

เครื่องเจาะอัตโนมัติ

AUTOMATIC DRILLING MACHINE

โยชิตา จาสมุต

Yosita Jasamut

สุชานาด เจริญวานิช

Suchanat Charoenvanich

สุนิสา โอเจริญชัย

Sunisa Ocharoenchai

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

เครื่องเจาะอัตโนมัติ

AUTOMATIC DRILLING MACHINE

โดย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องเจาะอัตโนมัติ

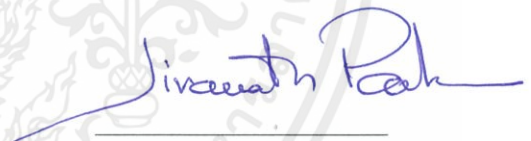
AUTOMATIC DRILLING MACHINE

ผู้จัดทำ นางสาวโยชิตา จาสมุด รหัสประจำตัว 58011036

นางสาวสุชานาถ เจริญวานิช รหัสประจำตัว 58011333

นางสาวสุณิสา โอเจริญชัย รหัสประจำตัว 58011335

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(รศ.จिरวัฒน์ ปานกลาง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	เครื่องเจาะอัตโนมัติ		
นักศึกษา	นางสาวโยชิตา จาสมุด	รหัสนักศึกษา	58011036
	นางสาวสุชานาถ เจริญวานิช	รหัสนักศึกษา	58011333
	นางสาวสุณิสา โอเจริญชัย	รหัสนักศึกษา	58011335
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันความสามารถในงานอุตสาหกรรมหุ่นยนต์เริ่มมีบทบาททางด้านเทคโนโลยี อุตสาหกรรมเนื่องจาก มีความต้องการด้านแรงงานเพิ่มขึ้นและข้อจำกัดของแรงงานคน เช่นงานที่ อันตรายและมีความเสี่ยงเป็นอย่างมาก หรือเป็นงานที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำในการผลิต รวมทั้งเป็นการประหยัดระยะเวลา ทำให้หุ่นยนต์กลายเป็นทางออกของงานด้านอุตสาหกรรม

กระบวนการผลิตในปัจจุบันใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ด้วยระบบเครื่องจักรอัตโนมัติที่ เรียกว่า เครื่องซีเอ็นซี (CNC : Computer Numerical Controller) ควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ จัดการกับข้อมูลที่ป้อนเข้าในระบบและประมวลผลข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของ เครื่องจักร แต่เนื่องจากเครื่องซีเอ็นซีมีขนาดใหญ่ราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นจึง ได้มีการพัฒนาเครื่องซีเอ็นซีที่มีประสิทธิภาพสามารถตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่ม อุตสาหกรรมขนาดเล็ก จึงได้เป็นเครื่องซีเอ็นซีที่ถูกควบคุมการทำงานด้วยข้อมูลคำสั่ง ที่สร้างโดยใช้ โปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์แกน X แกนY และ แกน Z สามารถเคลื่อนที่ได้ตาม ตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการ

Thesis Title	Automatic Drilling Machine	
Student	Miss Yosita Jasamut	Student ID 58011036
	Miss Suchanat Charoenvanich	Student ID 58011333
	Miss Sunisa Ocharoenchai	Student ID 58011335
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2018	
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Jirawat Parnklang	

ABSTRACT

The robotics industry plays a role in industrial technology. Due to increased labor demand and limitations of workers such as dangerous and risky work, job that requires fast and accurate production. It makes the robot become the solution for industrial work.

Nowadays, the production process uses modern technology with automatic machine systems. Computer Numerical Controller (CNC) is a machine controlled by a computer with command data code numbers, letters and symbols, according to standard ISO. However, CNC machines are large and expensive. Therefore, our team has developed an efficient CNC machine that meet the needs of small industrial groups by controlling the stepping motor in the X axis, Y axis and Z axis to the desired position.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญาานิพนธ์เครื่องเจาะอัตโนมัติ (Automatic Drilling Machine) ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ รศ.จิรวัฒน์ ปานกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำตลอดการทำงาน และให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ รวมถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่เป็นอย่างดี นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่มอบวิชาความรู้และให้คำแนะนำเรื่องต่าง ๆ ขอขอบคุณรุ่นพี่ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษา

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆของคณะผู้จัดทำที่คอยให้กำลังใจ และคอยช่วยเหลือเกื้อกูลกันมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจที่จะจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง

โยชิตา จาสมุด
สุชานาถ เจริญวานิช
สุณิสสา โอเจริญชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 Stepper Motor.....	3
2.1.1 การทำงานของ stepper motor	3
2.1.2 ประเภทของ Stepping Motor.....	4
2.1.3 คุณสมบัติเด่นของสเต็ปเปอร์มอเตอร์	5
2.1.4 ข้อดีของสเต็ปเปอร์มอเตอร์.....	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โมดูล A4988 ควบคุม Stepper Motor	6
2.2.1 ขาต่างๆของ A4988.....	6
2.2.2 การต่อใช้งาน.....	7
2.3 Arduino	10
2.3.1 คุณสมบัติของบอร์ด Arduino UNO R3	11
2.3.2 หน้าที่และส่วนประกอบบนบอร์ด Arduino UNO.....	12
2.3.3 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino	14
2.4 เครื่องจ่ายไฟตรง.....	16
2.4.1 เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น (Linear Power Supply) .	16
2.4.2 เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ซิง (Switching Power Supply)	16
.....	16
2.5 G-code.....	16
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	20
3.1 การออกแบบการทำงานของเครื่องเจาะ	20
3.2 การออกแบบวงจรควบคุมเครื่องเจาะ.....	20
3.2.1 วงจรขับ stepper motor.....	20
3.2.2 วงจรควบคุม stepper motor.....	21
3.2.3 การควบคุม stepper motor.....	23
3.3 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องเจาะ	23

3.3.1 กำหนดแกนและการเลื่อน	23
3.3.2 ส่วนประกอบของโครงสร้าง.....	24
3.3.3 การประกอบโครงสร้างและการเพิ่มความแข็งแรง.....	29
3.3.4 ปรับโครงสร้างเครื่องเจาะ.....	30
3.4 ขั้นตอนการแปลง G-code.....	32
3.4.1 เปิด Altium Designer ไปยัง PCB ที่วาดเอาไว้	32
3.4.2 ตั้งค่า General Setting set the precision to 2:5 (0.01 mill resolution	33
3.4.3 เลือก Layer ที่จะใช้งาน ควรเปิดใช้งานทั้งหมด	33
3.4.4 ตั้งค่ารูปแบบของ Gerber ตรวจสอบว่าเลือก “Embedded apertures (RS274X)” แล้ว 5.2 อุปสรรคและปัญหา	34
3.4.5 ตั้งค่าชั้นสูง ตรวจสอบและกดตกลง.....	34
3.4.6 ไปที่แถบเมนู เลือก File -> Fabrication Outputs -> NC Drill Files	35
3.4.7 ตั้งค่าเหมือนการทำ Gerber File.....	36
3.4.8 ใช้โปรแกรม FlatCAM เปิด Gerber File และไฟล์รูเจาะ.....	37
3.4.9 สร้างรูปทรงเรขาคณิต	37
3.4.10 สร้าง Toolpaths.....	38
3.4.11 ส่งออก G-code	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	39
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลโครงการ	59

5.1 สรุปผลการทดลอง	59
5.2 อุปสรรคและปัญหา	59
5.3 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก.....	63



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หน้าที่ของขบวน A4988.....	6
2.2 คุณสมบัติของบอร์ด Arduino UNO R3.....	11
2.3 คำสั่ง G-code.....	17
4.1 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องในแกน x และ แกน y	54
4.2 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องในแกนx.....	56
4.3 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องในแกนy.....	58



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างภายในของ stepper motor.....	3
2.2 การทำงานของ stepper motor.....	4
2.3 Bipolar Stepper Motor	4
2.4 Unipolar Stepper Motor	5
2.5 A4988.....	6
2.6 การต่อใช้งาน A4988	7
2.7 Schematic ของ A4988.....	9
2.8 บอร์ด Arduino UNO	10
2.9 บอร์ด Arduino UNOแบบใช้ชิปMCD แบบDIPและแบบ SMD.....	11
2.10 ส่วนประกอบบนบอร์ด Arduino UNO	12
2.11 การเขียนโปรแกรมบน Arduino(1).....	14
2.12 การเขียนโปรแกรมบน Arduino(2).....	14
2.13 การเขียนโปรแกรมบน Arduino(3).....	15
2.14 การเขียนโปรแกรมบน Arduino(4)	15
3.1 block diagram การทำงานของเครื่องเจาะ	20
3.2 A4988.....	21
3.3 วงจรควบคุม stepper motor	21
3.4 การต่อบอร์ด cnc shield กับบอร์ด Arduino UNO R3	22
3.5 การต่อบอร์ด A4988 และ stepper motor เข้ากับcnc shield	22
3.6 รายละเอียดโครงสร้าง.....	24

3.7 ตัวอย่างการประกอบ	24
3.8 รายละเอียดโครงสร้าง.....	25
3.9 ตัวอย่างการประกอบ.....	25
3.10 Lead Screw, Copper Nut, Aluminum housing, Flexible Coupling, Aligned bearing	26
3.11 รายละเอียดโครงสร้างของ Lead screw และ Copper Nut (Pitch=2mm, Lead=8mm)..	26
3.12 Flexible Coupling / Shaft Couplings 5 mm x 8mm x 25 mm	27
3.13 รายละเอียดโครงสร้างของ Aligned bearing.....	27
3.14 Linear shaft, Linear shaft support, Linear bearing slider.....	27
3.15 รายละเอียดโครงสร้าง Linear shaft support	28
3.16 รายละเอียดโครงสร้างของ Linear bearing slider.....	28
3.17 โครงสร้างของเครื่องเจาะ.....	29
3.18 ส่วนยึดฐานในระนาบเดียวกัน.....	29
3.19 ส่วนยึดฐานและอลูมิเนียมโพรไฟล์ที่ตั้งฉากกัน.....	30
3.20 ส่วนฐาน	30
3.21 โครงสร้างแบบเต็ม.....	30
3.22 โครงสร้างที่ปรับปรุงแล้ว.....	31
3.23 แกน Y และ Z ที่ปรับเปลี่ยนแล้ว	31
3.24 การเซฟไฟล์จากPCBเป็นGerber	32
3.25 ตั้งค่า Gerber Files.....	33
3.26 กำหนดสิ่งที่จะนำออกมาแสดง.....	33
3.27 ตั้งค่า Gerber Files.....	34

3.28 ตั้งค่า Gerber Files.....	34
3.29 การนำไฟล์รูเจาะออกมาใช้งาน.....	35
3.30 ตั้งค่าไฟล์รูเจาะ.....	36
3.31 จากGerber File และไฟล์รูเจาะ.....	37
3.32 การเตรียมลายในการเจาะ.....	37
3.33 การเตรียมรูเจาะในการเจาะ.....	38
3.34 บันทึกลายจากPCBพร้อมรูเจาะเป็นG-code.....	38
4.1 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 2.5 pulse จำนวน 1000 ครั้ง.....	40
4.2 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 5 pulse จำนวน 500 ครั้ง.....	41
4.3 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 7.5 pulse จำนวน 333 ครั้ง.....	42
4.4 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 10 pulse จำนวน 250 ครั้ง.....	43
4.5 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 12.5 pulse จำนวน 200 ครั้ง.....	44
4.6 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 15 pulse จำนวน 166 ครั้ง.....	45
4.7 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 17.5 pulse จำนวน 142 ครั้ง.....	46
4.8 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 20 pulse จำนวน 125 ครั้ง.....	47
4.9 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 22.5 pulse จำนวน 111 ครั้ง.....	48
4.10 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 25 pulse จำนวน 100 ครั้ง.....	49
4.11 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 50 pulse จำนวน 50 ครั้ง.....	50
4.12 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 75 pulse จำนวน 33 ครั้ง.....	51
4.13 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 100 pulse จำนวน 25 ครั้ง.....	52
4.14 การเคลื่อนที่ครึ่งละ 125 pulse จำนวน 20 ครั้ง.....	53

4.15 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองที่1และ2ใน แกน x และแกน y.....	55
4.16 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองเฉลี่ยในแกน x และแกน y.....	55
4.17 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองที่1และ2ใน แกน x.....	57
4.18 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองเฉลี่ยในแกน x.....	57
4.19 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองที่1และ2ใน แกน y.....	59
4.20 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองเฉลี่ยในแกน y.....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความสามารถในงานอุตสาหกรรมหุ่นยนต์เริ่มมีบทบาททางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ในขณะที่งานด้านอุตสาหกรรมมีความต้องการด้านแรงงานเป็นอย่างมาก การจ้างแรงงานจำนวนมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มจำนวนสูงขึ้น และงานอุตสาหกรรมบางงานไม่สามารถที่จะใช้แรงงานเข้าไปทำได้ เช่นงานที่อันตรายและมีความเสี่ยงเป็นอย่างมากหรือเป็นงานที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำในการผลิตรวมทั้งเป็นการประหยัดระยะเวลา ทำให้หุ่นยนต์กลายเป็นทางออกของงานด้านอุตสาหกรรม

