 ทิศทางการไหลของฟลักซ์แม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

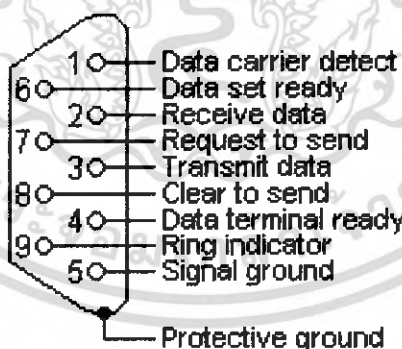
2.7 พอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลอะซิงโครนัสสองทิศทางระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (DATA TERMINAL EQUIPMENT, DTE) กับวงจรรับข้อมูลปลายทาง (DATA CIRCUIT EQUIPMENT, DCE) โดยที่อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูลที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ DTE เท่านั้น

ข้อแตกต่างระหว่างอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่ได้สังเกตเห็นคือคอนเน็คเตอร์ของ DTE (พอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์) จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็คเตอร์ของอุปกรณ์ DCE (อุปกรณ์ปลายทางเช่น โมเด็ม) จะเป็นแบบตัวเมีย สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 มักถูกเชื่อมต่อกับ โมเด็ม หรือ เมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

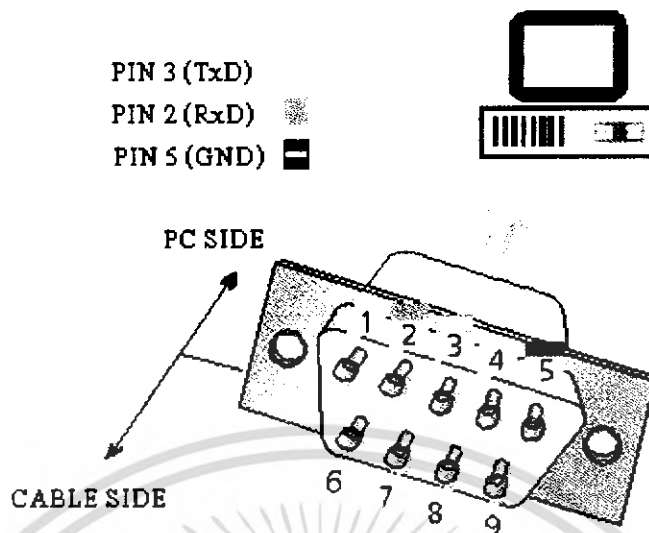
2.7.1 การเชื่อมต่อตัวคอนเน็คเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 ที่ใช้ในโรงงานนี้จะใช้คอนเน็คเตอร์แบบ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็คเตอร์แบบ DB-9 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้น ส่วนพอร์ตอื่นๆถูกใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป การจัดรูปแบบขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 แบบ DB-9 แสดงได้ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงการจัดวางตำแหน่งขาของคอนเน็คเตอร์แบบ DB-9

การเชื่อมต่อในโรงงานนี้กำหนดให้ตัวรับคือคอมพิวเตอร์ ส่วนตัวส่งคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC การเชื่อมต่อแสดงได้ดังรูป 2.26



รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อตัวรับ ตัวส่งแบบทั่วไป

รายละเอียดและหน้าที่การทำงานของขาพอร์ตอนุกรมที่เลือกใช้ RS-232 มีดังนี้

1. ขาที่ 2 (RECEIVE, RxD) ขานี้มีหน้าที่รับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูล เก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
2. ขาที่ 3 (TRANSMITTED DATA, TxD) ขานี้มีหน้าที่ส่งข้อมูลที่เก็บในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไปยังตัวรับ
3. ขาที่ 5 (GROUND, GND) กราวด์

2.7.2 การควบคุมสัญญาณ (FLOW CONTROL)

การติดต่อระหว่าง DTE และ DCE จะมีการควบคุมการไหลของข้อมูลเพื่อไม่ให้เกิด OVERFLOW ขึ้นซึ่งมีสองรูปแบบคือ HARD FLOW CONTROL และ SOFTWARE FLOW CONTROL

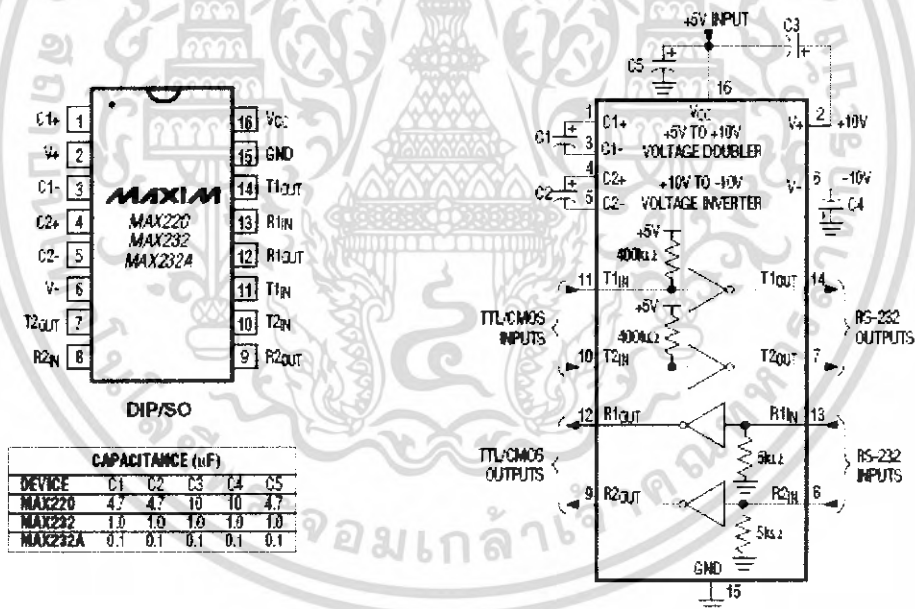
สำหรับ SOFTWARE FLOW CONTROL มักจะเรียกว่า Xon/Xoff FLOW CONTROL ซึ่งใช้รหัส ASCII 17 เป็นสัญญาณ Xon และใช้รหัส ASCII 19 เป็นสัญญาณ Xoff จะมีหลักการทำงานคือ MODEM มี BUFFER ซึ่งรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์อยู่ ถ้าข้อมูลใกล้เต็มเมื่อไร สัญญาณ Xoff จะถูกส่งออกไปเพื่อให้คอมพิวเตอร์หยุดส่งข้อมูลชั่วคราว หลังจากนั้นถ้า BUFFER ว่างเมื่อไร สัญญาณ Xon ก็จะถูกส่งให้แก่คอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ ส่งข้อมูลต่อ การควบคุมวิธีนี้

ประหยัดสายสัญญาณ เพราะข้อมูลถูกส่งผ่าน TxD และ RxD แต่อาจทำให้เกิดความล่าช้าในกรณีที่มีการสื่อสารมีความเร็วต่ำ เพราะแต่ละตัวอักษร (ASCII Code) มีขนาด 10 บิต

2.7.3 ตัวแปลงสัญญาณ RS-232

สัญญาณลอจิก 0 ของ RS-232 จะมีค่า +3 ถึง +25 V และสัญญาณลอจิก 1 ของ RS-232 มีค่า -3 ถึง -25 V ช่วง -3 ถึง +3 V จะไม่สามารถใช้งานได้ ระดับสัญญาณนี้ใช้ได้กับทุกสัญญาณที่ไม่ใช่เฉพาะสัญญาณรับส่งเท่านั้น แต่ยังรวมถึงสัญญาณควบคุมต่างๆ เช่น DTR, RTS, CTS เป็นต้น

IC ที่ใช้ในตัวรับส่งมักเป็นเบอร์ 1489(RS-232 DRIVER) และ 1489(RS-232 RECEIVER) โดยแต่ละตัวประกอบด้วย Inverter 4 ตัว และต้องการไฟเลี้ยง 2 ชุด คือ +7.5 ถึง +15 V เพียงชุดเดียว แต่ก็ยังมี IC อีกตัวหนึ่งคือ IC ตระกูล MAX232 มีโครงสร้างภายใน และตำแหน่งขาของ MAX232 ดังแสดงในรูปที่ 2.27 ซึ่งมีวงจรเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นจาก +5 V ได้เป็น +10 V และ -10 V พร้อมทั้งมีขา TxD และ RxD สองชุดอยู่ในชุด IC เดียวกัน และรองรับ BAUD RATE ได้ถึง 120 kbps จึงสะดวกมากกว่า เพราะใช้ IC เพียงตัวเดียว



รูปที่ 2.27 แสดง โครงสร้างภายใน และตำแหน่งขาของ MAX232

ส่วนการที่เราจะนำข้อมูลใช้ก็ต้องแปลงเป็นรูปแบบขนานก่อน ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของ UNIVERSAL ASYNCHONOUS RECEIVER TRANSMITTER (UART) ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปอนุกรมแบบอะซิงโครนัส ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง นอกจากนั้นแล้ว UART ยังแจ้งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลอื่นๆให้ คอมพิวเตอร์รับทราบด้วย เช่น ค่าอัตราเร็วการรับส่งข้อมูล (BAUD RATE) รูปแบบการส่งข้อมูล ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (เช่น พาริตี เฟรมข้อมูล โอเวอร์รัน เป็นต้น)



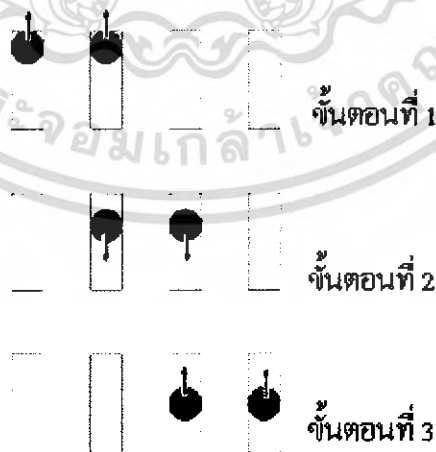
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบหุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่อง ในแกนสเตเตอร์และระบบควบคุมหุ่นยนต์

การออกแบบหุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องในแกนสเตเตอร์นั้นเริ่มต้นมาจากแนวคิดที่จะสร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่สามารถเข้าไปปฏิบัติการภายในแกนสเตเตอร์ของโรงงานผลิตไฟฟ้าตามรูปแบบวิธีการวัดแบบ EL CID โดยที่จะไม่ทำการถอดตัวโรเตอร์ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

วิธีการวัดแบบ EL CID นั้นหลังจากที่ได้ถอดตัวโรเตอร์ออกจากแล้วจะทำการคล้องสายไฟเข้าไปในแกนสเตเตอร์และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปเพียงเล็กน้อยเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดค่าสนามแม่เหล็กขึ้นในแกนสเตเตอร์ หลังจากนั้นก็จะทำการวัดค่าสนามแม่เหล็กในแต่ละคู่สลิตที่แต่ละคู่สลิตจนครบทุกสลิตของแกนสเตเตอร์ ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะการวัดที่แต่ละคู่สลิตได้ดังรูปที่ 3.1 ในขั้นตอนที่ 1 รูปสี่เหลี่ยมนี้เป็นสัญลักษณ์แทนสลิตของแกนสเตเตอร์ วงกลมสีแดงเป็นสัญลักษณ์แทนหัวโพรบในการวัดค่าสนามแม่เหล็ก คู่สลิตทางด้านซ้ายมือเป็นคู่สลิตแรกที่ทำกรวัด เมื่อทำการวัดคู่สลิตนี้เสร็จแล้วก็จะทำการวัดคู่สลิตในคู่ถัดมา ดังขั้นตอนที่ 2 และเมื่อทำการวัดคู่สลิตตรงกลางเสร็จแล้วก็จะทำการวัดในคู่สลิตถัดมา ดังขั้นตอนที่ 3 ในส่วนของลักษณะทางกายภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นมีระยะห่างระหว่างแกนสเตเตอร์และตัวโรเตอร์ไม่เกิน 5 เซนติเมตร



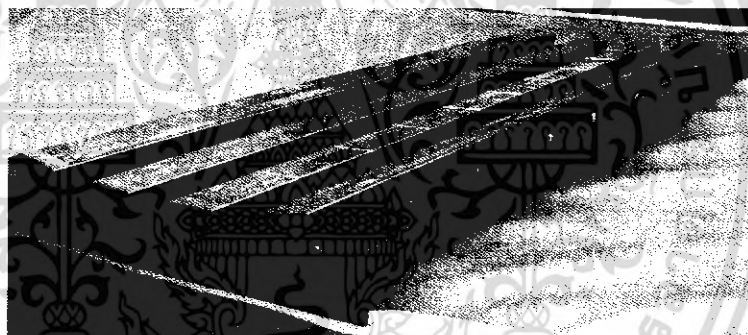
รูปที่ 3.1 ลักษณะและรูปแบบวิธีการวัดแบบ EL CID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากปัจจัยทั้งสองอย่างนี้นำมาซึ่งการออกแบบหุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องในแกนสเตเตอร์ แนวคิดในเบื้องต้นจะทำการออกแบบโครงสร้างและรูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนสเตเตอร์และสามารถเปลี่ยนคู่สล๊อตในการเคลื่อนที่ให้เป็นไปตามแบบวิธีการวัดแบบ EL CID แบบอัตโนมัติ และสามารถแสดงค่าระยะทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ออกมายังภายนอกได้

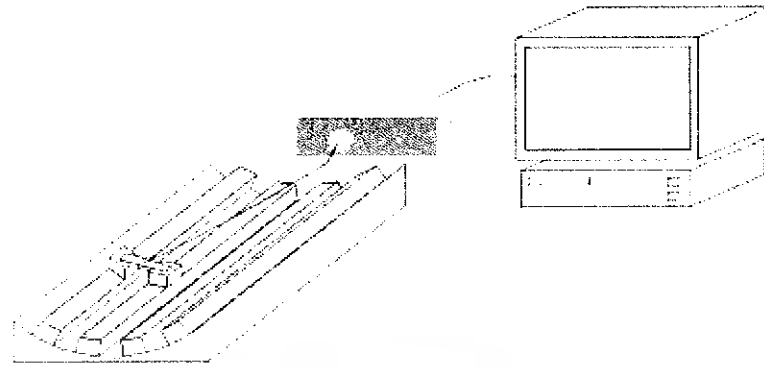
ในขั้นตอนเริ่มต้นนั้นจะทำการสร้างแกนสเตเตอร์จำลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งแกนสเตเตอร์จำลองที่สร้างขึ้นมานั้นมีค่าใกล้เคียงกับแกนสเตเตอร์ในโรงงานผลิตไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีขนาดดังนี้

ความยาวของแกนสเตเตอร์	100 เซนติเมตร
ความกว้างของแกนสเตเตอร์	40 เซนติเมตร
ความกว้างของแต่ละสล๊อต	5 เซนติเมตร
ระยะห่างของแต่ละสล๊อต	4 เซนติเมตร
รัศมีความโค้งของแกนสเตเตอร์	600 เซนติเมตร



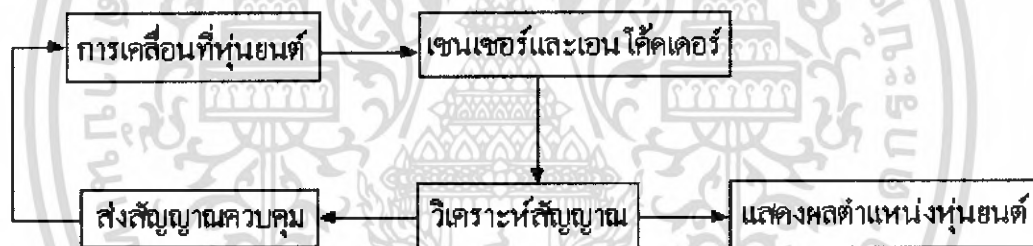
รูปที่ 3.2 แกนสเตเตอร์จำลอง

หุ่นยนต์จะเริ่มเคลื่อนที่จากปลายคู่สล๊อตเริ่มต้นคู่หนึ่งที่อ้างอิงขึ้นมา เคลื่อนที่จากปลายด้านนั้นมาจนสุดยังปลายอีกด้านหนึ่ง เมื่อเคลื่อนที่มาถึงด้านปลายแล้วเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้จะเป็นตัวสั่งการทำงานไปยังตัวควบคุมให้ตัวควบคุมสั่งให้หุ่นยนต์กลับตัวเพื่อสลับลูกสล๊อต จากนั้นแล้วก็สั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากปลายด้านนั้นมาจนสุดปลายอีกด้านหนึ่ง แล้วจะทำการกลับตัวเมื่อได้รับการสั่งการทำงานจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้บนตัวของหุ่นยนต์ โดยที่ทุกขณะของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะมีการเก็บค่าระยะทางผ่านเอนโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งไว้ในตัวของหุ่นยนต์แล้วแสดงผลของระยะทางผ่านพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปแบบ โดยรวมของระบบ

จากโครงสร้างโดยรวมของระบบจะเห็นได้ถึงส่วนประกอบต่างๆ ของโครงงานนี้ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งทุกส่วนจะถูกเชื่อมโยงเข้าหากันโดยมีแนวคิดในการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

ส่วนประกอบของโครงงานนี้แบ่งออกได้เป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ เป็นในส่วนของรูปแบบและหลักการทำงานของหุ่นยนต์ และ ส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์ เป็นในส่วนของอัลกอริทึมในการควบคุมหุ่นยนต์และการแสดงผล

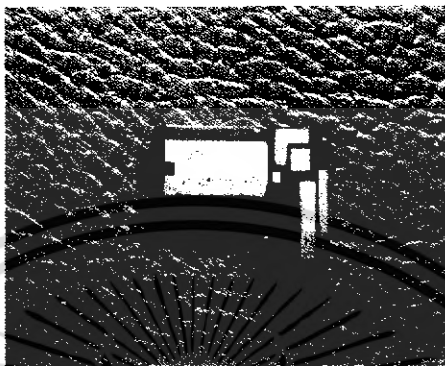
3.1 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

3.1.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์

ในส่วนของโครงสร้างของหุ่นยนต์ได้ออกแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว ในการขับเคลื่อนตัวหุ่นยนต์ตามแนวของแกนสเตเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 1 ตัว สำหรับส่วนของ

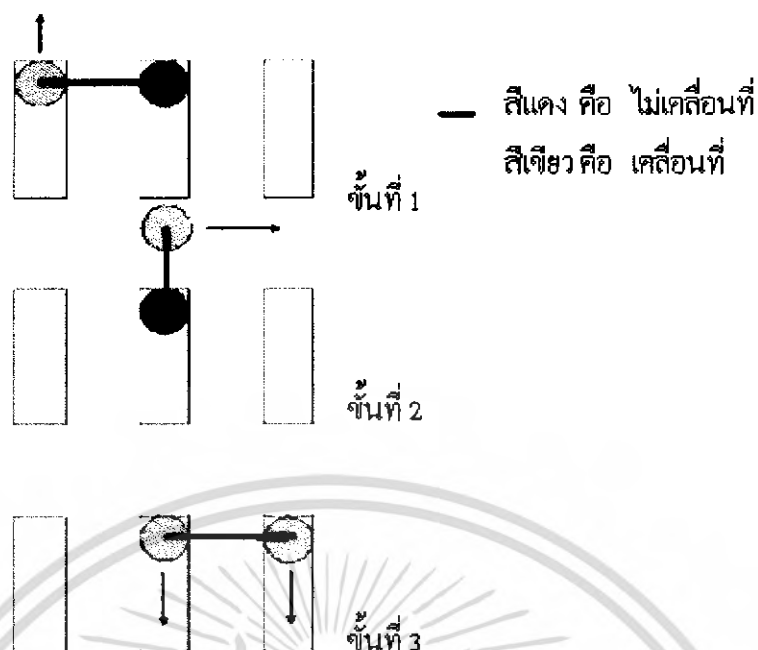
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ที่วางบนสล็อตอันหนึ่ง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอีก 1 ตัว สำหรับส่วนของหุ่นยนต์ที่วางบนสล็อตอีกอันหนึ่ง ซึ่งหุ่นยนต์แต่ละส่วนจะทำการส่งผ่านแรงจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้เฟืองหนอนทด ผ่านแรงบิดไปจนถึงล้อของหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งอัตราทดทั้งหมดของชุดเฟืองจะเท่ากับ 1 : 256



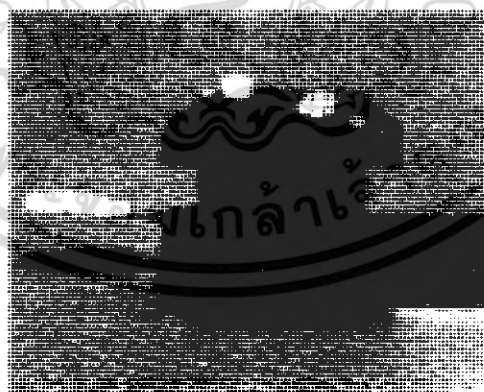
รูปที่ 3.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อกับชุดเฟืองทด

สำหรับการกลับตัวของหุ่นยนต์เพื่อเปลี่ยนคู่สล็อตจะมีรูปแบบและขั้นตอนของการสลับคู่ที่สามารถอธิบายได้ ดังรูปที่ 3.6 หุ่นยนต์จะมี 2 ด้านซึ่งแต่ละด้านจะวิ่งอยู่บนแต่ละสล็อตของแกนสเตเตอร์ ในแต่ละด้านจะใช้เซอร์โวมอเตอร์และขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าในการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล็อต ในขั้นตอนที่ 1 ระหว่างที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่มาตามแนวแกนของสเตเตอร์ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าในหุ่นยนต์ทั้งสองด้านจะทำการเปิดแรงแม่เหล็กเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามแนวแกนและแนบติดกับแกน แต่เมื่อเคลื่อนที่ไปถึงปลายสุด หุ่นยนต์ในด้านสีแดงจะหยุดการเคลื่อนที่ ในขณะที่หุ่นยนต์ในด้านสีเขียวจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และในเวลาเดียวกันนี้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าในด้านสีแดงจะทำการเปิดแรงแม่เหล็กขนาดมากๆ ด้านสีเขียวปิดแรงแม่เหล็ก และเซอร์โวมอเตอร์ในด้านสีแดงจะหมุนไปในทิศทาง + 180 องศา ดังขั้นตอนที่ 2 และเมื่อหุ่นยนต์ในด้านสีเขียวเคลื่อนที่กลับเข้ามาในสล็อตถัดมา ดังขั้นตอนที่ 3 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองด้านจะเปิดแรงแม่เหล็กขนาดพอเหมาะและหุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่ต่อไปในคู่สล็อตใหม่



รูปที่ 3.6 รูปแบบและขั้นตอนของการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล๊อต

ในส่วนของเซอร์โวมอเตอร์จะนำเซอร์โวมอเตอร์ที่มีขนาดของแรงบิดมากพอที่จะหมุนหุ่นยนต์ได้ และเมื่อนำมาประกอบเข้ากับส่วนอื่นๆ ของหุ่นยนต์แล้วจะไม่เกินข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในที่นี่ใช้เซอร์โวมอเตอร์ของบริษัท ETT รุ่น GWS MICRO STP ซึ่งมีขนาดของแรงบิดเท่ากับ 1.8 กิโลกรัม-เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เซอร์โวมอเตอร์

สำหรับส่วนของแรงแม่เหล็กจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าใช้การพันของขดลวดทองแดงเบอร์ 25 พันรอบแท่งเหล็กอ่อนที่ตัดเป็นรูปเกือกม้า ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งจะพันทั้งหมด 700 รอบ สำหรับแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 แท่ง มีค่าความต้านทานทั้งหมด 5.6 โอห์ม ส่วนของหุ่นยนต์แต่ละด้านจะใช้แท่งขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งหมด 2 แท่ง ยึดติดไปบนตัวของหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 3.9



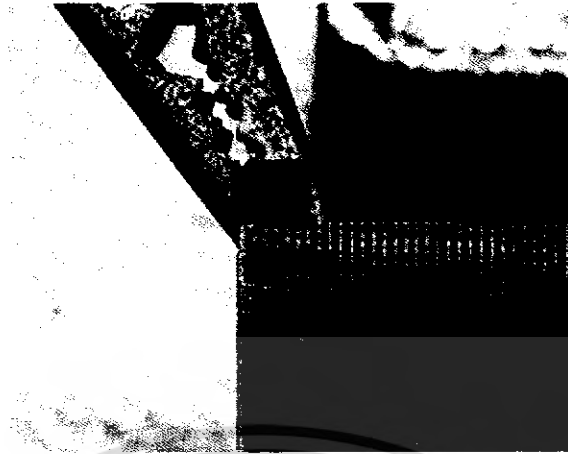
รูปที่ 3.8 แท่งเหล็กอ่อนรูปเกือกม้า



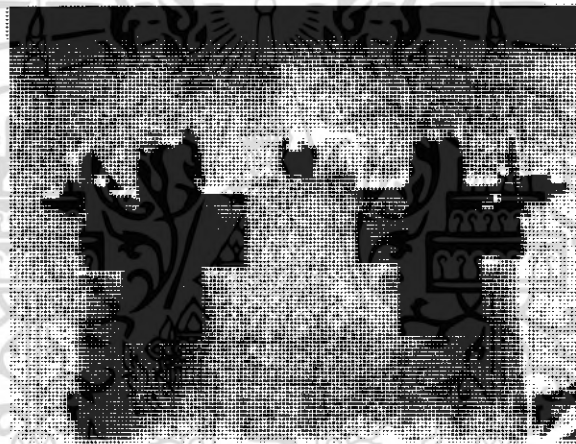
รูปที่ 3.9 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ติดไว้บนตัวของหุ่นยนต์

