ระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติ
ADAPTIVE FRONT-LIGHTING SYSTEM

จักรกฤษณ์ พลเสนา
อธิคม ทองวิชิต
เอกรัฐ พัชรนันทกูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

ระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติ

ADAPTIVE FRONT-LIGHTING SYSTEM

จักรกฤษณ์ พลเสนา

อธิคม ทองวิชิต

เอกรัฐ พัชรนันทกูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADAPTIVE FRONT-LIGHTING SYSTEM

JAKKRIT PONSAENA
ATIKOM THONGVICHIT
AKARAT PHATCHARANANTHAKUN

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติ

ADAPTIVE FRONT-LIGHTING SYSTEM

ผู้จัดทำ

นายจักรกฤษณ์	พลเสนา	53010186
นายอธิคม	ทองวิชิต	54011466
นายเอกรัฐ	พัชรนันทกูล	54011579

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์สุเธียร เกียรติสุนทร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติ

โดย

นายจักรกฤษณ์	พลเสนา	53010186
นายอธิคม	ทองวิชิต	54011466
นายเอกรัฐ	พัชรนันทกูล	54011579

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์สุเธียร เกียรติสุนทร

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติโดย โครงสร้างของระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติประกอบด้วยส่วนชุดโครงสร้าง ส่วนโปรแกรมและส่วนชุดขับมอเตอร์ จุดมุ่งหมายของโครงงานนี้คือ สร้างต้นแบบระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติที่สามารถใช้ได้กับรถทั่วไปได้

ขั้นตอนดำเนินการเริ่มจากศึกษา ออกแบบ และประกอบชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นทั้งหมดประกอบด้วย บอร์ดควบคุม และบอร์ดขับเคลื่อน เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งใช้ควบคุมการหมุนของโคมไฟหน้ารถยนต์ในแนวซ้าย – ขวาให้ได้อยู่ใน 9 – 15 องศา แล้วจึงเขียนโปรแกรมรับค่าจากเซนเซอร์และสั่งผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ภาษา Arduino เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ไปตามทิศทางที่ต้องการ และทดลองป้อนแรงดันอินพุตที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 - 5 โวลต์ และจะทำการวัดตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของมอเตอร์ โดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADAPTIVE FRONT-LIGHTING SYSTEM

By

MR. Jakkrit Ponsaena 53010186

MR. Atikom Thongvichit 54011466

MR. Akarat Phacharananthakun 54011579

Advisor

Asst. Prof. Suthian Keatsunthorn

Academic Year 2014

ABSTRACT

This thesis presents the basic design of automotive head lighting system in which car headlights turn automatically. There are components related to the design, structure, programming and motor driving system. The main purpose of creating the project is to pioneer the way of inventing the prototype of the system and to be made practical to end users as much as possible.

The procedure is started with researching general characteristics of the system, designing structural compartments and electronic module that is composed of control board and motor driving board, all that is necessary to be assembled. Shortly after that microprocessor programming is required to receive values from sensor in this case the steering angle sensor and then using arduino code language to operate the driving of the motor as desired direction. After that, all assembled parts being the whole system we examined the range of error of the system by giving voltage input from 0 - 5 V to check the variability of position from ideal value in order to sustain in acceptable boundary.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือในการศึกษาค้นคว้าและแก้ไขข้อบกพร่องเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์สุเธียร เกียรติสุนทร และความช่วยเหลืออื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยดูแลเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา และให้การสนับสนุนช่วยเหลือในด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ห้องโปรเจค ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณจากใจจริง

ผู้จัดทำ

จักรกฤษณ์ พลเสนา

อธิคม ทองวิชิต

เอกรัฐ พัชรนันทกูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีสเต็ปปิ้งมอเตอร์	3
2.1.1 โครงสร้างและชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	3
2.1.2 การขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ให้หมุนโดยการกระตุ้นเฟส	6
2.1.3 การตรวจหาสายของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	8
2.1.4 การเรียงเฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ PM	9
2.1.5 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์	9
2.2 ทฤษฎีสัญญาณพัลส์	13
2.2.1 พารามิเตอร์ของรูปคลื่นพัลส์	14
2.2.2 ค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นพัลส์	14
2.3 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์	15
2.3.1 บอร์ด Arduino UNO R3	15
2.3.1 คุณสมบัติทางด้านฮาร์ดแวร์	16
2.3.2 รูปร่างและขนาดของบอร์ด Arduino UNO R3	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.3 ฟังก์ชันการทำงานแต่ละขาของบอร์ด Arduino UNO R3	17
2.3.1 ไอซี ATmega328	18
2.3.2 ภาษา Arduino	19
2.4 ทฤษฎีของเซนเซอร์	19
2.4.1 คุณลักษณะทั่วไปของเซนเซอร์ Bourns 26064468	19
2.4.2 คุณสมบัติพื้นฐาน	20
2.4.3 หลักการทำงานของเซนเซอร์	20
2.5 ทฤษฎีฮอล์เอฟเฟคต์	20
บทที่ 3 การออกแบบ	**22**
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ	22
3.2 การต่อวงจรเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino	23
3.3 การต่อวงจรบอร์ด Arduino เพื่อขับ Stepper Motor	23
3.4 โค้ดคำสั่ง	24
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	**27**
4.1 ผลการทดลอง	27
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	**28**
5.1 สรุปผล	28
5.2 ปัญหาและข้อจำกัดในการดำเนินงาน	28
เอกสารอ้างอิง	**29**
ภาคผนวก	**30**
ภาคผนวก ก แบบ Drawing โดยโปรแกรม SolidWorks	31
ภาคผนวก ข Datasheet L293d	33
ภาคผนวก ค Bearing Data – General	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบมี 5 เส้นและ 6 เส้น	3
2.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไบโพลาร์	4
2.3 โครงสร้างสเต็ปปิ้งมอเตอร์	4
2.4 วงจรสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 4 เฟส แบบยูนิโพลาร์	5
2.5 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดมีสาย 6 เส้น	8
2.6 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดมีสาย 5 เส้น	8
2.7 วงจรขับเอาต์พุตของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	9
2.8 วงจรสมมูลของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	10
2.9 การต่อไดโอดซัพเพรสเซอร์	10
2.10 การต่อไดโอดและตัวต้านทานซัพเพรสเซอร์	11
2.11 การต่อซีเนอร์ไดโอดซัพเพรสเซอร์	11
2.12 การต่อตัวเก็บประจุซัพเพรสเซอร์	12
2.13 วงจรสเต็ปปิ้งมอเตอร์ต่อกับ Z - 80	12
2.14 รูปคลื่นสัญญาณพัลส์	13
2.15 ลักษณะของพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากในทางทฤษฎี	14
2.16 บอร์ด Arduino UNO R3	16
2.17 ขา Pin Out ของบอร์ด Arduino UNO R3	17
2.18 ขาและพอร์ตต่างๆ ของบอร์ด Arduino UNO R3	17
2.19 ไอซี ATmega328	18
2.20 ขาต่างๆ ของไอซี ATmega328 ใน Arduino UNO R3	18
2.21 เซนเซอร์ Bourns 26064468	20
3.1 ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์แบริ่ง	22
3.2 ประกอบชิ้นส่วนด้านหลัง/ด้านหน้า	23
3.3 การต่อวงจรจากเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino UNO R3	23
3.4 การต่อวงจรจาก Motor Drive Shield (L293d) เข้ากับมอเตอร์สเต็ปปิ้ง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส	6
2.2 การกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส	7
2.3 การกระตุ้นแบบฮาล์ฟสเต็ป 2 เฟส	7
3.1 ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์แบริ่ง	22
4.1 แสดงการวัดค่ามุมในแต่ละองศากับค่าแรงดันที่วัดได้	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

เนื่องด้วยเทคโนโลยีที่สนับสนุนการขับขี่อย่างปลอดภัย สำหรับผู้ผลิตรถยนต์ที่นำมาติดตั้งในปัจจุบันมีด้วยกันมากมาย ไม่ว่าจะเป็นระบบเบรก ABS, ระบบป้องกันล้อหมุนฟรี (TRC), ระบบถุงลมนิรภัยและอื่นๆ นอกจากนั้นยังมีอีกหนึ่งระบบที่ในปัจจุบันค่ายรถยนต์ชั้นนำได้นำมาติดตั้งคือ ระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติ (AFS: Adaptive Front-lighting System) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่เสริมให้ผู้ขับขี่มีทัศนวิสัยชัดเจนขึ้นในเวลากลางคืน และช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการเข้าโค้งด้วยความเร็วในพื้นที่ที่มีแสงน้อย แต่เทคโนโลยีการส่องสว่างปรับระดับอัตโนมัติ ได้ถูกติดตั้งในประเภทรถยนต์ระดับพรีเมียม ทำให้เกิดแนวคิดในการประยุกต์เทคโนโลยีที่มีอยู่มาประกอบเข้ากันเป็นนวัตกรรมเพื่อการจำลองการทำงานของระบบ ด้วยการคำนึงถึงต้นทุนที่เหมาะสม ความสามารถและขีดจำกัดของระบบ เพื่อสามารถจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ การส่องสว่างของไฟหน้ารถยนต์แบบดั้งเดิมจะเป็นลักษณะคงอยู่กับที่ ด้วยข้อดีของการเคลื่อนไหวของไฟหน้ารถยนต์ที่ปรับระดับอัตโนมัติสามารถทำให้ผู้ขับขี่มีความสะดวกสบายในการขับขี่ยามค่ำคืน ความปลอดภัย รวมถึงความมีประสิทธิภาพในการใช้งานจริง

ฟังก์ชันการทำงานจะมีในหลายลักษณะด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น การหมุนจากตำแหน่งซ้ายไปยังตำแหน่งขวา ตามการเปลี่ยนแปลงของมุมพวงมาลัย, การเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ตามการเปลี่ยนตำแหน่งของพื้นลาดเอียง, การลดความเข้มแสงขณะที่มีการขับขี่สวนทางกัน ตามตำแหน่งที่ปรากฏและความเร็วที่เดินทาง, การปรับระดับอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมการขับขี่ ยกตัวอย่างเช่น ที่ช่วงความเร็วค่าหนึ่งและความหนาแน่นทางจราจร จะลดไฟหน้าลงเพื่อส่องสว่างเพียงแค่ระยะทางสั้นๆ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการขับขี่ที่ความเร็วต่ำ เช่น ในเมือง, และการขับขี่ในเส้นทางตรงที่ความเร็วสูง ระดับไฟหน้าจะยกสูงขึ้นเพื่อเพิ่มทัศนวิสัยในเวลากลางคืนแต่ปริมาณแสงไม่รบกวนผู้ขับขี่ที่สวนทางมา เป็นต้น

เนื่องด้วยระยะเวลาที่จำกัด ขอบเขตการปฏิบัติโครงงานจะเน้นไปแค่ฟังก์ชันการทำงานที่เป็นการหมุนของไฟหน้าในระนาบซ้ายขวาเท่านั้น และจะทำการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วนำมาศึกษาในการปรับปรุงและพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น

ระบบที่จะทำการจำลองเป็นระบบวงเปิด โดยค่าอินพุตเริ่มต้นของโครงงานจะเป็นเพียงค่าการเปลี่ยนแปลงมุมของพวงมาลัย ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกจากนั้นสัญญาณจากการเปลี่ยนแปลงของมุมพวงมาลัยจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลและจะส่งสัญญาณควบคุมไปที่มอเตอร์ขับเคลื่อน การทำงานของระบบขั้นพื้นฐานโดยส่วนใหญ่จะเป็นการควบคุมทิศทางและการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนตำแหน่งของไฟหน้าให้มีความแม่นยำเพียงพอ ในการจำลองระบบของโครงงาน ระบบขั้นสูงจะมีการนำอินพุตหลายค่าเพื่อทำการประมวลผลและส่งค่าเอาต์พุตไปที่มอเตอร์

การขับขี่ในท้องถนนใช้ข้อมูลจากประสาทตาเป็นส่วนใหญ่ ทัศนวิสัยที่ดีในตอนกลางคืนจะสามารถลดเวลาการตอบสนองต่อการขับขี่เมื่อเจอสถานการณ์ที่ไม่คาดคิด ทำให้มีความมั่นใจความสะดวกสบายในการขับขี่ โดยรวมระบบจะสามารถเพิ่มคุณภาพของทัศนวิสัยได้มากขึ้น

โครงงานนี้จะเป็นการจำลองการทำงานของระบบไฟหน้าปรับระดับอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงในการขับขี่ โดยจะคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ข้อจำกัด ความสามารถและประสิทธิภาพของระบบในเบื้องต้น และจะทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างมาสนับสนุนโครงงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษา พัฒนา และปรับปรุงระบบให้มีความซับซ้อนเพื่อสามารถตอบสนองต่อการใช้งานในการขับขี่จริงได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อจำลองการทำงานเบื้องต้นของระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติ
2. เพื่อสร้างต้นแบบระบบไฟหน้ารถให้ใช้ได้กับรถทั่วไปได้
3. เพื่อนำระบบที่ออกแบบไว้ติดตั้งเข้ากับต้นแบบไฟหน้ารถ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาการควบคุมการสั่งงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์
2. กำหนดลักษณะการทำงานของ Stepper Motor
3. ทดสอบประสิทธิภาพของระบบไฟหน้าปรับอัตโนมัติ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษารูปแบบการทำงานของระบบ Adaptive Front-lighting System
2. ออกแบบโค้ดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อขับมอเตอร์ตามที่กำหนด
3. ออกแบบโครงแท่นหมุนในโคมไฟโดยใช้โปรแกรม SolidWorks
4. ประกอบชิ้นงานแล้วศึกษาผลตอบสนองของมอเตอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
2. สามารถนำแนวคิดที่ได้จากการออกแบบไปประยุกต์ใช้ในระบบอัตโนมัติอื่นๆ ที่มีความคล้ายคลึงกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีสเตปปิ้งมอเตอร์

หัวใจสำคัญของโคมไฟหน้ารถอัจฉริยะคือ มอเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนส่วนต่างๆ การนำมอเตอร์มาประยุกต์ใช้งานต้องเลือกประเภทของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ในโคมไฟหน้ารถอัจฉริยะ โครงงานนี้จึงเลือกใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนส่วนต่างๆ เนื่องจากสามารถควบคุมการทำงานได้ง่ายและสะดวกกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น

สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์เอาต์พุตอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมการหมุนได้สะดวก และเป็นมอเตอร์ที่เหมาะสำหรับใช้ควบคุมการหมุนที่ต้องการตำแหน่งและทิศทางที่แน่นอนแม่นยำ การทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้น ขั้นละ 1, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ แต่ละชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ตัวนั้น สเต็ปปิ้งมอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสทั่วไป (DC Motor) โดยการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหมุนเป็นแบบสเต็ปได้ ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยากกว่า ส่วนใหญ่จึงใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ทำการควบคุมโดยใช้วิธีในระบบดิจิตอล เช่น พรินเตอร์ (Printer) พล็อตเตอร์ (X-Y Plotter) ดิสก์ไดร์ฟ (Disk Drive) เป็นต้น

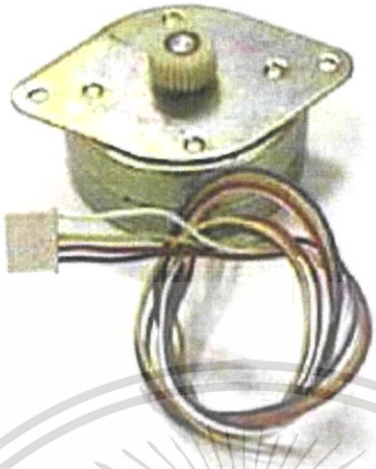
2.1.1 โครงสร้างและชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์มีโครงสร้างที่แตกต่างจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ การขับเคลื่อนจะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่องแต่เป็นสเต็ป (Step) โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1, 1.5, 1.8 หรือ 2 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ การนำสเต็ปปิ้งมอเตอร์ไปใช้จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งที่แม่นยำ

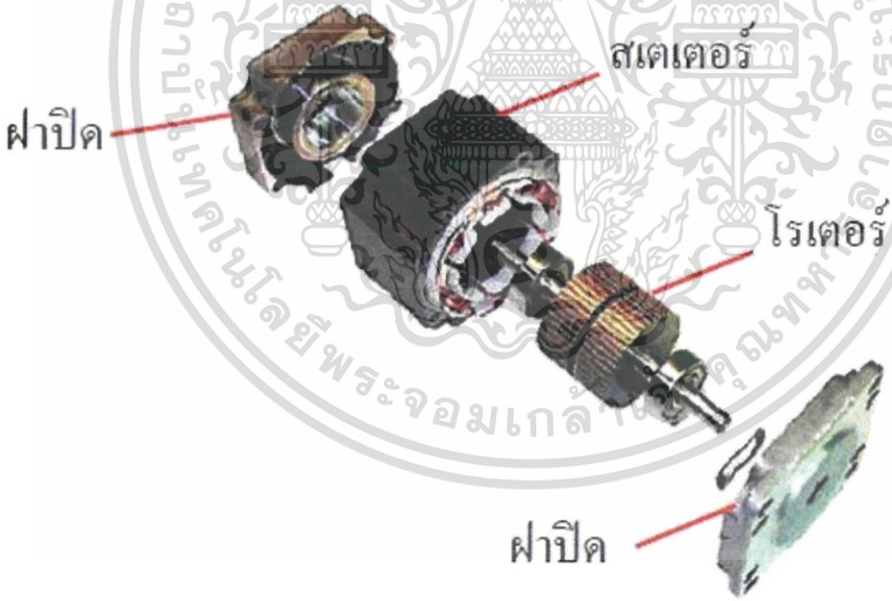
รูปที่ 2.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบมีสาย 5 เส้นและ 6 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 เป็นสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดมีสาย 5 เส้นและ 6 เส้น ที่นิยมนำมาใช้ในการขับเคลื่อนในระบบต่างๆ เช่น ในเครื่องพิมพ์คอมพิวเตอร์ (Printer) เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น