กระบวนการผลิตในปัจจุบันนี้ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ด้วยระบบเครื่องจักรอัตโนมัติที่ เรียกว่า เครื่องซีเอ็นซี (CNC : Computer Numerical Controller) เป็นเครื่องจักรที่มีการควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถจัดการกับข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบและประมวลผลข้อมูลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรแต่เนื่องจากเครื่องซีเอ็นซีมีขนาดใหญ่ราคาแพงและต้องนำเข้าที่ต่างประเทศ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเครื่องซีเอ็นซีที่มีประสิทธิภาพสามารถตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดเล็ก จึงได้เป็นเครื่องซีเอ็นซีที่ถูกควบคุมการทำงานด้วยข้อมูลคำสั่ง ที่สร้างโดยใช้โปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์แกน X แกน Y และ แกน Z สามารถเคลื่อนที่ได้ตามตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการ

ในโครงงานนี้จึงเลือกศึกษาและออกแบบเกี่ยวกับเครื่องเจาะอัตโนมัติ (Automatic Drilling Machine) เพื่อตอบสนองความต้องการงานทางด้านอุตสาหกรรม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาและออกแบบเครื่องเจาะที่มีการควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สามารถเจาะรูบนบอร์ด PCB ตามลวดลายบนบอร์ดได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ขั้นตอน	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.ค.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง				↔				
ออกแบบเครื่องพิมพ์สามมิติ				↔	↔			
ซื้ออุปกรณ์ในการทำโครงงาน	↔	↔						
ต่ออุปกรณ์และเขียนโปรแกรม		↔	↔	↔				
วิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาด		↔	↔	↔	↔	↔	↔	
ทำรายงานและนำเสนอผลงาน							↔	↔

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ฝึกวิธีการออกแบบ การคำนวณ และการคิดแบบเชิงวิศวกรรม
2. ได้ฝึกทักษะในการทำงานและฝึกฝนการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม
3. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการทำโครงงานเรื่องนี้ไปประยุกต์ได้

บทที่ 2

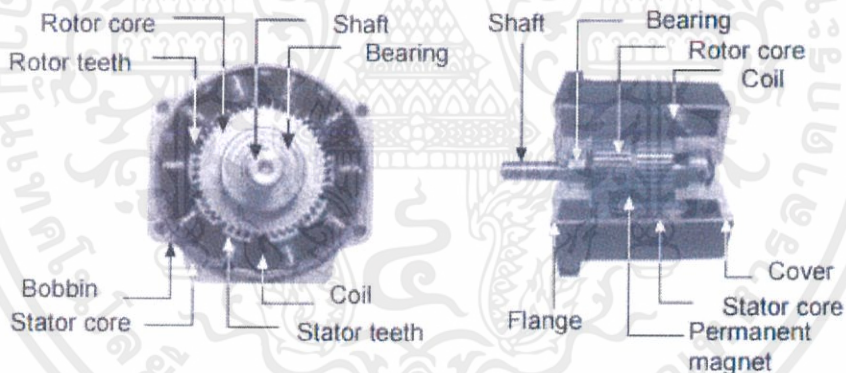
หลักการและทฤษฎี

2.1 Stepper Motor

2.1.1 การทำงานของ stepper motor

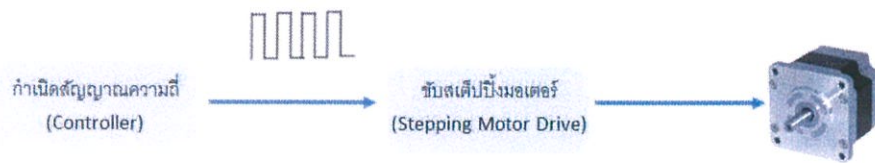
เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อนจะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1,1.5,1.8 หรือ 2 องศา ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของมอเตอร์ จะใช้ในงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ เช่น ระบบขับเคลื่อนหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ (PRINTER)

โครงสร้างภายในนั้นจะประกอบไปด้วยขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ (Stator) ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวน จะมีขี้นยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยแต่ละขี้นที่ยื่นออกมานั้นจะมีขดลวด (คอยล์) พันอยู่ เมื่อมีกระแสผ่านคอยล์จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของ stepper motor

การทำงานของ Stepping Motor หรือ Stepper Motor นั้นจะไม่สามารถขับเคลื่อนหรือทำงานเองได้ จำเป็นต้องมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณหรือจ่ายพัลส์ไปให้วงจรขับสเต็ปปั๊งมอเตอร์ (Stepping Motor Drive) การสร้างสัญญาณนั้นจะเป็นต้องสร้างและเรียงลำดับของสัญญาณด้วยและอีกสิ่งที่สำคัญคือการดูตำแหน่งของสายที่ทำการต่อเข้ากับตัวสเต็ปปั๊งมอเตอร์

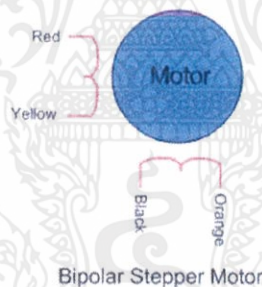


รูปที่ 2.2 การทำงานของ stepper motor

2.1.2 ประเภทของ Stepping Motor

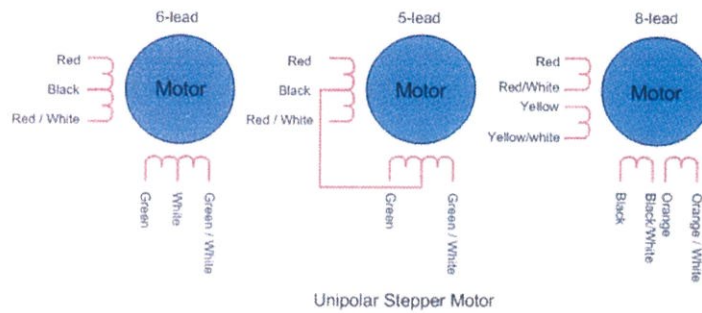
Stepping Motor (สเต็ปป์มอเตอร์) หรือ Stepper Motor (สเต็ปเปอร์มอเตอร์) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ มีลักษณะการขับเคลื่อนโดยการหมุนรอบแกน 360 องศา ภายในนั้นจะประกอบไปด้วยขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ (Stator) ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวน จะมีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยแต่ละซี่ที่ยื่นออกมานั้นจะมีขดลวด (คอยล์) พันอยู่ เมื่อมีกระแสผ่านคอยล์ จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ซึ่งรูปแบบการพันขดลวดบน Stator จะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

แบบ Bipolar (ไบโพลาร์) ในแต่ละขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์จะมีการพันขดลวดหนึ่งขด บางครั้งอาจเรียกลสเต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้ว่า สเต็ปป์มอเตอร์แบบ 2 เฟส



รูปที่ 2.3 Bipolar Stepper Motor

แบบ Unipolar (ยูนิโพลาร์) จะมีการพันขดลวด 2 ขด บนสเตเตอร์ แต่ละขดจะแบ่งเป็น 2 เฟส รวมทั้งตัวมอเตอร์จะมีด้วยกัน 4 เฟส จะมีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปป์มอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สายและ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สาย จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว สเต็ปป์มอเตอร์นี้ยังเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายอีกด้วย



รูปที่ 2.4 Unipolar Stepper Motor

2.1.3 คุณสมบัติเด่นของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

- มุมในการหมุน (rotation angle) มีค่าตามสัดส่วนของจำนวนของพัลส์อินพุตที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์
- ความเร็วในการหมุน (rotation speed) มีค่าตามสัดส่วนและสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณพัลส์อินพุตที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์
- ใช้ในการควบคุมตำแหน่งแบบระบบเปิดที่มีความแม่นยำสูง โดยไม่ต้องใช้สัญญาณป้อนกลับของการกำหนดตำแหน่ง
- ไม่มีความผิดพลาดสะสมของการกำหนดตำแหน่ง
- เหมาะกับงานที่ต้องการกลไกเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ แรงบิดสูง โดยไม่ต้องใช้ระบบเฟืองทดรอบเพิ่มเติม
- สามารถกำเนิดและรักษาแรงบิดได้ในทันทีที่มอเตอร์ถูกกระตุ้นให้ทำงาน
- สามารถรักษาสภาวะการหมุนของแกนได้โดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย
- ไม่มีแปรงถ่าน ทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
- มีลูกปืนความเที่ยงตรงสูง เพื่อช่วยการหมุนของแกนมีความแม่นยำ

2.1.4 ข้อดีของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

- การกำหนดหรือการเกิดเรโซแนนซ์ทำให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้
- การทำให้มอเตอร์สามารถหมุนแกนด้วยความเร็วสูงทำได้ยาก
- หากเกิดแรงบิดสูงสูงเกินกว่าที่รับได้หรือเกิดโอเวอร์ทอร์คมอเตอร์จะสูญเสียการรับรู้ตำแหน่งของแกนหมุน จะต้องกลับไปเริ่มต้นการอินิเชียลใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ให้แรงบิดที่น้อยกว่ามอเตอร์ไฟตรงและมอเตอร์ไฟสลับที่ขนาดของตัวมอเตอร์เท่ากัน

ในเครื่องเจาะนี้ใช้ stepper motor เพราะ stepper motor นี้สามารถกำหนดการเคลื่อนที่จากสัญญาณพัลส์ที่จ่ายไปได้และมีความมีความแม่นยำสูงมีกลไกเคลื่อนที่ความเร็วต่ำ แรงบิดสูงโดยไม่ต้องใช้ระบบเฟืองทดรอบเพิ่มเติม

2.2 โมดูล A4988 ควบคุม Stepper Motor

A4988 คือวงจรสำหรับขับ Bipolar Stepper ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมทิศทาง องศา และความเร็วในการหมุน ดังนั้นจึงต้องมีระบบคอนโทรลการหมุน ซึ่งนิยมใช้ Arduino มาทำหน้าที่เป็นตัวคอนโทรล และสามารถใช้ออร์ดอื่น ๆ นอกเหนือจาก Arduino ได้เช่นกัน

2.2.1 ขาต่างๆของ A4988

A4988 มีขาใช้งานทั้งหมด 16 ขา ซึ่งแบ่งเป็นขาไฟเลี้ยง 4 ขา คอนโทรล 8 ขา และ Output 4 ขา ดังนี้



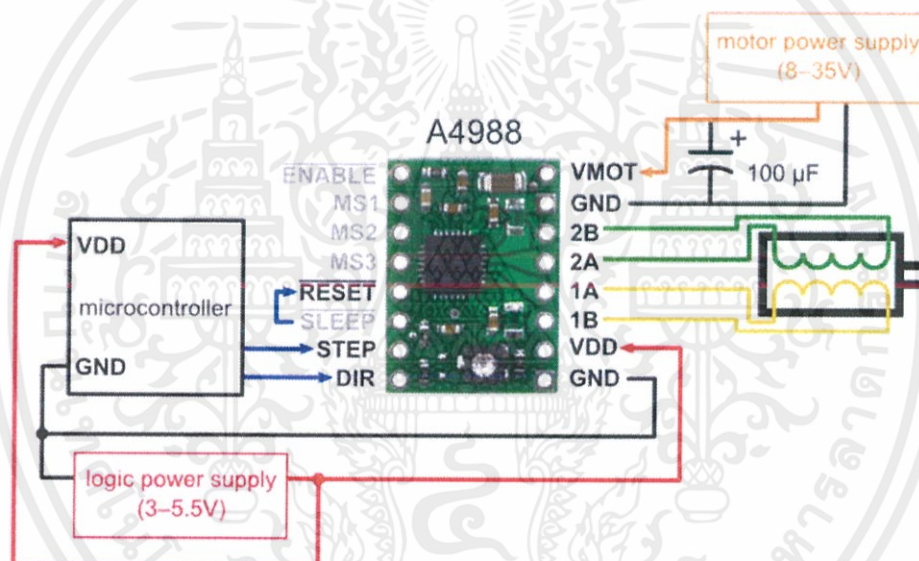
รูปที่ 2.5 A4988

ตารางที่ 2.1 หน้าที่ของขาบน A4988

Pins	Description
VMOT	V Motor ไฟเลี้ยงของมอเตอร์ ตั้งแต่ 8 - 35 V
GND (1)	Ground ของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงมอเตอร์
2B	Output ไปยังสายไฟของมอเตอร์ เส้น 2B
2A	Output ไปยังสายไฟของมอเตอร์ เส้น 2A
1A	Output ไปยังสายไฟของมอเตอร์ เส้น 1A
1B	Output ไปยังสายไฟของมอเตอร์ เส้น 1B
VDD	ไฟเลี้ยง Logic 3 - 5.5 V
GND (2)	Ground ของ ไฟเลี้ยง Logic

DIR	Direction
STEP	Step pulse
Sleep	การเข้าสู่ Sleep Mode
Reset	Reset การทำงาน
MS3	ปรับ Step Resolution
MS2	ปรับ Step Resolution
MS1	ปรับ Step Resolution
Enable	Output Disable / Enable

2.2.2 การต่อใช้งาน



รูปที่ 2.6 การต่อใช้งาน A4988

Stepper ที่ใช้แรงดันต่ำกว่า 8 - 35 V ก็สามารถใช้กับโมดูลตัวนี้ได้ เนื่องจากตัวโมดูล สามารถเปลี่ยนแรงดันที่เข้ามายังขา VMOT ให้กลายเป็นกระแสที่มอเตอร์ต้องใช้ โดยการลดแรงดันและเพิ่มกระแสขึ้นเอง โดยเราจะต้องปรับ Current Limit ของตัวโมดูล ซึ่งผลรวมกำลัง ($P = IV$) ของ Output (ไปยังมอเตอร์) จะน้อยกว่ากำลังที่ Input เข้ามาทาง VMOT เสมอ โดยกำลังที่หายไป จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนนั่นเอง