การที่จะทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปกลับและสามารถเปลี่ยนคู่สล็อตได้อย่างอัตโนมัตินั้นจะต้องมีอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบตำแหน่งของหุ่นยนต์ นั่นคือ เซนเซอร์ ซึ่งเซนเซอร์ที่เลือกมาใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของหุ่นยนต์นี้คือ เซนเซอร์อินฟราเรดของบริษัท SANYO รุ่น SPI-315-34 ดังรูปที่ 3.10 และจะติดเซนเซอร์เข้าไปในส่วนหัวและส่วนท้ายของหุ่นยนต์ในแต่ละด้าน ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



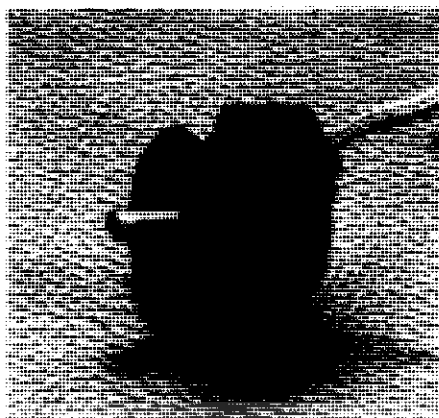
รูปที่ 3.10 เซนเซอร์อินฟราเรด



รูปที่ 3.11 เซนเซอร์ที่ประกอบเข้ากับตัวของหุ่นยนต์

เมื่อจะทำการวิเคราะห์ทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ สิ่งแรกที่นึกถึงก็คือ เอนโค้ดเดอร์ เนื่องจากเอนโค้ดเดอร์นั้นมีลักษณะการวัดที่แน่นอนแม่นยำ ส่วนเรื่องของขนาดนั้นก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์อื่นๆ นั่นคือต้องมีขนาดที่สามารถใช้งานได้ตามแบบที่วางไว้และมีขนาดพอเหมาะ เอนโค้ดเดอร์ที่นำมาใช้เป็นเอนโค้ดเดอร์ของบริษัท HP แบบ INCREMENTAL ENCODER ซึ่งมีความถี่พัลส์ เท่ากับ 500 พัลส์ต่อวินาที ดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



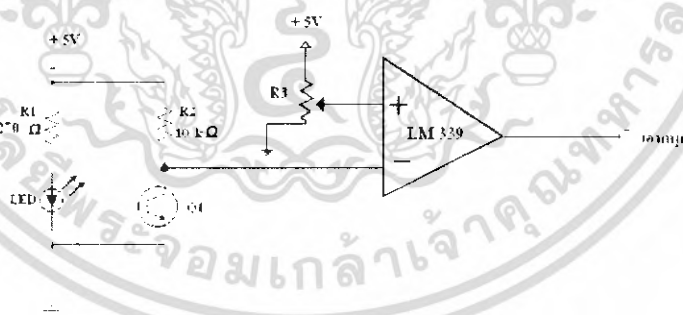
รูปที่ 3.12 เอนโค้ดเดอร์

3.1.2 โครงสร้างของวงจรควบคุมหุ่นยนต์

วงจรควบคุมหุ่นยนต์ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า และวงจรเอนโค้ดเดอร์ที่ติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ซึ่งรวมอยู่ในวงจรรวมที่ใช้จริง ดังรูปที่ 3.16 และวงจรที่ใช้จริง ดังรูปที่ 3.17

- **วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด**

จากหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่สอง หัวข้อที่ 2.4 วงจรเซนเซอร์อินฟราเรดจะใช้ วงจร ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

- **วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง**

วงจรที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ไอซีขับเคลื่อนมอเตอร์เบอร์ L293D ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 1 แอมป์ หรือ 600 มิลลิแอมป์ต่อช่องสัญญาณ การทำงานของ L293D จะมีหลักการการทำงานเหมือนในตาราง ดังตารางที่ 3.1 คือไอซีจะทำงานเมื่อขาเอ็นเนเบิลมีค่าลอจิกเป็น 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

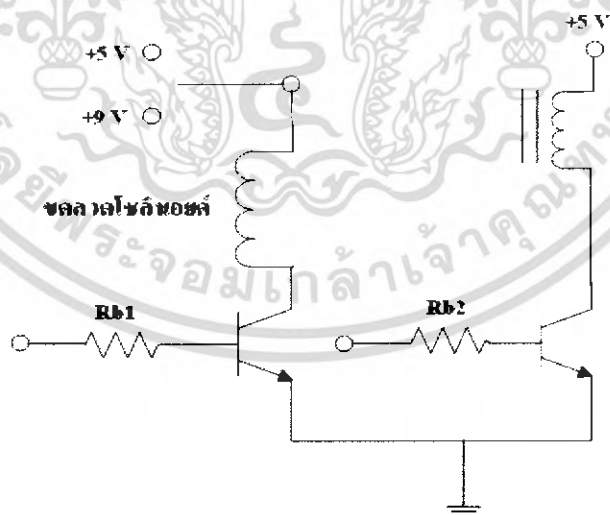
เมื่อค่าอินพุตพหุมีค่าเป็น 1 เอาต์พุตก็จะมีค่าเป็น 1 ด้วย และ เมื่อค่าอินพุตพหุมีค่าเป็น 0 เอาต์พุตก็จะมีค่าเป็น 0 ด้วย

ตารางที่ 3.1 ตารางค่าความจริงการทำงานของ L293D

V_I (EACH CHANNEL)	V_{IN}	V_O
H	H	H
L	H	L
H	L	X
L	L	X

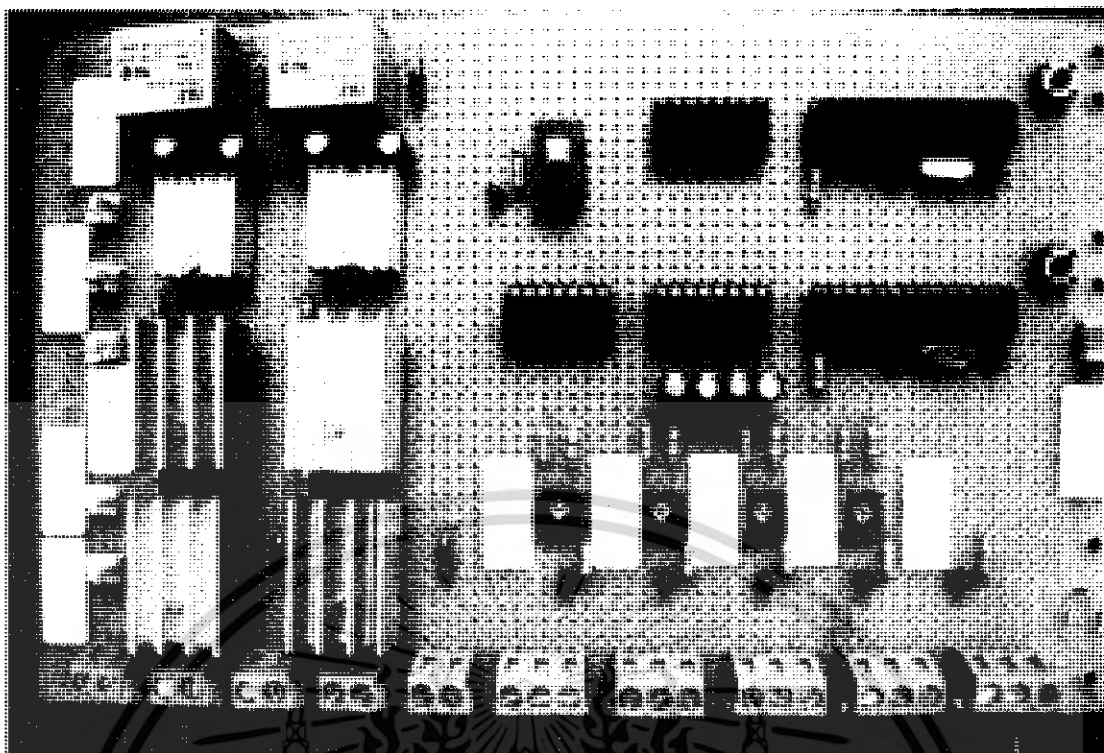
● วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

จากหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่สอง หัวข้อที่ 2.6 วงจรที่ในการควบคุมการทำงานของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ TIP122 ในการตัดต่อการทำงานของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า และใช้รีเลย์ขนาด 10A 24 VDC มาใช้ในการเลือกความแรงของแรงดูดจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

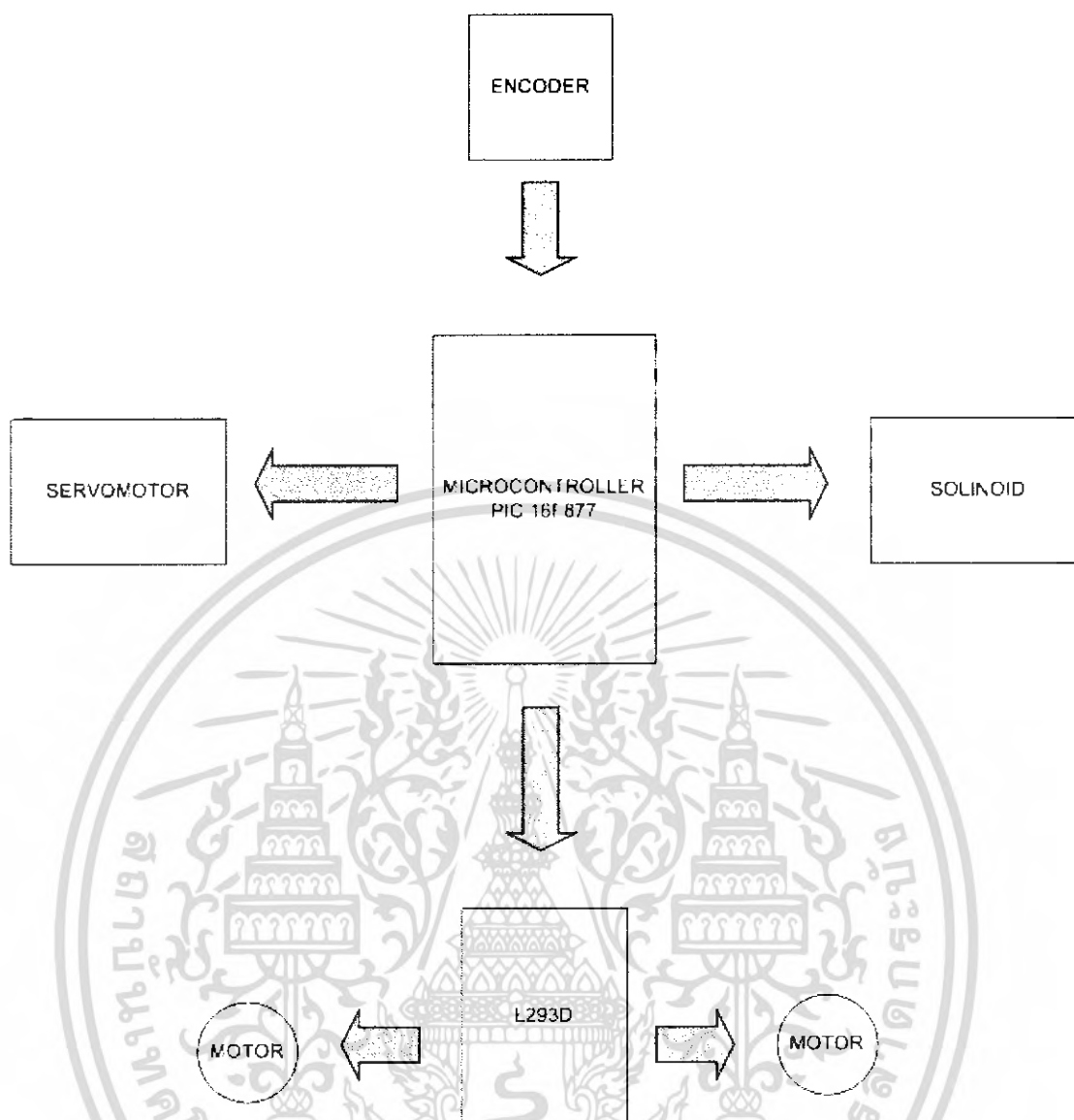


รูปที่ 3.17 แสดงแผงวงจรที่ใช้จริง

3.2 ส่วนประกอบทางด้านซอร์ฟแวร์

วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ไอซีขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เช่นเซอร์อินฟราเรด วงจรควบคุมขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์มีหลักการทำงานดังรูปที่ 3.18 คือไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการควบคุมการเคลื่อนที่ในสล็อตโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ไปยัง ไอซีขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในการเปลี่ยนสล็อต ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์ หมุนเพื่อเปลี่ยนสล็อตและจะสั่งให้มีการตัดต่อแรงแม่เหล็กของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อช่วยในการเปลี่ยนสล็อต และมีลักษณะของวงจรรวม ดังรูปที่ 3.7 โดยมีรายละเอียดในการทำงานของแต่ละวงจรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรควบคุม

3.2.1 ส่วนการขับเซอร์โวมอเตอร์

การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F877 จะใช้หลักการสร้างสัญญาณพัลส์ขนาดความกว้างต่างๆ ส่งไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งในภาษาเบสิกนั้นจะใช้คำสั่ง PULSOUT PIN , PERIOD เมื่อสร้างสัญญาณพัลส์โดยการทำงานของคำสั่งนี้ ค่า PERIOD จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าสัญญาณนาฬิกาที่จ่ายให้กับ CPU ทำให้คำสั่ง DEFINE OSC ไม่มีผลต่อการทำงานของคำสั่งนี้ เช่น ถ้า CPU ใช้ความถี่ 4 MHz จะทำให้หนึ่งหน่วยของค่า PERIOD = 10 ไมโครวินาที ดังนั้นหากใช้คำสั่ง PULSOUT PIN , 100 ก็จะได้ค่าเวลาเท่ากับ $100 \times 10 = 1000$ ไมโครวินาทีหรือ 1 มิลลิวินาที แต่ในตัวอย่างโปรแกรมนี้อาจจะใช้งาน CPU ที่ความถี่ 10 MHz ซึ่งค่าเวลาต่อหน่วยของ Period จะเท่ากับ 4 ไมโครวินาที ดังนั้นถ้าหากต้องการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 1 มิลลิวินาที ค่าของ PERIOD จะเท่ากับ 250 คือ 4 ไมโครวินาที x 250 = 1000 ไมโครวินาที และ คำสั่งที่ใช้ก็จะเป็น PULSOUT PIN , 250 เป็นต้น โดยสามารถเปลี่ยนค่าต่างๆ ดังโปรแกรม ตัวอย่าง

```
*****
** Program      : control DC servo motor          *
** Name         : diveservo.BAS                  *
** CPU Control  : PIC 16F877                     *
** OSC          : 10 MHz [HS mode]               *
*****

INCLUDE "modedefs.bas"   'include serial modes
TRISC = %00000000       'PORTC is output
low PORTC.2
Loop: PULSOUT PORTC.1,250 * 250 =delay 1 ms : -90(CCW)
PAUSE 20
GOTO Loop
end
```

3.2.2 ส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม

การเขียนโปรแกรม VISUAL BASIC ติดต่อกับพอร์ตอนุกรม สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. การติดต่อแบบอินเทอร์รัปต์

ขบวนการอินเทอร์รัปต์ อุปกรณ์รอบข้างเกือบทุกชิ้นจะต้องปฏิบัติงานอยู่เพื่อส่งสัญญาณไปให้แก่ซีพียูเสมอ ถ้าอุปกรณ์นั้นพร้อมที่จะรับส่งข้อมูลจะรับส่งเป็นรหัสแอสกี จะเขียนโปรแกรมบนเทอร์มินัล เคยเมื่อที่ข้อมูลเข้ามาจะทำให้มี COMM EVENT กับ ONCOMM EVENT

2. การติดต่อแบบโพลลิ่ง

ในระบบพีซี การโพลลิ่งมีบ้างที่ใช้การส่งผ่านข้อมูลระหว่างเทอร์มินัลกับซีพียูกรณีข้อมูลเป็นประเภทไบท์ที่ส่งจากคีย์บอร์ด โดยวิธีการนี้ จะตรวจสอบคีย์บอร์ดว่ามีข้อมูลส่งมาหรือไม่โดยจะตรวจสอบตลอดเวลาการทำงานกับ ข้อมูลที่รับเข้ามาจะตรวจสอบด้วย ความเร็วที่สูงกว่า อัตราความเร็วข้อมูลที่ส่งเข้ามาทาง คีย์บอร์ด การที่ ซีพียูส่งสัญญาณออกไปตรวจสอบพบว่า มีข้อมูลที่ส่งเข้ามา เรียกว่า "WET POLL" ซึ่งจะเสียช่วงเวลา 90 เปอร์เซ็นต์ คาบเวลาที่เสียไปนั้น และมีการใช้เทคนิค การโพลลิ่งแบบ "ROUND ROBIN" แทน แต่ใน VISUAL BASIC จะใช้การตรวจสอบข้อมูลที่มาจากพอร์ตอนุกรมตลอด โดยจะใช้ CONTROL TIMER เข้ามาช่วยในการเขียนโปรแกรมซึ่งสามารถตรวจสอบได้ถึงระดับ 1 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวคอนโทรล MSCOMM มี EVENT ที่ใช้เพียง EVENT เดียวเท่านั้นเอง ก็คือ ONCOMM EVENT ซึ่งจะใช้ในการติดต่อแบบอินเตอร์รัพต์ การเขียนโปรแกรมติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมแบบธรรมดาจะใช้ COMEVENT เพียง COMEVRECIIVE, COMEVSEND ถ้าเป็นการติดต่อสื่อสารแบบ โมเด็มจะใช้หลายตัวในการตรวจสอบสัญญาณ

องค์ประกอบในการใช้ MSCOMM

● การตั้งค่าติดต่อกับพอร์ต

- COMPORT ต้องกำหนดหมายเลข PORT ที่ใช้ต่อ RS - 232 (Com1,Com2) รายละเอียดดูในเมนู ด้านซ้าย SERIAL PORT DETAIL
- SETTING ต้องกำหนดอัตรา BAUD, PARITY, DATA (จำนวนบิต), STOP ตัวอย่าง 1200, n, 8, 1 เป็นต้น
- HANDSHAKING จะกำหนดได้ 4 แบบ ดังนี้ คือ 1. comNone 2. comXonXoff 3. comRTS 4. comTRSXonXoff

● การใช้ BUFFER ในการรับส่งข้อมูล

- INBUFFERSIZE คือ การกำหนด BUFFER ในการรับข้อมูลเข้ามา
- OUTBUFFERSIZE คือ การกำหนด BUFFER ในการส่งข้อมูลออกไป
- RTHRESHOLD คือ การที่เรากำหนดการเกิด EVENT - DRIVEN ในการรับข้อมูลเข้ามา
- STHRESHOLD คือ การที่เรากำหนดการเกิด EVENT - DRIVEN ในการรับข้อมูลออกไป
- INPUTLEN คือ จำนวนของข้อมูลที่ไปอ่านใน BUFFER รับข้อมูล
- EOFENABLE คือ การที่บอกว่สิ้นสุดของไฟล์ (EOF) END OF FILE

● ด้านฮาร์ดแวร์

- PARITY REPLACE คือ ค่าของคาเลกเตอร์ที่จะแทนในเมื่อเกิด PARITY ERROR
- NULLDISCARD คือ การกำหนดให้รับหรือไม่รับ NULL CHARACTER
- RTSENABLE คือ ทำให้มีสัญญาณ RTS (REQUEST TO SENT)
- DTSENABLE คือ ทำให้มีสัญญาณ DTR (DATA TERMINAL READY)

● การกำหนดคุณสมบัติของ MSComm_Control ให้สามารถติดต่อกับพอร์ตได้

1. PROPERTY ชื่อ COMMPORT คือ เลือกคอมพอร์ตที่จะติดต่อใช้งาน

ตัวอย่าง MSComm1.CommPort=1

ในที่นี้เลือกจะใช้ Com1อยู่ที่ด้านหลังเครื่องคอมพิวเตอร์

2. PROPERTY ชื่อ SETTINGS คือ การตั้งค่าของการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะต้องรู้ด้วยว่าอัตราบอด ของอุปกรณ์ที่จะติดต่อด้วยเป็นเท่าไร โดยมีรายละเอียดการใส่ต่างๆค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MSComm1.Settings เท่ากับ"อัตราารรับส่งข้อมูล (BAUD), PARITY (ถ้าไม่ใช่ใส่ N, จำนวนบิตข้อมูล,บิตหยุด"

ตัวอย่าง MSComm1.Settings="1200, N, 8, 1"

3. PROPERTY ชื่อ INPUTLEN คือ กำหนดขนาดขณะที่มีข้อมูลเข้ามา ให้ไปอ่านข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในบัฟเฟอร์

ตัวอย่าง MSComm1.InputLen=1

4. PROPERTY ชื่อ PORTOPEN คือ จะเปิดให้พอร์ตใช้งานหรือไม่ ถ้าเปิดเท่ากับ TRUE ถ้าปิดเท่ากับ FALSE

ตัวอย่าง MSComm1.PortOpen=True

5. PROPERTY ชื่อ RTHRESHOLD คือ ทำให้เกิดการกระตุ้นด้วย EVENT - DRIVEN เมื่อมีข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูลที่ทำให้เกิด COMMEVENT ใน ONCOMM EVENT

ตัวอย่าง MSComm1.Rthreshold =1

จากรายละเอียดที่กล่าวมาข้างต้นจะสามารถมาเขียนในโปรแกรม Visual Basic ซึ่งจะไว้ที่ Sub Form_Load() หรือ จะสร้างโปรแกรมย่อยขึ้นมาใหม่เพื่อนำมาเรียกใช้ในภายหลัง ซึ่งมีลักษณะโปรแกรมดังนี้

Private Sub Form_Load()

MSComm1.Settings="1200, N, 8, 1"

MSComm1.CommPort=1

MSComm1.InputLen=1

MSComm1.PortOpen=True

MSComm1.Rthreshold =1

End Sub

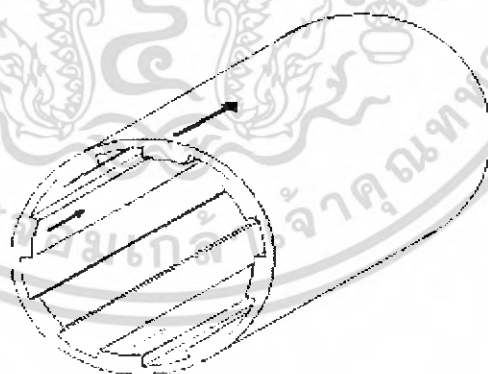
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองหลังจากที่ได้ออกแบบและทำการสร้างหุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์ให้ได้ตามแบบแล้ว ได้มีการออกแบบการทดลองไว้สามแบบ การทดลอง เพื่อให้สามารถทดสอบแนวความคิดในการออกแบบและการเคลื่อนที่ รวมทั้งทดสอบศักยภาพของตัวหุ่นยนต์ด้วย ซึ่งการทดลองทั้งสามแบบนี้ได้ครอบคลุมองค์ประกอบทั้งหมดที่หุ่นยนต์ตัวนี้สามารถทำได้ ประกอบไปด้วย

1. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้านแนวแกนขึ้น
2. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวตั้ง
3. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้านแนวแกนลง

สำหรับเหตุผลในการออกแบบการทดลองออกมาสามแบบนี้ก็เพื่อให้หุ่นยนต์ได้เคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นไปตามเงื่อนไขและลักษณะทางกายภาพจริงของการวัดในแกนสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.1 ลูกศรจะแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้านแนวแกนขึ้น ลูกศรจะแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวตั้ง และลูกศรสีน้ำเงินแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้านแนวแกนลง



- ทิศการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์วางในแนวตั้ง
- - - - - ทิศการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์วางในแนวระดับหันแกนขึ้น
- ทิศการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์วางในแนวระดับหันแกนลง

รูปที่ 4.1 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างทำการทดลองทั้งสามลักษณะ ได้จัดเก็บข้อมูลระยะทางและเวลาโดยวิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ผ่านกล้องวิดีโอ (VIDEO ANALYSIS) นอกจากนี้ยังทำการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ผ่านเอนโคคเตอร์ที่ติดไว้บนตัวหุ่นยนต์ เก็บค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เก็บค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ถ้าสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำขึ้นมาจากขดลวด นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์และแสดงผลโดยกราฟ