รูปที่ 2.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบไบโพลาร์



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

จากรูปที่ 2.3 เป็นโครงสร้างและส่วนประกอบของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่มีใช้งานในงานควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า - อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป

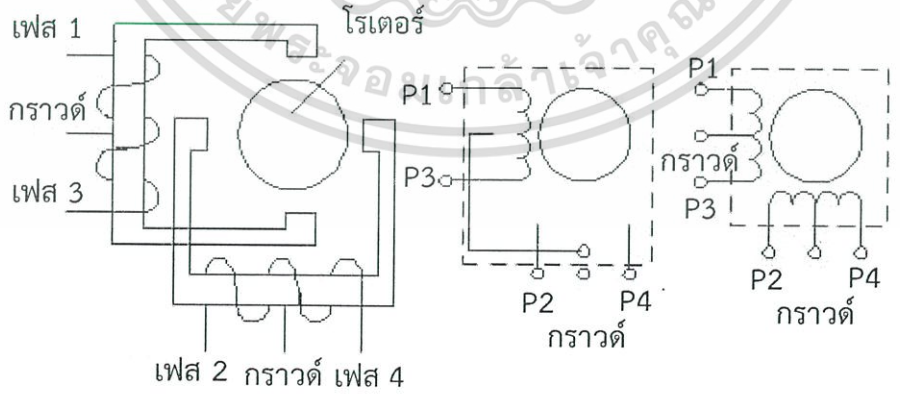
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเต็ปปิ้งมอเตอร์มีส่วนประกอบที่คล้ายกับมอเตอร์ทั่วไป แต่ลักษณะการทำงานจะแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วไปคือ ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อนจะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่องแต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1, 1.5, 1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่โครงสร้างของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ซึ่งสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่พบในปัจจุบันมี 3 ลักษณะดังนี้

1. แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet: PM) สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบนี้จะมีสเตเตอร์ (Stator) ที่พันขดลวดไว้หลายๆ ขั้วโดยมีโรเตอร์ (Rotor) เป็นรูปทรงกระบอกฟันเลื่อยและทำด้วยแม่เหล็กถาวร เพื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าผลักต่อโรเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุน มอเตอร์แบบ PM จะเกิดแรงฉุดยึดให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่ แม้จะไม่ได้ป้อนไฟฟ้าเข้าขดลวด

2. แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (Variable Reluctance: VR) สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบนี้การหมุนโรเตอร์เป็นไปอย่างอิสระแม้จะไม่ได้จ่ายไฟฟ้าให้โรเตอร์ ซึ่งโรเตอร์ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติกกำลังอ่อน มีลักษณะเป็นฟันเลื่อยรูปทรงกระบอก โดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโพลในสเตเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไปหมุนโรเตอร์ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนท์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพ แต่จะเกิดขึ้นได้หลายๆ จุด ดังนั้นเมื่อป้อนไฟฟ้าเข้าขดลวดต่างๆ ในมอเตอร์แตกต่างขดกันไป ทำให้มอเตอร์หมุนไปตำแหน่งต่างกันโรเตอร์จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อย จึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM

3. แบบผสม (Hybrid: H) สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบนี้จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับที่ใช้ใน VR โรเตอร์มีหมวกหุ้มปลายซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูง โดยการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดี ทำให้ได้มุมการหมุนแต่ละครั้งน้อยและแม่นยำ ข้อดีคือให้แรงบิดสูงและมีขนาดกะทัดรัดและให้แรงฉุดยึดโรเตอร์นิ่งกับที่ตอนไม่จ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 2.4 วงจรสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 4 เฟส แบบยูนิโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ให้หมุนโดยการกระตุ้นเฟส

ในการควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์เพื่อที่จะให้ทำการหมุน มีวิธีการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ ในแต่ละเฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์อย่างเป็นลำดับที่แน่นอน โดยหากต้องการให้กระแสไฟฟ้าไหลในเฟสใดๆ จะทำให้สถานะของเฟสนั้นๆ เป็นสถานะลอจิก “1” และในการกระตุ้นเฟสของของสเต็ปมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ

1. การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ปมอเตอร์ (Full Step Motor) ยังสามารถแบ่งการกระตุ้นเฟสออกได้เป็นอีก 2 วิธีด้วยกันคือ

1.1 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส (Single-Phase Driver) เป็นการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ทีละขด โดยจะป้อนกระแสไฟฟ้าเรียงตามลำดับกันไป ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดจะไหลในทิศทางเดียวกันทุกขด ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้แรงขับของสเต็ปปิ้งมอเตอร์มีน้อยแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

1.2 การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส (Two-Phase Driver) เป็นการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดทั้ง 2 ขด ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์พร้อมๆ กันไป และจะกระตุ้นเรียงลำดับกันไปเช่นเดียวกับแบบหนึ่งเฟส ดังนั้นการกระตุ้นแบบนี้จึงต้องใช้กำลังไฟมากขึ้น และจะทำให้มีแรงบิดของมอเตอร์มากกว่าการกระตุ้นแบบ 1 เฟสแสดงดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	1	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1

2. การกระตุ้นเฟสแบบฮาลฟ์สเต็ป (Half Step Motor) คือ การกระตุ้นเฟสแบบฟลูสเต็ป 1 เฟส และ 2 เฟส เรียงลำดับกันไปแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การกระตุ้นแบบฮาล์ฟสเต็ป 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

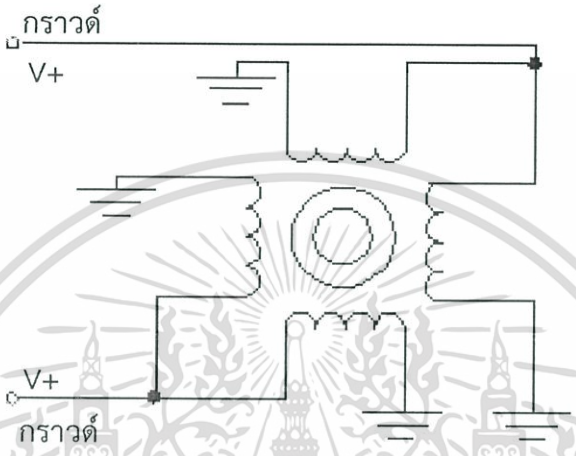
จากตารางที่ 2.3 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นเฟสแบบนี้จะมีเพิ่มมากขึ้น เพราะช่วงของสเต็ปมีระยะสั้นลง ในการกระตุ้นแบบนี้จะต้องมีการกระตุ้นที่เฟสถึง 2 ครั้ง จึงจะได้ระยะของสเต็ปเท่ากับ การกระตุ้นเพียงครั้งเดียวของแบบฟูลสเต็ป 2 แบบแรก ความละเอียดของการหมุนตำแหน่งองศาต่อสเต็ปจะเป็นสองเท่าของแบบแรก ความถูกต้องของตำแหน่งที่กำหนดจึงมีมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การตรวจหาสายของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การตรวจหาสายของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ การตรวจสอบหาสายคอมมอน (Common) และสายกราวด์ (Ground) ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ PM (แบบแกนโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร) โดยทั่วไปสเต็ปปิ้งมอเตอร์ แบบ PM จะมีอยู่ 2 ชนิด

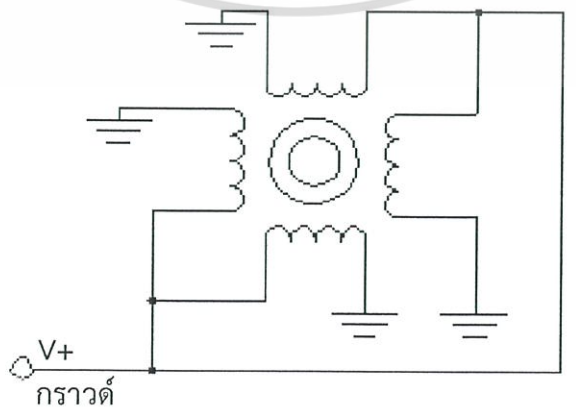
1. ชนิดที่เป็นคอมมอนภายนอก แบบนี้มีสายอยู่ 6 เส้นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.5 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดมีสาย 6 เส้น

จากรูปที่ 2.5 สายที่เป็นคอมมอนมีจำนวน 2 เส้น ส่วนสายที่เป็นกราวด์มีจำนวน 4 เส้น สายคอมมอน 1 เส้นจะต่อกับสายกราวด์ 2 เส้น ในการวัดให้ใช้มิเตอร์วัดหาสายที่เป็นสายคอมมอนก่อนโดยการตั้งย่านของมิเตอร์ที่ Rx1 จับที่สายทีละคู่ ถ้าหากวัดสายคอมมอนเทียบกับสายกราวด์ได้ถูกต้องค่าความต้านทานที่อ่านได้จะน้อย แต่ถ้าวัดผิดสายคือ วัดสายกราวด์เทียบกับกราวด์ค่าความต้านทานที่อ่านได้จะสูงกว่า แต่ถ้าวัดสายคอมมอนเทียบกับสายกราวด์ที่ไม่ใช่คู่กันแล้วเข็มมิเตอร์จะไม่กระดิก ให้ทดลองวัดเปรียบเทียบทีละคู่ จะทราบว่าสายใดเป็นสายคอมมอน สายใดเป็นสายกราวด์

2. ชนิดที่เป็นคอมมอนภายใน แบบนี้มีสายอยู่ 5 เส้นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดมีสาย 5 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 สายที่เป็นคอมมอนมีจำนวน 1 เส้น ส่วนสายที่เป็นสายกราวด์มีจำนวน 4 เส้น ในการวัดให้ทำแบบเดียวกับการวัดสเต็ปปิ้งมอเตอร์ชนิดคอมมอนภายนอก แตกต่างกันเพียงแบบคอมมอนภายในสายคอมมอน 1 เส้น จะต่อร่วมสายกราวด์ 4 เส้น ดังนั้นหากสายเส้นใดเมื่อวัดเทียบกับสายเส้นอื่นแล้ว มีค่าความต้านทานน้อยที่สุดสายเส้นนั้นเป็นสายคอมมอนและที่เหลืออีก 4 เส้น จะเป็นสายกราวด์

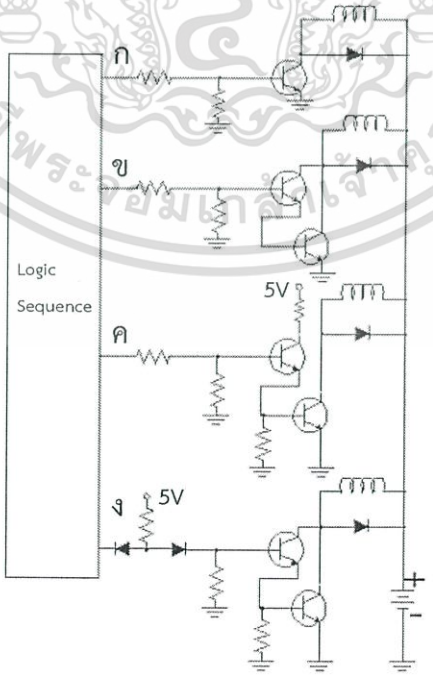
2.1.4 การเรียงเฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ PM

เมื่อทราบว่าสายเส้นใดเป็นสายคอมมอน แล้วแต่ยังไม่ทราบว่าสายกราวด์เส้นใดเป็นเฟสที่ 1 เฟสที่ 2 เฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 ในการเรียงเฟสให้ใช้มิเตอร์วัดโดยนำ V+ เข้าที่สายคอมมอน วัดเทียบกับสายกราวด์ เส้นใดก็ได้ จะทำให้แกนโรเตอร์เคลื่อนไปข้างหน้า 1 สเต็ป เมื่อเปลี่ยนสายกราวด์เส้นแรกเป็นเส้นที่ 2 หากมอเตอร์ไม่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แสดงว่าการเรียงเฟสไม่ถูกต้องให้วัดเทียบกับสายกราวด์เส้นใหม่ต่อไป หากมอเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามกัน วัดที่สายกราวด์เส้นต่อไปเรื่อย ๆ จะทำให้ทราบว่าสายเส้นใดเป็นเฟสแรก สายเส้นใดเป็นเฟสที่ 2 เฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 การเรียงเฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ PM ทั้งชนิดที่เป็นคอมมอนภายนอกและชนิดที่เป็นคอมมอนภายใน ใช้หลักการเดียวกัน

2.1.5 วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

1. วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ วิธีการต่อวงจรซีเควนส์เข้ากับวงจรขับคือ การต่อโดยตรงดังเอาต์พุต ก และ ข ในรูปที่ 2.7 แต่ถ้ากระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรซีเควนส์ไม่พอ ต้องต่อบัฟเฟอร์เพื่อขยายกระแสไฟฟ้า ดังเอาต์พุต ค และ ง ในรูปที่ 2.7

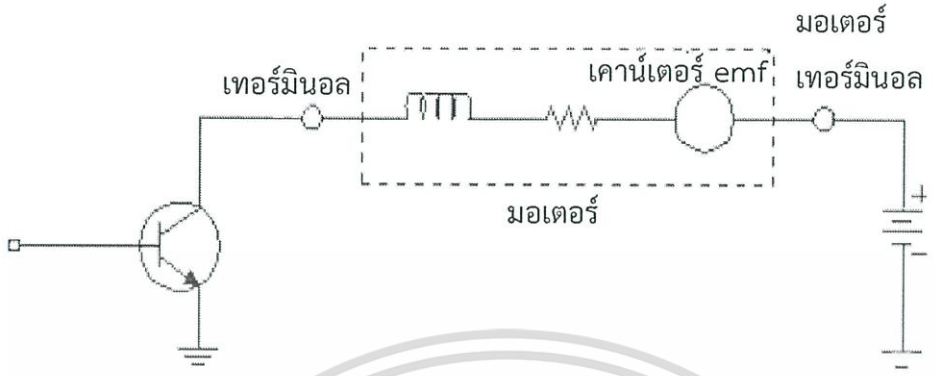


รูปที่ 2.7 วงจรขับเอาต์พุตของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปัญหาเกี่ยวกับวงจรขับ

ขดลวดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นโหลดชนิดตัวเหนี่ยวนำ และมีค่าเปรียบเสมือนผลรวมของความเหนี่ยวนำอนุกรมกับความต้านทานดังรูปที่ 2.8

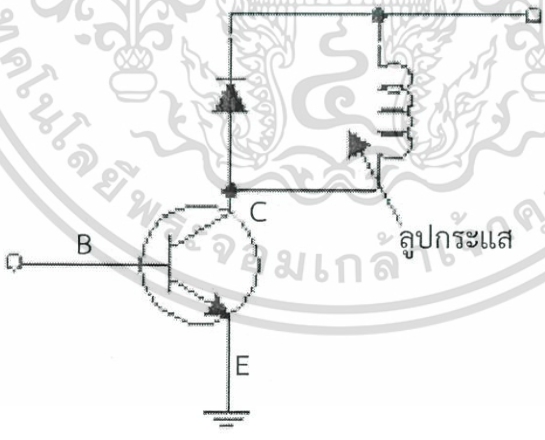


รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

3. ซัพเพรสเซอร์

เมื่อทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าค่าสูงจำนวนหนึ่ง เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันไฟฟ้านี้จะเป็นอันตรายต่อทรานซิสเตอร์ได้ ป้องกันได้ด้วยวิธีการต่อไปนี้

ก. ใช้ไดโอดซัพเพรสเซอร์

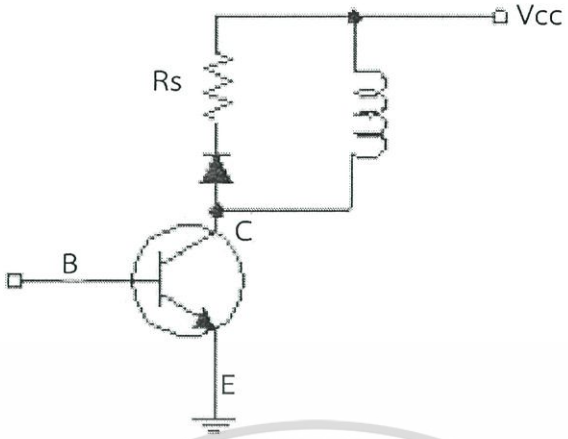


รูปที่ 2.9 การต่อไดโอดซัพเพรสเซอร์

จากรูปที่ 2.9 กระแสไฟฟ้าหมุนเวียนจะเริ่มไหลหลังจากทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าบนคอลเลคเตอร์ จะเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ข้อเสียคือกระแสไฟฟ้าจะหมุนเวียนอยู่นานและจะทำให้เกิดแรงบิดห้ามล้อ (Breaking Torque) พลังงานส่วนใหญ่จะสูญเสียเป็นความร้อนในความต้านทานของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

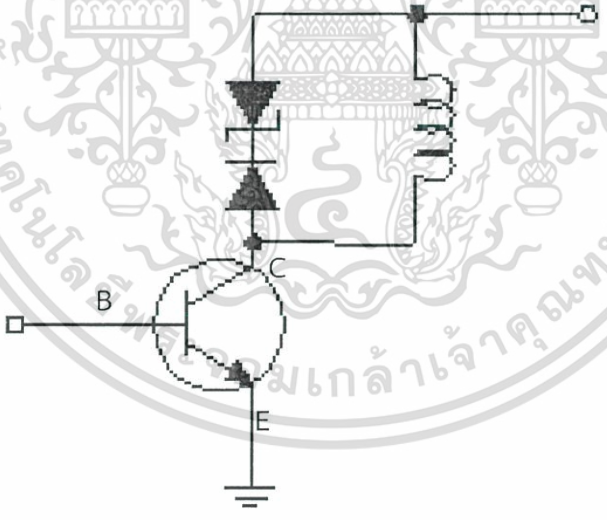
ข. ใช้ไดโอดและตัวต้านทานซัพเพรสเซอร์



รูปที่ 2.10 การต่อไดโอดและตัวต้านทานซัพเพรสเซอร์

จากรูปที่ 2.10 ถ้าค่าความต้านทานของตัวต้านทาน R_s ยิ่งมากกระแสไฟฟ้าหมุนเวียนจะลดลงเร็วขึ้น แต่ศักย์ไฟฟ้าของคอลเลคเตอร์ในขณะกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ จะมีค่าสูงขึ้น พลังงานส่วนใหญ่สูญเสียในตัวต้านทาน R_s