ต่อตัวเก็บประจุอย่างน้อย 47 uF (แนะนำให้ใช้ 100 - 300 uF) ระหว่างขา VMOT กับ GND เพื่อป้องกันการเกิด LC Voltage Spikes

ขา 2B - 1B ต่อเข้ากับสายไฟของมอเตอร์ตามข้อที่บอกมาใน Datasheet ของมอเตอร์นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VDD และ GND คือขาไฟเลี้ยง Logic 3 - 5.5 V ที่จะกำหนดสถานะ HIGH / LOW ให้เฟสต่างๆของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์เกิดการหมุนตามต้องการ โดยทั่วไปอาจจะใช้ไฟ 5 V จาก Arduino โดยตรงเลย ในกรณีที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้ามากๆ ไฟ 5 V ของ Arduino อาจจ่ายกระแสได้ไม่เพียงพอควรนำแหล่งจ่าย 5 V ภายนอกมาต่อ

DIR และ STEP คือขาควบคุมการหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจะเป็นการระบุ ทิศทาง องศา และความเร็วในการหมุน โดยจะต่อเข้ากับ Pin Control ที่กำหนดไว้ใน Code ของ Arduino

Sleep และ Reset สองขานี้ จะต่อเข้าด้วยกัน เนื่องจากขา Sleep จะทำหน้าที่ส่งกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุดที่ทำได้ให้มอเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์ยังไม่หมุน เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ส่วนขา Reset จะกำหนดจุดเริ่มแรกหรือ Home State ในการหมุนของมอเตอร์ การปล่อยขานี้ให้ว่างไว้หรือเป็น LOW จะทำให้มอเตอร์ไม่หมุน (Disable) ดังนั้นจึงต้องต่อขา Sleep เข้ากับขา Reset เพื่อให้มอเตอร์อยู่ในโหมด Enable

MS1 - MS3 ทั้ง 3 ขานี้จะใช้ในการกำหนด ความละเอียดขององศาในการหมุนของ Stepper (Step Resolution)

Enable จะถูกปล่อยให้เป็น LOW ตลอดการใช้งาน เนื่องจากถ้ามีสถานะเป็น HIGH จะทำให้ Output ไปยัง Motor เป็น Disable Mode

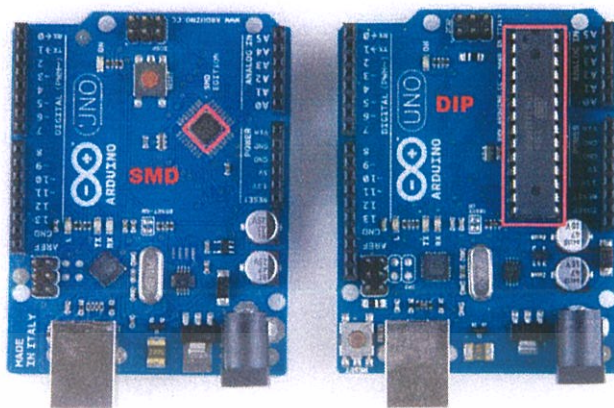
2.3 Arduino

Arduino อ่านว่า (อา-ตุ-อิ-โน้ หรือ อาตุยโน้) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย



รูปที่ 2.8 บอร์ด Arduino UNO

Arduino UNO R3 ถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามชนิดของชิป Microcontroller ที่ใช้ ได้แก่ Arduino UNO R3 แบบธรรมดา จะใช้ชิป MCU แบบ DIP (Dual InLine Package) ซึ่งเป็นชิปที่เสียบเข้ากับ Socket อีกที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ และ Arduino UNO R3 SMD จะใช้ชิป MCU แบบ SMD (Surface Mount Device) ซึ่งเป็นชิปที่ถูกบัดกรีติดลงบนบอร์ด บอร์ดลักษณะนี้จะไม่สามารถถอดเปลี่ยนชิปได้ ซึ่งบอร์ดแบบ SMD จะมีต้นทุนที่ถูกกว่าจึงทำให้ราคาถูกกว่าบอร์ดแบบ DIP แต่ทั้งสองบอร์ดก็มีฟังก์ชัน คุณสมบัติและการใช้งานที่เหมือนกันทุกประการ



รูปที่ 2.9 บอร์ด Arduino UNO แบบใช้ชิป MCU แบบ DIP และแบบ SMD

2.3.1 คุณสมบัติของบอร์ด Arduino UNO R3

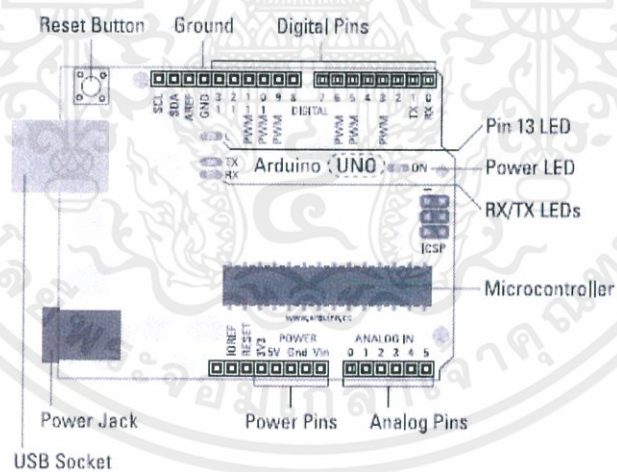
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของบอร์ด Arduino UNO R3

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

2.3.2 หน้าที่และส่วนประกอบบนบอร์ด Arduino UNO



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบบนบอร์ด Arduino UNO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microcontroller Arduino UNO R3 จะใช้ชิป Microcontroller เป็นชิป ผลิตโดยบริษัท Atmel ซึ่งส่วนนี้จะเหมือนสมองของบอร์ด ที่ใช้สำหรับการประมวลผลและควบคุม I/O

Header Socket เป็น Socket ที่เชื่อมต่อมาจากขาของ Microcontroller ซึ่งเรียงอยู่ตรงขอบๆของบอร์ด Arduino ไว้สำหรับต่อสายไฟเพื่อรับค่า Input หรือส่งออก Output โดยจะมี Label กำกับหมายเลข Pin อยู่เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน โดย Header Socket จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ Digital Pin, Analog in Pin และ Power Pin

- Digital Pin เป็น Pin สำหรับรับและส่งสัญญาณที่เป็น Digital โดยมี 2 สถานะ คือ On (0V) หรือ Off (5V)

- Analog in Pin เป็น Pin สำหรับรับค่าสัญญาณที่เป็น Analog

- Power Pin เป็น Pin สำหรับจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะมีทั้ง 5V และ 3.3V และ Vin โดย Vin จะให้ค่าความต่างศักย์เท่ากับไฟที่ต่อมาจาก external power jack

USB Socket ใช้ในการเชื่อมต่อสาย USB เพื่ออัปเดตโปรแกรมลงชิป และจ่ายไฟให้กับบอร์ด

External Power Jack เป็นช่องสำหรับนำ Power Adapter มาเสียบเพื่อต่อไฟจากภายนอก LED

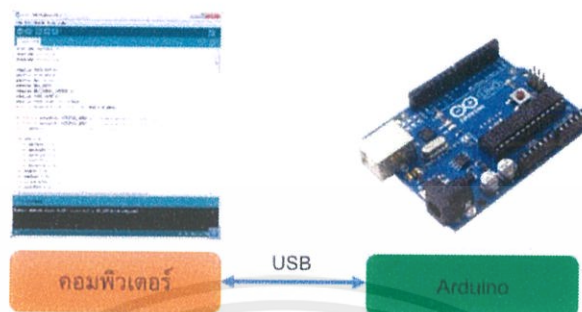
- L: Pin 13 LED (LED on Board) เป็นไฟ LED ที่อยู่บนบอร์ดซึ่งเชื่อมต่อกับ Digital Pin 13 มักใช้สำหรับการทดสอบ

- ON: Power LED เป็นไฟแสดงสถานะไฟเลี้ยงของบอร์ด โดยถ้าไฟขึ้นสีเขียวแสดงว่า บอร์ดทำงาน

- RX, TX: RX/TX LED เป็นไฟที่แสดงสถานะของการส่งข้อมูลว่าขณะนี้บอร์ดกำลังทำการส่งหรือรับข้อมูลอยู่

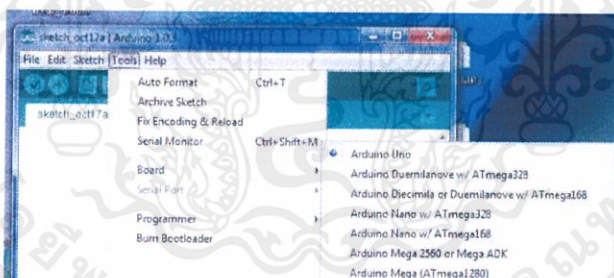
Reset Button เป็นปุ่มสำหรับ Reset โปรแกรมบนบอร์ดให้หยุดการทำงานเดิมและเริ่มต้นทำงานใหม่ตั้งแต่แรก

2.3.3 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino



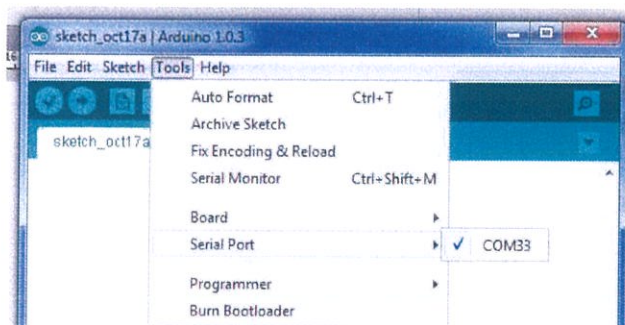
รูปที่ 2.11 การเขียนโปรแกรมบน Arduino(1)

1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software
2. หลังจากเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port



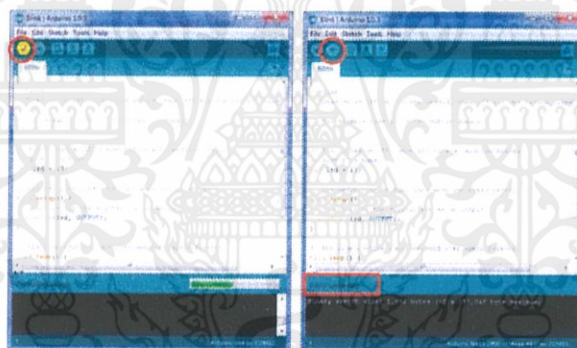
รูปที่ 2.12 การเขียนโปรแกรมบน Arduino(2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การเขียนโปรแกรมบน Arduino(3)

3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ดโปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



รูปที่ 2.14 การเขียนโปรแกรมบน Arduino(4)

ใช้ Arduino เพราะว่ามันใช้งานได้ง่าย สามารถดัดแปลงพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดและโปรแกรมต่อไปได้เหมาะกับผู้ที่เริ่มศึกษา

2.4 เครื่องจ่ายไฟตรง

เครื่องจ่ายไฟตรง(DC power supply) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายกำลังงานให้แก่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่ง เพราะในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างชนิดกันก็ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแตกต่างกันด้วย และในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาปรับปรุงเปลี่ยนแปลง ทำให้เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีโครงสร้างพื้นฐานคล้าย ๆ กันโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.4.1 เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น (Linear Power Supply)

เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้นเป็นเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่นิยมใช้มาตั้งแต่อดีต เพราะออกแบบได้ง่าย และรวดเร็วไม่ซับซ้อน แต่จะเกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในรูปของความร้อน ทำให้ได้ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟต่ำ

2.4.2 เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ซิ่ง (Switching Power Supply)

เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตซ์ซิ่งเป็นเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสที่ใช้หลักการของการควบคุม Duty cycle ให้มีความกว้างหรือแคบ PWM (Pulse width modulation) จะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงดันใช้งานเพิ่มขึ้นหรือต่ำลงได้ ด้วยการกำเนิดความถี่ใช้หลักการของ PPM และใช้ความถี่ที่กำเนิดได้ไปควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่งให้ทำงานในลักษณะสวิตซ์ โดยหลักการต่าง ๆ นี้จะทำให้แรงดันเฉลี่ยสูงขึ้นหรือต่ำลงได้ด้วยการปรับเปลี่ยนค่า Duty cycle

เลือกใช้เครื่องจ่ายไฟตรงขนาด 12 โวลต์ 10 แอมแปร์เพื่อให้เพียงพอต่อการจ่ายมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ในแกน X Y และ Z

2.5 G-code

G-Code ย่อมาจาก Geometric Code เป็นภาษาสำหรับการสั่งงานเครื่องจักรให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้คู่กับเครื่อง CNC (CNC คือเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Computer Numeric Control) ซึ่งเครื่องจักร CNC จะทำการเคลื่อนที่ตามคำสั่ง G-Code