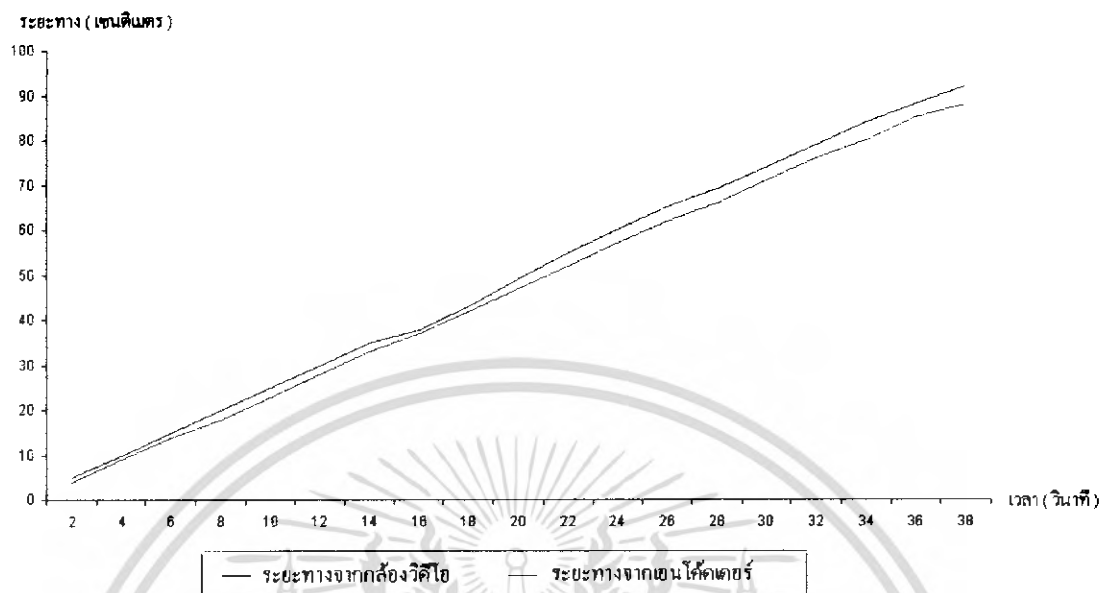
4.1 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้านแนวแกนขึ้น

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ จะทำการวางแกนสเตเตอร์จำลองในแนวระดับให้อยู่ในลักษณะที่แนวแกนหันด้านบนขึ้น ดังรูปที่ 4.2 การทดลองจะทำการปล่อยหุ่นยนต์ที่ด้านปลายคู่สลีตอ้างอิงใดๆ คู่หนึ่งก่อน จากนั้นปล่อยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแนวแกนสเตเตอร์แบบอัตโนมัติ



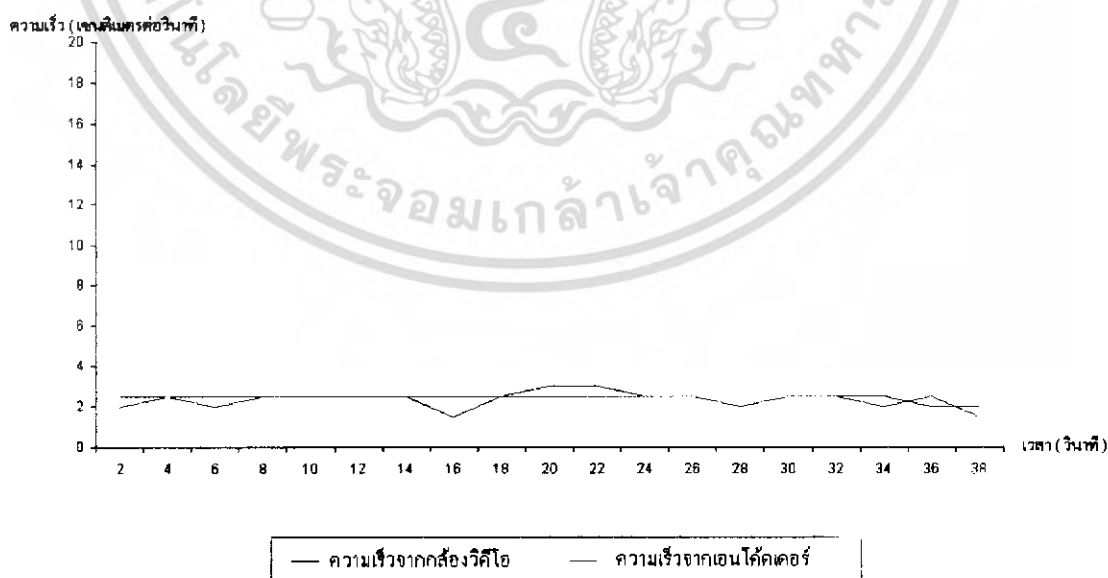
รูปที่ 4.2 ลักษณะการวางแกนสเตเตอร์จำลองในแนวระดับและหันด้านแนวแกนขึ้น

ผลการทดลองที่ได้ออกมาขึ้น



รูปที่ 4.3 กราฟระหว่างระยะทางที่ได้จากกล้องวิดีโอเทียบกับระยะทางที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์

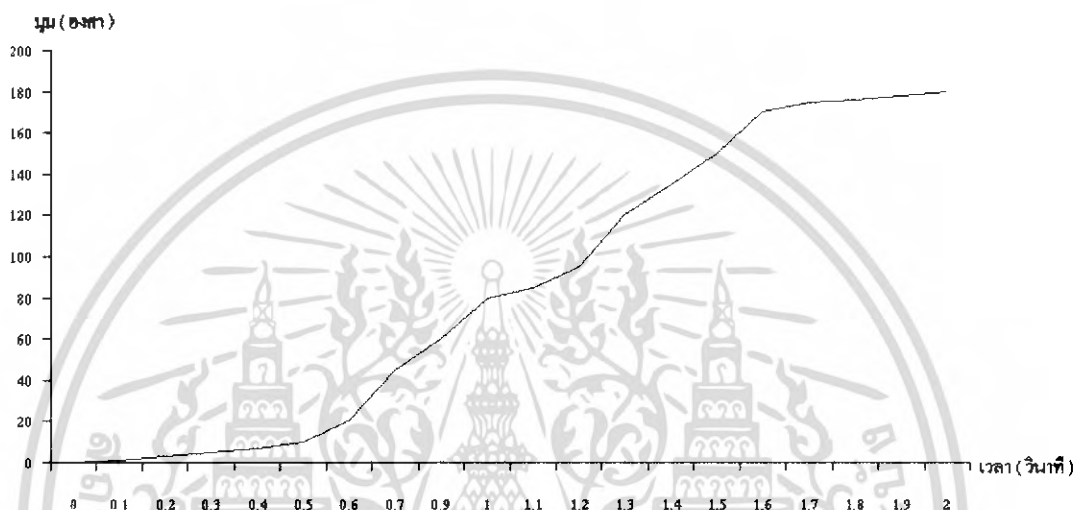
จากกราฟรูปที่ 4.3 แสดงค่าระยะทางที่ได้จากกล้องวิดีโอเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ ผลปรากฏว่าระยะทางที่ได้จากกล้องวิดีโอมีค่าเท่ากับ 90 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะทางที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์นั้นมีค่าเพียง 88 เซนติเมตร



รูปที่ 4.4 กราฟระหว่างความเร็วที่ได้จากกล้องวิดีโอเทียบกับระยะทางที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.4 แสดงค่าความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกล้องวิดีโอและความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านเอนโค้ดเดอร์ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ผลปรากฏว่าความเร็วที่ได้จากกล้องวิดีโอมีค่าเท่ากับ 2.2 เซนติเมตรต่อวินาที ในขณะที่ความเร็วที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์มีค่าเพียง 1.9 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งจะพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์นั้นมีค่าต่ำกว่าค่าความเร็วจริงประมาณ 0.3 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.5 กราฟระหว่างมุมมององศาในการกลับตัวของหุ่นยนต์เทียบกับเวลา

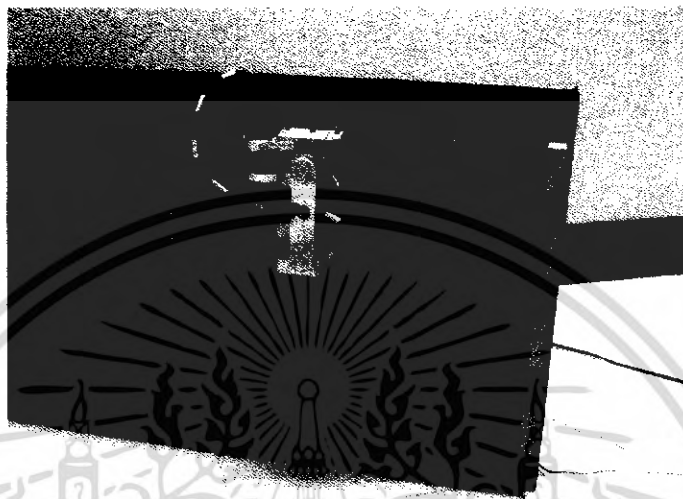
จากกราฟรูปที่ 4.5 แสดงถึงมุมมององศาที่หุ่นยนต์กลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล็อต ซึ่งจะต้องหมุนหุ่นยนต์ทั้งหมด 180 องศา จะเห็นว่า หุ่นยนต์ใช้เวลาทั้งหมดในการเคลื่อนที่อยู่ที่ 2 วินาที และมีส่วนช่วงบางตอนที่หุ่นยนต์เกิดการสะดุด

ในการเคลื่อนที่ทั้งหมดของหุ่นยนต์นั้นมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่แนวตรง เท่ากับ 300 มิลลิแอมป์ ต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหนึ่งตัว

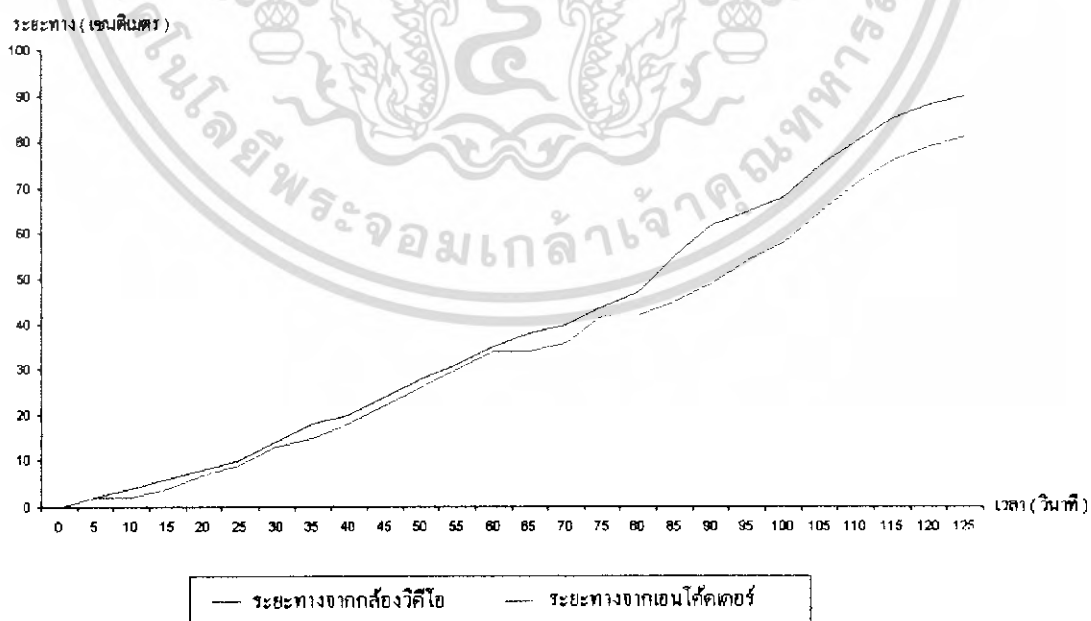
ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนและเพื่อการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล็อต มีค่าเท่ากับ 0.9 แอมป์ต่อขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ชุดที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ตามแนวแกน และมีค่าเท่ากับ 2 แอมป์ต่อขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ชุดที่ใช้สำหรับการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล็อต

4.2 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวตั้ง

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ จะทำการวางแกนสเตเตอร์จำลองในแนวตั้ง ดังรูปที่ 4.6 การทดลองจะทำการปล่อยหุ่นยนต์ที่ด้านปลายคู่สต้อตอ้างอิงใดๆ คู่หนึ่งก่อน จากนั้นแล้วให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแนวแกนสเตเตอร์แบบอัตโนมัติ

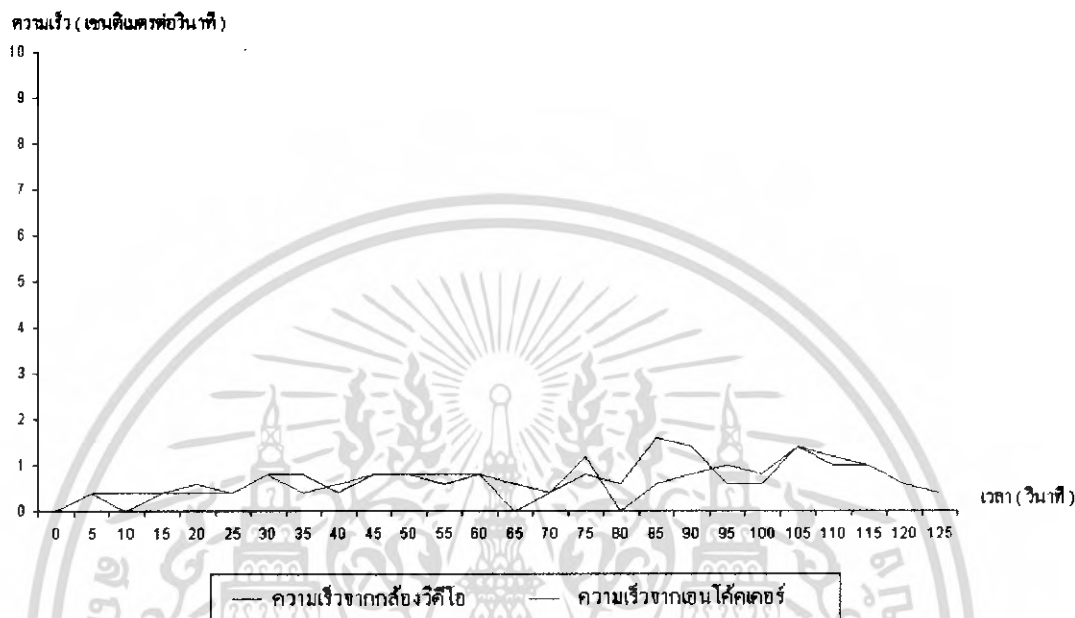


รูปที่ 4.6 ลักษณะการวางแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวตั้ง ผลการทดลองที่ได้ออกมา นั่น



รูปที่ 4.7 กราฟระหว่างระยะทางที่ได้จากกล้องวีดีโอเทียบกับระยะทางที่ได้จากเซนเซอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

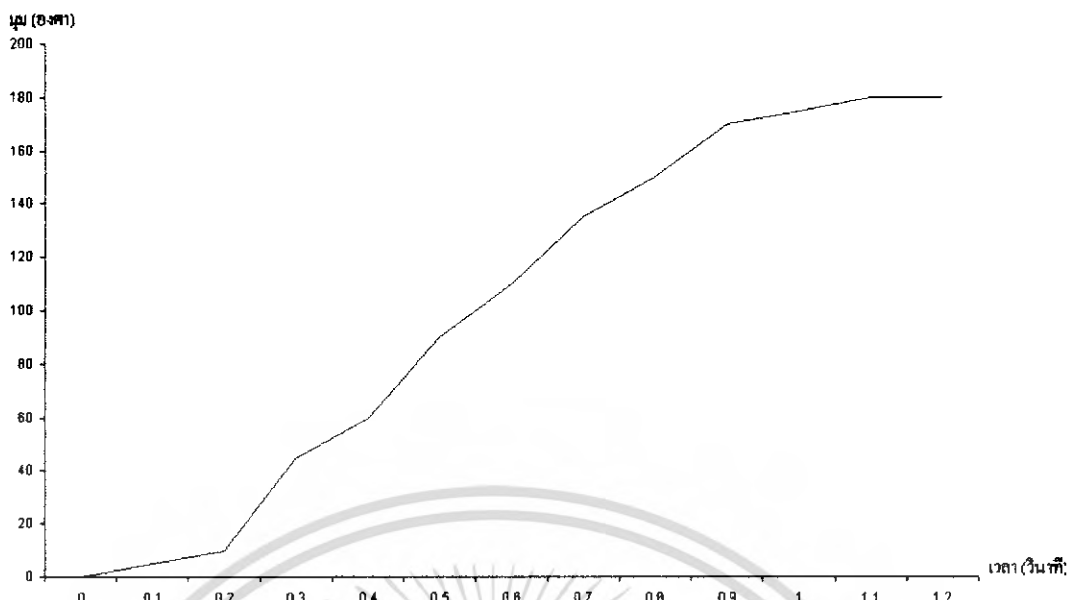
จากกราฟรูปที่ 4.7 แสดงค่าระยะทางที่ได้จากกล้องวิดีโอเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์ ผลปรากฏว่าระยะทางที่ได้จากกล้องวิดีโอมีค่าเท่ากับ 90 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะทางที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์ มีค่าเท่ากับ 80 เซนติเมตร



รูปที่ 4.8 กราฟระหว่างความเร็วที่ได้จากกล้องวิดีโอเทียบกับความเร็วที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์

จากกราฟรูปที่ 4.8 แสดงค่าความเร็วที่ได้จากกล้องวิดีโอและเอนโค้ดเดอร์ ซึ่งผลปรากฏออกมาว่าความเร็วที่ได้จากกล้องวิดีโอมีค่าเท่ากับ 0.9 เซนติเมตรต่อวินาที และความเร็วที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์มีค่า 0.6 เซนติเมตรต่อวินาที

จากกราฟรูปที่ 4.9 แสดงถึงมุมมองเสาที่หุ่นยนต์กลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล๊อต ซึ่งจะต้องหมุนหุ่นยนต์ทั้งหมด 180 องศา จะเห็นว่า หุ่นยนต์ใช้เวลาทั้งหมดในการเคลื่อนที่อยู่ที่ 1.2 วินาที และมีบางช่วงบางตอนที่หุ่นยนต์เกิดการสะดุด



รูปที่ 4.9 กราฟระหว่างมุมมองสาในการกลับตัวของหุ่นยนต์เทียบกับเวลา

ในการเคลื่อนที่ทั้งหมดของหุ่นยนต์นั้นมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่แนวตรง เท่ากับ 400 มิลลิแอมป์ ต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหนึ่งตัว

ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนและเพื่อการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สต็อค มีค่าเท่ากับ 1.4 แอมป์ต่อขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้า 1 ชุดที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ตามแนวแกน และมีค่าเท่ากับ 2.5 แอมป์ต่อขดลวดแม่เหล็ก ไฟฟ้า 1 ชุดที่ใช้สำหรับการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สต็อค

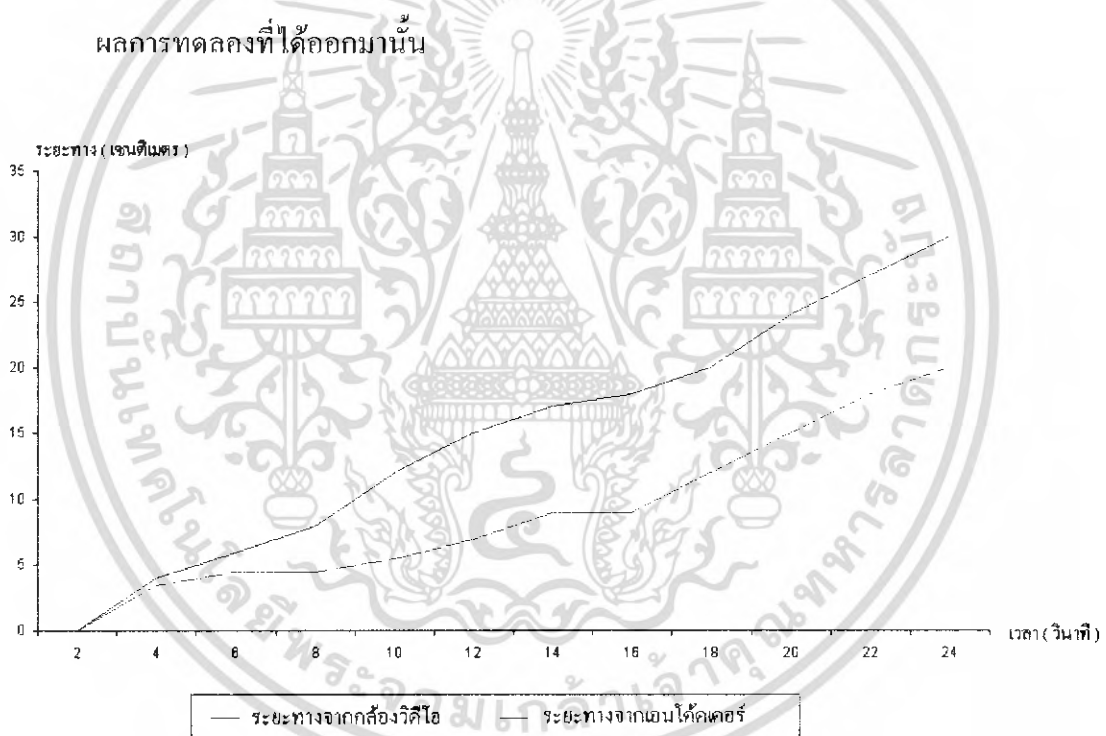
4.3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้าน

แนวแกนลง

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ จะทำการวางแกนสเตเตอร์จำลองในแนวระดับให้อยู่ในลักษณะที่แนวแกนหันด้านบนลง ดังรูปที่ 4.10 การทดลองจะทำการปล่อยหุ่นยนต์ที่ด้านปลายคู่สต็อคอ้างอิงใดๆ คู่หนึ่งก่อน จากนั้นแล้วให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามแนวแกนสเตเตอร์แบบอัตโนมัติ



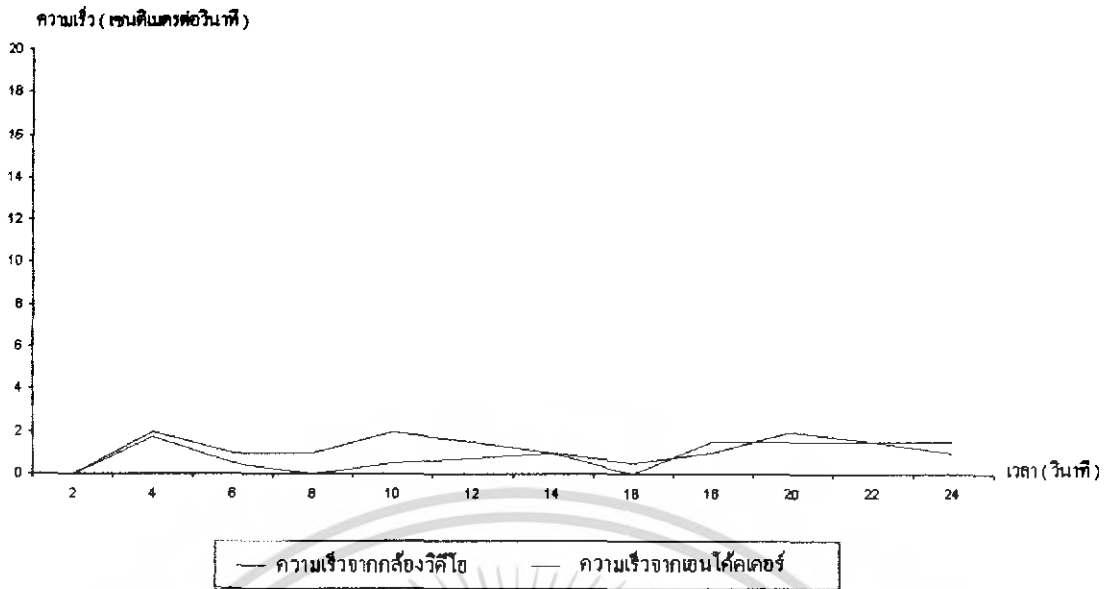
รูปที่ 4.10 ลักษณะการวางแกนสเตเตอร์จำลองวางในแนวระดับและหันด้าน แนวแกนลง



รูปที่ 4.11 กราฟระหว่างระยะทางที่ได้จากล่องวีดีโอเทียบกับระยะทางที่ได้จากแกนโค้ดเคอร์