ค. ใช้ซีเนอร์ไดโอดซัพเพรสเซอร์

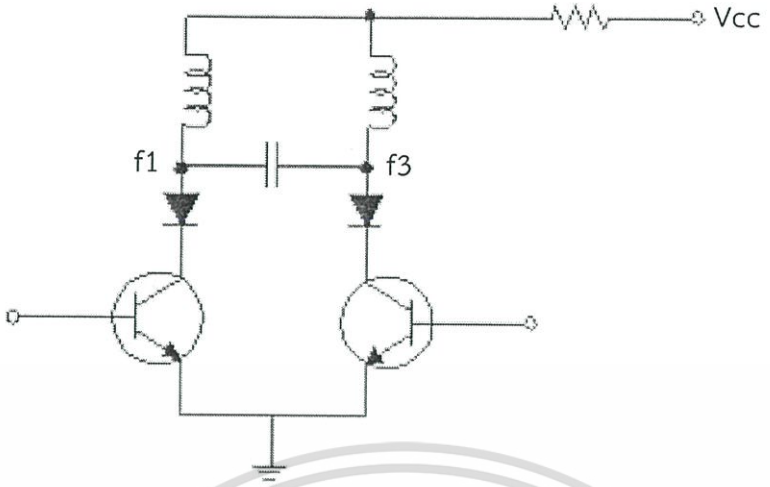


รูปที่ 2.11 การต่อซีเนอร์ไดโอดซัพเพรสเซอร์

จากรูปที่ 2.11 เมื่อทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะลดลงได้เร็วกว่า 2 แบบแรก และศักย์ไฟฟ้าที่คอลเลคเตอร์ขณะกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับจะเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของซีเนอร์บวกกับศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่าย ซึ่งเป็นอิสระต่อกระแสไฟฟ้า พลังงานส่วนใหญ่สูญเสียในซีเนอร์ไดโอด

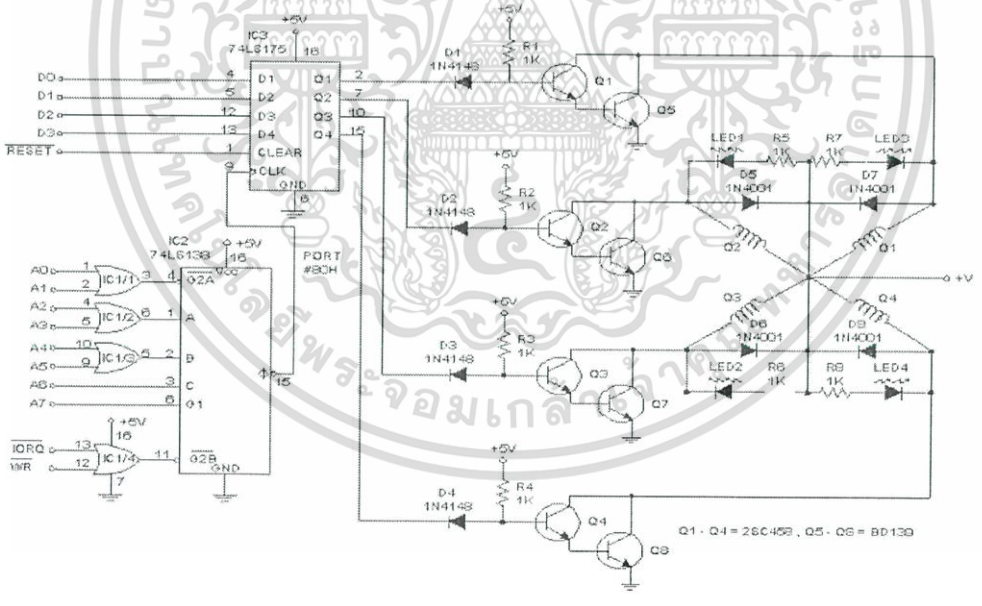
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ใช้ตัวเก็บประจุซัพเพรสเซอร์



รูปที่ 2.12 การต่อตัวเก็บประจุซัพเพรสเซอร์

จากรูปที่ 2.12 ใส่ตัวเก็บประจุให้ f1 กับ f3 เมื่อทรานซิสเตอร์ทั้งสองหยุดนำกระแสไฟฟ้า ตัวเก็บประจุจะต่อกับทรานซิสเตอร์โดยผ่านไดโอดและจะดูดกลืนกระแสไฟฟ้าที่ค่อยๆ ลดลงจากขดลวดของมอเตอร์ เพื่อป้องกันทรานซิสเตอร์เสียและยังช่วยแดมป์ไฟ คือช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวดสเตเตอร์ เนื่องจากการแกว่งของโรเตอร์



รูปที่ 2.13 วงจรสเต็ปปิ้งมอเตอร์ต่อกับ Z-80

จากรูปที่ 2.13 ทรานซิสเตอร์ Q1 – Q4 เป็นตัวขับร่วมกับทรานซิสเตอร์ Q5 – Q8 โดยการต่อแบบดาร์ลิงตัน วงจรนี้ใช้กับมอเตอร์ที่ดึงกระแสไฟฟ้ามากๆ ได้ แต่ไม่ควรเกิน 2 แอมป์ เพราะทรานซิสเตอร์ตัวที่ Q5 – Q8 อาจจะร้อน วงจรนี้ออกแบบไว้สำหรับให้กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 600 มิลลิแอมป์ หากต้องการกระแสไฟฟ้ามากกว่านี้ให้เปลี่ยนทรานซิสเตอร์ Q5 – Q8 เป็นเบอร์ที่สามารถ

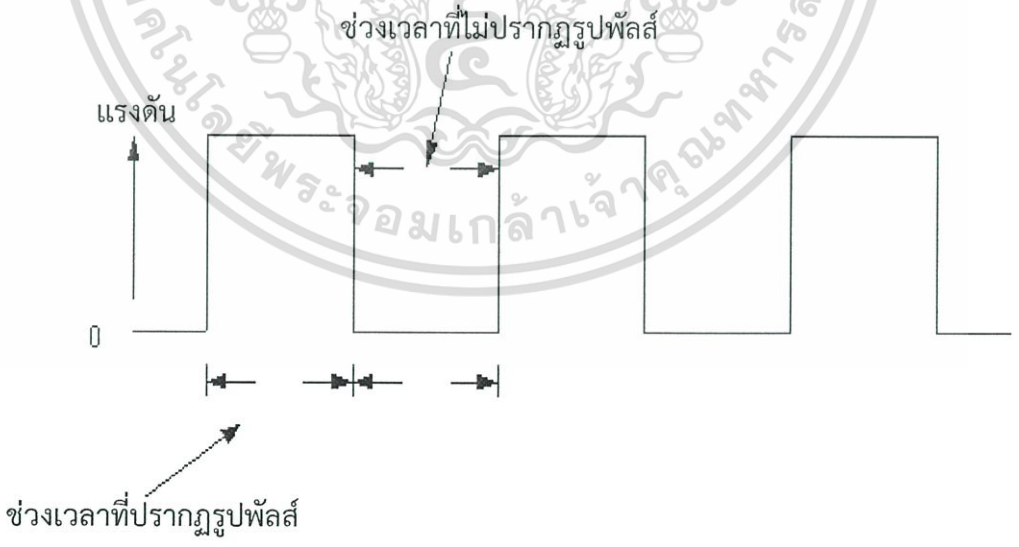
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น ไดโอด D5 – D8 เป็นตัวป้องกันความเสียหายของทรานซิสเตอร์อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ ไดโอดเปล่งแสง LED1–LED5 ทำหน้าที่บอกสภาวะเอาต์พุต (สว่างคือ "1" ดับคือ "0") ตัวต้านทาน R5–R8 ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสง ซึ่งแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับสามารถทำให้ไดโอดเปล่งแสงติดสว่างได้เช่นกัน แรงดันไฟฟ้า +V นั้นควรเลือกให้เหมาะสมกับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่จะใช้ด้วยคือประมาณ +V2.5 โดยตัวอักษร V คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำกับไว้ที่ข้างตัวสเต็ปปิ้งมอเตอร์ เช่น 12 โวลต์ จะใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12+2.5 = 14.5 โวลต์ เป็นต้น

สรุป สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์เอาต์พุต ซึ่งสามารถนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำการควบคุมได้สะดวก และเป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุน ที่ต้องการตำแหน่ง และทิศทางที่แน่นอน การทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้น (Step) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ แต่ละชนิดของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ตัวนั้นๆ

2.2 ทฤษฎีสัญญาณพัลส์

คลื่นทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสของแรงดันไฟฟ้ามักนิยมเรียกว่า "คลื่นจัตุรัส" (Square Wave) คลื่นจัตุรัสจะมีลักษณะคล้ายคลื่นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งปรากฏอย่างต่อเนื่องเป็นช่วงๆ โดยลักษณะพิเศษประการหนึ่งคือ ช่วงเวลาของพัลส์ที่ปรากฏกับช่วงเวลาของพัลส์ที่ไม่ปรากฏจะมีค่าเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.14

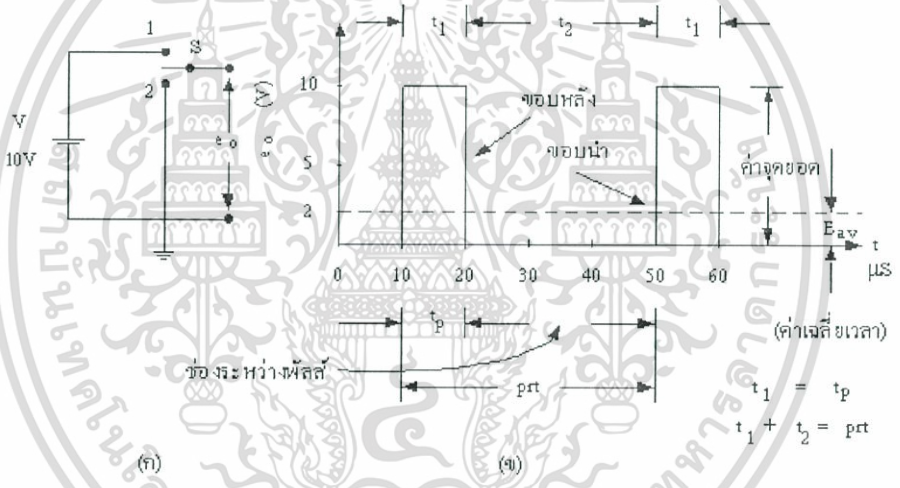


รูปที่ 2.14 รูปคลื่นสัญญาณพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 พารามิเตอร์ของรูปคลื่นพัลส์

วงจรไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 2.15 เป็นวงจรที่ใช้สร้างพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากดังแสดงในรูปที่ 2.15 ในวงจรนี้จะมีระดับของแรงดันอยู่สองระดับคือ ที่ปลายออกหรือเอาต์พุตของวงจรนี้จะมีแรงดัน 10 โวลต์ เมื่อขั้วของสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง 1 และจะมีแรงดันเป็น 0 โวลต์ เมื่อขั้วของสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง 2 เมื่อพิจารณาขนาดของพัลส์นี้กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปจะเห็นได้ดังในรูปที่ 2.15 กล่าวคือ ขนาดของพัลส์นี้ก็คือ "จุดยอด" (Peak Value) เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจากศูนย์ "ขอบนำ" (Leading Edge) ของพัลส์ก็จะปรากฏและต่อมาเมื่อขนาดของพัลส์ตกลงมาก็จะปรากฏ "ขอบหลัง" (Trailing Edge) ช่วงของคลื่นระหว่างขอบนำกับขอบหลังเรียกว่า "ความกว้างของพัลส์" เขียนแทนด้วย tP และช่วงระหว่างจุดที่เริ่มเกิดพัลส์หนึ่งๆ จนกระทั่งถึงช่วงที่เกิดพัลส์อื่นถัดมา เราเรียกว่า "เวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ" (Pulse Repetition Time) เขียนแทนด้วย prt และพัลส์ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกันหลายๆ พัลส์ถูกเรียกว่า "ขบวนพัลส์" (Pulse Train)



รูปที่ 2.15 ลักษณะของพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากในทางทฤษฎี

2.2.2 ค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นพัลส์

ในกระบวนพัลส์หนึ่ง ๆ จำนวนของพัลส์ที่เกิดขึ้นใน 1 วินาที เราเรียกว่า "อัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ" (Pulse Repetition Rate) และเขียนแทนด้วย prr หรือบางครั้งก็ถูกเรียกว่า "ความถี่ของการเกิดพัลส์ซ้ำ" (Pulse Repetition Frequency) เขียนแทนด้วย prf ซึ่งมีหน่วยเป็นจำนวนรอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz) จากรูปที่ 2.15 ถ้าหาก t_P หรือ t_1 มีค่าเท่ากับ t_2 แล้วพัลส์นี้ก็คือ คลื่นจัตุรัส (Square Wave) นั่นเอง "อัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ" (prr) ก็คือส่วนกลับของ "เวลาที่พัลส์จะเกิดซ้ำ" (prt) ดังนั้นอาจเขียนได้ว่า

$$prr = \frac{1}{prt} \quad (Hz)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

prr คือ อัตราการเกิดพัลส์ซ้ำ (Pulse Repetition Rate) มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

prt คือ เวลาที่พัลส์เกิดซ้ำ (Pulse Repetition Time) มีหน่วยเป็นวินาที (S)

2.3 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่รวมเอาหน่วยประมวลผล (CPU) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU) วงจรรับสัญญาณอินพุต (Input) วงจรส่งสัญญาณเอาต์พุต (Output) รวมถึงหน่วยความจำวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน (Clock) ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี โดยไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำสองคำรวมกันคือ “ไมโคร” ซึ่งหมายถึงไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) เป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็ก ภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU ประกอบด้วยหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือ คำว่า “คอนโทรลเลอร์” หมายถึง อุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างเป็นอิสระ

ในโครงงานนี้จะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของทางค่าย Arduino โดยคุณสมบัติของบอร์ด Arduino เบื้องต้นคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) ตัวบอร์ดถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Shield) ประเภทต่างๆ มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้

2.3.1 บอร์ด Arduino UNO R3

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจ็คและ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย ในส่วนของโปรเจ็คจะใช้ต่อกับโมดูลตัวรับ nRF24L01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

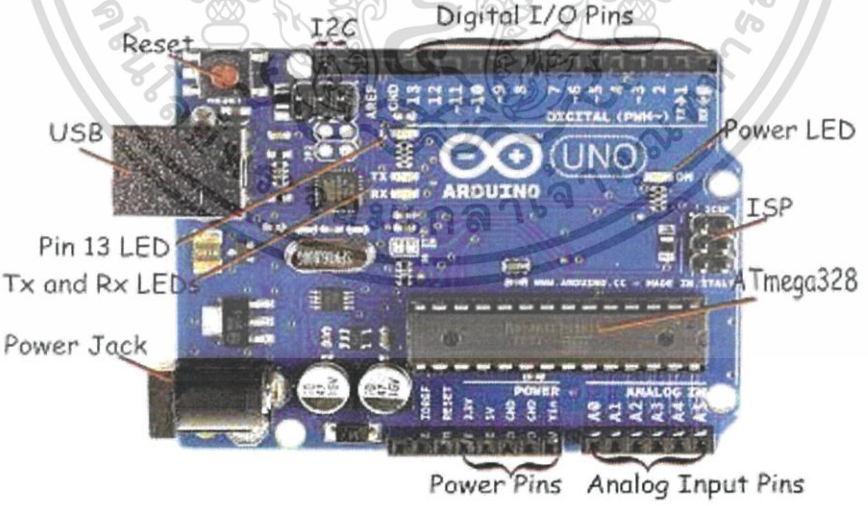
2.3.1.1 คุณสมบัติทางด้านฮาร์ดแวร์

Arduino Uno R3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open-source บนแพลตฟอร์ม Arduino ของแท้จากผู้ผลิต Arduino.cc ประเทศอิตาลี ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย มีคุณสมบัติดังนี้

1. ใช้ชิพ ATmega328
2. รันที่ความถี่ 16 MHz
3. หน่วยความจำแฟล็ช 32 Kb และแรม 2 Kb
4. บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7-12 V
5. มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5 V (TTL)
6. มี Digital Input/output 14 ขา (เป็น PWM ได้ 6 ขา)
7. มี Analog Input 6 ขา Serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด
8. EEPROM 1 Kb
9. เขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจเริ่มต้นเรียนรู้การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือแม้แต่ผู้ที่ไม่เคยเรียนรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์มาก่อนก็สามารถนำมาสร้างต้นแบบที่เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ได้