ตารางที่ 2.3 คำสั่ง G-code

รหัสคำสั่ง	ความหมาย/การทำงาน
G00	การเคลื่อนที่เร็ว
G01	การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงโดยมีอัตราป้อน
G02	การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง ทิศทางตามเข็มนาฬิกา
G03	การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง ทิศทวนเข็มนาฬิกา
G17	เลือกระนาบในการทำงาน XY
G18	เลือกระนาบในการทำงาน XZ
G19	เลือกระนาบในการทำงาน ZY
G20	ป้อนข้อมูลที่มีหน่วยเป็นนิ้ว
G21	ป้อนข้อมูลที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
G28	การเคลื่อนกลับไปยังจุดอ้างอิง
G40	ยกเลิกการชดเชยขนาดรัศมีของเครื่องมือตัด
G41	การชดเชยขนาดรัศมีของเครื่องมือตัดทางด้านซ้าย
G42	การชดเชยขนาดรัศมีของเครื่องมือตัดทางด้านขวา
G43	การชดเชยขนาดความยาวของเครื่องมือตัด (ค่าบวก)
G44	การชดเชยขนาดความยาวของเครื่องมือตัด (ค่าลบ)
G49	ยกเลิกการชดเชยขนาดความยาวของเครื่องมือตัด
G54	ปรับตั้งโคออร์ดิเนตของชิ้นงาน
G70	ป้อนข้อมูลที่มีหน่วยเป็นนิ้ว
G71	ป้อนข้อมูลที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
G80	ยกเลิกการทำ วัฏจักร (Cycle)
G81	วัฏจักรการเจาะรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G83	วัฏจักรการเจาะรูลึก
G84	ยกเลิกการสตัดาปเกลียว
G85	วัฏจักรการคว้านรู
G90	การวัดขนาดแบบสมบูรณ์
G91	การวัดขนาดแบบต่อเนื่อง
G92	เปลี่ยนโคออร์ดิเนตของชิ้นงาน
G99	วัฏจักรของการเลื่อนกลับไปยังจุดอ้างอิง

ตัวอย่างคำสั่ง G-Code ที่สำคัญ

G0 หรือ Rapid Movement เป็นคำสั่งที่ให้แกนเดินด้วยความเร็วสูงสุดที่เครื่องกำหนดมาใน Firmware

G1 หรือ Control Movement สำหรับ Code ตัวนี้ คือการสั่งให้แกนเคลื่อนที่ โดยที่ผู้ใช้สามารถกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ โดยใส่ ค่า F แล้วตามด้วยความเร็วที่ต้องการ โดยที่ F จะต้องอยู่ด้านหลังพิกัด X Y Z

G17/G18/G19 เป็นคำสั่งสำหรับการ Set plane

G20/G21 อันนี้ถือว่าเป็น Code ที่สำคัญที่สุดอีกตัวหนึ่ง Code นี้เป็นตัวกำหนดหน่วยในการเดินให้กับเครื่อง ซึ่ง G20 ก็คือหน่วยนิ้ว แต่ถ้า G21 จะเป็นหน่วย มิลลิเมตร

G28 เป็นคำสั่งให้แกนกลับเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้นหรือ Home ซึ่งคำสั่งนี้ แกนจะวิ่งไปชนกับ Limit Switch ซึ่งสวิตซ์ตัวนี้เป็นตัวกำหนดว่าตรงนี้เป็นจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่แกนจะวิ่งไปได้

G90 ให้จุดที่หัวพิมพ์ชนกับ Limit Switch เป็นจุดเริ่มต้น ซึ่งก็คือจุดที่มีค่าเป็น 0 ซึ่งถ้าต้องการจะสั่งให้แกนเคลื่อนที่ไป 5 มิลลิเมตรในแนวแกน X จากจุดเริ่มต้น ก็ให้ใส่ G90 X5 ถ้าอยากให้เดินไป 10 มิลลิเมตรจากจุดเริ่มต้นก็ต้องใส่ G90 X10 แกนจะเคลื่อนที่ต่อไปอีก 5 มิลลิเมตร ไปยังจุดที่แกน X มีระยะห่างจากจุดที่แกนชนกับ Limit Switch 10 มิลลิเมตร

G91 คำสั่งในการเคลื่อนที่แบบสัมพันธ์ คำสั่งนี้จะต่างจากคำสั่ง G90 เพราะจะไม่ใช้จุดที่แกนชนกับ Limit Switch เป็นจุดเริ่มต้น แต่จะใช้จุดที่แกนอยู่ในตำแหน่งปัจจุบันเป็นจุดเริ่มต้นแทน ยกตัวอย่าง เช่น G91 X5 หมายถึงให้แกนเคลื่อนที่ในแกน X ออกไป 5 มิลลิเมตร ณ ตำแหน่งปัจจุบัน ซึ่งข้อดีของ

การใช้ G91 ก็คือ เราสามารถที่จะสั่งให้แกนเคลื่อนที่ได้ โดยไม่จำเป็นต้องรู้ตำแหน่งว่าแกนอยู่ห่างจาก Limit Switch เท่าไหร่ เราก็สามารถสั่งให้แกนเคลื่อนที่ได้ โดยไม่ต้องกังวลว่าแกนจะชนกับชิ้นงาน

ใช้ G-code เพราะเป็นภาษาที่ใช้สั่งงานเครื่องจักรให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งทำให้ควบคุมเครื่องเจาะอัตโนมัติ (Automatic Drilling Machine) ได้ง่ายขึ้น

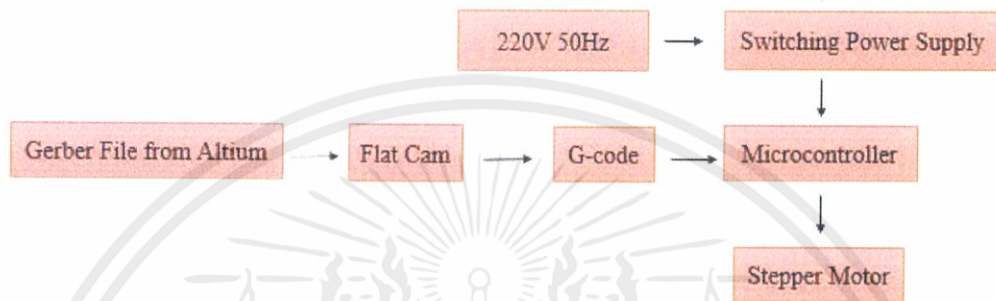


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

3.1 การออกแบบการทำงานของเครื่องเจาะ



รูปที่ 3.1 block diagram การทำงานของเครื่องเจาะ

1. แปลงไฟฟ้าเป็นไฟตรงด้วย switching power supply และจ่ายไปยัง microcontroller และ มอเตอร์หัวเจาะ
2. ป้อนชุดคำสั่งให้ microcontroller ด้วยไฟล์ G-code (โดยตรงหรือจากการแปลง Gerber file จากโปรแกรม Altium ผ่าน Flat Cam)
3. Microcontroller รับชุดคำสั่งและควบคุมการทำงานของ stepping motor ทั้ง 3 แกน
4. Stepping motor สามารถทำงานได้ตามคำสั่งและสามารถเจาะ PCB ได้

3.2 การออกแบบวงจรควบคุมเครื่องเจาะ

3.2.1 วงจรขับ stepper motor

ขับ Stepper Motor ใช้บอร์ด A4988 Stepper Motor Driver เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าของเครื่องเจาะจ่ายแรงดัน 12 โวลต์ และจ่ายกระแส 10 แอมแปร์ ซึ่งอยู่ในช่วงการทำงานของวงจรขับ(8-35 โวลต์) และมีกระแสใช้งานสูงสุด 2 แอมแปร์ต่อมอเตอร์ 1 ตัว โดยต่อ stepper motor เข้าที่ขา 1A 1B 2A และ 2B ของ A4988 Stepper Motor Driver

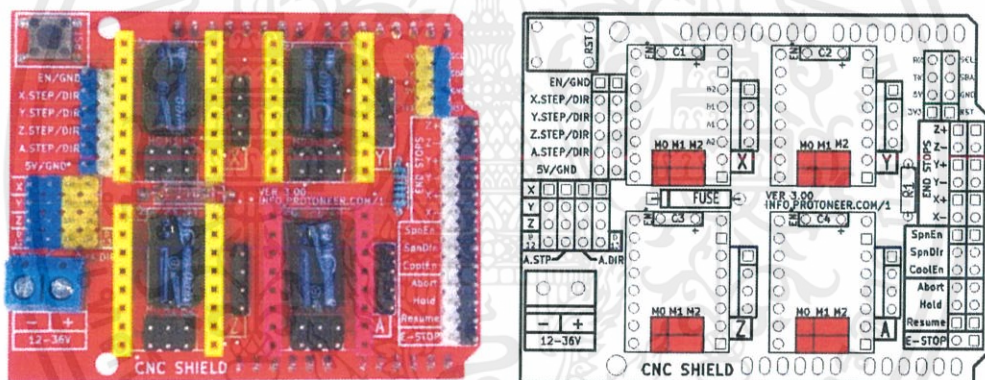


รูปที่ 3.2 A4988

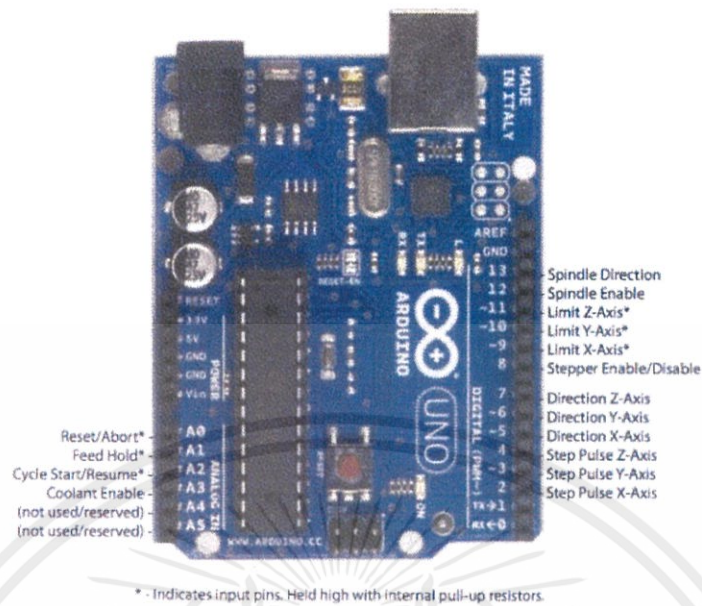
3.2.2 วงจรควบคุม stepper motor

ควบคุมการทำงานของมอเตอร์โดยใช้บอร์ด cnc shield เนื่องจากสะดวกในการต่อใช้งาน มอเตอร์หลายตัว มีช่องจ่ายแรงดันขาเข้าช่องเดียวที่สามารถจ่ายให้มอเตอร์ทุกตัวได้ และมีตัวเก็บประจุระหว่างขา VMOT กับ GND เพื่อป้องกันการเกิด LC Voltage Spikes

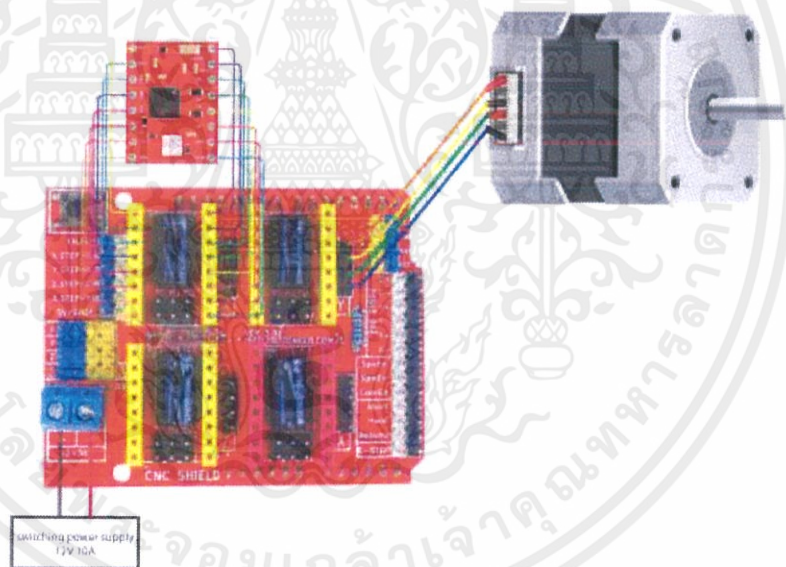
โดยต่อบอร์ด A4988 บนบอร์ด cnc shield ช่องของแกน x แกน y และแกน z จ่ายไฟฟ้าให้บอร์ด cnc shield ขนาด 12 โวลต์ 10 แอมแปร์



รูปที่ 3.3 วงจรควบคุม stepper motor



รูปที่ 3.4 การต่อบอร์ด cnc shield กับบอร์ด Arduino UNO R3



รูปที่ 3.5 การต่อบอร์ด A4988 และ stepper motor เข้ากับ cnc shield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การควบคุม stepper motor

ควบคุมมอเตอร์โดย Upload โปรแกรม GRBL ลงใน Arduino UNO R3 และใช้ G-code ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และตั้งค่า Parameter เบื้องต้น ดังนี้

1. พิมพ์ \$\$ เพื่อขอดูค่า GRBL setting
2. พิมพ์ \$100=25 เพื่อตั้งค่า step per millimeter ของ stepper motor ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน x
3. พิมพ์ \$101=25 เพื่อตั้งค่า step per millimeter ของ stepper motor ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน y
4. พิมพ์ \$102=25 เพื่อตั้งค่า step per millimeter ของ stepper motor ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน z