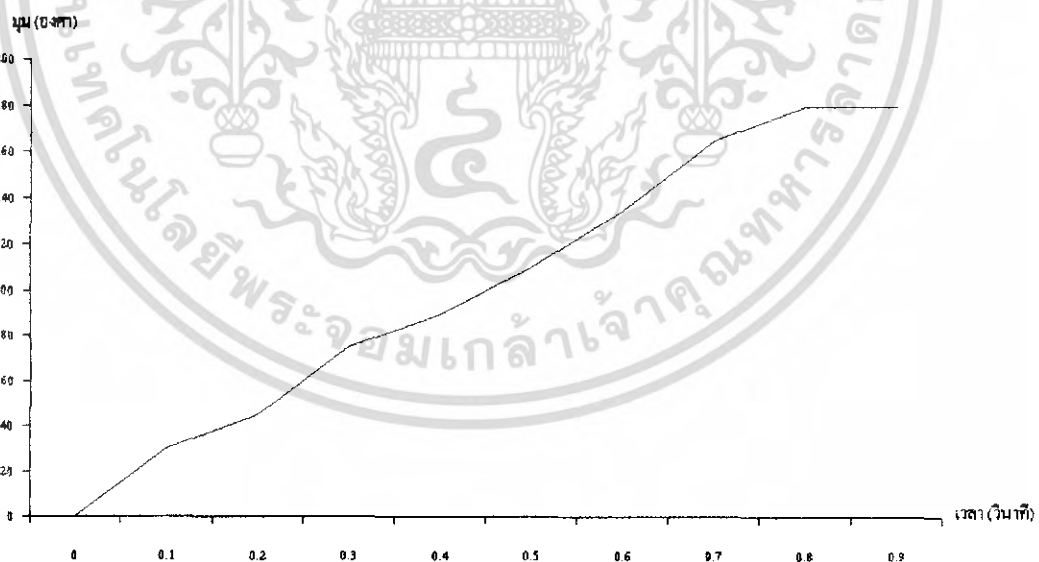
จากกราฟรูปที่ 4.11 แสดงถึงค่าระยะทางที่ได้จากล่องวีดีโอ มาเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากแกนโค้ดเคอร์ ผลปรากฏว่าระยะทางที่ได้จากล่องวีดีโอมีค่าเท่ากับ 30 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะทางที่ได้จากแกนโค้ดเคอร์มีค่าเพียง 20 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟระหว่างความเร็วที่ได้จากกล้องวิดีโอเทียบกับระยะทางที่ได้จากเลนส์โคเคอร์

จากกราฟรูปที่ 4.12 แสดงกราฟความเร็วที่ได้จากกล้องวิดีโอเปรียบเทียบกับความเร็วที่ได้จากเลนส์โคเคอร์ ซึ่งค่าออกมาเท่ากับ 0.75 เซนติเมตรต่อวินาทีสำหรับกล้องวิดีโอ และสำหรับค่าที่ได้จากเลนส์โคเคอร์มีค่าเท่ากับ 0.5 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.13 กราฟระหว่างมุมมองในการกลับตัวของหุ่นยนต์เทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.13 แสดงถึงมุมมองสาขาที่หุ่นยนต์กลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล็อต ซึ่งจะต้องหมุนหุ่นยนต์ทั้งหมด 180 องศา จะเห็นว่า หุ่นยนต์ใช้เวลาทั้งหมดในการเคลื่อนที่อยู่ที่ 0.9 วินาที และมีบางช่วงบางตอนที่หุ่นยนต์เกิดการสะดุด

ในการเคลื่อนที่ทั้งหมดของหุ่นยนต์นั้นมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่แนวตรง เท่ากับ 500 มิลลิแอมป์ ต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหนึ่งตัว

ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนและเพื่อการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล็อต มีค่าเท่ากับ 2.1 แอมป์ต่อขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ขดที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ตามแนวแกน และมีค่าเท่ากับ 3 แอมป์ต่อขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ขดที่ใช้สำหรับการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล็อต



บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่กล่าวมาในข้างต้น แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ตามแนวความคิดที่ได้ออกแบบเอาไว้ คือหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามแนวแกนของสเตเตอร์จำลอง โดยที่มีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่คงที่ หุ่นยนต์สามารถกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สต๊อตแกนสเตเตอร์ และสามารถแสดงระยะการเคลื่อนที่โดยเอนโค้ดเดอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้ ไม่ว่าจะแกนสเตเตอร์จำลองจะวางอยู่ในลักษณะใดก็ตามซึ่งการเคลื่อนที่ทั้งหมดนี้เป็นไปแบบอัตโนมัติ โดยที่ควบคุมผ่านสายควบคุม

5.2 ปัญหาที่พบในโรงงาน

เนื่องจากข้อจำกัดของหุ่นยนต์ ทำให้การออกแบบเป็นไปอย่างยากลำบากเพราะต้องทำให้หุ่นยนต์สามารถเดินตามแนวแกนสเตเตอร์ ต้องทำให้หุ่นยนต์สามารถกลับตัวเพื่อสลับคู่สต๊อต และต้องทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกตำแหน่งของการวางแกนสเตเตอร์จำลอง ด้วยขนาดที่เล็กของหุ่นยนต์ทำให้อุปกรณ์ที่จะต้องนำมาใช้จึงมีขนาดเล็กลงตามไปด้วย การออกแบบหุ่นยนต์ทั้งหมดต้องออกแบบและทดลองไปพร้อมๆ กันเพื่อให้การทำงานทั้งหมดเป็นไปตามที่ต้องการโดยที่ขนาดไม่เกินข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งถ้าไม่เป็นไปตามที่ต้องการก็ต้องทำการออกแบบและทดลองใหม่

สำหรับในส่วนของการยึดติดกับแกนสเตเตอร์เพื่อการเคลื่อนที่ตามแนวแกนสเตเตอร์ และการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สต๊อต นั้นพบว่าขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้นำมาใช้นั้นต้องมีความแรงของสนามแม่เหล็กมากพอ และยังต้องทำให้มีขนาดที่เล็กจนสามารถนำไปติดตั้งบนตัวของหุ่นยนต์ได้ รวมทั้งวงจรควบคุมที่จะทำให้ทำงานร่วมกันกับส่วนอื่นๆ ของหุ่นยนต์ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นอัตโนมัติทำให้ต้องใช้เวลามากในการศึกษาออกแบบ และพัฒนาการพันขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

5.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโรงงาน

ในการทำโรงงานนี้ต้องอาศัยความรู้ในหลายๆ ด้านมาประกอบกัน ทั้งความรู้ทางด้านโครงสร้างของหุ่นยนต์ ระบบส่งกำลังแบบต่างๆ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เซอร์โวมอเตอร์ แรงแม่เหล็กจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ความรู้ทางด้านวงจร การขับเซอร์โวมอเตอร์ การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เซนเซอร์และเอนโค้ดเดอร์ การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่าน

พอร์ดอนุกรม และการเชื่อมต่อระบบการควบคุมทั้งหมด ซึ่งทุกอย่างเป็นส่วนสำคัญในการสร้างทักษะให้กับผู้ทำโครงการ และยังได้ประโยชน์จากการวิเคราะห์ การตัดสินใจ การประสานงานในการทำงานมีการแบ่งงานกันทำ ทำให้มีการฝึกการวางแผนอย่างมีระบบและคิดแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นร่วมกัน

5.4 แนวทางในการพัฒนาและการประยุกต์

สำหรับแนวทางในการพัฒนาและการประยุกต์นั้น สามารถทำได้โดยการพัฒนาโครงสร้างของหุ่นยนต์ให้มีความแข็งแรงมากขึ้นกว่าเดิม เคลื่อนที่ได้คล่องแคล่วกว่าเดิมทั้งการเคลื่อนที่ตามแนวแกนและการกลับตัวเพื่อเปลี่ยนคู่สล็อต เซนเซอร์ก็อาจจะใช้เซนเซอร์ที่มีสัญญาณรบกวนที่น้อยกว่าการใช้เซนเซอร์อินฟราเรด รวมทั้งการออกแบบให้หุ่นยนต์สามารถควบคุมแบบไร้สายเพื่อลดปัญหาของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความยาวของสายควบคุม

นอกจากนี้แล้ว จะทำการศึกษานาฬิกาของหัวโพรบที่ใช้ในกรวัดค่าสนามแม่เหล็กตามแบบวิธีการวัดแบบ EL CID ว่ามีขนาดเท่าไร แล้วค่อยๆ พัฒนาให้นำมาติดไว้ในตัวหุ่นยนต์และทดลองนำไปเคลื่อนที่จริงในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้สามารถนำมาใช้แทนการวัด โดยคนตามแนวความคิดที่ได้ออกแบบและกล่าวไว้ในบทที่ 1

เอกสารอ้างอิง

- [1] ร.อ.วาที ปรียพงศ์. “เส้นทางสู่นักประดิษฐ์หุ่นยนต์” : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 611 หน้า, 2547
- [2] ศศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. “เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์” : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 272 หน้า, 2548
- [3] วันชัย คุณากรวงศ์, บัณฑิต บัวบูชา, รัฐวุฒิ ประทุมราช, รุ่งแสง เกรือไวศยวรรณ. “การคำนวณวงจรทรานซิสเตอร์” : หก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 336 หน้า, 2539
- [4] อรรถพล บุญยะโกคา, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ่มพรจิตรวิไล. “เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม” : บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 166 หน้า, 2544
- [5] ศ.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, รศ. ชาญ ถนัดงาน. “การออกแบบเครื่องจักรกล” : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 349 หน้า, 2541



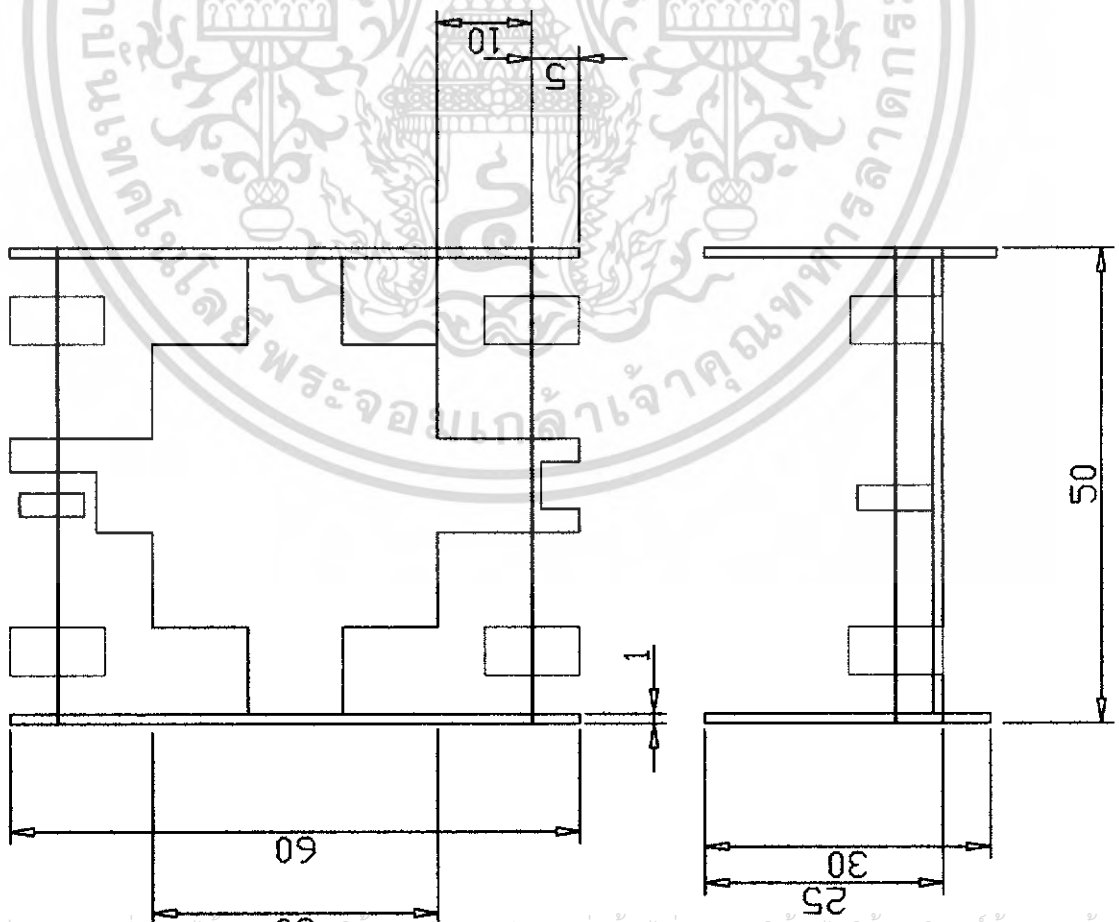
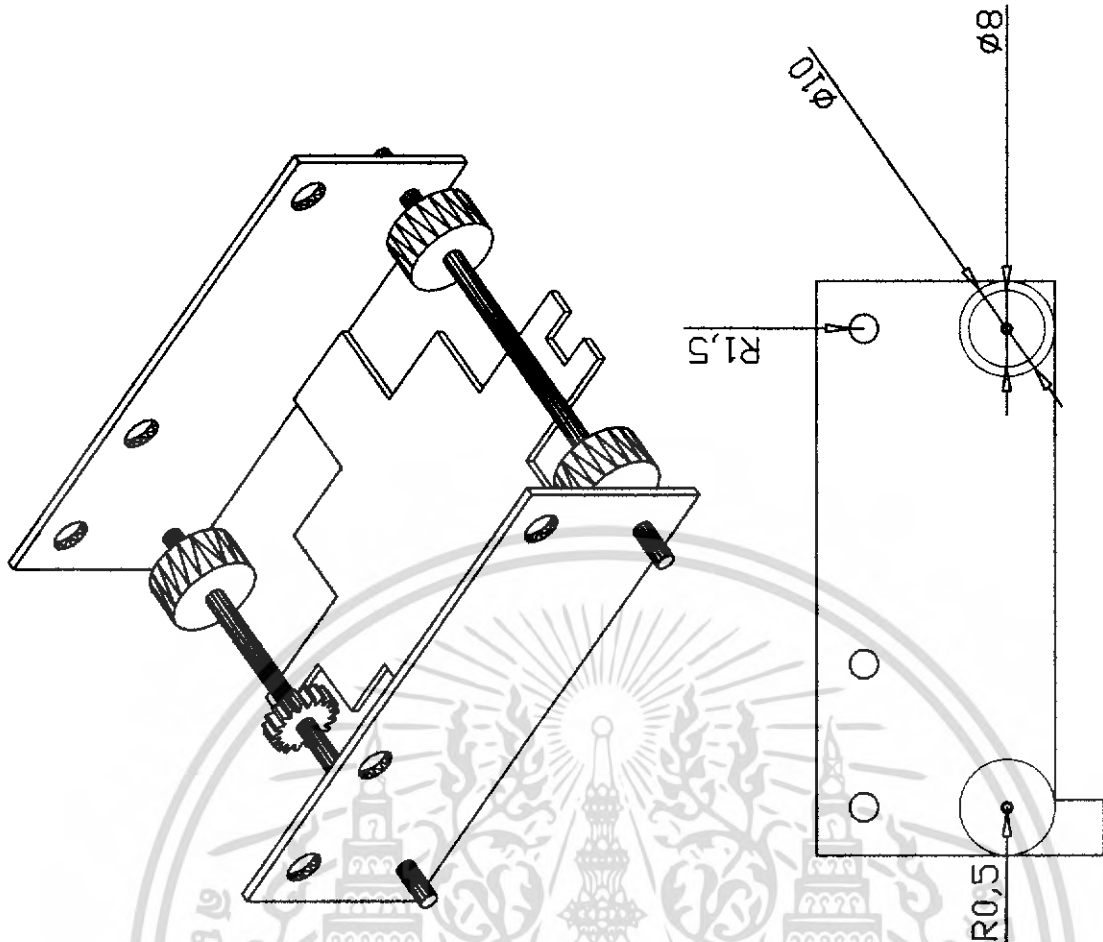
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

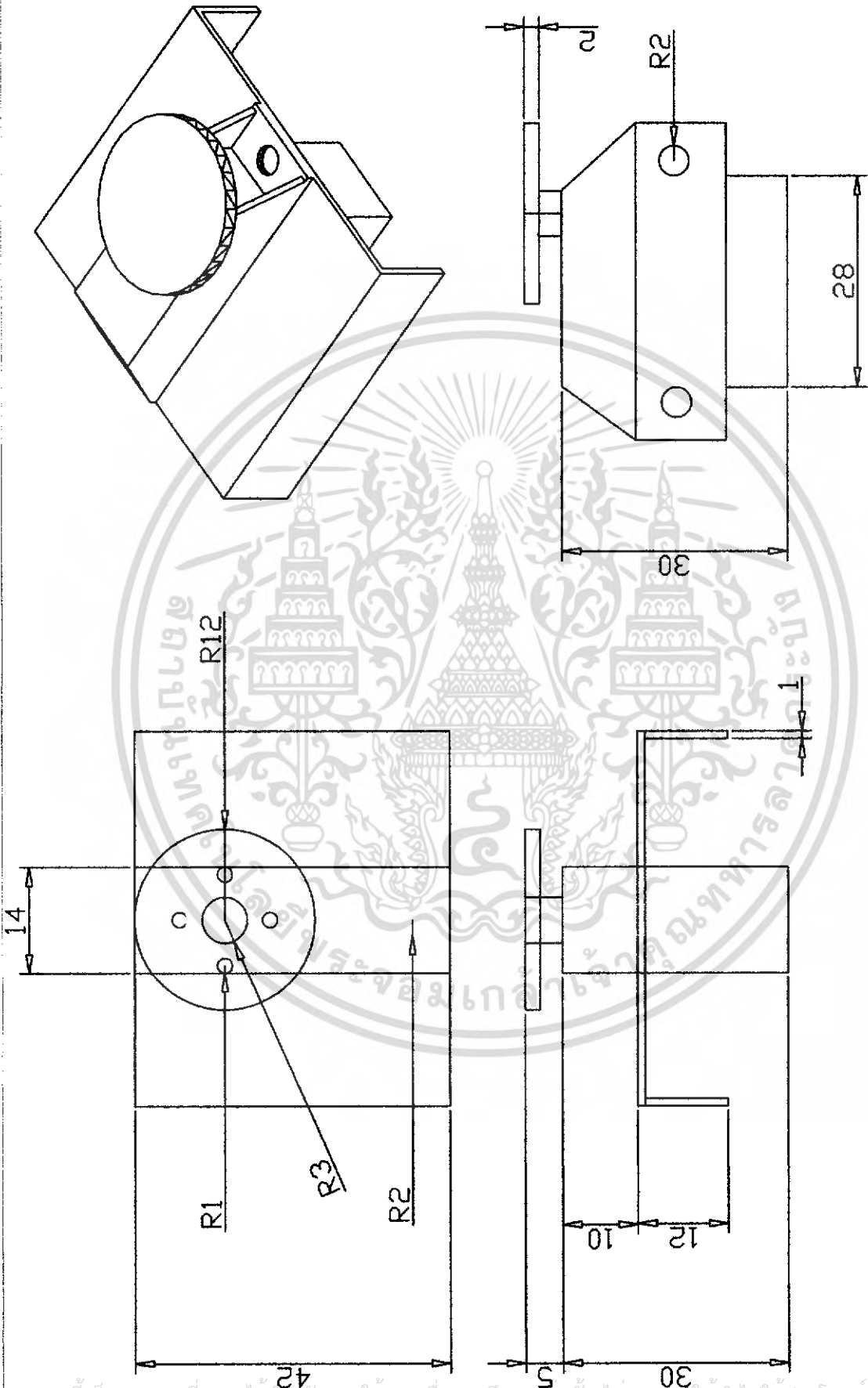


TITLE: BASE

SHEET 1 OF 1

SCALE: 1:2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

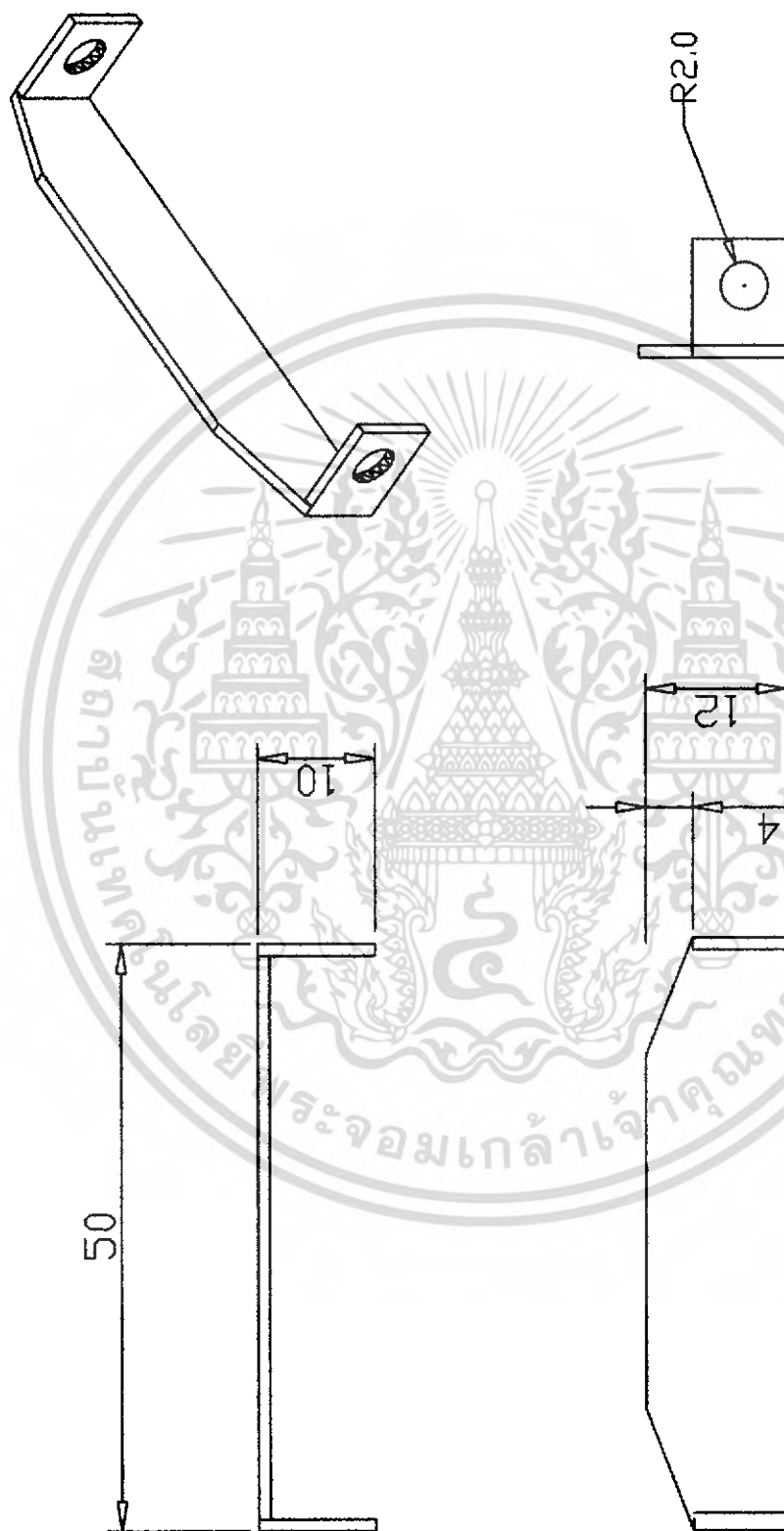


TITLE: TOP

SCALE: 1:2

SHEET 1 OF 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

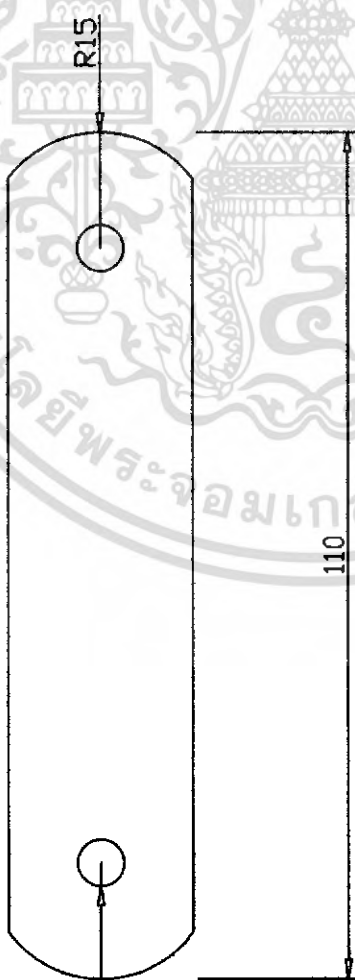
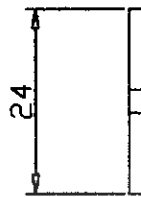
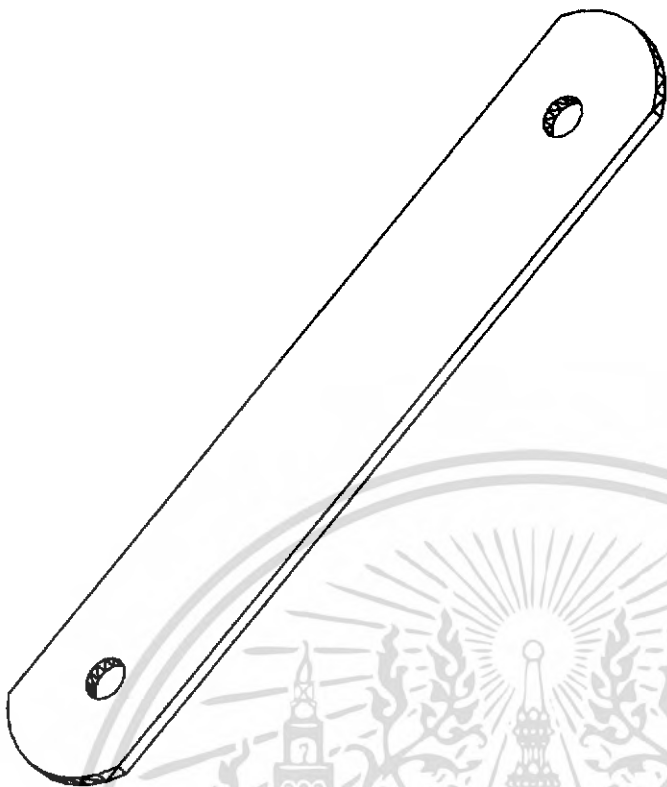