2.3.1.2 รูปร่างและขนาดของบอร์ด Arduino UNO R3

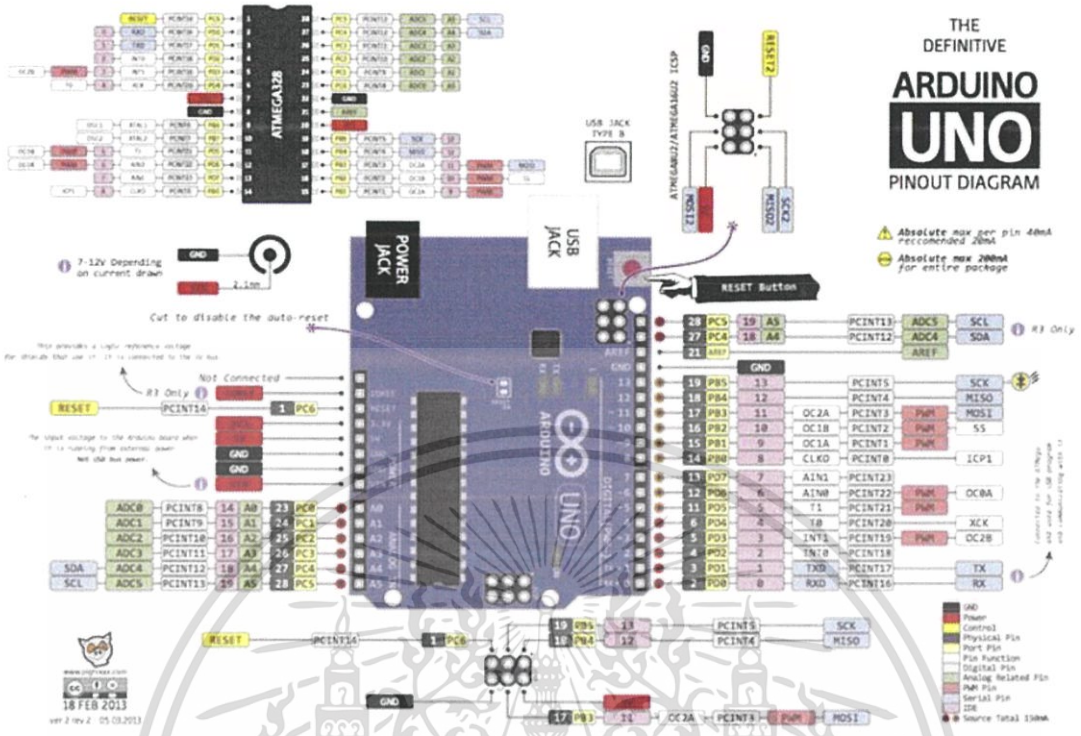
บอร์ด Arduino UNO R3 มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก กว้างประมาณ 64 mm ยาวประมาณ 76 mm และหนาราวๆ 1.9 mm มีน้ำหนักเบา มีหลอด LED แสดงสถานะในตัว (Pin 13) สามารถเลือกใช้หรือไม่ใช้ก็ได้เช่นกัน



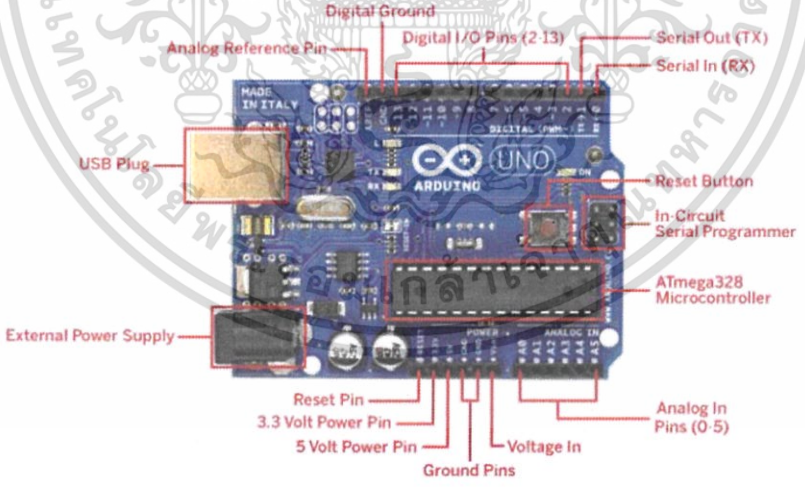
รูปที่ 2.16 บอร์ด Arduino UNO R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 ฟังก์ชันการทำงานแต่ละขาของบอร์ด Arduino UNO R3



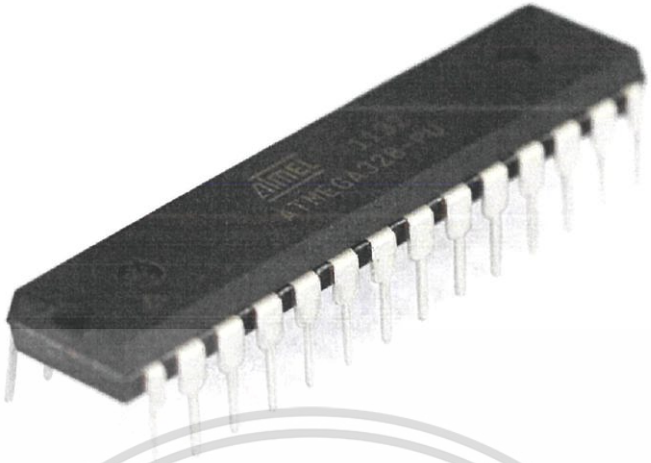
รูปที่ 2.17 ขา Pin Out ของบอร์ด Arduino UNO R3



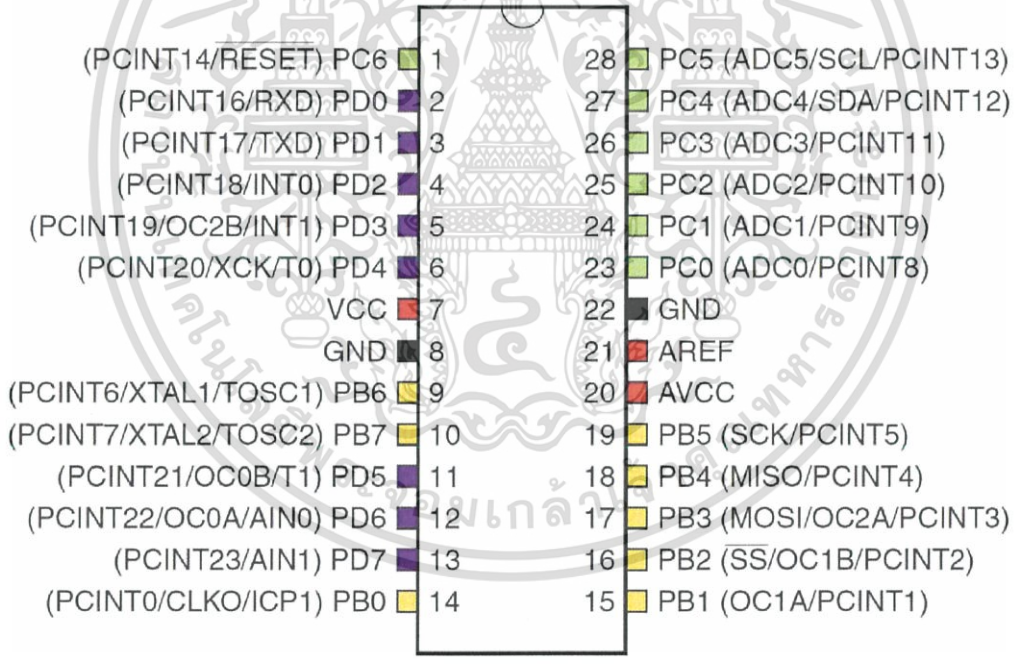
รูปที่ 2.18 ขาและพอร์ตต่างๆ ของบอร์ด Arduino UNO R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.4 ไอซี ATmega328



รูปที่ 2.19 ไอซี ATmega328



รูปที่ 2.20 ขาต่างๆ ของไอซี ATmega328 ใน Arduino UNO R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ภาษา Arduino

"Arduino" เป็นภาษาอิตาลีซึ่งเป็นของโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ Open Source ที่ได้รับการปรับปรุงมาจากโครงการ Open Source ของ AVR

Arduino มีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายในการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกคำสั่งต่าง ๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งาน ด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน ซึ่งแม้ว่า Arduino จะมีรูปแบบการใช้งานคล้ายๆ กับไมโทรลเลอร์อย่าง Basic Stap ของ Parallax แต่ก็มีจุดเด่นกว่ารายอื่นคือราคาไม่แพง เนื่องจากมี Source Code และวงจรแจกให้ฟรี สามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้เองได้ รวมถึงมีการเปิดเผยวงจร Source Code ทั้งหมดทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ดี ทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์โปรแกรมที่ใช้พัฒนาของ Arduino สามารถรองรับการทำงานทั้ง Window, Linux และ OSx รูปแบบคำสั่งง่ายต่อการใช้งาน แต่สามารถนำไปใช้งานจริงๆ กับส่วนที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ และยังสามารถสร้างคำสั่งรวมถึง Library ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งานเองได้ เมื่อมีความชำนาญมากขึ้น

ภาษาซีของ Arduino จะจัดแบ่งรูปแบบโครงสร้างของการเขียนโปรแกรมเป็นส่วนย่อยๆ หลายๆ ส่วน โดยเรียกแต่ละส่วนว่า "ฟังก์ชัน" และเมื่อนำฟังก์ชันมารวมเข้าด้วยกัน ก็จะเรียกว่า "โปรแกรม" โดยโครงสร้างการเขียนโปรแกรมของ Arduino ทุกๆ โปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันจำนวนเท่าใดก็ได้ แต่อย่างน้อยสุดต้องมี 2 ฟังก์ชันคือ Setup( ) และ Loop( )

Setup ( ) : เป็นฟังก์ชันบังคับที่ต้องกำหนดให้มีทุกๆ โปรแกรม ถึงแม้ว่าบางโปรแกรมจะไม่ต้องการใช้งานก็ยังจำเป็นต้องประกาศไว้เสมอ เพียงแต่ไม่ต้องเขียนคำสั่งใดๆ ไว้หลังวงเล็บปีกกา { } ที่ใช้เป็นตัวกำหนดขอบเขตของฟังก์ชัน โดยฟังก์ชันนี้จะใช้สำหรับบรรจุคำสั่งที่ต้องการให้โปรแกรมทำงานเพียงรอบเดียว ตอนเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งได้แก่คำสั่งเกี่ยวกับการ Setup ค่าการทำงานต่างๆ เช่น การกำหนดหน้าที่ของการใช้งานของ PinMode และค่า Baudrate สำหรับการใช้งานสื่อสารพอร์ตอนุกรม เป็นต้น

Loop ( ) : เป็นส่วนฟังก์ชันบังคับที่ต้องกำหนดให้มีในทุกโปรแกรม เช่นเดียวกับฟังก์ชัน Setup( ) โดยฟังก์ชัน นี้จะใช้ในการบรรจุคำสั่งที่ต้องการให้โปรแกรมทำงานเป็นวนรอบซ้ำๆ กันไปไม่รู้จบ ซึ่งเปรียบเทียบได้กับ ฟังก์ชัน Main( ) ใน ANSCI-C นั่นเอง

2.4 ทฤษฎีของเซนเซอร์

2.4.1 คุณลักษณะทั่วไปของเซนเซอร์ Bourns 26064468

การประยุกต์ใช้งานของเซนเซอร์สามารถนำไปใช้งานในระบบที่มีความง่ายจนถึงระบบที่มีความซับซ้อน โดยส่วนมากจะนำไปติดตั้งกับระบบสนับสนุนการขับขี่ของรถยนต์ เช่น ระบบควบคุมการทรงตัวของรถ ระบบไฟหน้ารถปรับอัตโนมัติ ระบบช่วยในการจอดรถ และอื่นๆ มีสายสัญญาณ 3 สาย ได้แก่ ขั้วบวก ขั้วลบ และสายสัญญาณ สามารถนำไปติดตั้งเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสัญญาณอนาล็อกอินพุตมาประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 คุณสมบัติพื้นฐาน

- อุณหภูมิการทำงาน -40 ถึง +85 องศาเซลเซียส
- แรงดันไฟฟ้าทำงาน 5 V
- กระแสไฟฟ้าทำงาน < 20mA

2.4.3 หลักการทำงานของเซนเซอร์

ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์จะติดสวมเข้ากับแกนพวงมาลัย การทำงานของเซนเซอร์จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งการหมุนของพวงมาลัย เมื่อตำแหน่งของการหมุนแกนพวงมาลัยมีการเปลี่ยนแปลงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันทางไฟฟ้าที่เซนเซอร์ ซึ่งนำมาเป็นสัญญาณอินพุตให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ แรงดันทางไฟฟ้านี้มีค่าระหว่าง 0-5 โวลต์ จะถูกแปลงลักษณะสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่แชนแนล A/D ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นจะนำสัญญาณที่แปรค่าเป็นคำสั่งส่งไปขับเคลื่อนมอเตอร์ตามที่ได้โปรแกรมไว้

รูปที่ 2.21 เซนเซอร์ Bourns 26064468

2.5 ทฤษฎีฮอล์เอฟเฟคต์

ปรากฏการ์ณฮอล์เอฟเฟคต์ ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1879 โดย Dr.Edwin Hall ที่มหาวิทลัย Johns Hopkins ขณะที่เขาต้องการพิสูจน์ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่เสนอโดยนาย Kelvin เมื่อ 30 ปีก่อน Dr.Hall ได้ค้นพบว่าเมื่อนำแท่งมาเหล็กมาวางในลักษณะที่ทำให้สนามแม่เหล็กตั้งฉากตัดกับแผ่นตัวนำทองคำที่มีกระแสไหล จะเกิดความต่างศักย์ที่ปลายของแต่ละขั้ว และได้สังเกตว่าความต่างศักย์มีค่าแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ และฟลักซ์แม่เหล็กที่กระทำตั้งฉากกับแผ่นตัวนำ ถึงแม้กระนั้นการทดลองที่เกิดขึ้นจะได้รับการยอมรับ แต่ก็ยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เป็นมากกว่า 70 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อการมาถึงของวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ในปี ค.ศ. 1950 ปรากฏการ์ณฮอล์เอฟเฟคต์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นครั้งแรกด้วยความจำกัดในด้านต้นทุน ในปี ค.ศ. 1965 นาย Everett Vorthmann และ นาย Joe Maupin แห่งบริษัท MICRO SWITCH Sensing and Control วิศวกรอาวุโสฝ่ายพัฒนา ได้ร่วมกันพัฒนา Solid State เซนเซอร์ในต้นทุนต่ำ ที่สามารถนำมาใช้งานได้ พวกเขาได้เลือกการค้นพบฮอล์เอฟเฟคต์โดยนำมาประยุกต์ให้การทำงานสามารถอยู่ในซิลิกอนชิป

เมื่อตัวนำที่มีกระแสวางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในลักษณะ ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสและฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กปรากฏอยู่ การไหลของกระแสในตัวนำจะเป็นในทิศทางสมมูลกันและจะไม่เกิดความต่างศักย์ที่ขั้วของเอาต์พุต แต่เมื่อมีสนามแม่เหล็กปรากฏอยู่จะเกิด Lorentz Force กระทำต่อกระแสที่ไหลผ่านในตัวนำ ทำให้เกิดความต่างศักย์ที่ด้านเอาต์พุต ความต่างศักย์ทางไฟฟ้านี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอล์ (Hall Voltage) ดังความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง

$$Vh >> I >> B$$

เซนเซอร์ฮอล์เอฟเฟคต์สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์ได้หลายลักษณะ โดยอาศัยพารามิเตอร์ที่สามารถวัดค่าได้ผ่านสนามแม่เหล็กเซนเซอร์ฮอล์เอฟเฟคต์ โดยทั่วไปตัวเซนเซอร์จะตรวจหาสนามแม่เหล็ก ระบบสนามแม่เหล็กจะตอบสนองต่อค่าทางกายภาพต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, ความดัน, ตำแหน่ง และอื่นๆ ผ่านทางอินพุต ทางด้านเอาต์พุตจะทำการเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าจากเซนเซอร์ให้เป็นสัญญาณที่มีค่าต่อการใช้งาน

แรงดันไฟฟ้าฮอล์มีค่าแปรผันตรงต่อผลคูณเวกเตอร์ของกระแสและสนามแม่เหล็ก โดยค่าที่ได้โดยส่วนมากจะมีค่าน้อยต่อการใช้งานจริง ดังนั้นจึงต้องการการขยายสัญญาณผ่านแอมพลิไฟเออร์

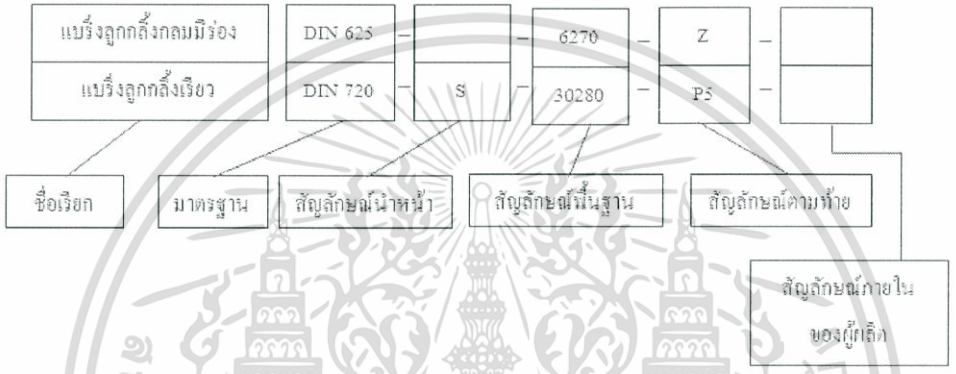
สารซิลิคอนยับยั้งการต้านทานเปียโซ (การเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนต่อค่า Strain) จึงจำเป็นต้องทำการลดผลกระทบนี้ในเซนเซอร์ฮอล์ วิธีการนี้สามารถทำได้โดยการจัดวางเซนเซอร์ฮอล์บน IC เพื่อลดผลของ Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ

3.1 ขั้นตอนการออกแบบแท่นหมุนในโคมไฟ

ในเบื้องต้นนั้นต้องทำการวัด ขนาด รูปร่าง ของอุปกรณ์ออกมาก่อนและร่างภาพออกมาคร่าวๆ ออกแบบโดยอาศัยองค์ประกอบ รูปร่าง รูปทรง น้ำหนัก สี และพื้นผิว เพื่อนำมาจัดวางให้เกิดความสวยงาม แล้วเลือกแบริ่งให้เหมาะสมกับชิ้นงานโดยมีการใช้แบริ่งดังนี้