3.2.3.1 การคำนวณ step per millimeter

คำนวณจากการหมุนของมอเตอร์ 1 รอบ 360° จากการต่อวงจรเป็น full step โดยมุมที่ละ 1.8° --คำนวณหาจำนวน step ของมอเตอร์

$$\text{จำนวน step} = \frac{\text{องศาในการหมุนมอเตอร์ 1 รอบ}}{\text{องศาในการหมุนมอเตอร์ 1 step}} = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200 \text{ step}$$

คำนวณหา step per millimeter ที่ lead screw 8mm

$$\text{Step per millimeter} = \frac{\text{จำนวน pulse ในการหมุน 1 รอบ}}{\text{ระยะ pitch ของ lead screw}} = \frac{200}{8} = 25 \text{ step per millimeter}$$

3.3 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องเจาะ

3.3.1 กำหนดแกนและการเคลื่อน

- ฐานเลื่อนในแนวแกน X สามารถเลื่อนได้ 40 เซนติเมตร พื้นที่ที่สามารถเจาะได้คือ 20 เซนติเมตร

- ส่วนหัวเจาะสามารถเลื่อนในแนวแกน Y 22 เซนติเมตร และ Z 13 เซนติเมตร การเลื่อนหัวเจาะ ทำให้อาณาเขตของฐานเครื่องเจาะมีขนาดเท่ากับระยะที่ต้องการเจาะ ประหยัดพื้นที่ของเครื่องเจาะมากกว่าการเลื่อนฐาน แต่ในแนวแกน X กำหนดให้เลื่อนที่ฐานเพื่อง่ายต่อการออกแบบโครงสร้างและการควบคุมความสมดุลของเครื่องเจาะ

- ความสามารถในการเจาะขึ้นอยู่กับกำลังของมอเตอร์ ในโครงงานนี้เพื่อเจาะ PCB จึงเลือกเครื่องเจียร์ 135 วัตต์

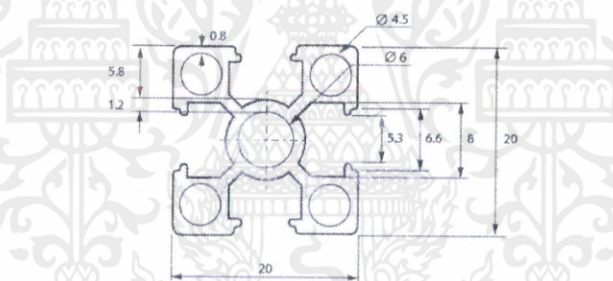
3.3.2 ส่วนประกอบของโครงสร้าง

- อลูมิเนียมโปรไฟล์

คุณสมบัติอลูมิเนียม (Aluminum Profile) ที่ดีกว่าโลหะทั่วไปคือ

- 1.เบาแต่แข็งแรง
- 2.ทนทานต่อการสึกกร่อน
- 3.นำพาความร้อนและกระแสไฟได้ดี ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟ
- 4.ทนความร้อนได้ดี คงรูปไม่เกิดการบิดงอ
- 5.สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ได้มากมาย
- 6.สามารถเชื่อมต่อได้ด้วยวิธีการที่หลากหลายและทำได้ง่าย

7.อุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับโปรไฟล์มีหลากหลาย ทำให้มีการใช้งานในวงกว้าง และหากมีความเสียหายก็สามารถเปลี่ยนเฉพาะชิ้นส่วนที่เสียหายได้ไม่จำเป็นต้องยกเปลี่ยนทั้งชุด
 โครงการนี้จึงเลือกใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์โดยการพิจารณาจากคุณสมบัติข้างต้น เลือกใช้เป็นอลูมิเนียมโปรไฟล์ 20x20 mm นี้อัตรรวมตา สามารถรับน้ำหนัก 16 กิโลกรัม/เมตร Nut (นัทสำหรับใส่ในร่อง) นี้อัตตัวเมียขนาด M5



รูปที่ 3.6 รายละเอียดโครงสร้าง

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bracket

ใช้ในการประกอบอลูมิเนียมโปรไฟล์ 2 ชั้นเป็นมุมฉาก ง่ายต่อการประกอบและแก้ไข รับน้ำหนักสูงสุด 60 กิโลกรัม สามารถใช้สกรูขนาด M5x8 หรือเล็กกว่า



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการประกอบ

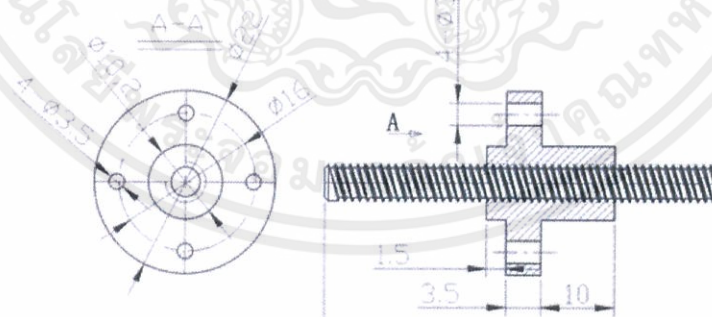
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Lead Screw, Copper Nut, Aluminum housing, Flexible Coupling, Aligned bearing

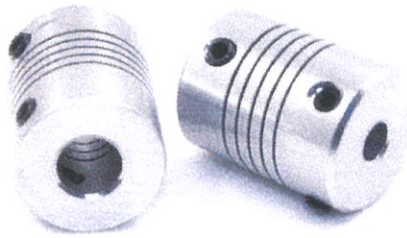
เมื่อมอเตอร์ที่ยึดกับ lead screw โดยใช้ flexible coupling หมุนขับเคลื่อน Copper Nut และ Aluminum housing ก็จะเคลื่อนไปตามความยาวของสกรู พาแทนเลื่อนเคลื่อนที่ในเชิงเส้น Aligned bearing จะประคองอีกด้านหนึ่งของ lead screw ให้แทนเลื่อนอยู่ในแนวระนาบ



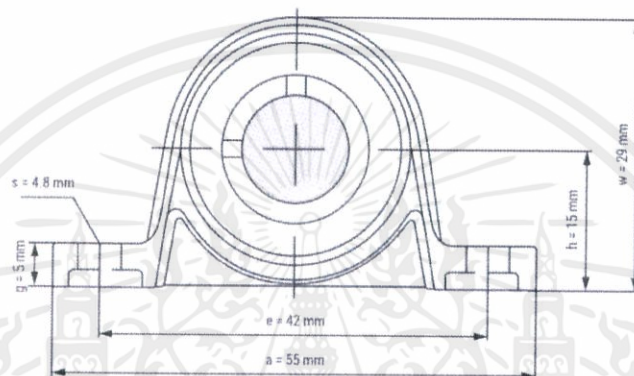
รูปที่ 3.10 Lead Screw, Copper Nut, Aluminum housing, Flexible Coupling, Aligned bearing



รูปที่ 3.11 รายละเอียดโครงสร้างของ Lead screw และ Copper Nut (Pitch=2mm, Lead=8mm)



รูปที่ 3.12 Flexible Coupling / Shaft Couplings 5 mm x 8mm x 25 mm



รูปที่ 3.13 รายละเอียดโครงสร้างของ Aligned bearing

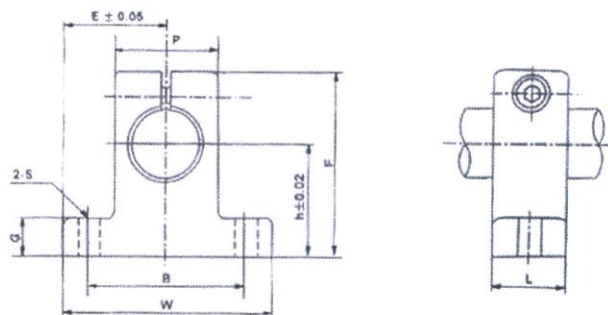
- linear shaft, Linear shaft support, Linear bearing slider

Linear shaft support เป็นส่วนที่ยึดกับโครงสร้าง เพื่อประคอง linear shaft ให้ Linear bearing slider ที่ยึดกับแท่นเลื่อนให้เลื่อนในแนวตรง ไม่หมุน



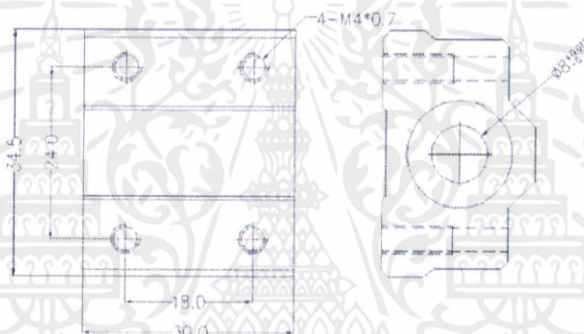
รูปที่ 3.14 Linear shaft, Linear shaft support, Linear bearing slider

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



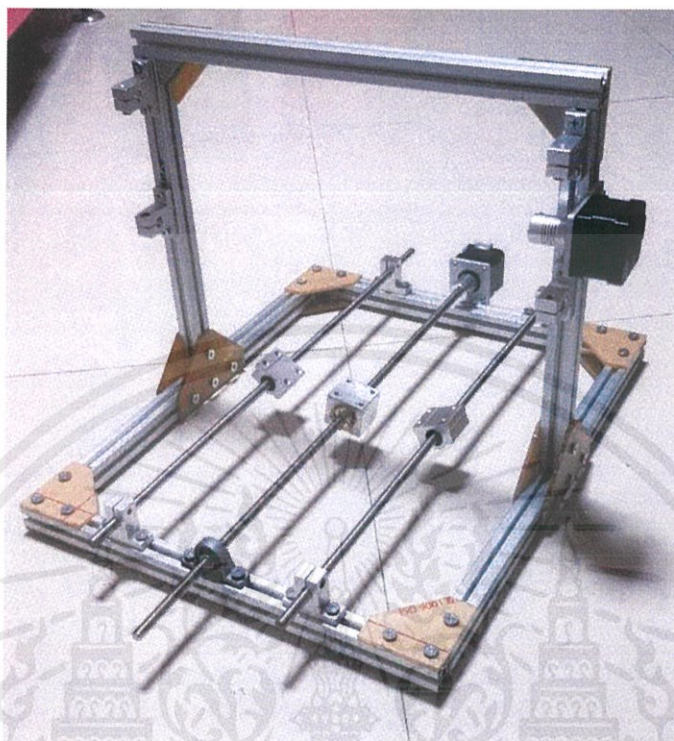
	Rod Dia.	h	E	W	L	F	G	P	B	S	Set Screw	Attach Screws	Weight (kg)
SK8	8	20	21	42	14	32.8	6	18	32	5.5	M4	M5	0.024

รูปที่ 3.15 รายละเอียดโครงสร้าง Linear shaft support



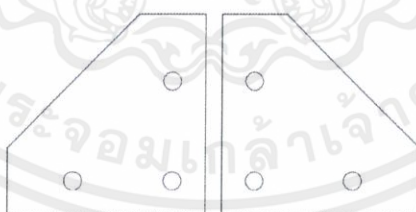
รูปที่ 3.16 รายละเอียดโครงสร้างของ Linear bearing slider

3.3.3 การประกอบโครงสร้างและการเพิ่มความแข็งแรง



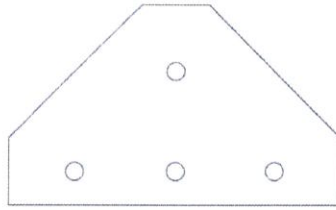
รูปที่ 3.17 โครงสร้างของเครื่องเจาะ

การยึดอลูมิเนียมโปรไฟล์ด้วย bracket การเคลื่อนย้ายโครงสร้าง อาจจะทำให้โครงสร้างเกิดการคลาดเคลื่อนหรือหลุดออกจากกัน จึงมีการออกแบบส่วนประกอบอะคริลิกเพื่อเพิ่มความมั่นคงให้โครงสร้าง

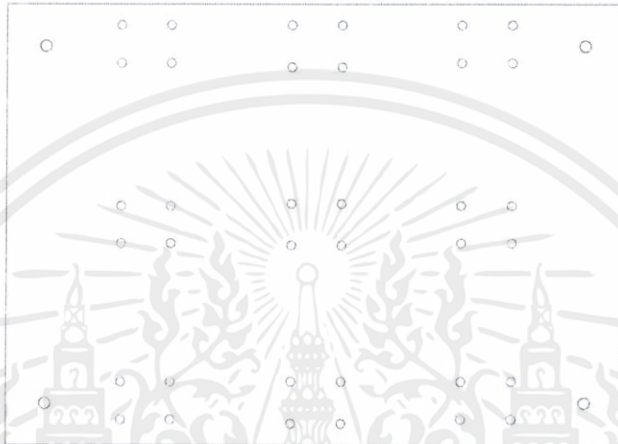


รูปที่ 3.18 ส่วนยึดฐานในระนาบเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ส่วนยึดฐานและอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่ตั้งฉากกัน