TITLE:DC - BAR

SCALE: 1:2

SHEET: 1 OF 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TITLE: BEAM

SCALE: 1:2

SHEET: 1 OF 1

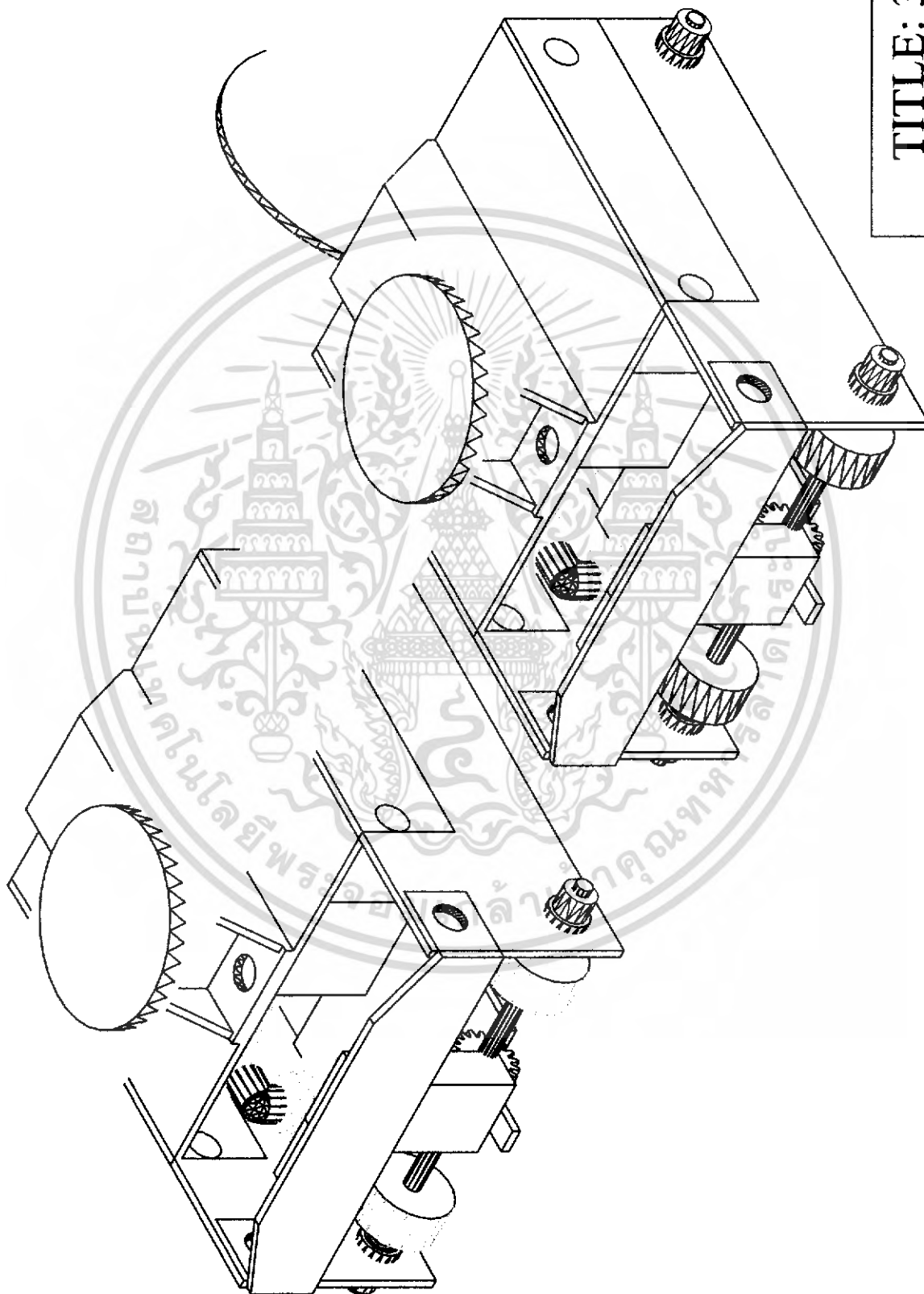
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R3

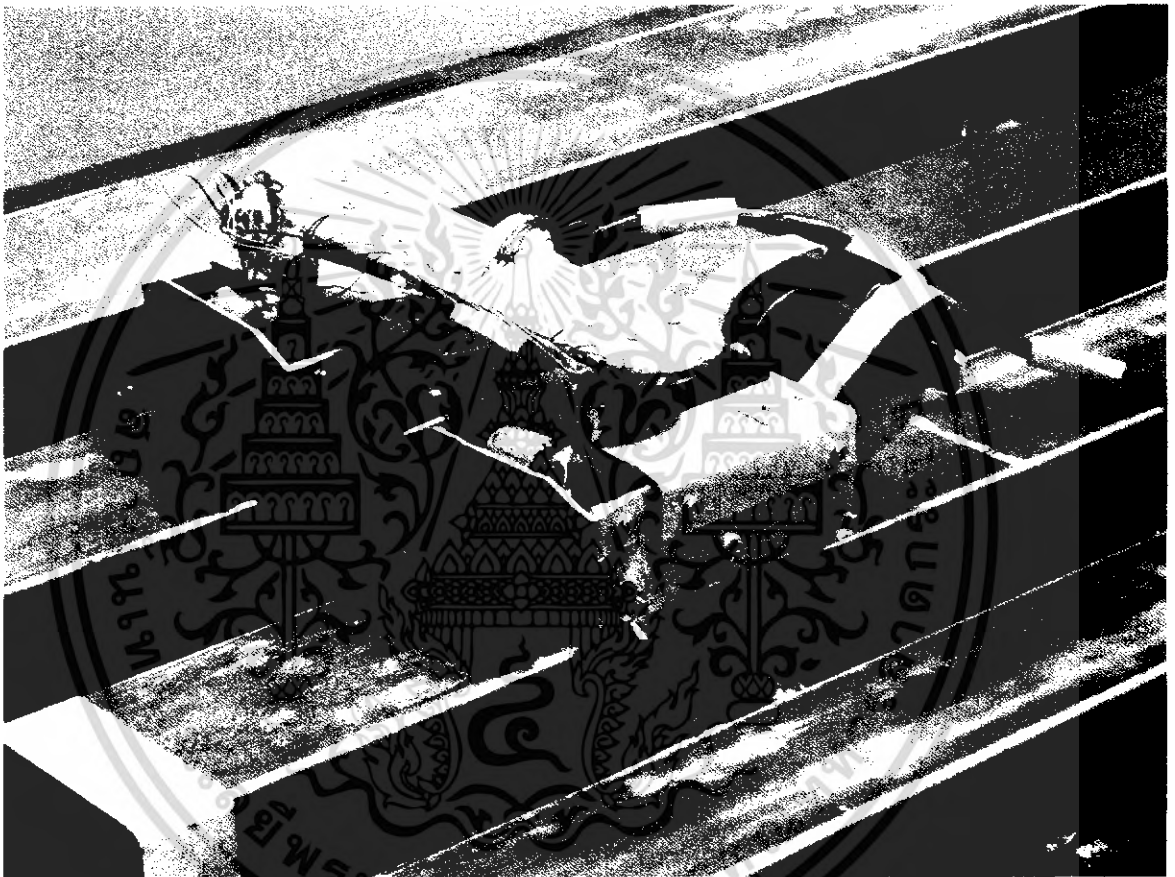
TITLE: 3DROBOT

SHEET: 1 OF 1

SCALE: 1:1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ภาพถ่ายของหุ่นยนต์วางอยู่บนแกนสเตเตอร์จำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (C / PCW COMPLIER)

```

/*****
* file : controlbot.c
* purpose : counter demo
*****/

#define _PIC16F876_
#include <16F876.h>

#define CLOCK_SP 20000000
#fuses HS
#fuses NOLVP, NOWDT
#fuses NOPROTECT
#use delay (clock=CLOCK_SP)
#define S1 PIN_B0
#define S2 PIN_B1
#define S3 PIN_B2
#define S4 PIN_B3
int i;
/***** PROGRAM *****/
// CHANGE SLOT
#INT_TIMER1
VOID IntTMR1_isr(void)
{
    set_timer1(53036);//53036
    if(i==0)
    {
        output_a(0x01);
        output_high(pin_C0);
        output_high(pin_C1);
        delay_us(550); //right=2200 left=550
        output_low(pin_C0);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        output_low(pin_C1);
    }
    if(i==2)
    {
        output_a(0x00);
        output_high(pin_C0);
        output_high(pin_C1);
        delay_us(550); //right=2200 left=550
        output_low(pin_C0);
        output_low(pin_C1);
    }
    if(i==1)
    {
        output_a(0x08);
        output_low(pin_C2);
        output_high(pin_C3);
        output_low(pin_C4);
        output_high(pin_C5);
        output_high(pin_C0);
        delay_us(550); //right=2200 left=550
        output_low(pin_C0);
    }
}
//MOVE SLOT 1-2
VOID MS1( )
{
    output_a(0x09);
    output_high(pin_C2);
    output_high(pin_C3);
    output_low(pin_C4);
    output_low(pin_C5);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//MOVE SLOT 2-3
VOID MS2( )
{
    output_a(0x05);
    output_high(pin_C2);
    output_high(pin_C3);
    output_low(pin_C4);
    output_low(pin_C5);
}

//MOVE SLOT 3-4
VOID MS3( )
{
    output_a(0x05);
    output_high(pin_C2);
    output_high(pin_C3);
    output_low(pin_C4);
    output_low(pin_C5);
}

VOID stop( )
{
    output_a(0x00);
    output_high(pin_C2);
    output_high(pin_C3);
    output_low(pin_C4);
    output_low(pin_C5);
}

//MAIN PROGRAM
void MAIN(void)
{
    set_tris_b(0xff);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    output_a(0x00);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

output_low(pin_C0);
output_low(pin_C1);
output_low(pin_C2);
output_low(pin_C3);
output_low(pin_C4);
output_low(pin_C5);
delay_ms(1000);
stop();
delay_ms(1000);
//*****moveslot1*****
MS1();
delay_ms(3000);
while(input(PIN_B0))
{
  while(input(PIN_B0));
  delay_ms(100);
  while(input(PIN_B0));
  delay_ms(100);
}
delay_ms(500);
stop();
output_low(pin_C2);
output_high(pin_C3);
output_low(pin_C4);
output_high(pin_C5);
delay_ms(5000);
i=0;
//*****changeslot1-2*****
enable_interrupts(INT_TIMER1);
setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
set_timer1(53036);
delay_ms(1800);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวชนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i=2;
delay_ms(1000);
disable_interrupts(INT_TIMER1);
stop( );
delay_ms(2000);
//*****moveslot2*****

MS2( );
delay_ms(4000);
while(input(PIN_B0))
{
    while(input(PIN_B0));
    delay_ms(100);
    while(input(PIN_B0));
    delay_ms(100);
}
delay_ms(400);
stop( );
delay_ms(4000);
i=1;
//*****changeslot2-3*****
enable_interrupts(INT_TIMER1);
setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
set_timer1(53036);
delay_ms(5000);
disable_interrupts(INT_TIMER1);
stop( );
delay_ms(1000);
//*****moveslot3*****

MS3( );
while(input(PIN_B3));
stop( );
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการรับค่าจากเอนโค้ดเดอร์

```

/*****

* file : encoder.c

* purpose : demo

*****/

#define _PIC16F876_

#ifndef _PIC16F876_

#include <16F876.h>

#define TxD PIN_C6
#define RxD PIN_C7
#define CLOCK_SP 20000000

#else

#include <16F628.h>

#define TxD PIN_A2
#define RxD PIN_A3
#define CLOCK_SP 40000000

#endif

#fuses HS
#fuses NOLVP,NOWDT
#fuses NOPROTECT
#use delay (clock=CLOCK_SP)
#use rs232(baud=9600, xmit=TxD,rcv=RxD)

unsigned long i = 0;

float f=0;

BOOLEAN HOOKEXT=FALSE;

#INT_EXT

void IntExt_isr(void)
{

    i=i+1 ;

    f=i*0.022 ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

HOOKEXT = TRUE;
}
void main(void)
{
    i=0;
    f=0;
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_EXT);
    set_tris_b(0x01);
    output_high(pin_B1);
    printf("\n\rCounter value : %lu",i);
    while(TRUE)
    {
        if(HOOKEXT)
        {
            printf("\n\rCounter value : %lu",i);
            printf("movement: %f\n\r",f);
            HOOKEXT = FALSE;
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

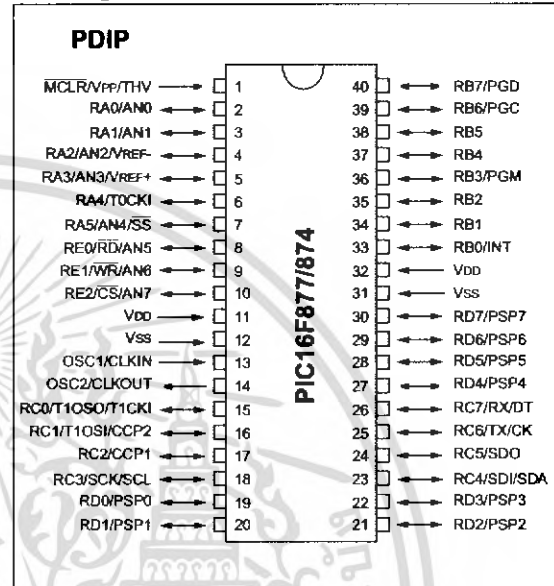
Devices Included in this Data Sheet:

- 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

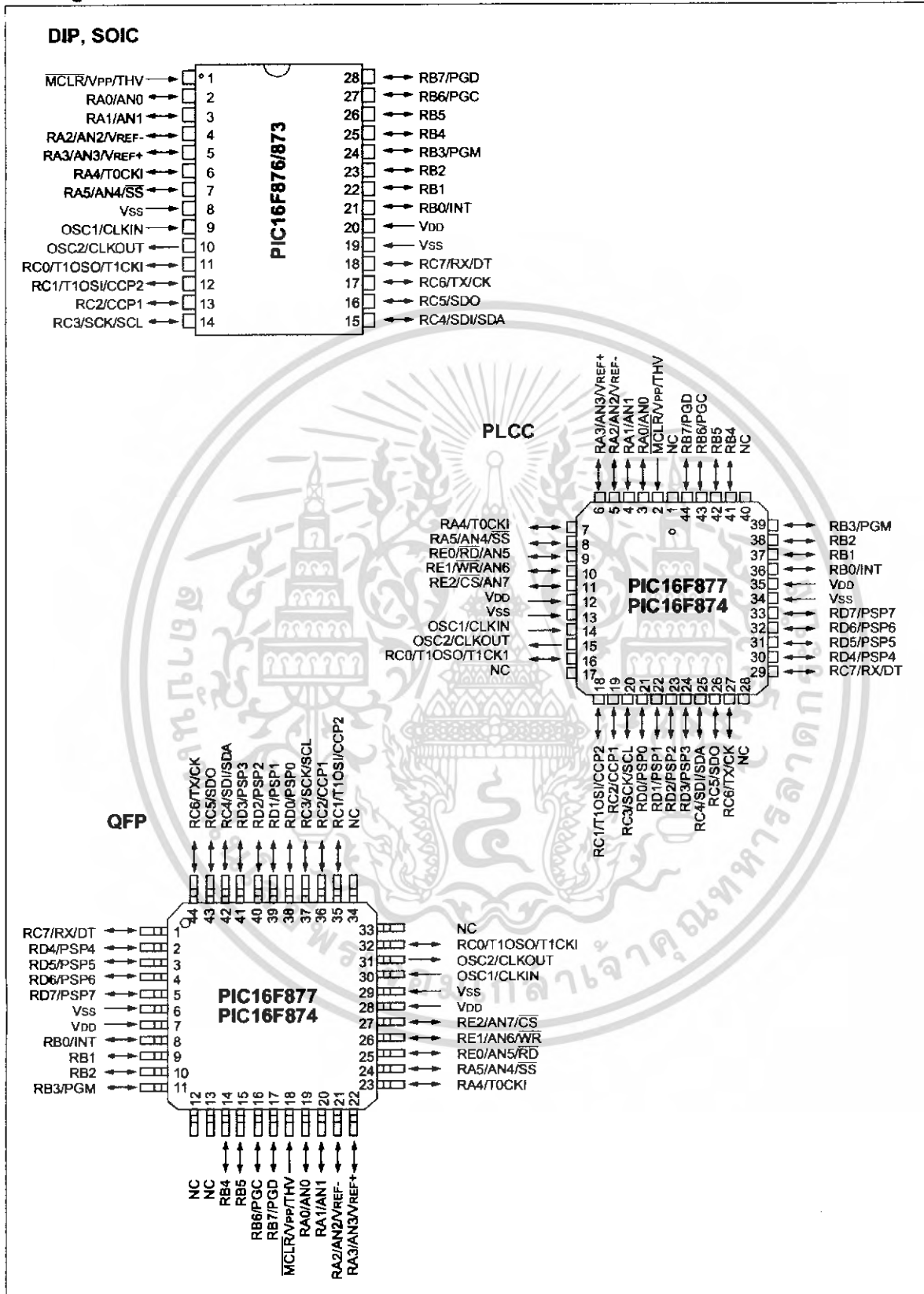


Peripheral Features:

- 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 RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

Pin Diagrams



PIC16F87X

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

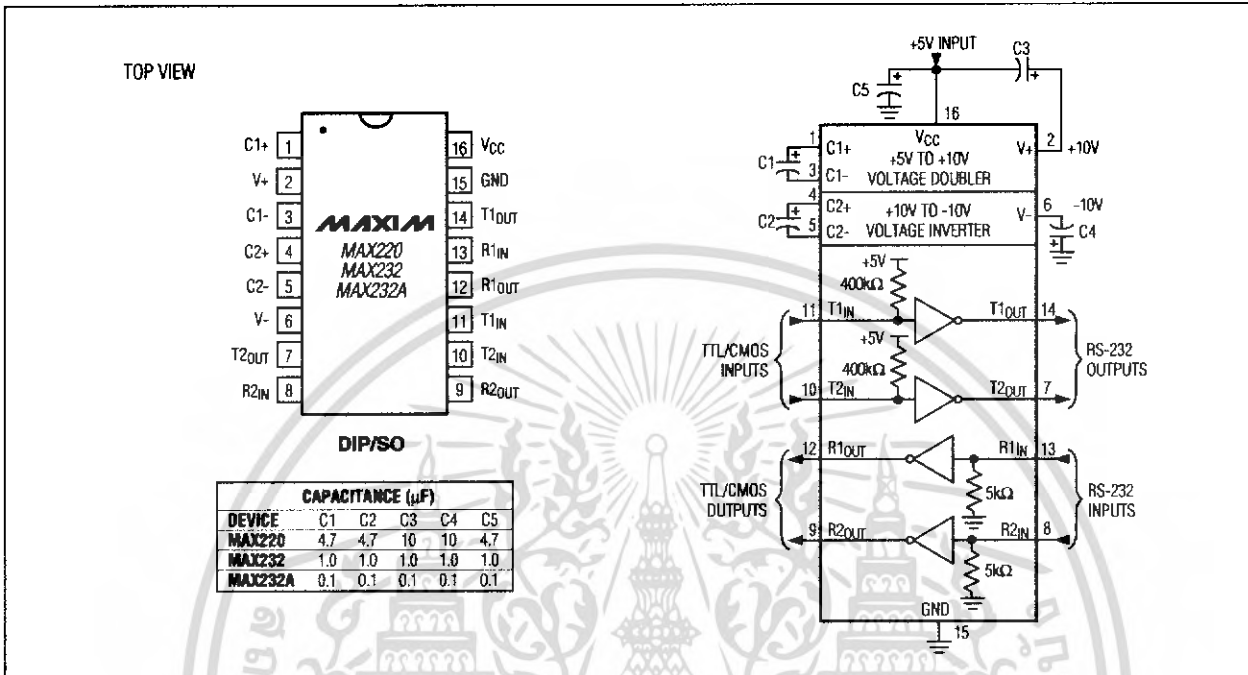


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

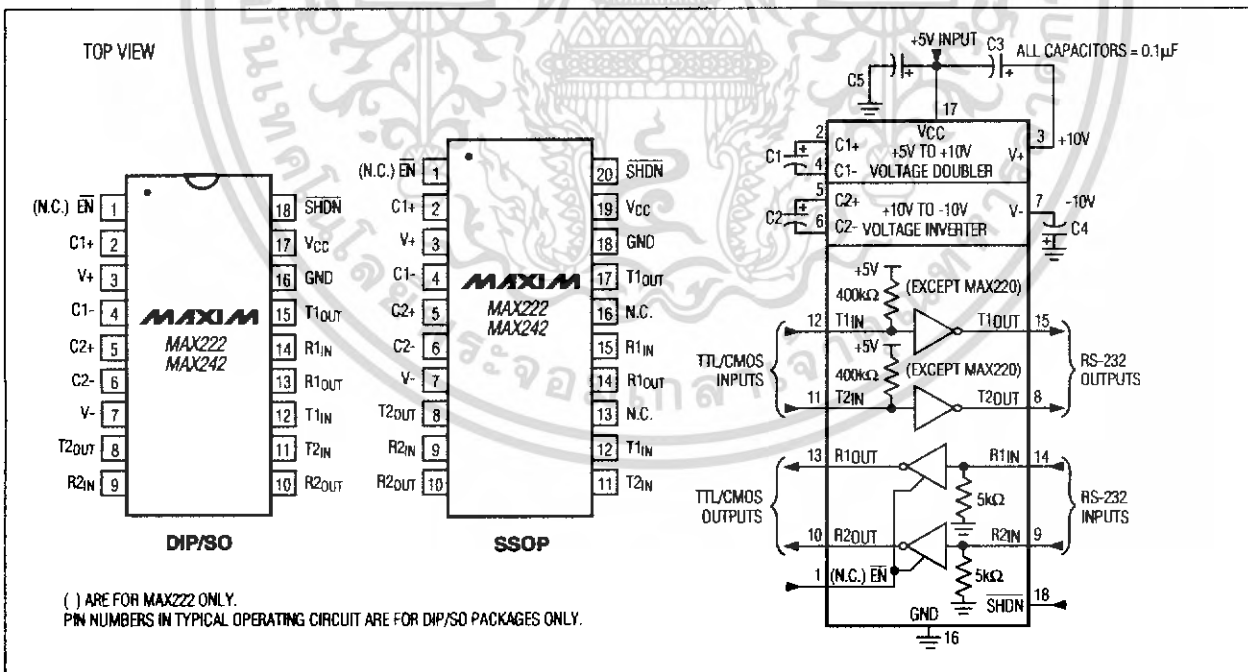


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES

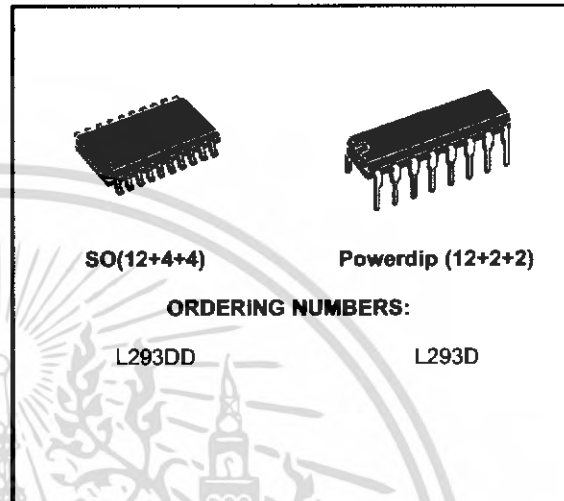
- 600mA OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (non repetitive) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)
- INTERNAL CLAMP DIODES

DESCRIPTION

The Device is a monolithic integrated high voltage, high current four channel driver designed to accept standard DTL or TTL logic levels and drive inductive loads (such as relays solenoids, DC and stepping motors) and switching power transistors.