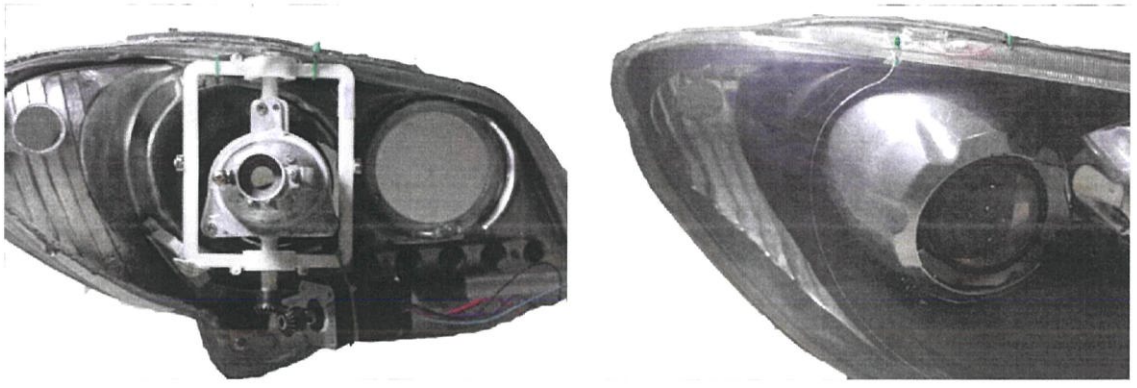
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์แบริ่ง

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์แบริ่ง

สัญลักษณ์นำหน้า (เลือกมาเฉพาะ)		สัญลักษณ์สัญลักษณ์นำหน้า (เลือกมาเฉพาะ)
K กลมพร้อมลูกกลิ้ง	R แหวนพร้อมชุดลูกกลิ้ง	K แบริ่งที่มีรูเรียว, อัตราเรียว 1:12
S เหล็กไม่เกิดสนิม	N แหวนอิสระ	แบริ่งที่มีขนาด รูปทรง และการหมุนที่ละเอียดแม่นยำสูง (เกรดพิกัดเผื่อ 5-ISO)

หลังจากนั้นวาดภาพที่ได้ร่างไว้เผื่อที่สำหรับวางแบริ่งแล้วในโปรแกรม SolidWorks 2014 โดยใช้วัสดุเป็นพลาสติก PLA (Polylactic-acid) แล้วนำไปพิมพ์แบบโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ต่อไป แล้วนำแต่ละชิ้นส่วนมาประกอบกันได้ดังรูปที่ 3.2

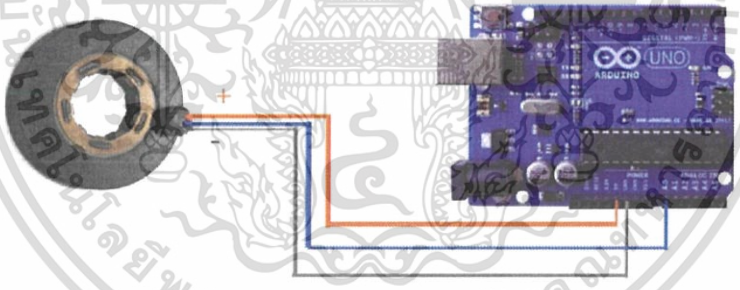
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ประกอบชิ้นส่วนด้านหลัง/ด้านหน้า

3.2 การต่อวงจรเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino

1. สายขั้วบวกของเซนเซอร์ต่อเข้ากับสายไฟเลี้ยง 5 V ของบอร์ด Arduino
2. สายขั้วลบของเซนเซอร์ต่อเข้ากับ GND ของบอร์ด
3. สายตรงกลางที่เหลือเป็นสายส่งสัญญาณอนาล็อกที่ออกให้กับบอร์ด Arduino

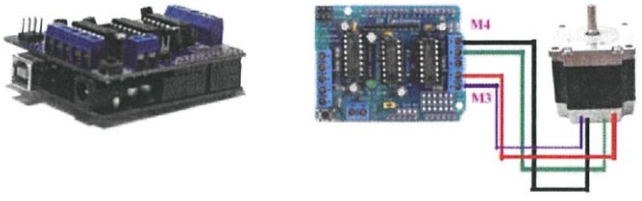


รูปที่ 3.3 การต่อวงจรจากเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino UNO R3

3.3 การต่อวงจรบอร์ด Arduino เพื่อขับ Stepper Motor

การทำงานของมอเตอร์จะรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งผ่านวงจรขับมอเตอร์ให้หมุน โดยมีวิธีการต่อวงจรดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การต่อวงจรจาก Motor Drive Shield (L293D) เข้ากับมอเตอร์สเต็ปปิ้ง