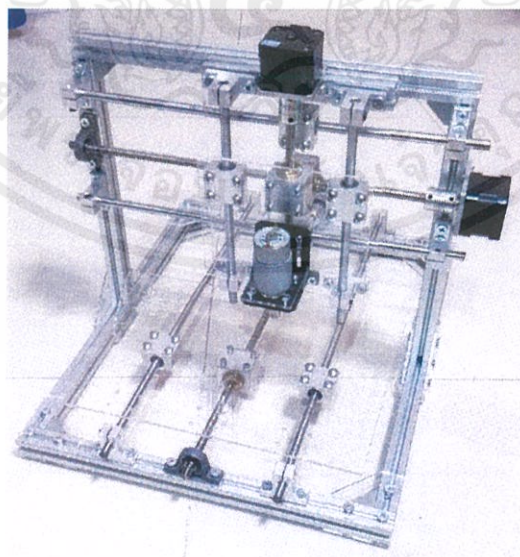


รูปที่ 3.20 ส่วนฐาน

3.3.4 ปรับโครงสร้างเครื่องเจาะ

แนวเคลื่อนที่ในแกน Y พบปัญหาในการเคลื่อนที่จึงมีการปรับเปลี่ยนดังนี้

- โครงสร้างแบบเดิม

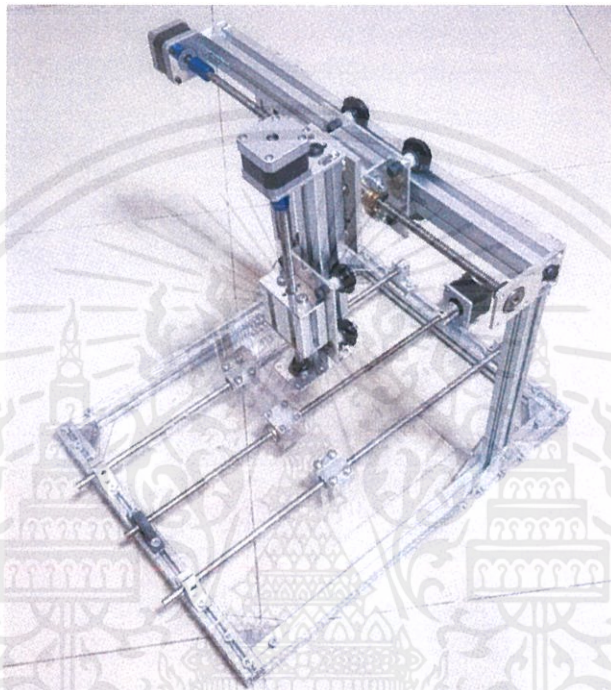


รูปที่ 3.21 โครงสร้างแบบเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกน Y มีการยึดกับโครงสร้างด้วย 3 ส่วนคือ linear shaft 2 ส่วนและ lead screw 1 ส่วน เมื่อมีการใช้งานเครื่องเจาะเป็นเวลานานโครงสร้างบางส่วนอาจมีการเลื่อนเพราะ

1. การรับน้ำหนักหัวเจาะและแกน Z
2. support และ bearing ยึดบนอลูมิเนียมโปรไฟล์ เมื่อน้ำหนักของหัวเจาะทำให้เกิดการเลื่อน
 - โครงสร้างที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว



รูปที่ 3.22 โครงสร้างที่ปรับปรุงแล้ว



รูปที่ 3.23 แกน Y และ Z ที่ปรับเปลี่ยนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

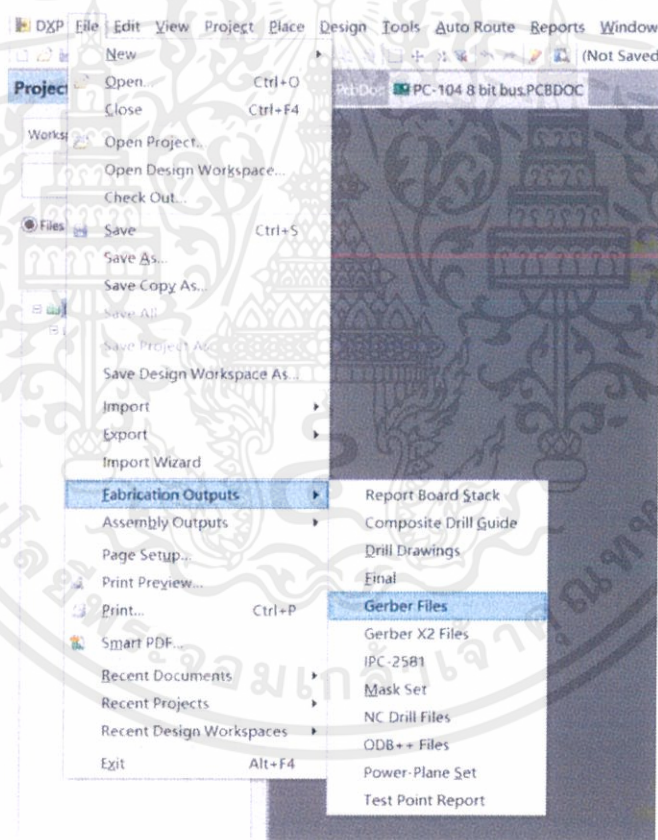
แกน Y ที่ปรับแล้ว ยึดกับโครงสร้างเพียงส่วนเดียว (ไม่ได้ใช้การประคองจาก Linear shaft support) เลื่อนบนอลูมิเนียมโปรไฟล์โดยใช้ล้อเลื่อนที่ในร่องอลูมิเนียมโปรไฟล์ ทำให้รับน้ำหนักจากหัวเจาะและแกน Z ได้มั่นคงขึ้น

เมื่อใช้งานเครื่องเจาะเป็นระยะเวลานาน โครงสร้างก็จะไม่พบปัญหาที่พบในเครื่องเจาะแบบเดิมอีก

3.4 ขั้นตอนการแปลง G-code

3.4.1 เปิด Altium Designer ไปยัง PCB ที่วาดเอาไว้

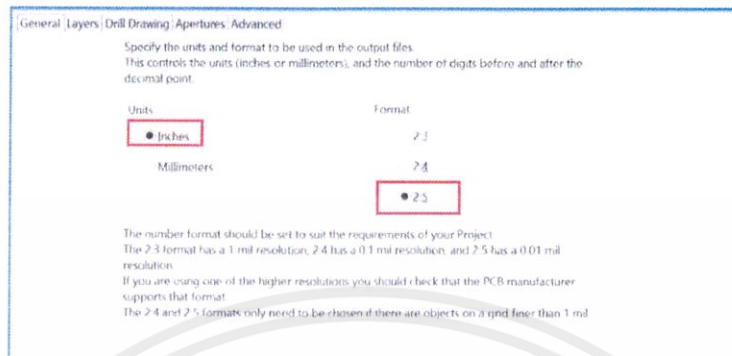
ไปยังแถบเมนูด้านบนเลือก File -> Fabrication Outputs -> Gerber Files.



รูปที่ 3.24 การเซฟไฟล์จากPCBเป็นGerber

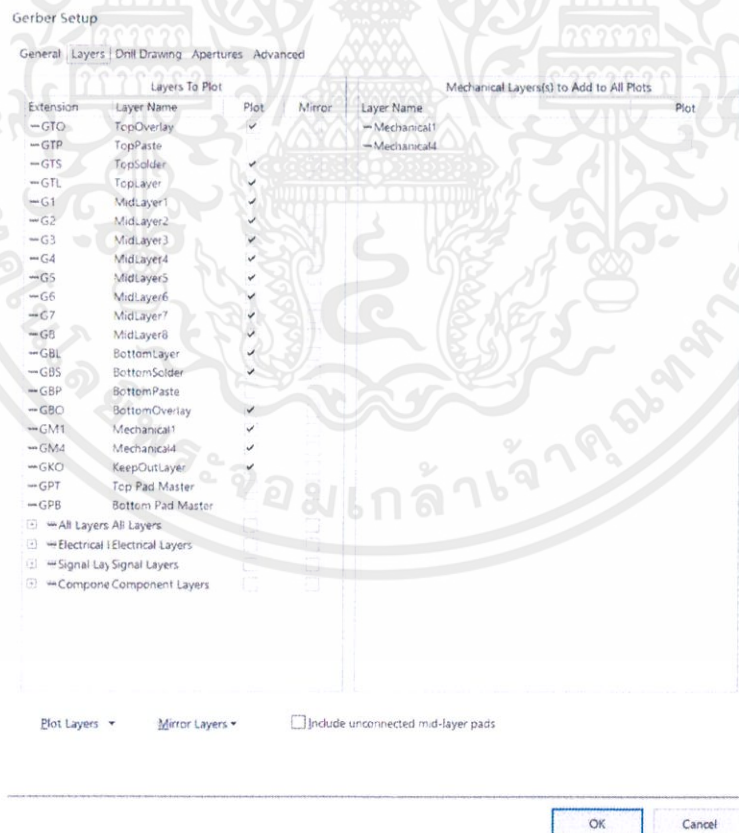
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ตั้งค่า General Setting set the precision to 2:5 (0.01 mill resolution)



รูปที่ 3.25 ตั้งค่า Gerber Files

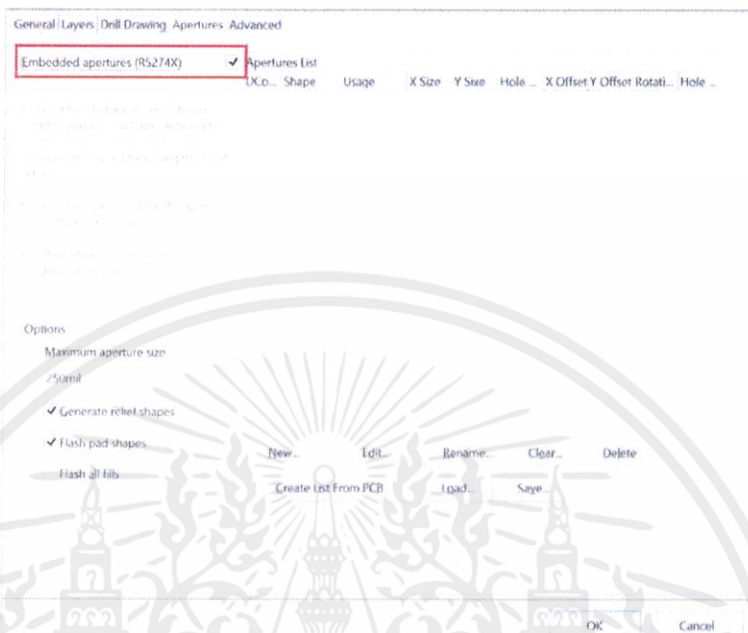
3.4.3 เลือก Layer ที่จะใช้งาน ควรเปิดใช้งานทั้งหมด



รูปที่ 3.26 กำหนดสิ่งที่จะนำออกมาแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ตั้งค่ารูปแบบของ Gerber ตรวจสอบว่าเลือก “Embedded apertures (RS274X)” แล้ว



รูปที่ 3.27 ตั้งค่า Gerber Files

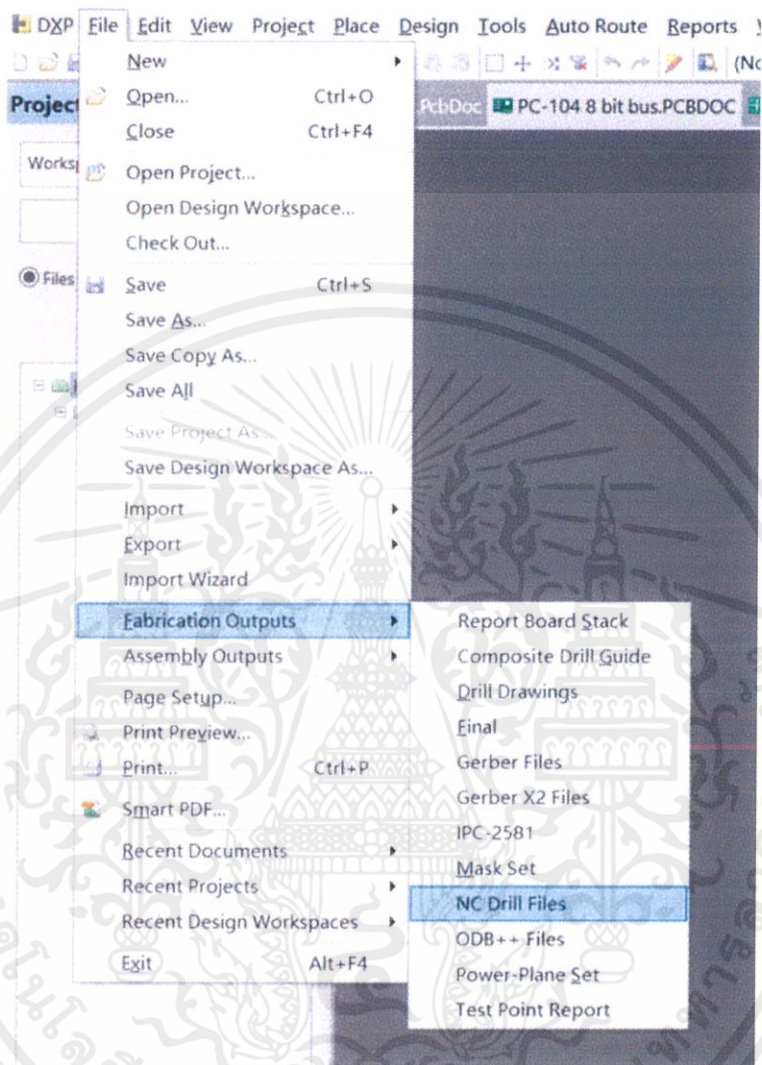
3.4.5 ตั้งค่าขั้นสูง ตรวจสอบและกดตกลง



รูปที่ 3.28 ตั้งค่า Gerber Files

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

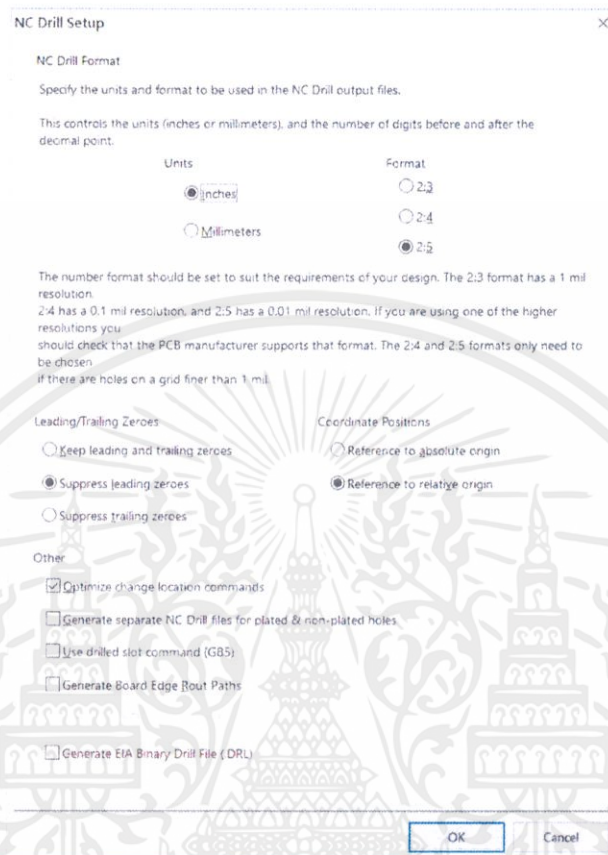
3.4.6 ไปที่แถบเมนู เลือก File -> Fabrication Outputs -> NC Drill Files