To simplify use as two bridges each pair of channels is equipped with an enable input. A separate supply input is provided for the logic, allowing operation at a lower voltage and internal clamp diodes are included.

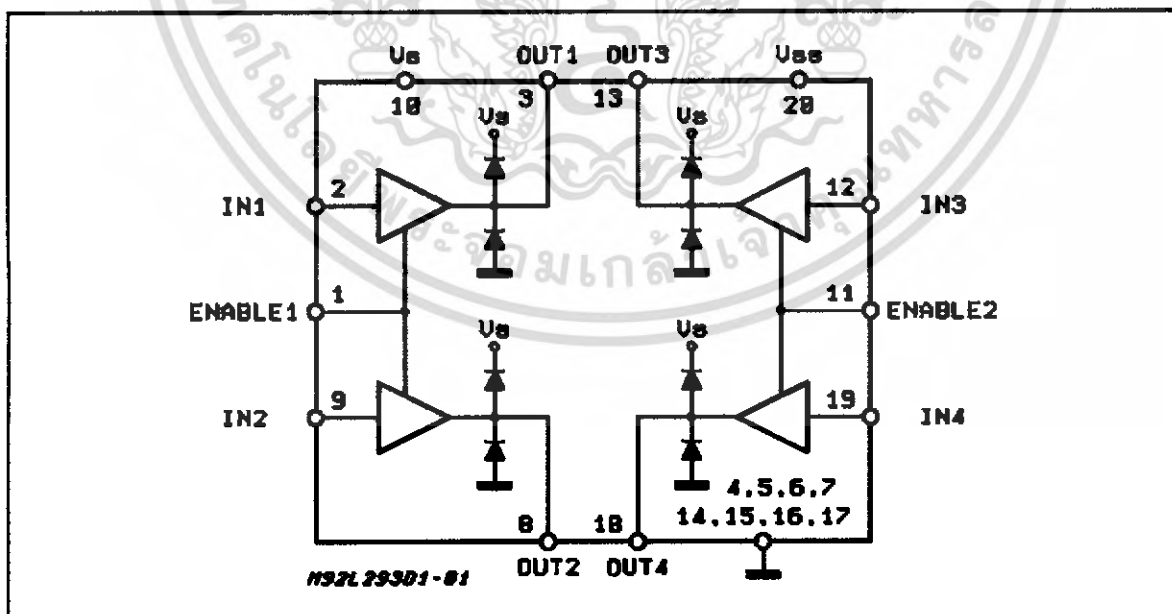
This device is suitable for use in switching applications at frequencies up to 5 kHz.



The L293D is assembled in a 16 lead plastic package which has 4 center pins connected together and used for heatsinking

The L293DD is assembled in a 20 lead surface mount which has 8 center pins connected together and used for heatsinking.

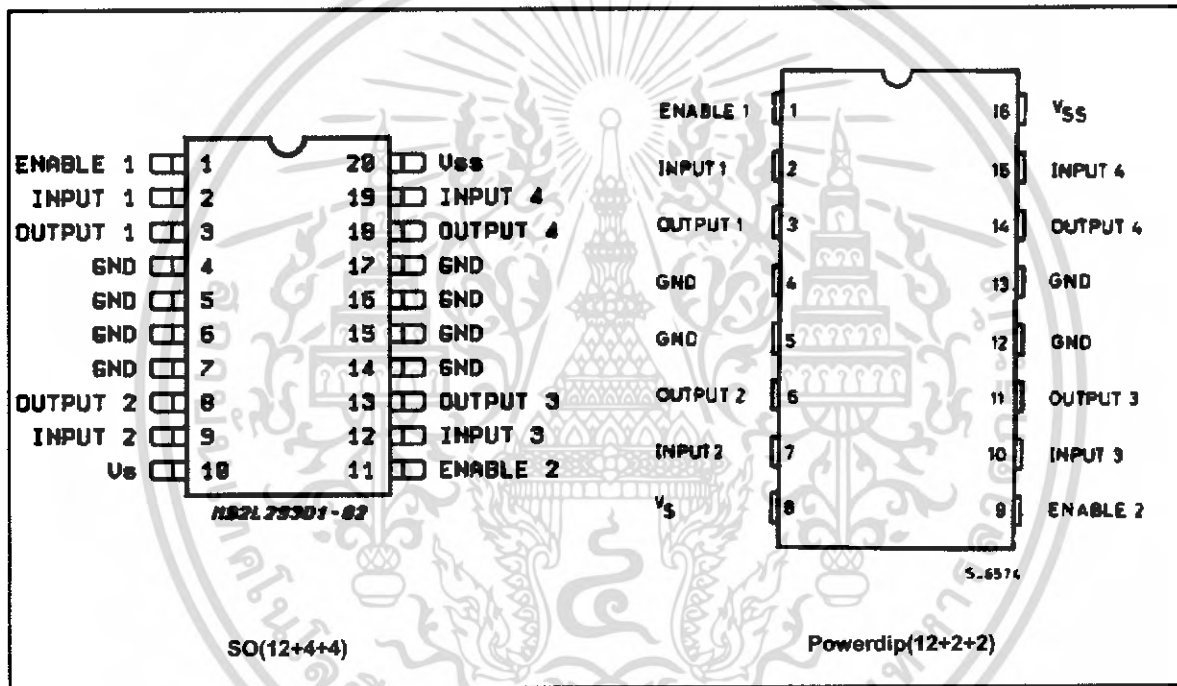
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _S	Supply Voltage	36	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage	36	V
V _i	Input Voltage	7	V
V _{en}	Enable Voltage	7	V
I _o	Peak Output Current (100 μs non repetitive)	1.2	A
P _{tot}	Total Power Dissipation at T _{pins} = 90 °C	4	W
T _{stg} , T _j	Storage and Junction Temperature	- 40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (Top view)



THERMAL DATA

Symbol	Description	DIP	SO	Unit
R _{th j-pins}	Thermal Resistance Junction-pins	max.	14	°C/W
R _{th j-amb}	Thermal Resistance junction-ambient	max.	50 (*)	°C/W
R _{th j-case}	Thermal Resistance Junction-case	max.	14	

(*) With 6sq. cm on board heatsink.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (for each channel, $V_S = 24\text{ V}$, $V_{SS} = 5\text{ V}$, $T_{\text{amb}} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 10)		V_{SS}		36	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 20)		4.5		36	V
I_S	Total Quiescent Supply Current (pin 10)	$V_I = L$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		2	6	mA
		$V_I = H$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		16	24	mA
		$V_{en} = L$			4	mA
I_{SS}	Total Quiescent Logic Supply Current (pin 20)	$V_I = L$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		44	60	mA
		$V_I = H$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		16	22	mA
		$V_{en} = L$		16	24	mA
V_{IL}	Input Low Voltage (pin 2, 9, 12, 19)		-0.3		1.5	V
V_{IH}	Input High Voltage (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{IL}	Low Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{IL} = 1.5\text{ V}$			-10	μA
I_{IH}	High Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$2.3\text{ V} \leq V_{IH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$		30	100	μA
V_{enL}	Enable Low Voltage (pin 1, 11)		-0.3		1.5	V
V_{enH}	Enable High Voltage (pin 1, 11)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{enL}	Low Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$V_{enL} = 1.5\text{ V}$		-30	-100	μA
I_{enH}	High Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$2.3\text{ V} \leq V_{enH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$			± 10	μA
$V_{CE(sat)H}$	Source Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = -0.6\text{ A}$		1.4	1.8	V
$V_{CE(sat)L}$	Sink Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = +0.6\text{ A}$		1.2	1.8	V
V_F	Clamp Diode Forward Voltage	$I_O = 600\text{ nA}$		1.3		V
t_r	Rise Time (*)	0.1 to 0.9 V_O		250		ns
t_f	Fall Time (*)	0.9 to 0.1 V_O		250		ns
t_{on}	Turn-on Delay (*)	0.5 V_I to 0.5 V_O		750		ns
t_{off}	Turn-off Delay (*)	0.5 V_I to 0.5 V_O		200		ns

(*) See fig. 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM139/239/239A/339/339A /LM2901/MC3302

Quad voltage comparator

DESCRIPTION

The LM139 series consists of four independent precision voltage comparators, with an offset voltage specification as low as 2.0mV max for each comparator, which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though they are operated from a single power supply voltage.

The LM139 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, the LM139 series will directly interface with MOS logic where their low power drain is a distinct advantage over standard comparators.

FEATURES

- Wide single supply voltage range 2.0V_{DC} to 36V_{DC} or dual supplies ±1.0V_{DC} to ±18V_{DC}
- Very low supply current drain (0.8mA) independent of supply voltage (1.0mW/comparator at 5.0V_{DC})
- Low input biasing current 25nA
- Low input offset current ±5nA and offset voltage
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output 250mV at 4mA saturation voltage
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

APPLICATIONS

- A/D converters
- Wide range VCO
- MOS clock generator
- High voltage logic gate
- Multivibrators

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (Cerdip)	-55 to +125°C	LM139F	0581B
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-25°C to +85°C	LM239AN	SOT27-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-25°C to +85°C	LM239N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-25°C to +85°C	LM239D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +125°C	LM2901N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40°C to +125°C	LM2901D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	LM339AN	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	LM339D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	LM339N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40°C to +85°C	MC3302D	SOT108-1
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (Cerdip)	-40°C to +85°C	MC3302F	0581B
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +85°C	MC3302N	SOT27-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55 to +125°C	LM139N	SOT27-1

PIN CONFIGURATION

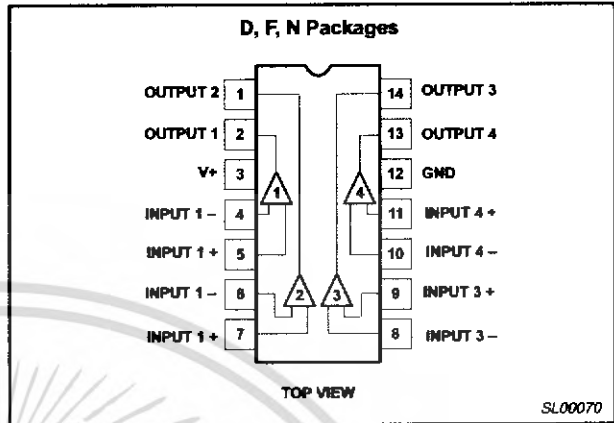


Figure 1. Pin Configuration

EQUIVALENT CIRCUIT

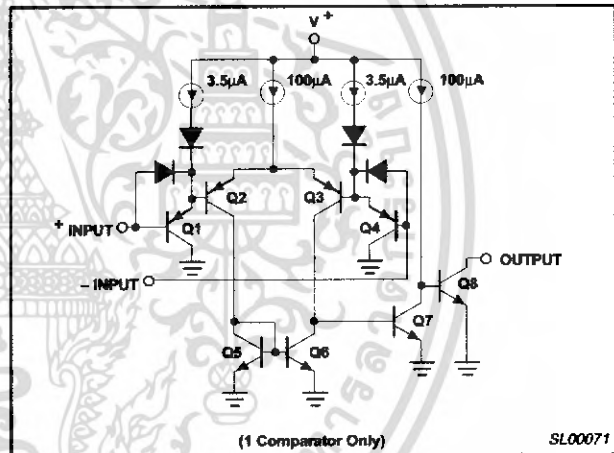


Figure 2. Equivalent Circuit

Quad voltage comparator

LM139/239/239A/339/339A/
LM2901/MC3302

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V _{CC}	V _{CC} supply voltage	36 or ±18	V _{DC}
V _{DIFF}	Differential input voltage	36	V _{DC}
V _{IN}	Input voltage	-0.3 to +36	V _{DC}
P _D	Maximum power dissipation, T _A =25°C (still-air) ¹		
	F package	1190	mW
	N package	1420	mW
	D package	1040	mW
	Output short-circuit to ground ²	Continuous	
I _{IN}	Input current (V _{IN} <-0.3V _{DC}) ³	50	mA
T _A	Operating temperature range		
	LM139	-55 to +125	°C
	LM239/239A	-25 to +85	°C
	LM339/339A	0 to +70	°C
	LM2901	-40 to +125	°C
	MC3302	-40 to +85	°C
T _{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	°C
T _{SOLD}	Lead soldering temperature (10sec max)	300	°C

NOTES:

- Derate above 25°C, at the following rates:
 F Package at 9.5mW/°C
 N Package at 11.4mW/°C
 D Package at 8.3mW/°C
- Short circuits from the output to V+ can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 20mA independent of the magnitude of V+.
- This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the comparators to go to the V+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will reestablish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V_{DC}.

Quad voltage comparator

LM139/239/239A/339/339A/
LM2901/MC3302

DC AND AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V+=5V_{DC}, LM139: -55°C ≤ T_A ≤ 125°C; LM239/239A: -25°C ≤ T_A ≤ 85°C; LM339/339A: 0°C ≤ T_A ≤ 70°C;; LM2901: -40°C ≤ T_A ≤ 125°C, MC3302: -40°C ≤ T_A ≤ 85°C, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM239A/339A			UNIT
			Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input offset voltage ²	T _A =25°C Over temp.		±1.0	±2.0 ±4.0	mV mV
V _{CM}	Input common-mode voltage range ³	T _A =25°C Over temp.	0 0		V+ -1.5 V+ -2.0	V
V _{IDR}	Differential input voltage ¹	Keep all V _{IN} ≥ 0V _{DC} (or V- if need)			V+	V
I _{BIAS}	Input bias current ⁴	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} with output in linear range T _A =25°C Over temp.		25	250 400	nA nA
I _{OS}	Input offset current	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} T _A =25°C Over temp.		±5.0	±50 ±150	nA nA
I _{OL}	Output sink current	V _{IN(-)} ≥ 1V _{DC} , V _{IN(+)} = 0, V _O ≤ 1.5V _{DC} , T _A = 25°C	6.0	16		mA
	Output leakage current	V _{IN(+)} ≥ 1V _{DC} , V _{IN(-)} = 0 V _O = 5V _{DC} , T _A = 25°C V _O = 30V _{DC} , over temp.		0.1	1.0	nA µA
I _{CC}	Supply current	R _L = ∞ on comparators, T _A = 25°C V+ = 30V		0.8	2.0	mA
A _V	Voltage gain	R _L ≥ 15kΩ, V+ = 15V _{DC}	50	200		V/mV
V _{OL}	Saturation voltage	V _{IN(-)} ≥ 1V _{DC} , V _{IN(+)} = 0, I _{SINK} ≤ 4mA T _A = 25°C Over temp.		250	400 700	mV mV
t _{LSR}	Large-signal response time	V _{IN} = TTL logic swing, V _{REF} = 1.4V _{DC} , V _{RL} = 5V _{DC} , R _L = 5.1kΩ, T _A = 25°C		300		ns
t _R	Response time ⁵	V _{RL} = 5V _{DC} , R _L = 5.1kΩ, T _A = 25°C		1.3		µs

See notes at the end of the Electrical Characteristics.

Quad voltage comparator

LM139/239/239A/339/339A/
LM2901/MC3302

DC AND AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{+}=5V_{DC}$, LM139: $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$; LM239/239A: $-25^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$; LM339/339A: $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$; LM2901: $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$.
MC3302: $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM139			LM239/339			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input offset voltage ²	$T_A=25^{\circ}\text{C}$ Over temp.		± 2.0	± 5.0 ± 9.0		± 2.0	± 5.0 ± 9.0	mV mV
V_{CM}	Input common-mode voltage range ³	$T_A=25^{\circ}\text{C}$ Over temp.	0 0		$V_{+}-1.5$ $V_{+}-2.0$	0 0		$V_{+}-1.5$ $V_{+}-2.0$	V
V_{IDR}	Differential input voltage ¹	Keep all $V_{IN} \geq 0V_{DC}$ (or V_{-} if need)			V_{+}			V_{+}	V
I_{BIAS}	Input bias current ⁴	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with output in linear range $T_A=25^{\circ}\text{C}$ Over temp.		25	100 300		25	250 400	nA nA
I_{OS}	Input offset current	$I_{IN(+)}-I_{IN(-)}$ $T_A=25^{\circ}\text{C}$ Over temp.		± 3.0	± 25 ± 100		± 5.0	± 50 ± 150	nA nA
I_{OL}	Output sink current	$V_{IN(+)} \geq 1V_{DC}$, $V_{IN(+)}=0$, $V_{OS} \leq 1.5V_{DC}$, $T_A=25^{\circ}\text{C}$	6.0	16		6.0	16		mA
	Output leakage current	$V_{IN(+)} \geq 1V_{DC}$, $V_{IN(-)}=0$ $V_O=5V_{DC}$, $T_A=25^{\circ}\text{C}$ $V_O=30V_{DC}$, over temp.		0.1			0.1		nA μA
I_{CC}	Supply current	$R_L=\infty$ on comparators, $T_A=25^{\circ}\text{C}$ $V_{+}=30V$		0.8	2.0		0.8	2.0	mA
A_V	Voltage gain	$R_L \geq 15k\Omega$, $V_{+}=15V_{DC}$	50	200		50	200		V/mV
V_{OL}	Saturation voltage	$V_{IN(-)} \geq 1V_{DC}$, $V_{IN(+)}=0$, $I_{SINK} \leq 4\text{mA}$ $T_A=25^{\circ}\text{C}$ Over temp.		250	400 700		250	400 700	mV mV
t_{LSR}	Large-signal response time	$V_{IN}=\text{TTL logic swing}$, $V_{REF}=1.4V_{DC}$, $V_{RL}=5V_{DC}$, $R_L=5.1k\Omega$, $T_A=25^{\circ}\text{C}$		300			300		ns
t_R	Response time ⁵	$V_{RL}=5V_{DC}$, $R_L=5.1k\Omega$, $T_A=25^{\circ}\text{C}$		1.3			1.3		μs

See notes on following page.

Quad voltage comparator

LM139/239/239A/339/339A/
LM2901/MC3302

DC AND AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V+ = 5V_{DC}, LM139: -55°C ≤ T_A ≤ 125°C; LM239/239A: -25°C ≤ T_A ≤ 85°C; LM339/339A: 0°C ≤ T_A ≤ 70°C; LM2901: -40°C ≤ T_A ≤ 125°C, MC3302: -40°C ≤ T_A ≤ 85°C, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM2901			MC3302			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input offset voltage ²	T _A = 25°C Over temp.		±2.0 ±9	±7.0 ±15		±3.0 ±40	±20 ±40	mV mV
V _{CM}	Input common-mode voltage range ³	T _A = 25°C Over temp.	0 0		V+ - 1.5 V+ - 2.0	0 0		V+ - 1.5 V+ - 2.0	V
V _{IDR}	Differential input voltage ¹	Keep all V _{IN} ≥ 0V _{DC} (or V- if need)			V+			V+	V
I _{BIAS}	Input bias current ⁴	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} with output in linear range T _A = 25°C Over temp.		25 200	250 500		25 500	500 1000	nA nA
I _{OS}	Input offset current	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} T _A = 25°C Over temp.		±5 ±50	±50 ±200		±5 ±100	±100 ±300	nA nA
I _{OL}	Output sink current	V _{IN(-)} ≥ 1V _{DC} , V _{IN(+)} = 0, V _O ≤ 1.5V _{DC} , T _A = 25°C	6.0	16		6	16		mA
	Output leakage current	V _{IN(+)} ≥ 1V _{DC} , V _{IN(-)} = 0 V _O = 5V _{DC} , T _A = 25°C V _O = 30V _{DC} , over temp.		0.1 1.0		0.1		1.0	nA µA
I _{CC}	Supply current	R _L = ∞ on all comparators, T _A = 25°C		0.8 1.0	2.0 2.5		.8 1.8		mA mA
		R _L = ∞ on all comparators, V+ = 30V		1.0	2.5				mA
A _V	Voltage gain	R _L ≥ 15kΩ, V+ = 15V _{DC}	25	100		2	100		V/mV
V _{OL}	Saturation voltage	V _{IN(-)} ≥ 1V _{DC} , V _{IN(+)} = 0, I _{SINK} ≤ 4mA T _A = 25°C Over temp.		400 400	400 700		150 400	400 700	mV mV
t _{LSR}	Large-signal response time	V _{IN} = TTL logic swing, V _{REF} = 1.4V _{DC} , V _{RL} = 5V _{DC} , R _L = 5.1kΩ, T _A = 25°C		300			300		ns
t _R	Response time ⁵	V _{RL} = 5V _{DC} , R _L = 5.1kΩ, T _A = 25°C		1.3			1.3		µs

NOTES:

- Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level by 17V. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3V_{DC} (or 0.3V_{DC} below the magnitude of the negative power supply, if used).
- At output switch point, V_O ≈ 1.4V_{DC}, R_S = 0Ω with V+ from 5V_{DC} to 30V_{DC}; and over the full input common-mode range (0V_{DC} to V+ - 1.5V_{DC}). Inputs of unused comparators should be grounded.
- The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is V+ - 1.5V, but either or both inputs can go to 30V_{DC} without damage.
- The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines.
- The response time specified is for a 100mV input step with a 5mV overdrive. For larger overdrive signals, 300ns can be obtained (see typical performance characteristics section).

SANYO**SPI-335-34****Ultraminiature photoreflector
(single-transistor type)****Features**

- Infrared LED plus Phototransistor (single)
- DIP type
- Compact type : 3.4 (L) × 2.7 (W) × 1.5 (H) mm
- Visible light cut type
- Lead length : (L=3.5mm)

Absolute Maximum Ratings at Ta=25°C, 65%RH

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input LED	Forward Current	I _F	50	mA
	Reverse Voltage	V _R	5	V
	Power Dissipation	P _D	70	mW
Output Phototransistor	Collector-Emitter Voltage	V _{CEO}	20	V
	Emitter-Collector Voltage	V _{ECO}	5	V
	Collector Current	I _C	20	mA
	Power Dissipation	P _C	70	mW
Operating Temperature		T _{opr}	-20 to +80	°C
Storage Temperature		T _{stg}	-40 to +100	°C
Soldering Temperature *1		T _{sol}	260	°C

*1 Soldering conditions : time : max. 3sec; clearance : min. 1mm from lower case edge.

Electro-Optical Characteristics at Ta=25°C, 65%RH

Parameter		Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input	Forward Voltage	V _F	I _F =10mA	1.0	1.2	1.6	V
	Reverse Current	I _R	V _R =5V	-	-	10	μA
Output	Dark Current	I _{CEO}	I _F =0mA, V _{CE} =10V	-	10	200	nA
Coupled	Collector Output Current	I _C	I _F =4mA, V _{CE} =5V*1	33	-	180	μA
	Leakage Current	I _{LEAK}	I _F =10mA, V _{CE} =5V*2	-	-	1	μA
	Collector Emitter Saturation Voltage	V _{CE(sat)}	I _F =10mA, I _C =50μA	-	-	0.5	V
	Rise Time	t _r	V _{CC} =5V, R _L =100Ω	-	5	-	μs
	Fall Time	t _f	I _C =1mA	-	5	-	μs

*1 Location of reflector is show in Fig. 1.

*2 No reflector

*3 Table of Classification of Collector Output

Class	E	F	G	H
I _C (μA)	180 to 110	140 to 80	100 to 50	65 to 33
Marking color	Orange	Green	White	Silver

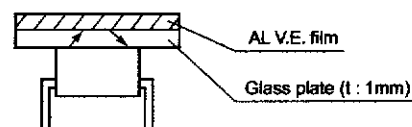


Fig. 1 Location of Reflector

SANYO Electric Co., Ltd. Semiconductor Company

72199 GI, (MI) No.6029 1/6

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package dimensions and Pin connection

As stated in the sttached paper. (No.6029 5/6)

Rank marking of collector output

The bottom of the package is colored following the table of classification of collector output.