3.4 โค้ดคำสั่ง

```
#include <Stepper.h>                    //เป็นคำสั่งเรียกแฟ้มซึ่งภายในจะบรรจุคำสั่งหรือฟังก์ชัน
                                        ที่จำเป็นต้องใช้
#include <AFMotor.h>
AF_Stepper motor(200, 2);               //กำหนดในหนึ่งรอบหมุน 48 ครั้ง มุมแต่ละครั้งที่ได้
                                        360/200 = 1.8° และใช้งานที่พอร์ตของ Motor Drive
                                        Shield (L293D) ที่ 2 (M3 และ M4)
const int analogInPin = A0;             //ประกาศตัวแปรต่างๆ
const int analogOutPin = 9;
int sensorValue = 0;
int outputValue = 0;
int previous = 0;
void setup() {                          //เป็นฟังก์ชันหลักของโปรแกรมและบอกให้รู้ว่าฟังก์ชัน
setup()                                   ไม่มีการส่งค่าข้อมูลและไม่มีการรับค่าข้อมูลกลับ
                                        // initialize serial communications at 9600 bps:
  Serial.begin(9600);                   //กำหนดค่าความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล 9600 บิตต่อ
                                          วินาที
  motor.setSpeed(50);                   //กำหนดอัตรเร็วของมอเตอร์
  motor.release();
}
void loop() {                           //ในส่วนนี้จะเป็นส่วนการเขียนโปรแกรมและสั่งให้
                                        โปรแกรมทำงาน ซึ่งในการทำงานจะเป็นแบบวนลูปไป
                                        เรื่อยๆ
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// read the analog in value:
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
  // map it to the range of the analog out:
  outputValue = map(sensorValue, 0, 900, 0, 90);
  // change the analog out value:
  analogWrite(analogOutPin, outputValue);
  // print the results to the serial monitor:
  Serial.print("sensor = " );
  Serial.print(sensorValue);
  Serial.print("\t output = ");
  Serial.println(outputValue);

  if (outputValue >= 55 ){
    motor.step(10,FORWARD,MICROSTEP);
    motor.release();
   previous = outputValue;
    delay(1000);
    }
    else if (outputValue <= 35){
    motor.step(10,BACKWARD,MICROSTEP);
    motor.release();
    previous = outputValue;
    delay(1000);
    }
    else if (outputValue >= 55 && (previous - outputValue) > 20){
     motor.step(20,FORWARD,MICROSTEP);
    motor.release();
    delay(1000);
    }

   else if (outputValue <= 35 && (previous - outputValue) > -20){
     motor.step(20,BACKWARD,MICROSTEP);
    motor.release();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    delay(1000);
    }
  // wait 0 milliseconds before the next loop
  // for the analog-to-digital converter to settle
  // after the last reading:
  delay(0);
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการทดลอง

หลังจากที่ได้ประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าเป็นระบบแล้ว จะทำการศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานโดยรวมของระบบ โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการทดลองคือ มอเตอร์สามารถหมุนได้ในทิศทางที่ต้องการตามการหมุนของเซนเซอร์หรือไม่ และผลตอบสนองทางเวลาของการหมุนของมอเตอร์ว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงไหน

ลักษณะการทดลองคือ จะทำการป้อนแรงดันอินพุตที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 V - 5 V และจะทำการวัดตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของมอเตอร์เพื่อหาความเที่ยงตรงของระบบและมองหาความผิดพลาดของค่าที่การวัดว่ามีมากน้อยเพียงใด

ตารางที่ 4.1 แสดงการวัดค่ามุมในแต่ละองศากับค่าแรงดันที่วัดได้

Radius	Volts
0-10	5
11-30	4.7
31-50	4.5
51-60	4.2
61-70	4.0
71-90	3.5
91-120	3.0
121-130	2.7
131-140	2.5
141-160	2.0
161-165	1.7
166-170	1.5
171-175	1.0
176-180	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการจำลองระบบไฟหน้ารถปรับอัตโนมัติเพื่อเพิ่มทรรศนวิสัยในการขับขี่รถในช่วงเวลากลางคืน โดยการดำเนินงานของระบบแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. การรับข้อมูลของเซนเซอร์จากการเปลี่ยนแปลงมุมของพวงมาลัย ค่าการเปลี่ยนแปลงมุมจะถูกส่งผ่านจากเซนเซอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

2. ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงมาจากเซนเซอร์ เพื่อที่จะทำการประมวลผลข้อมูลแล้วจึงส่งข้อมูลต่อไปยังมอเตอร์

3. มอเตอร์จะรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการหมุน มุมของการหมุนนั้นจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงโวลต์ของเซนเซอร์ที่ส่งผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

5.2 ปัญหาและข้อจำกัดในการดำเนินงาน

1. ความเร็วในการอ่านค่าของเซนเซอร์ยังไม่เร็วเพียงพอในการที่จะใช้งานจริง เนื่องจากข้อจำกัดของเซนเซอร์

2. เซนเซอร์มีราคาแพงและหายากในท้องตลาดทั่วไป จึงต้องปรับเปลี่ยนเซนเซอร์ตามที่ออกแบบไว้ตั้งแต่แรก

3. ข้อจำกัดในการออกแบบโคมไฟรถ โคมไฟรถที่ทำการดัดแปลงมีขนาดเล็กจึงต้องทำการตัดด้านหลังของโคมไฟเพื่อที่จะใส่มอเตอร์เข้าไปได้ ทำให้ดูไม่สวยงาม

4. ก้านพวงมาลัยรถที่เข้ากับรูของเซนเซอร์ไม่ได้ ทำให้ไม่สามารถใช้ก้านพวงมาลัยที่มีอยู่ได้ จึงต้องทำการหาก้านพวงมาลัยใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2545). **หนังสือการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เล่ม 1 และเล่ม 2.** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอส อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.

[2] สุวัฒน์ กุลธนปรีดา. (2552). **วิศวกรรมควบคุมอัตโนมัติ**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
วาที ปรียพงษ์. (2547). **เส้นทางสู่นักประดิษฐ์หุ่นยนต์**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
ประจิน พลังสันติกุล (2549). **C Programming for AVR Microcontroller and WinAVR (C complier) เล่ม 1 และเล่ม 2**. กรุงเทพมหานคร: APPROFTTECH.

[3] ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์, มงคล ทองเล็ก. (2556). SolidWorks Essentials & Tutorials. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] นายธนิด ภัคธนาเดชานนท์. "**การสร้างและพัฒนาเครื่องตัดโฟมอัตโนมัติ**". ปริญญานิพนธ์. พะเยา: วิทยาลัยเทคนิคพะเยา, 2555

[5] พีรศักดิ์ สุภัทราพันธ์กุล, พีระสิษฐ์ ทับเที่ยง. "**การออกแบบชุดทดลองควบคุมระดับน้ำโดยใช้ MCU (Arduino)**". ปริญญานิพนธ์. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556

[6] L293d Datasheet, Texas Instruments. "**L293, L293D Quadruple Half-H Drivers**" [Online]. Available : http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf. 2558

[7] Bearing, units and housings, SKF. "**SKF Stainless Steel Deep Groove Ball Bearings**" [Online]. Available : http://www.skf.com/binary/96-26885/SKF-stainless-steel-deep-groove-ball-bearings_11279_EN.pdf. 2558

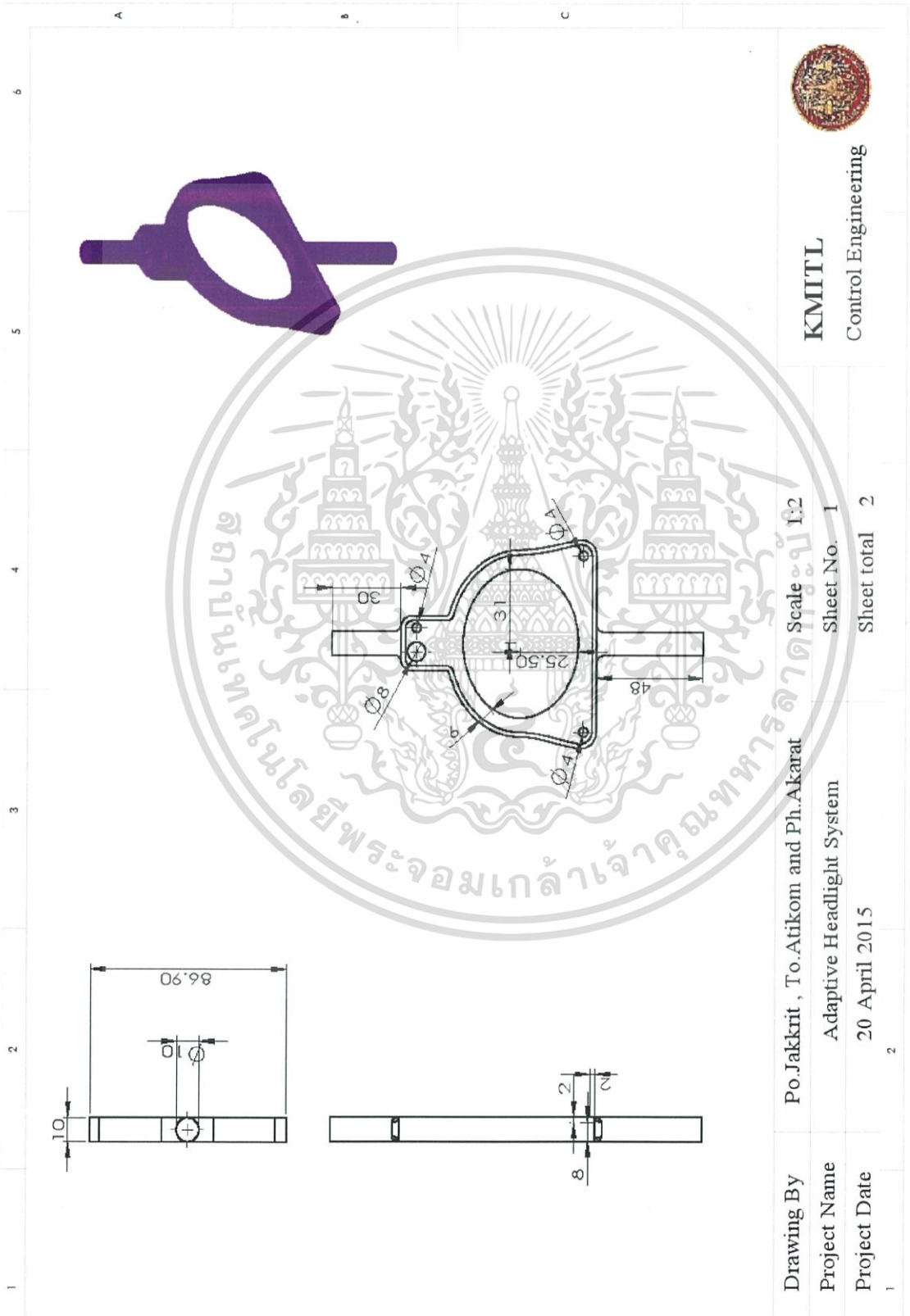
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

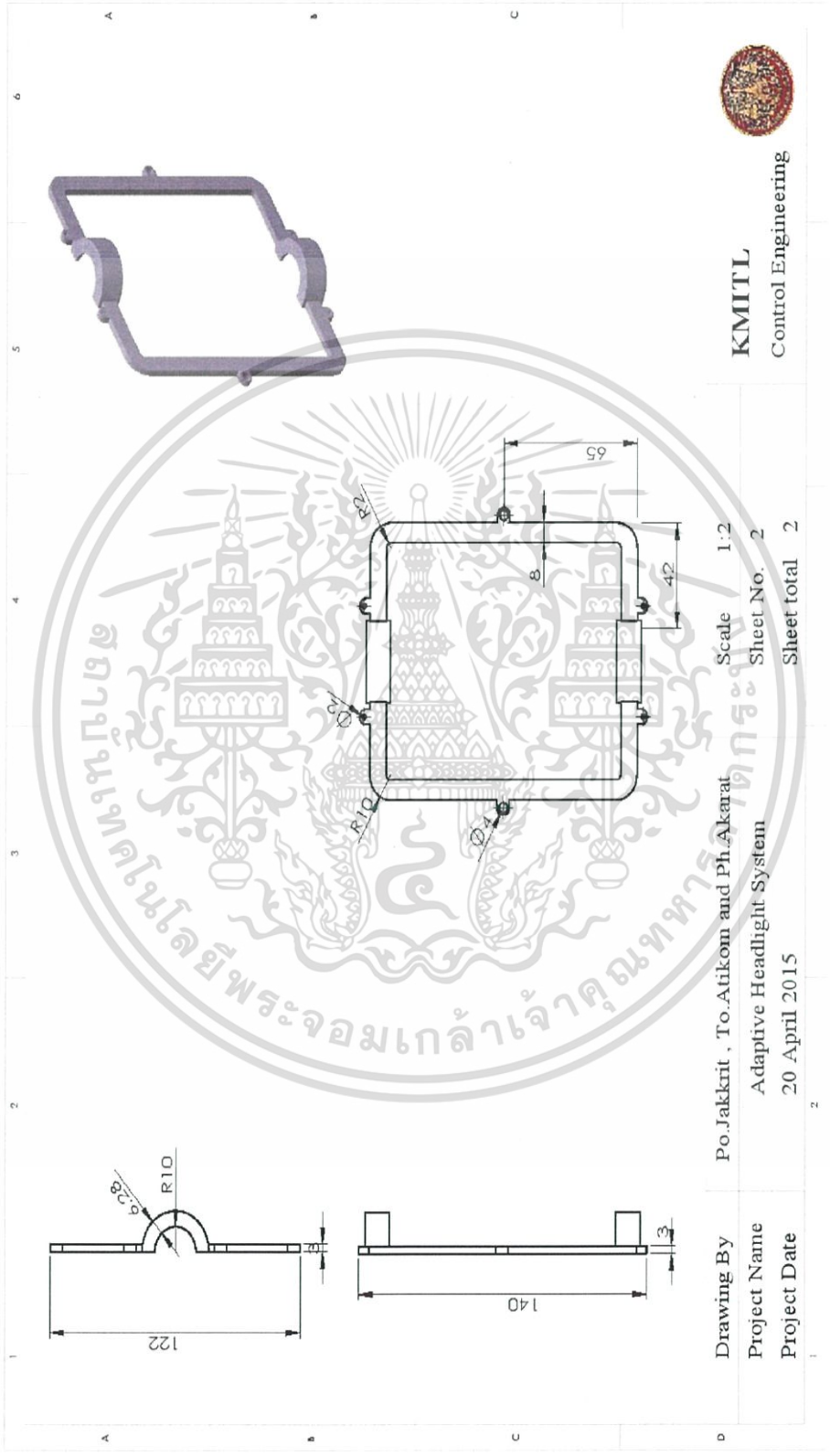
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบ Drawing โดยโปรแกรม SolidWorks



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

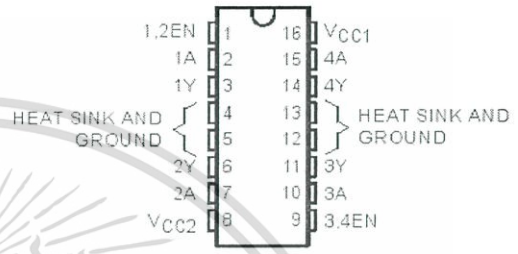
Datasheet L293d

L293, L293D
QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

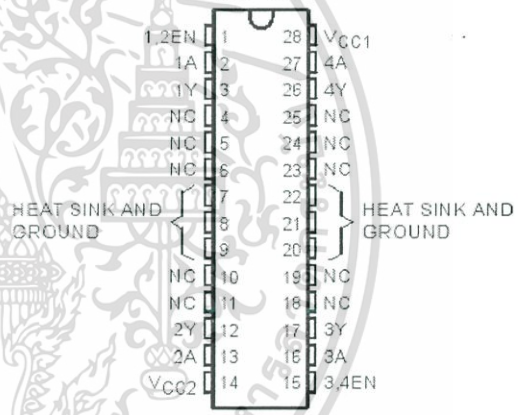
SLRS008B – SEPTEMBER 1986 – REVISED JUNE 2002

- Featuring Unitrode L293 and L293D Products Now From Texas Instruments
- Wide Supply-Voltage Range: 4.5 V to 36 V
- Separate Input-Logic Supply
- Internal ESD Protection
- Thermal Shutdown
- High-Noise-Immunity Inputs
- Functional Replacements for SGS L293 and SGS L293D
- Output Current 1 A Per Channel (600 mA for L293D)
- Peak Output Current 2 A Per Channel (1.2 A for L293D)
- Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression (L293D)

N, NE PACKAGE
(TOP VIEW)



DWP PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The L293 and L293D are quadruple high-current half-H drivers. The L293 is designed to provide bidirectional drive currents of up to 1 A at voltages from 4.5 V to 36 V. The L293D is designed to provide bidirectional drive currents of up to 600-mA at voltages from 4.5 V to 36 V. Both devices are designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, dc and bipolar stepping motors, as well as other high-current/high-voltage loads in positive-supply applications.

All inputs are TTL compatible. Each output is a complete totem-pole drive circuit, with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs, with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN. When an enable input is high, the associated drivers are enabled and their outputs are active and in phase with their inputs. When the enable input is low, those drivers are disabled and their outputs are off and in the high-impedance state. With the proper data inputs, each pair of drivers forms a full-H (or bridge) reversible drive suitable for solenoid or motor applications.

On the L293, external high-speed output clamp diodes should be used for inductive transient suppression.

A V_{CC1} terminal, separate from V_{CC2}, is provided for the logic inputs to minimize device power dissipation.

The L293and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

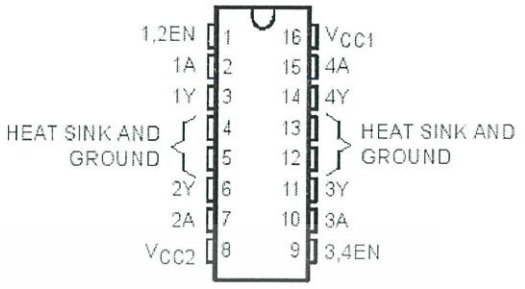
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L293, L293D
QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

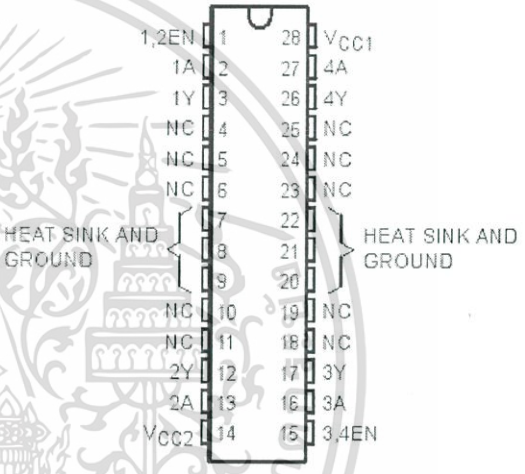
SLRS008B – SEPTEMBER 1986 – REVISED JUNE 2002

- Featuring Unitrode L293 and L293D Products Now From Texas Instruments
- Wide Supply-Voltage Range: 4.5 V to 36 V
- Separate Input-Logic Supply
- Internal ESD Protection
- Thermal Shutdown
- High-Noise-Immunity Inputs
- Functional Replacements for SGS L293 and SGS L293D
- Output Current 1 A Per Channel (600 mA for L293D)
- Peak Output Current 2 A Per Channel (1.2 A for L293D)
- Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression (L293D)

N, NE PACKAGE
(TOP VIEW)



DWP PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The L293 and L293D are quadruple high-current half-H drivers. The L293 is designed to provide bidirectional drive currents of up to 1 A at voltages from 4.5 V to 36 V. The L293D is designed to provide bidirectional drive currents of up to 600-mA at voltages from 4.5 V to 36 V. Both devices are designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, dc and bipolar stepping motors, as well as other high-current/high-voltage loads in positive-supply applications.

All inputs are TTL compatible. Each output is a complete totem-pole drive circuit, with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs, with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN. When an enable input is high, the associated drivers are enabled and their outputs are active and in phase with their inputs. When the enable input is low, those drivers are disabled and their outputs are off and in the high-impedance state. With the proper data inputs, each pair of drivers forms a full-H (or bridge) reversible drive suitable for solenoid or motor applications.

On the L293, external high-speed output clamp diodes should be used for inductive transient suppression.

A V_{CC1} terminal, separate from V_{CC2}, is provided for the logic inputs to minimize device power dissipation.

The L293and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

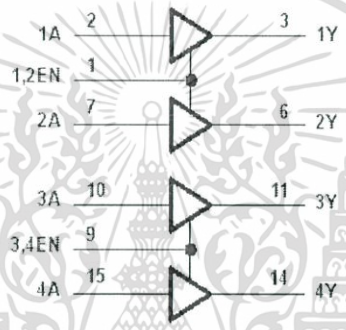
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTION TABLE
(each driver)

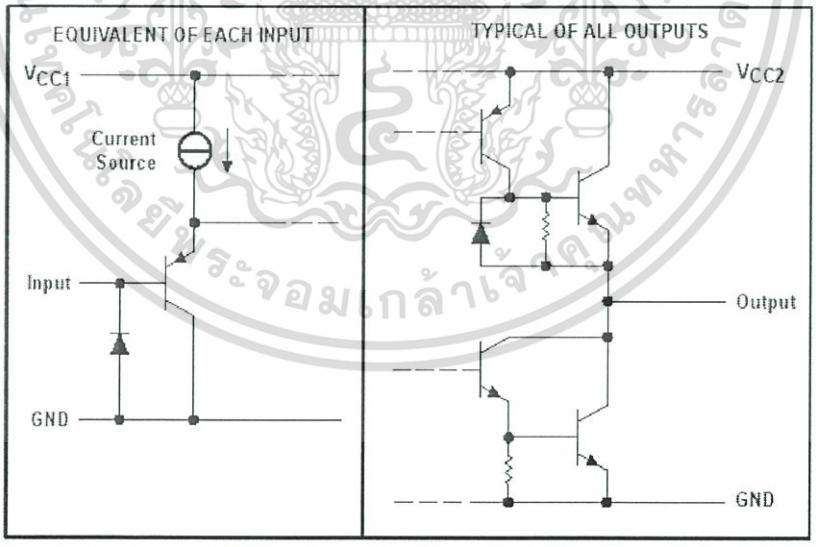
INPUTS†		OUTPUT
A	EN	Y
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

H = high level, L = low level, X = irrelevant,
Z = high impedance (off)
† In the thermal shutdown mode, the output is in the high-impedance state, regardless of the input levels.

logic diagram

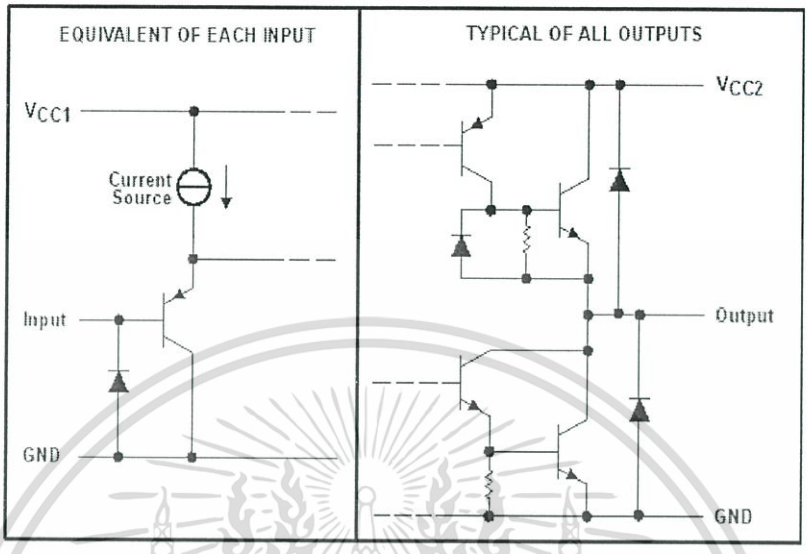


schematics of inputs and outputs (L293)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

schematics of inputs and outputs (L293D)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{CC1} (see Note 1)	36 V
Output supply voltage, V_{CC2}	36 V
Input voltage, V_I	7 V
Output voltage range, V_O	–3 V to V_{CC2} + 3 V
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \le 5$ ms): L293	±2 A
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \le 100$ µs): L293D	±1.2 A
Continuous output current, I_O: L293	±1 A
Continuous output current, I_O: L293D	±600 mA
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Notes 2 and 3)	2075 mW
Continuous total dissipation at 80°C case temperature (see Note 3)	5000 mW
Maximum junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	–65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltage values are with respect to the network ground terminal.
2. For operation above 25°C free-air temperature, derate linearly at the rate of 16.6 mW/°C.
3. For operation above 25°C case temperature, derate linearly at the rate of 71.4 mW/°C. Due to variations in individual device electrical characteristics and thermal resistance, the built-in thermal overload protection may be activated at power levels slightly above or below the rated dissipation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

recommended operating conditions

			MIN	MAX	UNIT
	Supply voltage	V_{CC1}	4.5	7	V
		V_{CC2}	V_{CC1}	36	
V_{IH}	High-level input voltage	$V_{CC1} \le 7$ V	2.3	V_{CC1}	V
		$V_{CC1} \ge 7$ V	2.3	7	V
V_{IL}	Low-level output voltage		−0.3†	1.5	V
T_A	Operating free-air temperature		0	70	°C

† The algebraic convention, in which the least positive (most negative) designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels.

electrical characteristics, V_{CC1} = 5 V, V_{CC2} = 24 V, T_A = 25°C

PARAMETER			TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage		L293: I_{OH} = −1 A L293D: I_{OH} = −0.6 A		V_{CC2}−1.8	V_{CC2}−1.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage		L293: I_{OL} = 1 A L293D: I_{OL} = 0.6 A			1.2	1.8	V
V_{OKH}	High-level output clamp voltage		L293D: I_{OK} = −0.6 A			V_{CC2} + 1.3		V
V_{OKL}	Low-level output clamp voltage		L293D: I_{OK} = 0.6 A			1.3		V
I_{IH}	High-level input current	A	V_I = 7 V			0.2	100	µA
		EN				0.2	10	
I_{IL}	Low-level input current	A	V_I = 0			−3	−10	µA
		EN				−2	−100	
I_{CC1}	Logic supply current		I_O = 0	All outputs at high level		13	22	mA
				All outputs at low level		35	60	
				All outputs at high impedance		8	24	
I_{CC2}	Output supply current		I_O = 0	All outputs at high level		14	24	mA
				All outputs at low level		2	6	