รูปที่ 3.29 การนำไฟล์รูเจาะออกมาใช้งาน

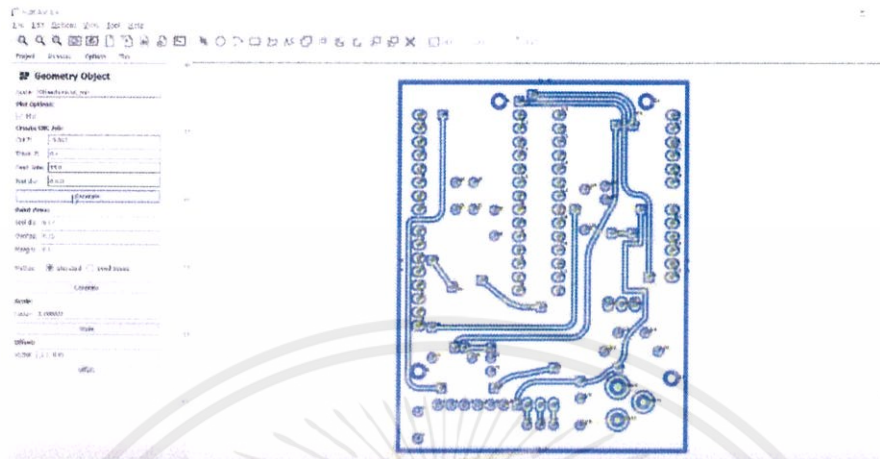
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 ตั้งค่าเหมือนการทำ Gerber File



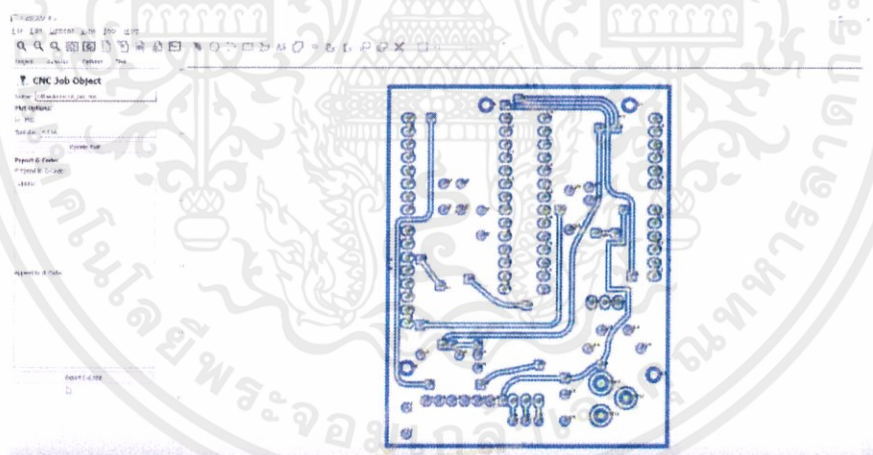
รูปที่ 3.30 ตั้งค่าไฟล์รูเจาะ

3.4.10 สร้าง Toolpaths



รูปที่ 3.33 การเตรียมรูเจาะในการเจาะ

3.4.11 ส่งออก G-code



รูปที่ 3.34 บันทึกกลายเป็น PCB พร้อมรูเจาะเป็น Gcode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ทดสอบความแม่นยำของเครื่องในแกน x และ แกน y ที่ระยะ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 มิลลิเมตร โดยป้อนค่า step ที่ได้จากการคำนวณ

จากการคำนวณหา step per millimeter ที่ lead screw 8mm

$$\text{Step per millimeter} = \frac{\text{จำนวน pulse ในการหมุน 1 รอบ}}{\text{ระยะ pitch ของ lead screw}} = \frac{200}{8} = 25 \text{ step per millimeter}$$

จะได้ว่าถ้าต้องการเคลื่อนที่ระยะ 1 มิลลิเมตร จะต้องใช้ 25 step ดังนั้น ถ้าต้องการเคลื่อนที่ระยะ A

มิลลิเมตร ต้องใช้ $\frac{25A}{1}$ step



จากการคำนวณที่ระยะ 0.1 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 0.1 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 2.5 step



รูปที่4.1 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 2.5 step จำนวน 1000 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 0.2 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 0.2 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 5 step



รูปที่4.2 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 5 step จำนวน 500 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 0.3 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 0.3 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 7.5 step



รูปที่ 4.3 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 7.5 step จำนวน 333 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 0.4 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 0.4 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 10 step



รูปที่4.4 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 step จำนวน 250 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 0.5 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 0.5 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 12.5 step



รูปที่ 4.5 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 12.5 step จำนวน 200 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 0.6 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 0.6 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 15 step



รูปที่ 4.6 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 15 step จำนวน 166 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 0.7 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 0.7 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 17.5 step



รูปที่4.7 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 17.5 step จำนวน 142 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 0.8 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 0.8 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 20 step



รูปที่4.8 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 20 step จำนวน 125 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 0.9 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 0.9 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 22.5 step



รูปที่ 4.9 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 22.5 step จำนวน 111 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 1.0 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 1.0 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 25 step



รูปที่ 4.10 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 25 step จำนวน 100 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 2.0 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 2.0 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 50 step



รูปที่ 4.11 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 50 step จำนวน 50 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 3.0 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 3.0 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 75 step



รูปที่4.12 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 75 step จำนวน 33 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 4.0 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 4.0 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 100 step



รูปที่4.13 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 100 step จำนวน 25 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณที่ระยะ 5.0 มิลลิเมตร

ในการเคลื่อนที่ 5.0 มิลลิเมตร ใช้ step จำนวน 125 step



รูปที่4.14 แสดงการเคลื่อนที่ครั้งละ 125 step จำนวน 20 ครั้งในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องในแกน x และ แกน y

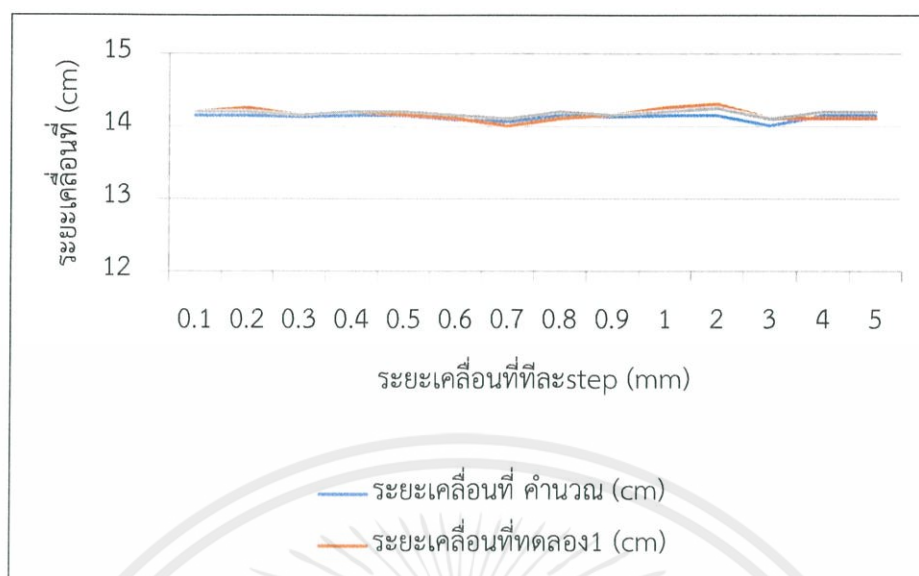
ระยะ (mm)	ระยะ เคลื่อนที่ จำนวน (cm)	ระยะ เคลื่อนที่ ทดลอง1 (cm)	ระยะ เคลื่อนที่ ทดลอง2 (cm)	ระยะ เคลื่อนที่ เฉลี่ย (cm)	ค่า ผิดพลาด ด 1 (%)	ค่า ผิดพลาด ด 2 (%)	ค่า ผิดพลาด เฉลี่ย (%)	จำนวน step (ทดลอง)	จำนวน step (คำนวณ)
0.10	14.1421	14.20	14.20	14.200	0.4092	0.4092	0.4092	3550.0	3535.5
0.20	14.1421	14.25	14.20	14.225	0.7627	0.4092	0.5859	3556.3	3535.5
0.30	14.1280	14.15	14.15	14.150	0.1558	0.1558	0.1558	3537.5	3532.0
0.40	14.1421	14.20	14.20	14.200	0.4092	0.4092	0.4092	3550.0	3535.5
0.50	14.1421	14.15	14.20	14.175	0.0556	0.4092	0.2324	3543.8	3535.5
0.60	14.0855	14.10	14.15	14.125	0.1033	0.4582	0.2808	3531.3	3521.4
0.70	14.0570	14.00	14.10	14.050	0.4057	0.3057	0.3557	3512.5	3514.3
0.80	14.1421	14.10	14.20	14.150	0.2979	0.4092	0.3536	3537.5	3535.5
0.90	14.1280	14.15	14.15	14.150	0.1558	0.1558	0.1558	3537.5	3532.0
1.00	14.1421	14.25	14.20	14.225	0.7627	0.4092	0.5859	3556.3	3535.5
2.00	14.1421	14.30	14.25	14.275	1.1163	0.7627	0.9395	3568.8	3535.5
3.00	14.0007	14.10	14.10	14.100	0.7091	0.7091	0.7091	3525.0	3500.2
4.00	14.1421	14.10	14.20	14.150	0.2979	0.4092	0.3536	3537.5	3535.5
5.00	14.1421	14.10	14.20	14.150	0.2979	0.4092	0.3536	3537.5	3535.5

จากตารางระยะเคลื่อนที่(คำนวณ)หาจาก

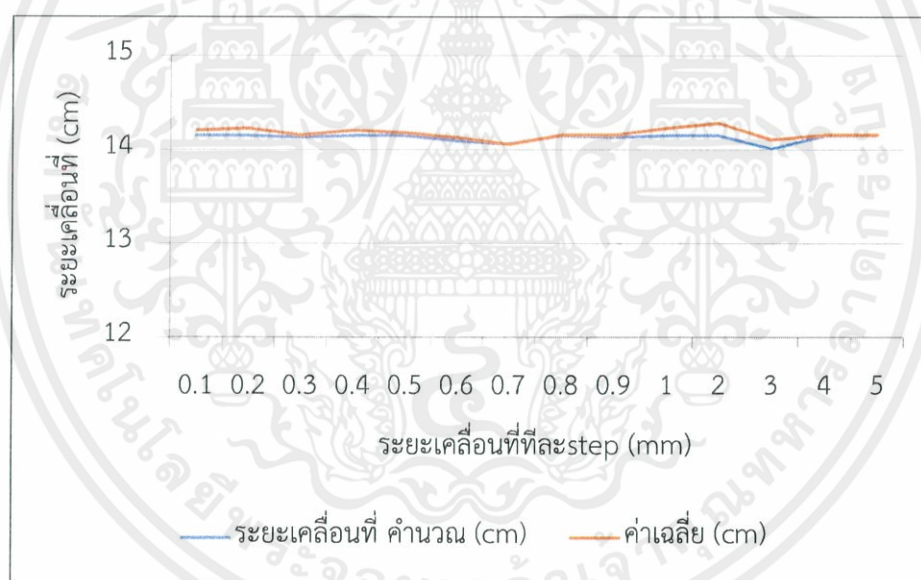
$$\sqrt{(\text{ระยะเคลื่อนที่ในแนวแกน x})^2 + (\text{ระยะเคลื่อนที่ในแนวแกน y})^2}$$