Lot marking

Color division shall be done as shown in the drawing. (Fig. 2)

Year of even number : Front side

Year of odd number : Back side

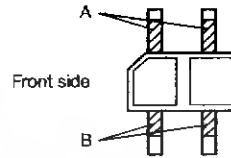


Fig. 2

Color	Black	Blue	Red	Green	Orange	Brown
Part 'A'	January	February	March	April	May	June
Part 'B'	July	August	September	October	November	December

Soldering conditions

- (1) Temperature : Max. 260°C
- (2) Time : Max. 3sec
- (3) Clearance : Min. 1mm from the case edge. (Fig. 3)

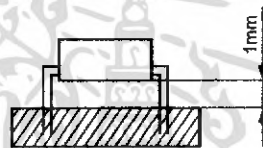
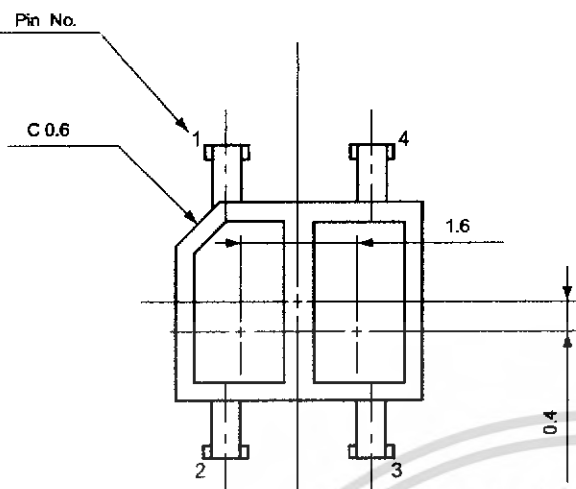


Fig. 3

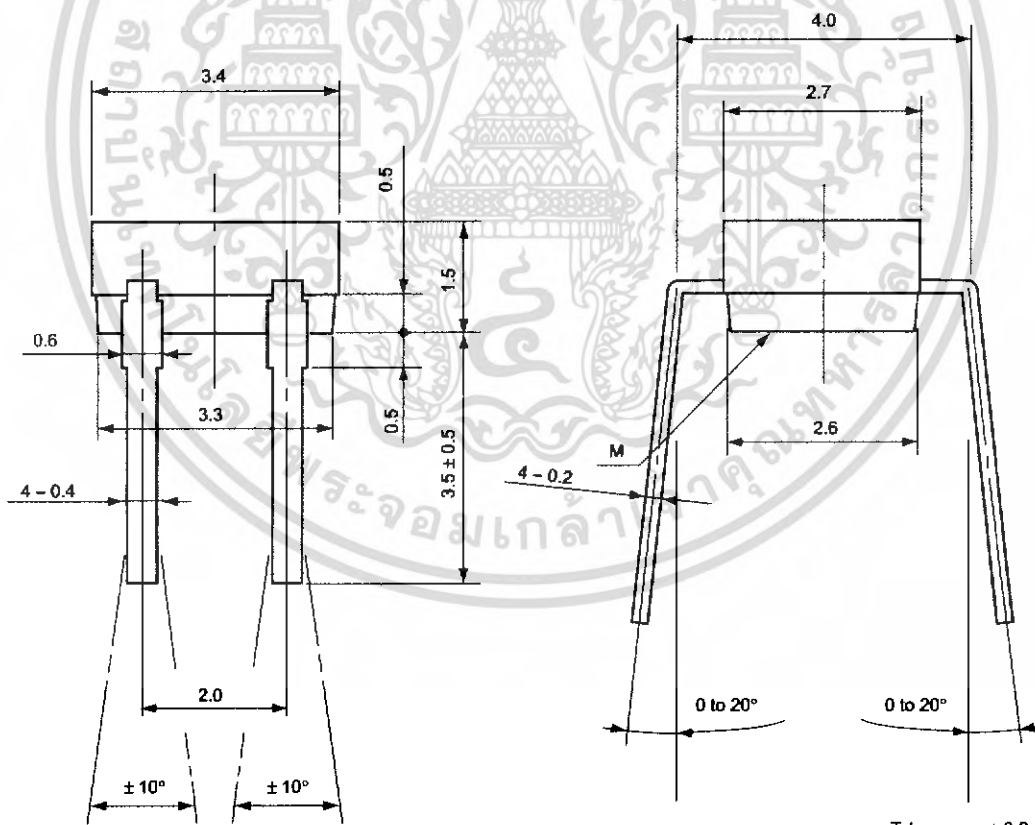
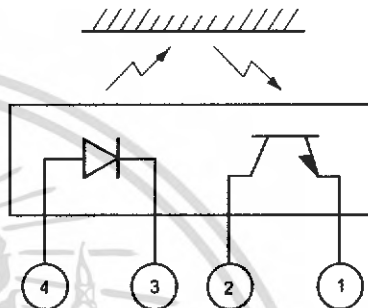
PRECAUTIONS

- (1) Bending a lead should avoid. However, when bending is necessary, take care the next items.
 - ① Bending a lead must be done before soldering.
 - ② Bending a lead must be done in the states of fixing leads and no stress for the regin part. Because it is possible that stress for the regin part cause troubles such as gold wire breaking and so on.
 - ③ A lead must be bend at intervals of 2mm from the case edge.
 - ④ Do not bend the same position of leads more than twice.
- (2) The hole pitch of a circuit board must fit to the lead pitch.
- (3) Take care the following when soldering.
 - ① Do not heat a product under any stress (a twist and so on) to leads.
 - ② Do not heat a product in the states of operating force to the regin part.
- (4) Use the flux which contain no chlorine, have no corrosion and do not need washing.
- (5) Be careful that flux or other chemicals do not attach to the luminous surface and passive surface.

SPI-335-34



- Pin Connection
1. Ph. Tr Emitter
 2. Ph. Tr Collector
 3. LED Cathode
 4. LED Anode



● M : Color marking of Ic class

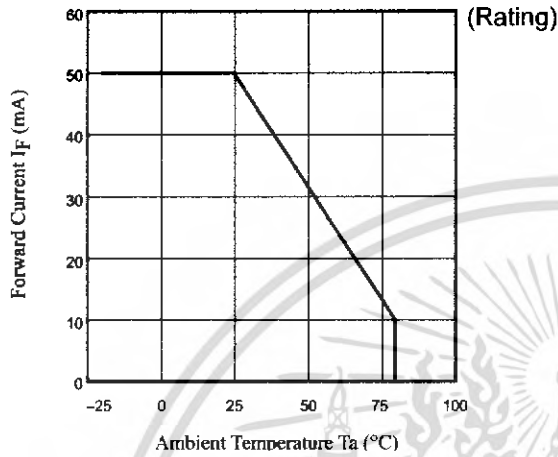
Tolerance : ± 0.2
Unit : mm

Typical Characteristics

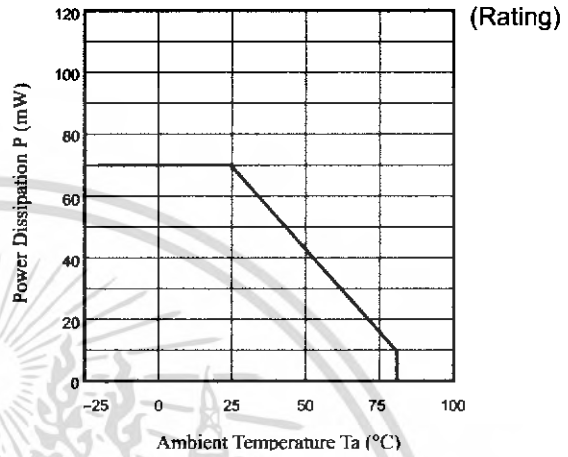


These numerical value show the electrical and optical characteristics of this product, and not assure this contents.

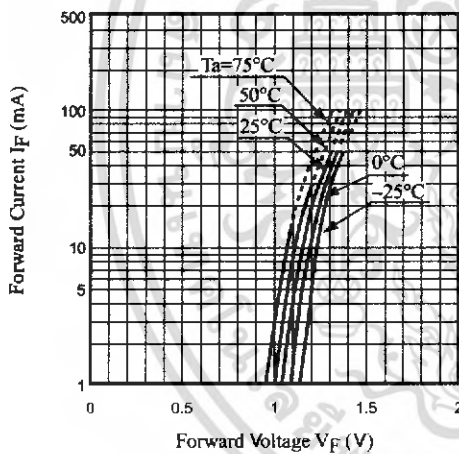
Forward Current vs. Ambient Temperature



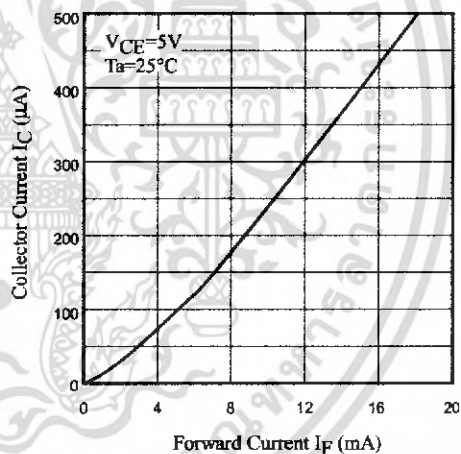
Power Dissipation vs. Ambient Temperature



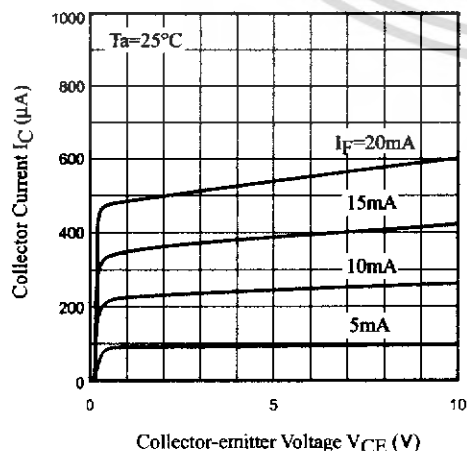
Forward Current vs. Forward Voltage



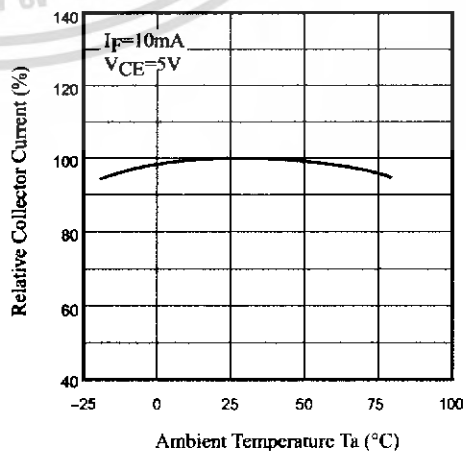
Collector vs. Forward Current



Collector Current vs. Collector-emitter Voltage



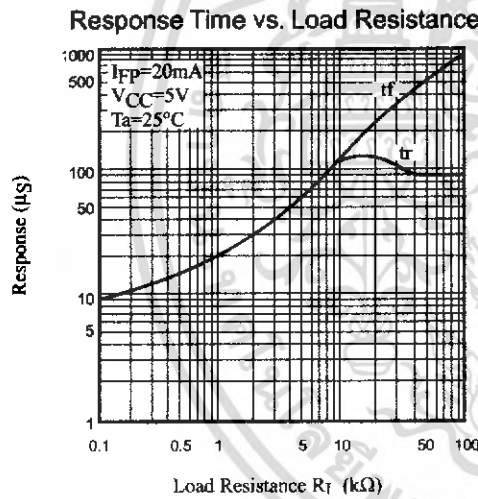
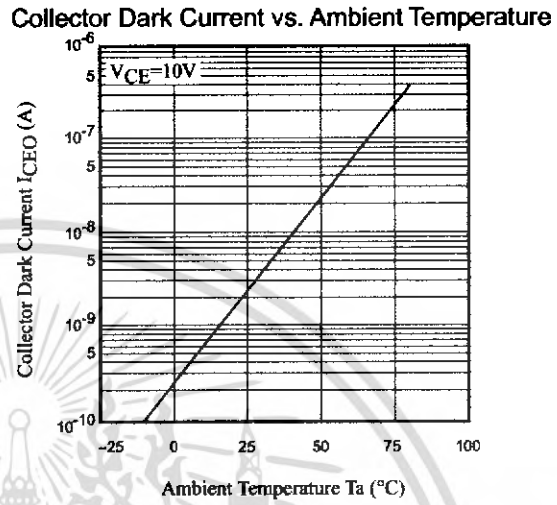
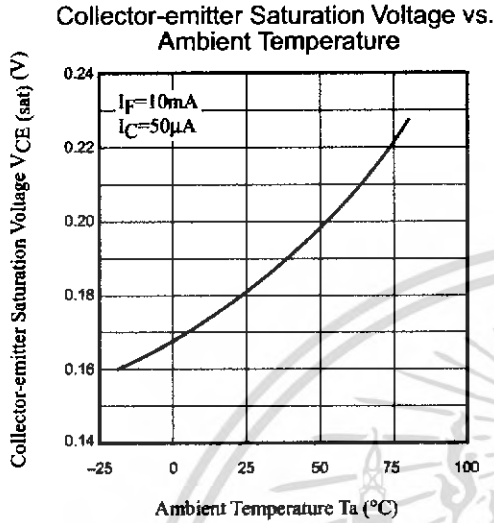
Relative Collector Current vs. Ambient Temperature



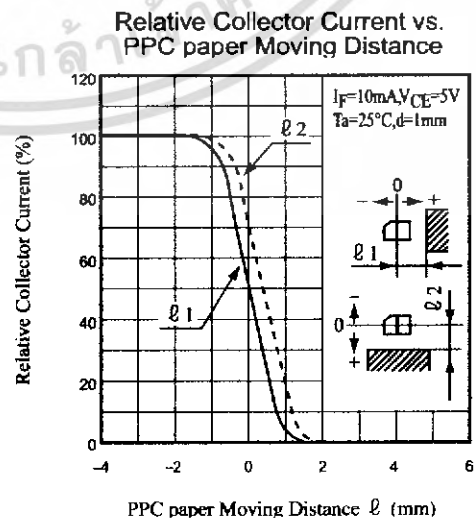
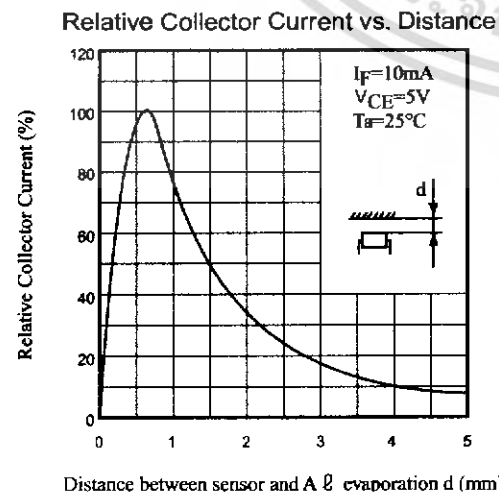
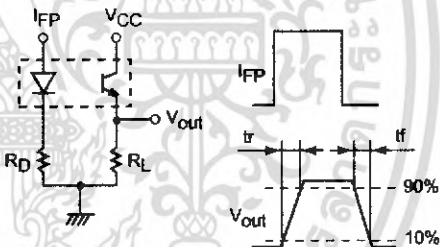
Typical Characteristics



These numerical value show the electrical and optical characteristics of this product, and not assure this contents.



Test Circuit for Response Time



Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors

... designed for general-purpose amplifier and low-speed switching applications.

- High DC Current Gain —
 $h_{FE} = 2500$ (Typ) @ $I_C = 4.0$ Adc
- Collector-Emitter Sustaining Voltage — @ 100 mAdc
 $V_{CE(sus)} = 60$ Vdc (Min) — TIP120, TIP125
 $= 80$ Vdc (Min) — TIP121, TIP126
 $= 100$ Vdc (Min) — TIP122, TIP127
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage —
 $V_{CE(sat)} = 2.0$ Vdc (Max) @ $I_C = 3.0$ Adc
 $= 4.0$ Vdc (Max) @ $I_C = 5.0$ Adc
- Monolithic Construction with Built-In Base-Emitter Shunt Resistors
- TO-220AB Compact Package

***MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	TIP120, TIP125	TIP121, TIP126	TIP122, TIP127	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	60	80	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0			Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	5.0			Adc
Collector Current — Peak		8.0			
Base Current	I_B	120			mAdc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	P_D	65			Watts
Derate above 25°C		0.52			W/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	P_D	2.0			Watts
Derate above 25°C		0.016			W/ $^\circ\text{C}$
Unclamped inductive Load Energy (1)	E	50			mJ
Operating and Storage Junction, Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C/W}$

(1) $I_C = 1$ A, L = 100 mH, P.R.F. = 10 Hz, $V_{CC} = 20$ V, $R_{BE} = 100 \Omega$

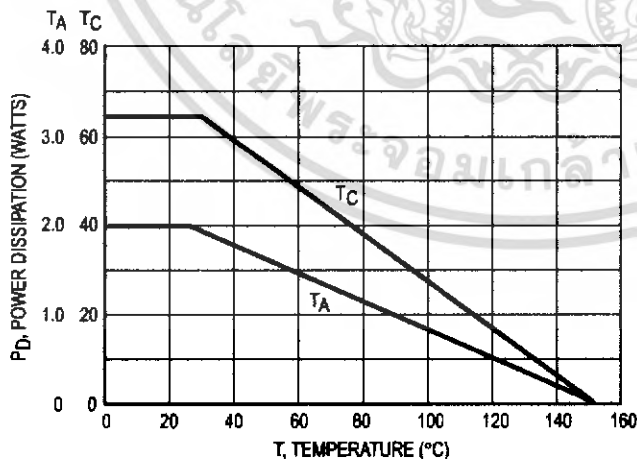


Figure 1. Power Derating

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value

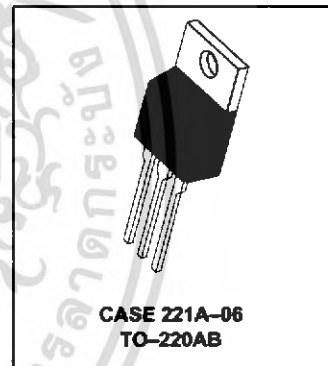
REV 2



NPN
TIP120*
TIP121*
TIP122*
PNP
TIP125*
TIP126*
TIP127*

*Motorola Preferred Device

DARLINGTON
5 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60-80-100 VOLTS
65 WATTS



TIP120 TIP121 TIP122 TIP125 TIP126 TIP127

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 100\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{CE(sus)}$	60 80 100	—	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	I_{CEO}	— — —	0.5 0.5 0.5	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 60\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 80\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 100\text{ Vdc}$, $I_E = 0$)	I_{CBO}	— — —	0.2 0.2 0.2	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	—	2.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS (1)				
DC Current Gain ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	h_{FE}	1000 1000	—	—
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $I_B = 12\text{ mAdc}$) ($I_C = 5.0\text{ Adc}$, $I_B = 20\text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	— —	2.0 4.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}$	—	2.5	Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS				
Small-Signal Current Gain ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	h_{fe}	4.0	—	—
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 0.1\text{ MHz}$)	C_{ob}	— —	300 200	pF

(1) Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$.

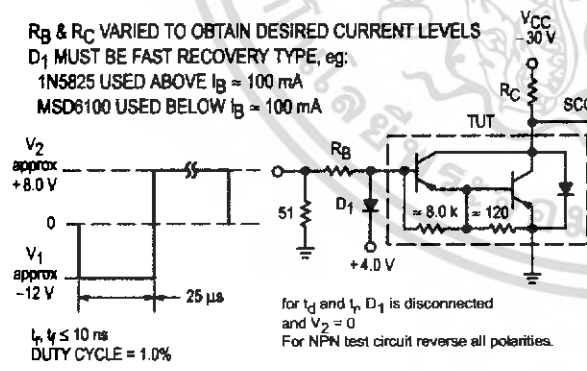


Figure 2. Switching Times Test Circuit

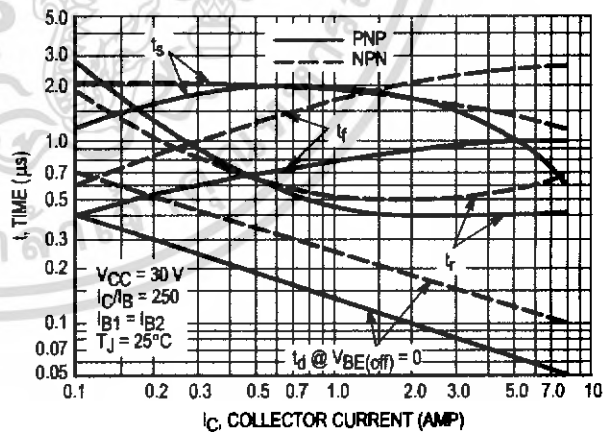


Figure 3. Switching Times

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

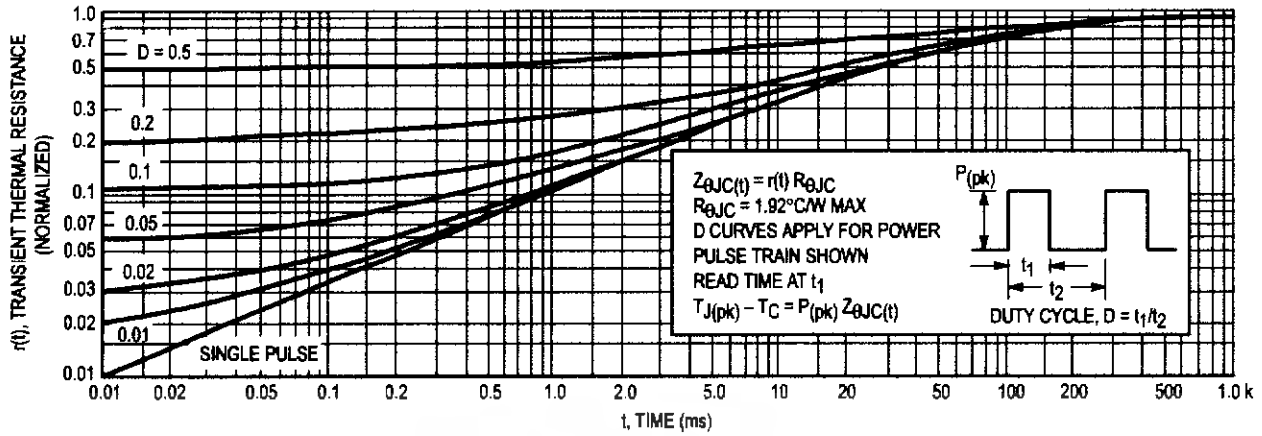


Figure 4. Thermal Response

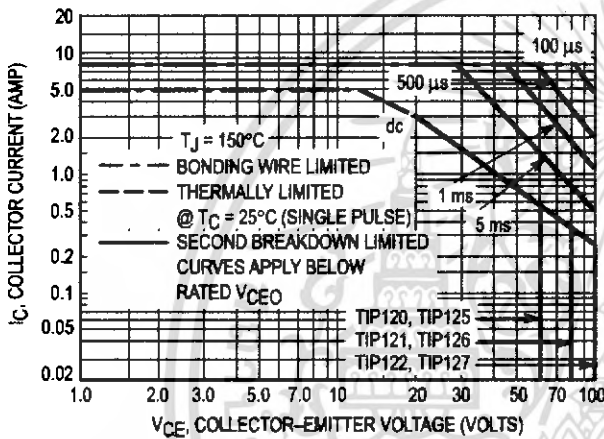


Figure 5. Active-Region Safe Operating Area

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation, i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 5 is based on $T_J(pk) = 150^{\circ}\text{C}$; T_C is variable depending on conditions. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_J(pk) < 150^{\circ}\text{C}$. $T_J(pk)$ may be calculated from the data in Figure 4. At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown

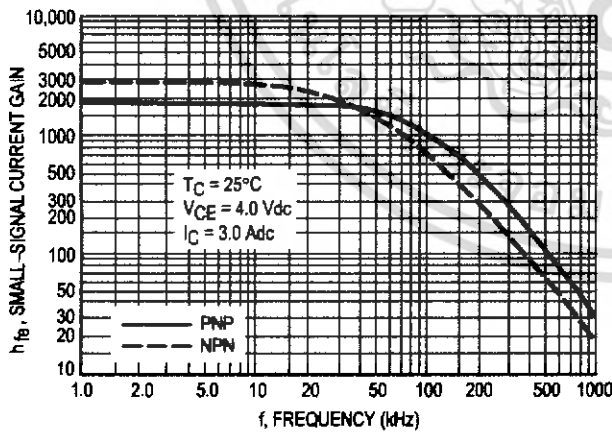


Figure 6. Small-Signal Current Gain

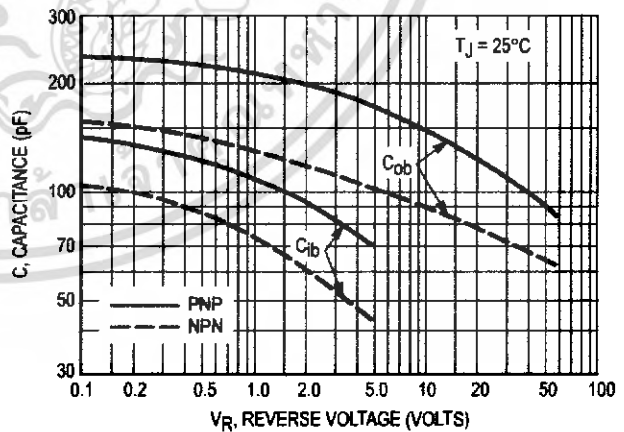


Figure 7. Capacitance

TIP120 TIP121 TIP122 TIP125 TIP126 TIP127

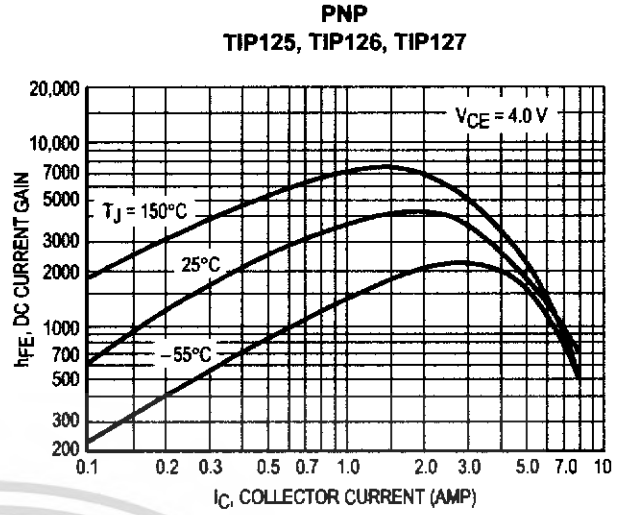
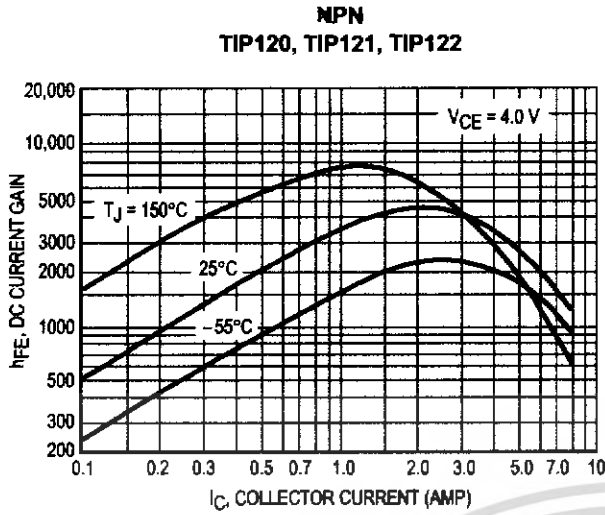