				All outputs at high impedance		2	4	

switching characteristics, V_{CC1} = 5 V, V_{CC2} = 24 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	L293NE, L293DNE			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output from A input	C_L = 30 pF, See Figure 1		800		ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output from A input			400		ns
t_{TLH}	Transition time, low-to-high-level output			300		ns
t_{THL}	Transition time, high-to-low-level output			300		ns

switching characteristics, V_{CC1} = 5 V, V_{CC2} = 24 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	L293DWP, L293N L293DDWP, L293DN			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output from A input	C_L = 30 pF, See Figure 1		750		ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output from A input			200		ns
t_{TLH}	Transition time, low-to-high-level output			100		ns
t_{THL}	Transition time, high-to-low-level output			350		ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

Bearing Data – General

Bearing Data - General

Dimensions

The boundary dimensions of metric stainless steel deep groove ball bearings conform to ISO 15-1998, except for bearings with a WBB1 prefix or an X suffix. Inch series stainless steel deep groove ball bearings conform to ANSI/AFBMA Std. 12.2-1992.

Tolerances

All stainless steel deep groove ball bearings are manufactured as standard to Normal tolerances corresponding to ISO 492-2002.

Internal clearance

SKF stainless steel deep groove ball bearings are manufactured as standard with Normal radial internal clearance to ISO 5753-1991, except for bore diameters < 10 mm (→ **table 2**). Other classes are available upon request. The values for radial internal clearance given in **table 2** are valid for unmounted bearings under zero measuring load.

Misalignment

SKF stainless steel deep groove ball bearings have only a limited ability to accomodate misalignment. The permissible angular misalignment between inner and outer rings which will not produce inadmissibly high additonal stresses in the bearing depends on the radial internal clearance of the bearing in operation, bearing size, the internal design and the forces and moments acting on the bearing. In other words, depending on the various influencing factors, the permissible angular misalignment lies between 2 and 10 minutes of arc. Any misalignment will increase bearing noise and reduce bearing service life. For additional information, contact the SKF application engineering service.

Table 2

Radial internal clearance

Bore diameter d		Radial internal clearance C2		Normal		C3		C4	
over	incl.	min	max	min	max	min	max	min	max
mm		µm							
–	9,525	3	8	5	10	8	13	13	20
10	10	0	7	2	13	8	23	14	29
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33
18	24	1	10	5	20	13	28	20	36
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46
40	50	1	11	6	23	18	36	30	51
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71

Minimum load

For satisfactory operation, SKF stainless steel deep groove ball bearings must always be subjected to a given minimum load.

The requisite minimum radial load to be applied to SKF stainless steel deep groove ball bearings can be estimated using

$$F_{rm} = k_r \left(\frac{\nu n}{1\,000}\right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

where

F_{rm} = minimum radial load [kN]
k_r = minimum load factor
ν = oil viscosity at operating temperature [mm²/s]
n = rotational speed [r/min]
d_m = bearing mean diameter = 0,5 (d + D) [mm]

When starting up at low temperatures or when the lubricant is highly viscous, even greater minimum loads may be required. The weight of the components supported by the bearing, together with external forces, generally exceeds the requisite minimum load. If this is not the case, the bearing must be subjected to an additional radial load.

For applications where stainless steel deep groove ball bearings are used, an axial preload can be applied by adjusing the inner and outer rings against each other or by using springs.

Axial load carrying capacity

SKF stainless steel deep groove ball bearings have the same axial load carrying capacity as standard SKF deep groove ball bearings. If they are subjected to purely axial loads, this load should generally not exceed the value of 0,25 C_0. Excessive axial load can lead to a reduction in bearing service life.

Equivalent bearing loads

Equivalent bearing loads for SKF stainless steel deep groove ball bearings can be calculated the same way as for standard SKF deep groove ball bearings. For additional information, contact the SKF application engineering service.

SKF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Designations

The designations for SKF stainless steel deep groove ball bearings follow the basic SKF designation system except for inch types. However, the prefix 'W' has been implemented to indicate that the material is stainless steel.

Supplementary designations

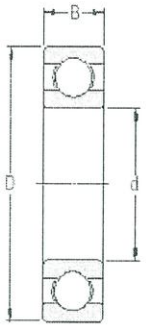
In addition to the designation suffixes that are listed in the *SKF General Catalogue*, the following designation suffixes are relevant for SKF stainlees steel deep groove ball bearings:

W	Stainless steel deep groove ball bearing metric series
D/W	Stainless steel deep groove ball bearing inch series
X	One boundary dimension deviates from ISO standard
BB1	Two or more boundary dimensions deviate from ISO standard
2TS	PTFE seal for stainless steel deep groove ball bearing
2ZS	Shield of pressed sheet steel on both sides of the bearing with retaining ring
R	Flanged outer ring
RZ	Non-contact seal for stainless steel deep groove ball bearing
R-2Z	Shield of pressed sheet steel on both sides of the bearing and flanged outer ring
VT378	Food grade grease with aluminium thickener of consistency 2 to the NLGI Scale for a temperature range –25 to +120 °C (normal fill grade)

For additional information, refer to the *SKF General Catalogue* or the *SKF Interactive Engineering Catalogue* available online at www.skf.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Metric stainless steel deep groove ball bearings
d 0,6 – 10 mm



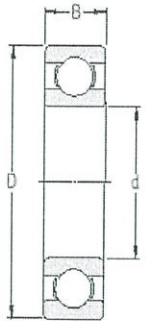
Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	–
0,6	2,5	1	34	7	–	260 000	160 000	0,00002	W 618/0.6
1	3	1	52	12	1	240 000	150 000	0,00003	W 618/1
	3	1,5	52	12	1	240 000	150 000	0,0001	W 638/1
	4	1,6	79	18	1	220 000	140 000	0,0001	W 619/1
1,2	4	1,8	62	16	1	220 000	140 000	0,0001	WBB1-8700
1,5	4	1,2	62	16	1	220 000	140 000	0,0001	W 618/1.5
	5	2	135	36	2	200 000	120 000	0,0002	W 619/1.5
	6	2,5	190	51	2	180 000	110 000	0,00038	W 60/1.5
2	4	1,2	68	19	1	200 000	130 000	0,0001	W 617/2
	5	1,5	94	25	1	200 000	120 000	0,00015	W 618/2
	5	2	94	25	1	200 000	120 000	0,00016	W 618/2 X
	6	2,3	190	51	2	180 000	110 000	0,00028	W 619/2
	6	2,5	190	51	2	180 000	110 000	0,0003	W 619/2 X
	7	2,3	221	67	3	160 000	100 000	0,0005	W 602
	7	2,5	221	67	3	160 000	100 000	0,00042	WBB1-8701
2,5	6	1,8	117	36	2	170 000	110 000	0,0002	W 618/2.5
	7	2,5	221	67	3	160 000	100 000	0,0004	W 619/2.5
	8	2,8	312	88	4	160 000	95 000	0,0006	W 60/2.5
	8	2,5	319	90	4	150 000	95 000	0,0004	WBB1-8702
3	6	2	117	36	2	170 000	110 000	0,0002	W 617/3
	7	2	178	57	2	160 000	100 000	0,00034	W 618/3
	8	3	319	90	4	150 000	95 000	0,0007	W 619/3
	8	2,5	225	72	3	150 000	90 000	0,0006	WBB1-8703
	9	3	325	95	4	140 000	90 000	0,0008	W 603
	9	2,5	325	95	4	140 000	90 000	0,00075	WBB1-8704
	10	4	358	110	5	140 000	90 000	0,0016	W 623
	13	5	741	250	11	110 000	70 000	0,0031	W 633
4	7	2	178	57	3	150 000	95 000	0,0002	W 617/4
	8	2	225	72	3	150 000	90 000	0,0004	W 617/4 X
	9	2,5	364	114	5	140 000	85 000	0,0006	W 618/4
	10	3	553	245	11	130 000	80 000	0,001	W 637/4 X
	11	4	540	176	8	130 000	80 000	0,002	W 619/4
	12	4	540	176	8	130 000	80 000	0,002	W 604
	13	5	741	250	11	110 000	70 000	0,0028	W 624
	16	5	761	265	11	100 000	63 000	0,005	W 634

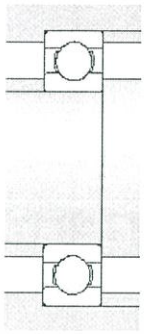
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	–
5	8	2	174	61	3	140 000	85 000	0.0003	W 617/5
	9	2.5	247	85	4	130 000	85 000	0.0005	W 627/5 X
	10	3	247	85	4	130 000	85 000	0.001	WBB1-8705
	11	3	403	143	6	120 000	75 000	0.0012	W 618/5
	13	4	761	335	14	110 000	70 000	0.0024	W 619/5
	14	5	761	260	11	110 000	67 000	0.0031	W 605
	16	5	1 430	630	27	100 000	63 000	0.0046	W 625
	19	6	2 030	880	38	85 000	56 000	0.0075	W 635
6	10	2.5	286	112	5	120 000	75 000	0.0006	W 617/6
	12	3	403	146	6	110 000	70 000	0.0013	W 627/6 X
	13	3.5	618	224	10	110 000	67 000	0.0019	W 618/6
	15	5	761	265	11	100 000	63 000	0.0036	W 619/6
	17	6	1 950	830	36	95 000	60 000	0.0055	W 606
	19	6	1 530	585	25	85 000	56 000	0.0072	W 626
	22	7	1 990	780	34	75 000	48 000	0.0122	W 636
7	11	2.5	260	104	4	110 000	70 000	0.0006	W 617/7
	13	3	312	143	6	100 000	63 000	0.0016	W 627 X
	14	3.5	663	260	11	100 000	63 000	0.0021	W 618/7
	17	5	923	365	16	90 000	56 000	0.0049	W 619/7
	19	6	1 530	585	25	85 000	56 000	0.0063	W 607
	22	7	1 990	780	34	75 000	48 000	0.0117	W 627
	26	9	3 970	1 960	83	67 000	40 000	0.0227	W 637
8	12	2.5	312	140	6	100 000	63 000	0.0007	W 617/8
	14	3.5	462	193	8	95 000	60 000	0.0019	W 637/8 X
	16	4	715	300	12	90 000	56 000	0.0032	W 618/8
	19	6	1 250	455	20	85 000	53 000	0.0063	W 619/8
	22	7	1 990	780	34	75 000	48 000	0.0111	W 608
	24	8	2 470	1 120	48	70 000	45 000	0.0164	W 628
	28	9	3 970	1 960	83	67 000	40 000	0.0273	W 638
9	14	3	520	236	10	95 000	60 000	0.0012	W 617/9
	17	4	761	335	14	85 000	53 000	0.0035	W 618/9
	20	6	2 120	1 060	45	80 000	50 000	0.0072	W 619/9
	24	7	2 030	815	36	70 000	43 000	0.0134	W 609
	26	8	3 970	1 960	83	67 000	40 000	0.0182	W 629
	30	10	4 360	2 320	100	56 000	36 000	0.0335	W 639
10	15	3	488	220	9	85 000	56 000	0.0014	W 61700
	19	5	1 480	830	36	80 000	48 000	0.0048	W 61800
	19	7	1 480	830	36	80 000	48 000	0.0068	W 63800
	22	6	2 340	1 250	54	70 000	45 000	0.0089	W 61900
	26	8	3 970	1 960	83	67 000	40 000	0.0176	W 6000
	30	9	4 360	2 320	100	60 000	36 000	0.0291	W 6200
	35	11	7 020	3 400	146	53 000	34 000	0.0505	W 6300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Metric stainless steel deep groove ball bearings
d 12 – 50 mm





Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	–
12	18	4	527	265	11	75 000	48 000	0.0027	W 61701
	21	5	1 510	900	39	70 000	43 000	0.0054	W 61801
	21	7	1 510	900	39	70 000	43 000	0.0076	W 63801
	24	6	2 510	1 460	62	67 000	40 000	0.0104	W 61901
	28	8	4 420	2 360	102	60 000	36 000	0.0135	W 6001
	32	10	5 720	3 000	127	53 000	34 000	0.0344	W 6201
	37	12	8 320	4 150	176	43 000	30 000	0.0566	W 6301
15	20	3.5	527	290	12	67 000	43 000	0.0022	WBB1-8709
	21	4	527	290	12	67 000	40 000	0.0033	W 61702
	21	3.5	527	290	12	67 000	40 000	0.0031	WBB1-8710
	24	5	1 650	1 080	46	60 000	38 000	0.0064	W 61802
	24	7	1 650	1 080	48	60 000	38 000	0.0091	W 63802
	28	7	3 710	2 240	95	56 000	34 000	0.015	W 61902
	32	9	4 880	2 800	120	50 000	32 000	0.0273	W 6002
	35	11	6 370	3 600	156	48 000	30 000	0.0422	W 6202
	42	13	9 950	5 400	232	40 000	26 000	0.0786	W 6302
16	22	4	553	320	14	63 000	40 000	0.0028	WBB1-8711
	23	4.5	332	585	27	60 000	38 000	0.0040	WBB1-8712
17	23	4	559	340	15	60 000	38 000	0.0036	W 61703
	26	5	1 780	1 270	54	56 000	34 000	0.0073	W 61803
	26	7	1 780	1 270	54	56 000	34 000	0.0102	W 63803
	30	7	3 970	2 550	108	50 000	32 000	0.0161	W 61903
	35	10	4 940	3 150	137	45 000	28 000	0.0367	W 6003
	40	12	8 060	4 750	200	40 000	26 000	0.0622	W 6203
	47	14	11 700	6 550	280	36 000	22 000	0.1085	W 6303
18	24	4	806	630	29	56 000	36 000	0.0040	WBB1-8713
20	25	4	572	365	16	53 000	34 000	0.0032	WBB1-8714
	27	4	585	390	17	50 000	32 000	0.0000054	W 61704
	32	7	3 120	2 080	90	48 000	30 000	0.0162	W 61804
	32	10	3 120	2 080	90	48 000	30 000	0.023	W 63804
	37	9	5 530	3 650	156	43 000	26 000	0.0332	W 61904
	42	12	8 060	5 000	212	38 000	24 000	0.0621	W 6004
	47	14	10 800	6 550	280	34 000	22 000	0.1018	W 6204
	52	15	13 800	7 800	335	34 000	20 000	0.1397	W 6304
25	32	4	618	465	20	43 000	26 000	0.0000065	W 61705
	37	7	3 380	2 500	108	38 000	24 000	0.0199	W 61805
	37	10	3 380	2 500	108	38 000	24 000	0.0283	W 63805
	42	9	6 050	4 500	193	34 000	22 000	0.0395	W 61905
	47	12	8 710	5 850	250	32 000	20 000	0.0731	W 6005
	52	15	11 700	7 650	335	30 000	19 000	0.1241	W 6205
	62	17	17 800	11 200	480	26 000	17 000	0.2277	W 6305

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

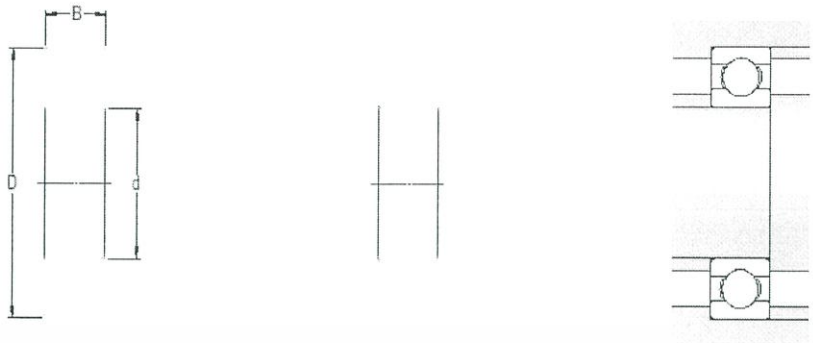
Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
			dynamic	static		Reference speed	Limiting speed		
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	-
30	37	4	650	530	22	36 000	22 000	0.0076	W 61706
	42	7	3 580	2 900	125	34 000	20 000	0.0228	W 61806
	42	10	3 580	2 900	125	34 000	20 000	0.035	W 63806
	47	9	6 240	5 000	212	30 000	19 000	0.0445	W 61906
	55	13	11 400	8 150	355	28 000	17 000	0.108	W 6006
	62	16	16 500	11 200	480	26 000	16 000	0.1872	W 6206
	72	19	22 900	15 000	640	22 000	14 000	0.34	W 6306
35	44	5	1 060	915	39	30 000	19 000	0.014	W 61707
	47	7	3 710	3 350	140	30 000	18 000	0.0269	W 61807
	55	10	9 360	7 650	325	26 000	16 000	0.0701	W 61907
	62	14	13 800	10 200	440	24 000	15 000	0.141	W 6007
	72	17	22 100	15 300	655	22 000	14 000	0.2677	W 6207
	80	21	28 600	19 000	815	20 000	13 000	0.447	W 6307
40	50	6	1 430	1 270	84	26 000	16 000	0.0213	W 61708
	52	7	3 900	3 750	160	26 000	16 000	0.0293	W 61808
	62	12	11 900	9 800	425	24 000	14 000	0.1048	W 61908
	68	15	14 600	11 400	490	22 000	14 000	0.1769	W 6008
	80	18	25 100	17 600	750	20 000	12 000	0.3449	W 6208
45	55	6	1 460	1 370	60	24 000	15 000	0.0236	W 61709
	58	7	4 940	5 000	212	24 000	14 000	0.0345	W 61809
	68	12	12 100	10 800	465	20 000	13 000	0.1179	W 61909
	75	16	18 200	15 000	640	20 000	12 000	0.2281	W 6009
	85	19	28 100	20 400	865	18 000	11 000	0.377	W 6209
50	62	6	1 530	1 530	67	22 000	13 000	0.0348	W 61710
	65	7	5 070	5 500	236	20 000	13 000	0.048	W 61810
	72	12	12 500	11 600	500	19 000	12 000	0.1316	W 61910
	80	16	19 000	16 600	710	18 000	11 000	0.2458	W 6010
	90	20	30 200	23 200	980	17 000	10 000	0.4279	W 6210

SKF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Metric capped stainless steel deep groove ball bearings

d 1,2 – 7 mm



2Z 2RS1

Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	–
1,2	4	2,5	62	16	1	220 000	110 000	0.00012	WBB1-8700-2Z
1,5	4	2	62	16	1	220 000	110 000	0.00014	W 638/1.5-2Z
	5	2,6	135	36	2	200 000	100 000	0.00025	W 639/1.5-2Z
	6	3	190	51	2	180 000	90 000	0.00042	W 630/1.5-2Z
2	4	2	68	19	1	200 000	100 000	0.00009	W 637/2-2Z
	5	2,5	94	25	1	200 000	100 000	0.0002	W 638/2 X-2Z
	5	2,3	94	25	1	200 000	100 000	0.0002	W 638/2-2Z
	6	2,5	190	51	2	180 000	90 000	0.00031	W 619/2 X-2Z
	6	2,3	94	25	1	200 000	100 000	0.00035	W 619/2-2Z
	6	3	190	51	2	180 000	90 000	0.00035	W 639/2-2Z
	7	3	221	67	3	160 000	80 000	0.0005	W 602 X-2ZS
	7	3,5	221	67	3	160 000	80 000	0.0006	W 630/2-2ZS
2,5	6	2,6	117	36	2	170 000	85 000	0.00035	W 638/2.5-2Z
	7	3,5	221	67	3	160 000	80 000	0.00055	W 639/2.5-2ZS
	8	2,8	178	57	2	160 000	80 000	0.00073	W 60/2.5-2Z
	8	4	312	88	4	160 000	80 000	0.00085	W 630/2.5-2Z
3	6	2,5	117	36	2	170 000	85 000	0.00025	W 627/3-2Z
	7	3	178	57	2	–	45 000	0.0005	W 638/3-2RS1
	7	3	178	57	2	160 000	80 000	0.0005	W 638/3-2Z
	8	3	225	72	3	150 000	75 000	0.0006	W 619/3-2Z
	8	4	319	90	4	–	43 000	0.00083	W 639/3-2RS1
	8	4	319	90	4	150 000	75 000	0.00083	W 639/3-2Z
	9	4	325	95	4	140 000	70 000	0.001	W 603 X-2Z
	9	5	325	95	4	140 000	70 000	0.001	W 630/3-2Z
	10	4	358	110	5	–	40 000	0.0017	W 623-2RS1
	10	4	358	110	5	140 000	70 000	0.0017	W 623-2Z
	13	5	741	250	11	–	32 000	0.0033	W 633-2RS1
	13	5	741	250	11	110 000	56 000	0.0032	W 633-2Z
4	7	2,5	143	53	2	150 000	75 000	0.0003	W 627/4-2Z
	7	2,5	143	53	2	150 000	75 000	0.0003	W 627/4-2ZS
	8	3	225	72	3	150 000	75 000	0.0005	W 637/4 X-2Z
	9	4	364	114	5	–	40 000	0.001	W 638/4-2RS1
	9	4	364	114	5	140 000	70 000	0.0009	W 638/4-2Z
	10	4	553	245	11	–	36 000	0.0014	W 638/4 X-2RS1
	10	4	553	245	11	130 000	63 000	0.0013	W 638/4 X-2Z
	11	4	540	176	8	–	36 000	0.0022	W 619/4-2RS1
	11	4	540	176	8	130 000	63 000	0.0022	W 619/4-2Z
	12	4	540	176	8	–	36 000	0.0021	W 604-2RS1
	12	4	540	176	8	130 000	63 000	0.0022	W 604-2Z
	13	5	741	250	11	–	32 000	0.003	W 624-2RS1
	13	5	741	250	11	110 000	56 000	0.003	W 624-2Z
	16	5	761	265	11	–	30 000	0.0052	W 634-2RS1
	16	5	761	265	11	100 000	50 000	0.0053	W 634-2Z

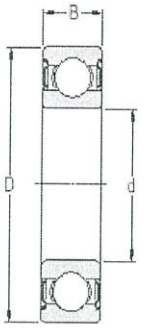
BKF
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
			dynamic	static		Reference speed	Limiting speed		
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	–
5	8	2.5	121	45	2	140 000	70 000	0.0004	W 627/5-2Z
	8	2.5	121	45	2	140 000	70 000	0.0004	W 627/5-2Z5
	9	3	247	85	4	130 000	67 000	0.0005	W 637/5 X-2Z
	9	3	247	85	4	130 000	67 000	0.0006	W 637/5 X-2Z5
	10	4	247	85	4	–	38 000	0.0012	WBB1-8705-2RS1
	10	4	247	85	4	130 000	67 000	0.0012	WBB1-8705-2Z
	11	4	403	143	6	–	34 000	0.0018	W 628/5-2RS1
	11	4	403	143	6	120 000	60 000	0.0015	W 628/5-2Z
	11	5	403	143	6	–	34 000	0.0018	W 638/5-2RS1
	11	5	403	143	6	120 000	60 000	0.0018	W 638/5-2Z
	13	5	761	335	14	110 000	56 000	0.0029	W 619/5 X-2Z
	13	4	761	335	14	–	32 000	0.0023	W 619/5-2RS1
	13	4	761	335	14	110 000	56 000	0.0023	W 619/5-2Z
	14	5	761	260	11	–	30 000	0.0034	W 605-2RS1
	14	5	761	260	11	110 000	53 000	0.0034	W 605-2Z
	16	5	1 430	630	27	–	28 000	0.0049	W 625-2RS1
	16	5	1 430	630	27	100 000	50 000	0.0048	W 625-2Z
	19	6	2 030	880	38	–	24 000	0.008	W 635-2RS1
	19	6	2 030	880	38	85 000	43 000	0.008	W 635-2Z
6	10	3	286	112	5	120 000	60 000	0.0007	W 627/6-2Z
	12	4	403	146	6	–	32 000	0.0016	WBB1-8706-2RS1
	12	4	403	146	6	110 000	56 000	0.0016	WBB1-8706-2Z
	13	5	618	224	10	–	30 000	0.0025	W 628/6-2RS1
	13	5	618	224	10	110 000	53 000	0.0025	W 628/6-2Z
	15	5	761	265	11	–	30 000	0.0038	W 619/6-2RS1
	15	5	761	265	11	100 000	50 000	0.0039	W 619/6-2Z
	16	5	761	265	11	–	30 000	0.0047	W 619/6 X-2RS1
	16	5	761	265	11	100 000	50 000	0.0048	W 619/6 X-2Z
	17	6	1 950	830	36	–	36 000	0.0058	W 606-2RS1
	17	6	1 950	830	36	95 000	48 000	0.006	W 606-2Z
	19	6	1 530	585	25	–	24 000	0.0077	W 626-2RS1
	19	6	1 530	585	25	85 000	43 000	0.0078	W 626-2Z
	22	7	1 990	780	34	–	22 000	0.0129	W 636-2RS1
	22	7	1 990	780	34	75 000	38 000	0.0128	W 636-2Z
7	11	3	260	104	4	110 000	56 000	0.0008	W 627/7-2Z5
	13	4	312	143	6	100 000	50 000	0.002	WBB1-8707-2Z
	14	5	663	260	11	–	28 000	0.0028	W 628/7-2RS1
	14	5	663	260	11	100 000	50 000	0.0028	W 628/7-2Z
	17	5	923	365	16	–	26 000	0.0052	W 619/7-2RS1
	17	5	923	365	16	90 000	45 000	0.0051	W 619/7-2Z
	19	6	1 530	585	25	–	24 000	0.0073	W 607-2RS1
	19	6	1 530	585	25	85 000	43 000	0.0074	W 607-2Z
	22	7	1 990	780	34	–	22 000	0.0124	W 627-2RS1
	22	7	1 990	780	34	75 000	38 000	0.0123	W 627-2Z
	26	9	3 970	1 960	83	–	19 000	0.0236	W 637-2RS1
	26	9	3 970	1 960	83	67 000	32 000	0.0238	W 637-2Z

SKF

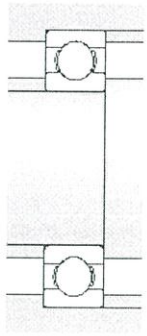
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Metric capped stainless steel deep groove ball bearings
d 8 – 17 mm



2Z

2RS1



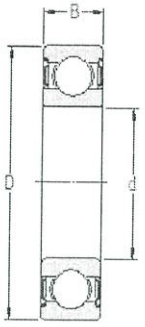
Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	–
8	12	3.5	312	140	6	100 000	53 000	0.0011	W 637/8-2Z
	12	3.5	312	140	6	100 000	50 000	0.001	W 637/8-2ZS
	14	4	319	53	2	–	28 000	0.0021	WBB1-8708-2RS1
	14	4	319	53	2	95 000	48 000	0.002	WBB1-8708-2Z
	16	4	715	300	12	90 000	45 000	0.0031	W 618/8-2Z
	16	5	715	300	12	–	26 000	0.0038	W 628/8-2RS1
	16	5	715	300	12	90 000	45 000	0.0038	W 628/8-2Z
	16	6	715	300	12	90 000	45 000	0.0041	W 638/8-2Z
	19	6	1 250	455	20	–	24 000	0.0065	W 619/8-2RS1
	19	6	1 250	455	20	85 000	43 000	0.0068	W 619/8-2Z
	22	7	1 990	780	34	–	22 000	0.0117	W 608-2RS1
	22	7	1 990	780	34	75 000	38 000	0.0117	W 608-2Z
	24	8	2 470	1 120	48	–	20 000	0.0171	W 628-2RS1
	24	8	2 470	1 120	48	70 000	36 000	0.0172	W 628-2Z
	28	9	3 970	1 960	83	–	19 000	0.0282	W 638-2RS1
	28	9	3 970	1 960	83	67 000	32 000	0.0285	W 638-2Z
9	14	4.5	520	236	10	95 000	45 000	0.0018	W 637/9-2Z
	14	4.5	520	236	10	95 000	45 000	0.0018	W 637/9-2ZS
	17	5	761	335	14	–	24 000	0.0042	W 628/9-2RS1
	17	5	761	335	14	85 000	43 000	0.0041	W 628/9-2Z
	17	6	761	335	14	85 000	43 000	0.0049	W 638/9-2Z
	20	6	2 120	1 060	45	–	22 000	0.0076	W 619/9-2RS1
	20	6	2 120	1 060	45	80 000	40 000	0.0077	W 619/9-2Z
	24	7	2 030	815	36	–	20 000	0.0143	W 609-2RS1
	24	7	2 030	815	36	70 000	36 000	0.0144	W 609-2Z
	26	8	3 970	1 960	83	–	19 000	0.0191	W 629-2RS1
	26	8	3 970	1 960	83	67 000	32 000	0.0193	W 629-2Z
	30	10	4 360	2 320	100	–	16 000	0.0348	W 639-2RS1
	30	10	4 360	2 320	100	56 000	28 000	0.0335	W 639-2Z
10	15	4	488	220	9	–	24 000	0.0018	W 61700 X-2RS1
	15	4	488	220	9	85 000	43 000	0.0018	W 61700 X-2ZS
	19	5	1 480	830	36	–	22 000	0.0052	W 61800-2RS1
	19	5	1 480	830	36	80 000	38 000	0.0051	W 61800-2Z
	19	7	1 480	830	36	–	22 000	0.0071	W 63800-2RS1
	19	7	1 480	830	36	80 000	38 000	0.0071	W 63800-2Z
	22	6	2 340	1 250	54	–	20 000	0.0094	W 61900-2RS1
	22	6	2 340	1 250	54	70 000	36 000	0.0095	W 61900-2Z
	26	8	3 970	1 960	83	–	19 000	0.0185	W 6000-2RS1
	26	8	3 970	1 960	83	67 000	32 000	0.0187	W 6000-2Z
	30	9	4 360	2 320	100	–	16 000	0.0304	W 6200-2RS1
	30	9	4 360	2 320	100	60 000	30 000	0.0306	W 6200-2Z
	35	11	7 020	3 400	146	–	15 000	0.0509	W 6300-2RS1
	35	11	7 020	3 400	146	53 000	26 000	0.0532	W 6300-2Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	–
12	18	4	527	265	11	–	22 000	0.003	W 61701-2RS1
	18	4	527	265	11	75 000	38 000	0.0029	W 61701-2ZS
	21	5	1 510	900	39	–	20 000	0.006	W 61801-2RS1
	21	5	1 510	900	39	70 000	36 000	0.0058	W 61801-2Z
	21	7	1 510	900	39	–	20 000	0.0082	W 63801-2RS1
	21	7	1 510	900	39	70 000	36 000	0.0078	W 63801-2Z
	24	6	2 510	1 460	62	–	19 000	0.011	W 61901-2RS1
	24	6	2 510	1 460	62	67 000	32 000	0.0113	W 61901-2Z
	28	8	4 420	2 360	102	–	16 000	0.0198	W 6001-2RS1
	28	8	4 420	2 360	102	60 000	30 000	0.0199	W 6001-2Z
	32	10	5 720	3 000	127	–	15 000	0.0362	W 6201-2RS1
	32	10	5 720	3 000	127	53 000	28 000	0.0361	W 6201-2Z
	37	12	8 320	4 150	176	–	14 000	0.0572	W 6301-2RS1
	37	12	8 320	4 150	176	48 000	24 000	0.06	W 6301-2Z
15	21	4	527	290	12	–	19 000	0.0036	W 61702-2RS1
	21	4	527	290	12	67 000	32 000	0.0036	W 61702-2Z
	24	5	1 650	1 080	48	–	17 000	0.0071	W 61802-2RS1
	24	5	1 650	1 080	48	60 000	30 000	0.0068	W 61802-2Z
	24	7	1 650	1 080	48	–	17 000	0.0099	W 63802-2RS1
	24	7	1 650	1 080	48	60 000	30 000	0.0096	W 63802-2Z
	28	7	3 710	2 240	95	–	16 000	0.0159	W 61902-2RS1
	28	7	3 710	2 240	95	56 000	28 000	0.0161	W 61902-2Z
	32	9	4 880	2 800	120	–	14 000	0.0288	W 6002-2RS1
	32	9	4 880	2 800	120	50 000	26 000	0.0292	W 6002-2Z
	35	11	6 370	3 600	156	–	13 000	0.0442	W 6202-2RS1
	35	11	6 370	3 600	156	48 000	24 000	0.0442	W 6202-2Z
	42	13	9 950	5 400	232	–	11 000	0.0793	W 6302-2RS1
	42	13	9 950	5 400	232	40 000	20 000	0.0824	W 6302-2Z
16	23	4.5	832	585	27	60 000	30 000	0.0040	WBB1-8712-2ZS
17	23	4	559	340	15	–	17 000	0.0039	W 61703-2RS1
	23	4	559	340	15	60 000	30 000	0.0039	W 61703-2Z
	26	5	1 780	1 270	54	–	16 000	0.008	W 61803-2RS1
	26	5	1 780	1 270	54	56 000	28 000	0.0076	W 61803-2Z
	26	7	1 780	1 270	54	–	16 000	0.011	W 63803-2RS1
	26	7	1 780	1 270	54	56 000	28 000	0.0105	W 63803-2Z
	30	7	3 970	2 550	108	–	14 000	0.0173	W 61903-2RS1
	30	7	3 970	2 550	108	50 000	24 000	0.017	W 61903-2Z
	35	10	4 940	3 150	137	–	13 000	0.0385	W 6003-2RS1
	35	10	4 940	3 150	137	45 000	22 000	0.0388	W 6003-2Z
	40	12	8 060	4 750	200	–	12 000	0.0647	W 6203-2RS1
	40	12	8 060	4 750	200	40 000	20 000	0.0655	W 6203-2Z
	47	14	11 700	6 550	280	–	10 000	0.1128	W 6303-2RS1
	47	14	11 700	6 550	280	36 000	18 000	0.1127	W 6303-2Z

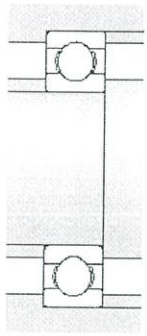
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Metric capped stainless steel deep groove ball bearings
d 20 – 50 mm



2Z

2RS1



Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	–
20	25	4	572	365	16	53 000	26 000	0.0035	WBB1-8714-2ZS
	27	4	585	390	17	–	14 000	0.0059	W 61704-2RS1
	27	4	585	390	17	50 000	26 000	0.0057	W 61704-2ZS
	32	7	3 120	2 080	90	–	13 000	0.0173	W 61804-2RS1
	32	7	3 120	2 080	90	48 000	24 000	0.0178	W 61804-2Z
	32	10	3 120	2 080	90	–	13 000	0.0246	W 63804-2RS1
	32	10	3 120	2 080	90	48 000	24 000	0.0244	W 63804-2Z
	37	9	5 530	3 650	156	–	12 000	0.0354	W 61904-2RS1
	37	9	5 530	3 650	156	43 000	20 000	0.0353	W 61904-2Z
	42	12	8 060	5 000	212	–	11 000	0.0657	W 6004-2RS1
	42	12	8 060	5 000	212	38 000	19 000	0.0651	W 6004-2Z
	47	14	10 800	6 550	280	–	10 000	0.1047	W 6204-2RS1
	47	14	10 800	6 550	280	34 000	17 000	0.106	W 6204-2Z
	52	15	13 800	7 800	335	–	9 500	0.1452	W 6304-2RS1
	52	15	13 800	7 800	335	34 000	17 000	0.146	W 6304-2Z
25	32	4	618	465	20	–	12 000	0.0073	W 61705-2RS1
	37	7	3 380	2 500	108	–	11 000	0.0213	W 61805-2RS1
	37	7	3 380	2 500	108	38 000	19 000	0.021	W 61805-2Z
	37	10	3 380	2 500	108	–	11 000	0.0297	W 63805-2RS1
	37	10	3 380	2 500	108	38 000	19 000	0.0294	W 63805-2Z
	42	9	6 050	4 500	193	–	10 000	0.0422	W 61905-2RS1
	42	9	6 050	4 500	193	34 000	17 000	0.0423	W 61905-2Z
	47	12	8 710	5 850	250	–	9 500	0.077	W 6005-2RS1
	47	12	8 710	5 850	250	32 000	16 000	0.0782	W 6005-2Z
	52	15	11 700	7 650	335	–	8 500	0.1291	W 6205-2RS1
	52	15	11 700	7 650	335	30 000	15 000	0.1299	W 6205-2Z
	62	17	17 800	11 200	480	–	7 500	0.2348	W 6305-2RS1
	62	17	17 800	11 200	480	26 000	13 000	0.2356	W 6305-2Z
30	42	7	3 580	2 900	125	–	9 500	0.0244	W 61806-2RS1
	42	7	3 580	2 900	125	34 000	17 000	0.0241	W 61806-2Z
	42	10	3 580	2 900	125	–	9 500	0.036	W 63806-2RS1
	42	10	3 580	2 900	125	34 000	17 000	0.036	W 63806-2Z
	47	9	6 240	5 000	212	–	8 500	0.0477	W 61906-2RS1
	47	9	6 240	5 000	212	30 000	15 000	0.0485	W 61906-2Z
	55	13	11 400	8 150	355	–	8 000	0.113	W 6006-2RS1
	55	13	11 400	8 150	355	28 000	14 000	0.1141	W 6006-2Z
	62	16	16 500	11 200	480	–	7 000	0.1958	W 6206-2RS1
	62	16	16 500	11 200	480	26 000	13 000	0.1951	W 6206-2Z
	72	19	22 900	15 000	640	–	6 300	0.3512	W 6306-2RS1
	72	19	22 900	15 000	640	22 000	11 000	0.3496	W 6306-2Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			N		N	r/min		kg	–
35	44	5	1 060	915	39	–	8 500	0.0153	W 61707-2RS1
	47	7	3 710	3 350	140	–	8 500	0.0292	W 61807-2RS1
	47	7	3 710	3 350	140	30 000	15 000	0.0282	W 61807-2Z
	55	10	9 360	7 650	325	–	7 500	0.0743	W 61907-2RS1
	55	10	9 360	7 650	325	26 000	13 000	0.0742	W 61907-2Z
	62	14	13 800	10 200	440	–	6 700	0.1475	W 6007-2RS1
	62	14	13 800	10 200	440	24 000	12 000	0.1439	W 6007-2Z
	72	17	22 100	15 300	655	–	6 000	0.2792	W 6207-2RS1
	72	17	22 100	15 300	655	22 000	11 000	0.2788	W 6207-2Z
	80	21	28 600	19 000	815	–	5 600	0.459	W 6307-2RS1
	80	21	28 600	19 000	815	20 000	10 000	0.457	W 6307-2Z
40	50	6	1 430	1 270	54	–	7 500	0.0235	W 61708-2RS1
	52	7	3 900	3 750	160	–	7 500	0.0322	W 61808-2RS1
	52	7	3 900	3 750	160	26 000	13 000	0.0308	W 61808-2Z
	62	12	11 900	9 800	425	–	6 700	0.1102	W 61908-2RS1
	62	12	11 900	9 800	425	24 000	12 000	0.1113	W 61908-2Z
	68	15	14 600	11 400	490	–	6 300	0.1856	W 6008-2RS1
	68	15	14 600	11 400	490	22 000	11 000	0.1859	W 6008-2Z
	80	18	25 100	17 600	750	–	5 600	0.3578	W 6208-2RS1
	80	18	25 100	17 600	750	20 000	10 000	0.3568	W 6208-2Z
45	55	6	1 460	1 370	60	–	6 700	0.0262	W 61709-2RS1
	58	7	4 940	5 000	212	–	6 700	0.0373	W 61809-2RS1
	58	7	4 940	5 000	212	24 000	12 000	0.0363	W 61809-2Z
	68	12	12 100	10 800	465	–	6 000	0.1245	W 61909-2RS1
	68	12	12 100	10 800	465	20 000	10 000	0.1247	W 61909-2Z
	75	16	13 200	15 000	640	–	5 600	0.2388	W 6009-2RS1
	75	16	13 200	15 000	640	20 000	10 000	0.238	W 6009-2Z
	85	19	28 100	20 400	865	–	5 000	0.3937	W 6209-2RS1
	85	19	28 100	20 400	865	18 000	9 000	0.3915	W 6209-2Z
50	62	6	1 530	1 530	67	–	6 000	0.0377	W 61710-2RS1
	65	7	5 070	5 500	236	–	6 000	0.0503	W 61810-2RS1
	65	7	5 070	5 500	236	20 000	10 000	0.0501	W 61810-2Z
	72	12	12 500	11 600	500	–	5 600	0.1338	W 61910-2RS1
	72	12	12 500	11 600	500	19 000	9 500	0.1393	W 61910-2Z
	80	16	19 000	16 600	710	–	5 000	0.2575	W 6010-2RS1
	80	16	19 000	16 600	710	18 000	9 000	0.2572	W 6010-2Z
	90	20	30 200	23 200	980	–	4 300	0.4436	W 6210-2RS1
	90	20	30 200	23 200	980	17 000	8 500	0.4476	W 6210-2Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้