Figure 8. DC Current Gain

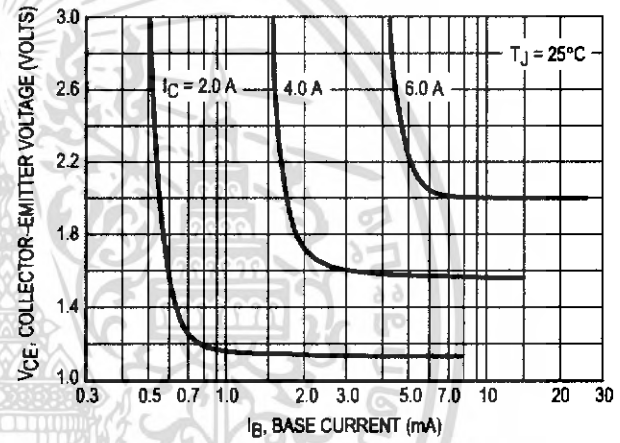
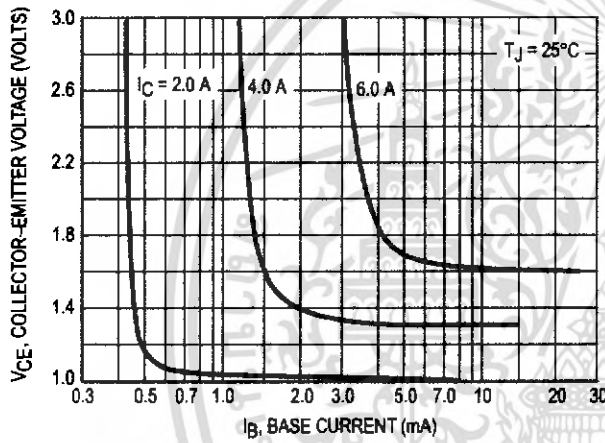


Figure 9. Collector Saturation Region

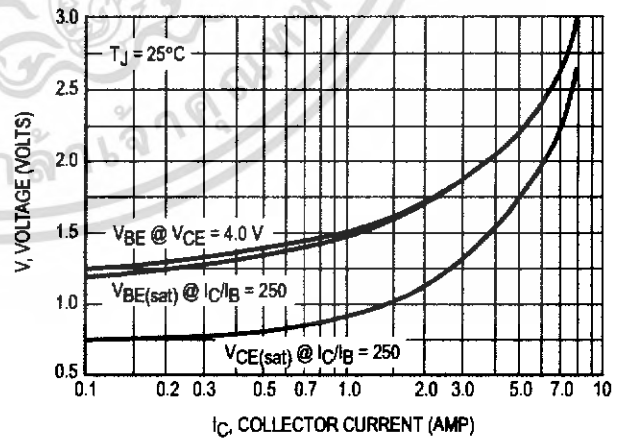
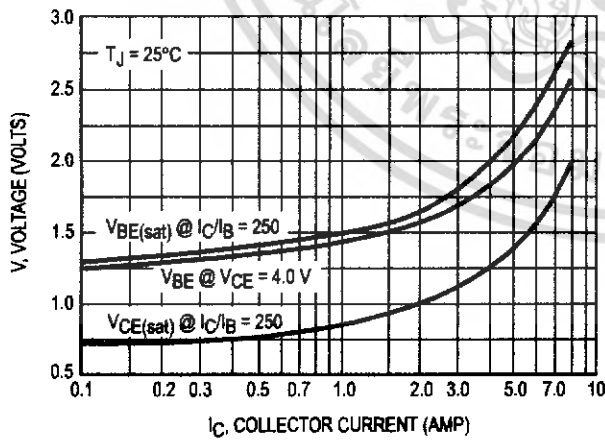
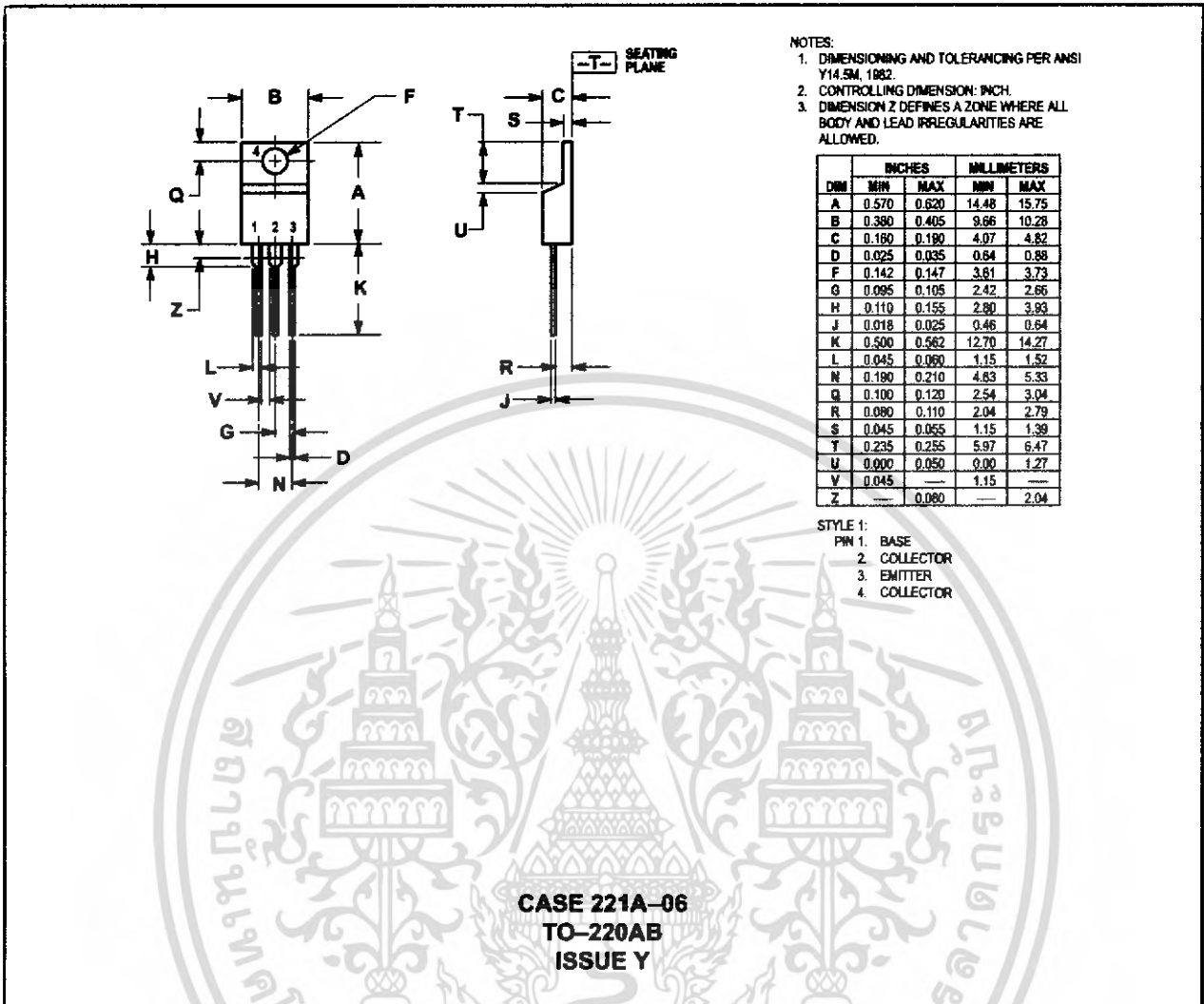


Figure 10. "On" Voltages

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS





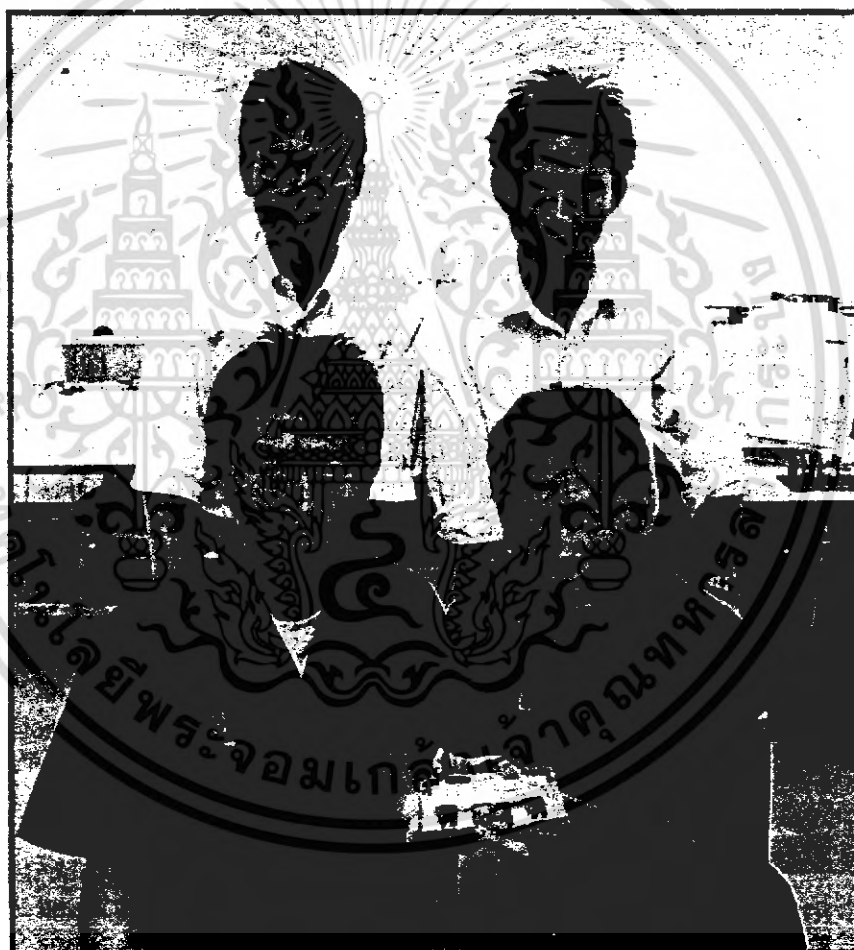
ภาคผนวก ง
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัครภาพแห่งความดี

ไทยโพสต์

วันพุธที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2548 แรม 5 ค่ำ เดือน 11 ปีระกา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSPECTION ROBOT FOR STATOR CORE FAULT DETECTION

หุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องในแกนสเตเตอร์

๒. อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์คอน อิศราพร

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

นักศึกษาที่ทำการวิจัย

นายไพฑูรย์ เขาวศรี

นายศิระ ลิขิตการารวม

นักศึกษาปีที่ 4 ภาควิชาาระบบควบคุม สาขาเนคคาทρονิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ในทุกวันนี้ เกิดมาจากการผลิตโดยโรงงานผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความร้อน กระแสไฟฟ้า กระแสลม หรือแม้กระทั่งพลังงานนิวเคลียร์ผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปลงพลังงานเหล่านั้นออกมาเป็นกระแสไฟฟ้า เป็นที่ทราบกันคืออยู่แล้วว่าโรงงานผลิตไฟฟ้าแต่ละแห่งนั้น ต้องทำงานตลอดเวลาเพื่อที่จะผลิตไฟฟ้ามาให้บริการประชาชนใช้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละโรงงานย่อมต้องทำงานหนักตลอดเวลา เมื่อเกิดการเสื่อม การเสียหาย ก็ต้องได้รับการซ่อมแซม

สำหรับการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานเป็นเวลาโดยประมาณ 2 สัปดาห์ หรืออาจจะมากกว่าขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนั้น ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละโรงงานก็มีขนาดใหญ่อยู่แล้ว การทำการซ่อมบำรุงแต่ละครั้งก็ย่อมเป็นเรื่องที่ยากลำบาก โดยเริ่มต้นจากการถอดตัวโรเตอร์ออก ดังรูปที่ 1 จากนั้นจึงทำการคล้อยสายไฟรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปเล็กน้อยเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำ เกิดเป็นสนามแม่เหล็กอ่อนๆ ขึ้นบนแกนสเตเตอร์ จากนั้นแล้วเจ้าหน้าที่จะทำการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กผ่านหัวโพรบ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์โดยเครื่อง Digital EL CID ดังรูปที่ 2 สำหรับหัวโพรบนี้จะติดอยู่บนเครื่องตรวจสอบสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ คือ หัวโพรบตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก ล้อหมุนที่ติดกับตัวเครื่องให้สามารถลากจูงได้ คัมจับสำหรับผู้ใช้จับถือ และชุดแม่เหล็กถาวรขนาดเล็ก ที่ใช้เพื่อยึดให้ตัวเครื่องตรวจสอบสนามแม่เหล็กแนบติดกับแกนสเตเตอร์ เจ้าหน้าที่จะคอยๆ ลากตัวเครื่องตรวจสอบที่วางนี้ไปในแต่ละคู่สต๊อคของแกนสเตเตอร์ จากด้านหนึ่งไปจนสุดอีกด้านหนึ่ง เมื่อได้ค่าสนามแม่เหล็กเหล่านี้มาแล้วก็จะนำมาวิเคราะห์ แล้วก็จะทำให้ทราบจุดที่เกิดการเสียหาย ต่อจากนั้นก็ทำเครื่องหมายเอาไว้บนแกนสเตเตอร์ เจ้าหน้าที่จะทำแบบบี๊โดยจะเปลี่ยนคู่สต๊อคไปเรื่อยๆ จนครบทุกสต๊อคบนแกนสเตเตอร์ ดังรูปที่ 3 แล้วก็ทำการซ่อมแซมส่วนที่เกิดการเสียหายนั้น เมื่อซ่อมเสร็จแล้วก็นำตัวโรเตอร์

มาประกอบเข้ากับแกนสเตเตอร์ซึ่งการประกอบนั้นก็ไม่ใช่เรื่องง่าย ต้องประกอบเข้ากันก่อนแล้วทดลองว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ ถ้ายังไม่ได้ ก็ต้องปรับ ขยับ ให้ทั้งแกนสเตเตอร์ และตัวโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกัน และสามารถใช้งานได้เหมือนเดิม เป็นอันว่าเสร็จสิ้นการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สังเกตเห็นว่า การถอดประกอบตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อนำหัวโพรบเข้าไป วัดค่าสนามแม่เหล็กนั้น เป็นเรื่องที่ลำบากและสิ้นเปลืองเวลา เป็นอย่างมาก ถ้านำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาทำการศึกษาและวิเคราะห์ให้ดี จะพบว่าระหว่างแกนสเตเตอร์ และตัวโรเตอร์จะมีช่องว่างขนาดเล็ก โดยมีขนาดประมาณ 5 เซนติเมตร ด้วยปัญหาที่พบและลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้เกิดการออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ที่สามารถนำเข้าไปในช่องว่างขนาด 5 เซนติเมตรนี้ พร้อมทั้งนำหัวโพรบตรวจวัดสนามแม่เหล็กเข้าไปตรวจสอบหาจุดบกพร่องบนแกนสเตเตอร์ แทนการถอดประกอบชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แนวคิดเบื้องต้น ของหุ่นยนต์ตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่องในแกนสเตเตอร์ จะยังไม่นำหัวโพรบติดเข้าไปกับตัวหุ่นยนต์ แต่จะทำการออกแบบหุ่นยนต์ และ รูปแบบการเคลื่อนที่ที่สามารถเคลื่อนที่ไปและกลับจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งโดยที่มีการปรับเปลี่ยนสล็อตเป็นคู่ เช่นเดียวกับการวัดและซ่อมบำรุงตามแบบโรงงานผลิตไฟฟ้า ซึ่งวิธีการวัดแบบ EL CID สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4 จากนั้น ก็จะทำการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ระยะทาง ตำแหน่งของหุ่นยนต์ผ่านสายควบคุม ซึ่งการทำงานจะเป็นแบบอัตโนมัติและความสูงของหุ่นยนต์จะมีขนาดไม่เกิน 5 เซนติเมตร

การศึกษา และจัดทำงานวิจัยนี้เริ่มมาจากการศึกษาการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงงานผลิตไฟฟ้า ว่ามีวิธีการซ่อมบำรุงกันอย่างไร ลักษณะของแกนสเตเตอร์ ว่ามีขนาด ความสูงเท่าไร เพื่อนำมาออกแบบหุ่นยนต์และลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ รวมทั้งการออกแบบ การเคลื่อนที่ที่สามารถจะสลับคู่สต๊อคของแกนสเตเตอร์ ในขั้นตอนเริ่มต้นงานวิจัยนี้ จะสร้างแกนสเตเตอร์จำลองขึ้นมา เพื่อการทดลอง โดยที่ขนาดนั้นมี

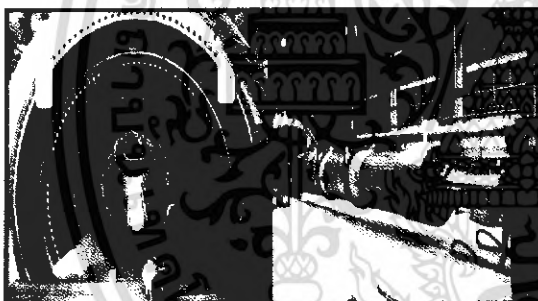
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเท่ากับของจริง ดังรูปที่ 5 ซึ่งสามารถนำมาใช้ แทนการทดลองกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 6

การออกแบบหุ่นยนต์ ต้องนำความรู้เกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงและเซอร์โวมอเตอร์ ระบายส่งกำลัง รวมไปถึงแรงแม่เหล็กจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า มาสร้างหุ่นยนต์ ที่มีขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนที่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการออกแบบ จะทำการทดลองควบคุมไปด้วย เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ เมื่อออกแบบหุ่นยนต์ได้แล้วก็ทำการเปลี่ยนโครงสร้างของหุ่นยนต์ให้เป็นอลูมิเนียมเพื่อที่จะมีน้ำหนักที่เบาและแข็งแรง จากนั้นทำการพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด ของหุ่นยนต์ ผ่านสายควบคุม ดังรูปที่ 7 ซึ่งหุ่นยนต์ที่ทำการออกแบบมานั้น มีรูปแบบการเคลื่อนที่ ตามแนวแกนสเตเตอร์ที่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8

หุ่นยนต์ตรวจสอบ ค้นหา จุดบกพร่องในแกนสเตเตอร์ จะช่วยลดระยะเวลาในการตรวจสอบค้นหาจุดบกพร่อง และความยุ่งยากในการถอดประกอบชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รวมทั้งความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ซึ่งจะเป็ประโยชน์อย่างมาก ในการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ โรงงานผลิตไฟฟ้าทุกแห่ง

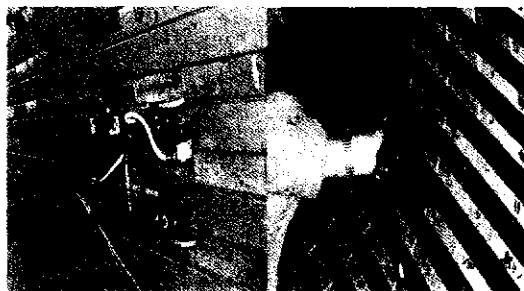


รูปที่ 1 การถอดประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

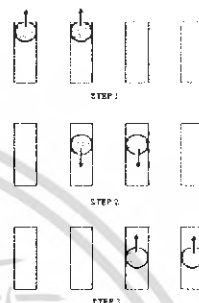


รูปที่ 2 วิธีการวัดแบบ Digital EL CID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 เจ้าหน้าที่ทำการวัดค่าสนามแม่เหล็ก

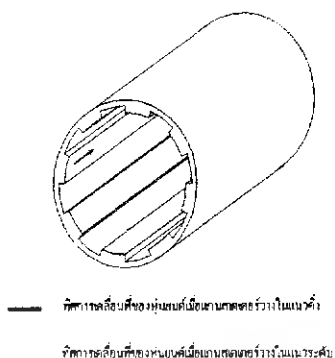


รูปที่ 4 วิธีการวัดที่ละคู่สลิตของ EL CID

- STEP 1 - สมมุติว่าคู่สลิตซ้ายสุดเป็นคู่สลิตตรงกลาง ที่จะทำการวัด ทำการวัด ในคู่สลิตนั้น จากปลายด้านหนึ่งไปจนสุดปลายอีกด้านหนึ่ง
- STEP 2 - ทำการวัดในคู่สลิตถัดไป (คู่สลิตตรงกลาง) จากปลายด้านหนึ่งกลับมาจนสุดปลายอีกด้านหนึ่ง
- STEP 3 - ทำการวัด คู่สลิตถัดไป (คู่สลิตทางขวาสุด) จากปลายด้านหนึ่งไปจนสุดปลายอีกด้านหนึ่ง ทำการวัดแบบนี้ ไปจนครบทุกสลิต ของแกนสเตเตอร์ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



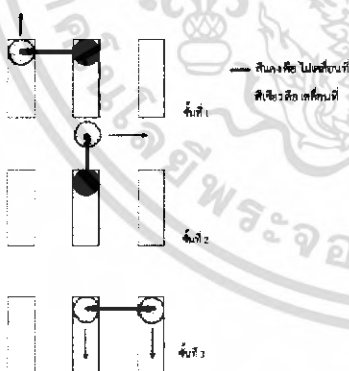
รูปที่ 5 แกนสเตเตอร์จำลองและการทดลอง



รูปที่ 6 แสดงการใช้แกนสเตเตอร์จำลองทดแทนการทดลองกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริง



รูปที่ 7 หุ่นยนต์ที่ออกแนว



รูปที่ 8 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

***หมายเหตุ รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในขั้นที่ 1 หุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่ในคู่สล๊อตหนึ่งจากปลายด้านหนึ่งไปจนสุดปลายอีกด้านหนึ่ง ซึ่งระหว่างการเคลื่อนที่นี้ จะทำการเปิดแรงแม่เหล็กจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

ในทั้ง 2 ส่วนของหุ่นยนต์ เพื่อให้หุ่นยนต์ สามารถเบียดกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนสเตเตอร์ ที่เป็นเหล็ก ในขั้นที่ 2 เมื่อหุ่นยนต์ เคลื่อนที่มาจนถึงปลายสุดอีกด้านหนึ่งแล้ว หุ่นยนต์จะหยุดการเคลื่อนที่ในส่วนสี่แฉก ในขณะที่ ส่วนสี่เหลี่ยมจะยังคงทำการเคลื่อนที่ต่อไป ในระหว่างนี้ จะทำการตัดแรงแม่เหล็กในส่วนสี่เหลี่ยม และจะยังคงแรงแม่เหล็กในส่วนสี่แฉกไว้ เพื่อให้เป็นจุดหมุนเพื่อที่จะทำการกลับตัวของหุ่นยนต์ เพื่อสล๊อบคู่สล๊อตในคู่ถัดไป ทำการหมุนเซอร์โวมอเตอร์ ในส่วนสี่แฉก ไปในทิศทาง + 90 องศา และในขั้นที่ 3 เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ทำการหมุนจนครบ 90 องศาแล้ว หุ่นยนต์ในส่วนสี่เหลี่ยม ก็จะเข้ามาในแกนสเตเตอร์อีกครั้งหนึ่ง เป็นอันว่าหุ่นยนต์สามารถที่จะกลับตัวเพื่อสล๊อบคู่สล๊อตได้ ความแนวคิด ที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อให้สอดคล้อง กับวิธีการวัดแบบ EL CID จากนั้นแล้วจะทำการเปิดแรงแม่เหล็กทั้ง 2 ส่วน เพื่อให้หุ่นยนต์เบียดกับแกนสเตเตอร์ แล้วทำการเคลื่อนที่จากปลายด้านนั้น ไปจนสุดปลายอีกด้านหนึ่ง ทำการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้จนครบทุกสล๊อตในแกนสเตเตอร์