ส่วนระยะเคลื่อนที่(ทดลอง) หาจากการวัดความยาวของผลการทดลองในแนวเส้นทแยงมุม
จำนวนstep (คำนวณ) หาค่าจากรยะเคลื่อนที่ (คำนวณ) ในหน่วยมิลลิเมตร คูณกับจำนวน
step ที่ใช้เคลื่อนที่ในระยะทาง 1 มิลลิเมตร เท่ากับ 25 step และหาจำนวนstep (ทดลอง) จากระยะ
เคลื่อนที่ (ทดลอง) เฉลี่ยในหน่วยมิลลิเมตร คูณกับจำนวนstep ที่ใช้เคลื่อนที่ในระยะทาง 1 มิลลิเมตร
เท่ากับ 25 step เช่นกัน

จากการทดลองสามารถหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดในแกน x และ y ได้ 0.420007 %



รูปที่4.15 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองที่1และ2 ในแกน x และแกน y

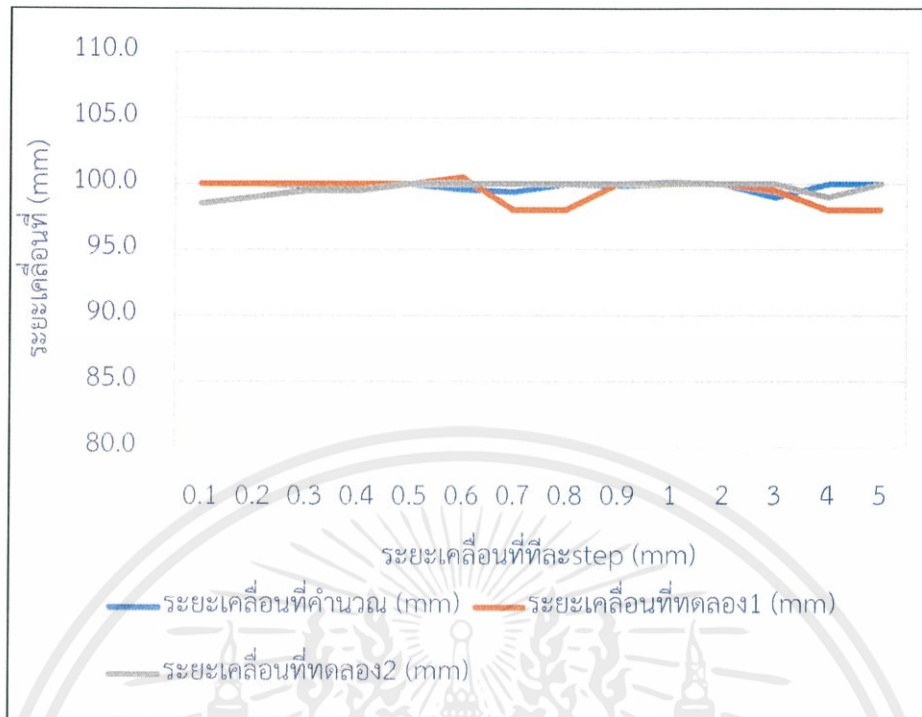


รูปที่4.16 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองเฉลี่ยใน แกน x และแกน y

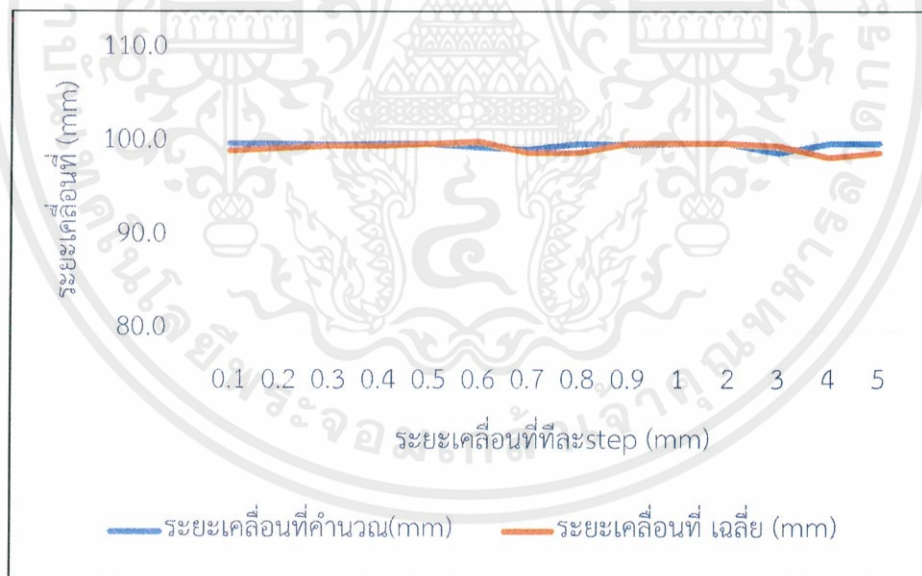
ตารางที่4.2 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องในแกน x

ระยะ (mm)	จำนวน ครั้ง	ระยะ เคลื่อนที่ คำนวณ (mm)	ระยะ เคลื่อนที่ ทดลอง1 (mm)	ระยะ เคลื่อนที่ ทดลอง2 (mm)	ระยะ เคลื่อนที่ เฉลี่ย (mm)	ค่า ผิดพลาด1 (%)	ค่า ผิดพลาด2 (%)	ค่าผิดพลาด เฉลี่ย(%)
0.10	1000	100.0	100.0	98.5	99.25	0.000	1.500	0.750
0.20	500	100.0	100.0	99.0	99.50	0.000	1.000	0.500
0.30	333	99.9	100.0	99.5	99.75	-0.100	0.400	0.150
0.40	250	100.0	100.0	99.5	99.75	0.000	0.500	0.250
0.50	200	100.0	100.0	100.0	100.00	0.000	0.000	0.000
0.60	166	99.6	100.5	100.0	100.25	-0.904	-0.402	-0.653
0.70	142	99.4	98.0	100.0	99.00	1.408	-0.604	0.402
0.80	125	100.0	98.0	100.0	99.00	2.000	0.000	1.000
0.90	111	99.9	100.0	100.0	100.00	-0.100	-0.100	-0.100
1.00	100	100.0	100.0	100.1	100.05	0.000	-0.100	-0.050
2.00	50	100.0	100.0	100.0	100.00	0.000	0.000	0.000
3.00	33	99.0	99.5	100.0	99.75	-0.505	-1.010	-0.758
4.00	25	100.0	98.0	99.0	98.50	2.000	1.000	1.500
5.00	20	100.0	98.0	100.0	99.00	2.000	0.000	1.000

จากตาราง ระยะเคลื่อนที่คำนวณ หาค่าจากระยะเคลื่อนที่ทีละstep x จำนวนครั้งที่เคลื่อนที่ เมื่อนำค่าคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าทดลอง ได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดในแกน x เท่ากับ 0.285%



รูปที่4.17 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองที่1และ2 ในแกน x



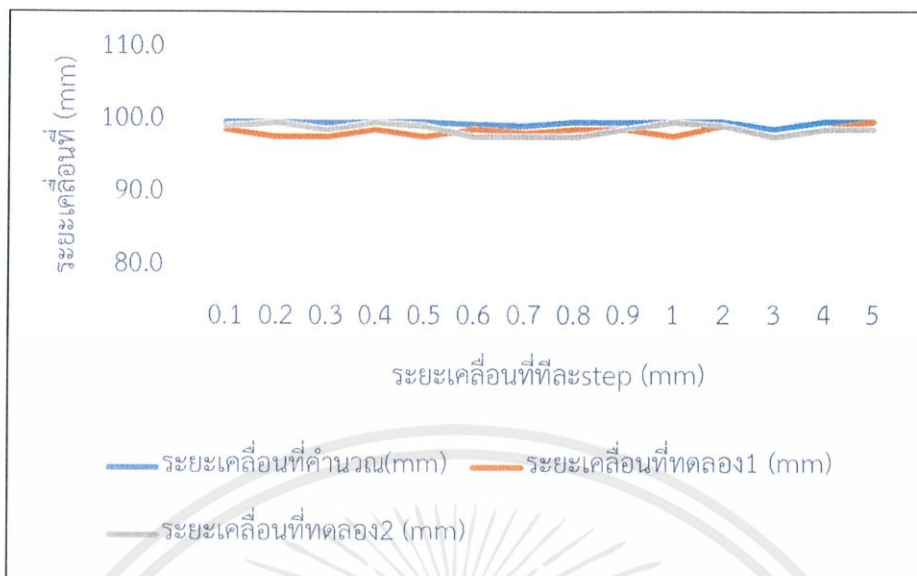
รูปที่4.18 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ทดลองเฉลี่ยในแกน x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

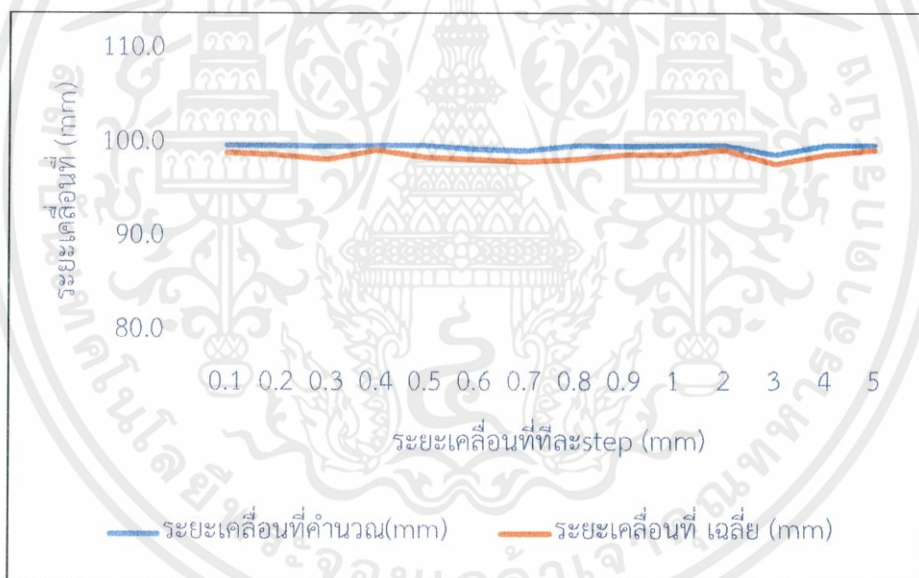
ตารางที่4.3 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องในแกน y

ระยะ (mm)	จำนวน ครั้ง	ระยะ เคลื่อนที่ คำนวณ (mm)	ระยะ เคลื่อนที่ ทดลอง1 (mm)	ระยะ เคลื่อนที่ ทดลอง2 (mm)	ระยะ เคลื่อนที่ เฉลี่ย (mm)	ค่า ผิดพลาด1 (%)	ค่า ผิดพลาด2 (%)	ค่าผิดพลาด เฉลี่ย(%)
0.10	1000	100.0	99.0	99.5	99.25	1.000	0.500	0.750
0.20	500	100.0	98.0	100.0	99.00	2.000	0.000	1.000
0.30	333	99.9	98.0	99.0	98.50	1.902	0.901	1.401
0.40	250	100.0	99.0	100.0	99.50	1.000	0.000	0.500
0.50	200	100.0	98.0	99.5	98.75	2.000	0.500	1.250
0.60	166	99.6	99.0	98.0	98.50	0.602	1.606	1.104
0.70	142	99.4	98.5	98.0	98.25	0.905	1.408	1.157
0.80	125	100.0	99.0	98.0	98.50	1.000	2.000	1.500
0.90	111	99.9	99.0	99.0	99.00	0.901	0.901	0.901
1.00	100	100.0	98.0	100.0	99.00	2.000	0.000	1.000
2.00	50	100.0	99.5	99.5	99.50	0.500	0.500	0.500
3.00	33	99.0	98.0	98.0	98.00	1.010	1.010	1.010
4.00	25	100.0	99.0	99.0	99.00	1.000	1.000	1.000
5.00	20	100.0	100.0	99.0	99.50	0.000	1.000	0.500

จากตาราง ระยะเคลื่อนที่คำนวณ หาค่าจากระยะเคลื่อนที่ทีละstep \times จำนวนครั้งที่เคลื่อนที่ เมื่อนำค่าคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าทดลอง ได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดในแกน y เท่ากับ 0.970%



รูปที่4.19 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ที่ตลวงที่1และ2 ในแกน y



รูปที่4.20 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่คำนวณกับระยะเคลื่อนที่ที่ตลวงเฉลี่ยใน แกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลโครงการ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบความแม่นยำของเครื่องในแกน x และ แกน y ที่ระยะ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 มิลลิเมตร โดยป้อนค่า step จากการคำนวณ วัดระยะทางที่เคลื่อนที่ได้จริงจากจุดเริ่มต้นไปจุดสุดท้ายเปรียบเทียบกับระยะจากการคำนวณ

ทดสอบความแม่นยำของเครื่องในการทำงานร่วมกันของแกน x และ แกน y โดยเคลื่อนที่สลับในแนวแกน X และ Y เป็นลักษณะขั้นบันได เปรียบเทียบระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปจุดสุดท้ายพบว่ามีความเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.420007 %

หาค่าความผิดพลาดในแต่ละแกนโดยหารระยะเคลื่อนที่คำนวณจากรยะเคลื่อนที่ทีละstep x จำนวนครั้งที่เคลื่อนที่ เมื่อนำค่าคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าทดลอง

ได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดในแกน x เท่ากับ 0.285%

ได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดในแกน y เท่ากับ 0.970%

ความผิดพลาดนี้อาจมาจากผลรวมของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการผลิตซึ่งทำให้รูปร่างของ lead screw ไม่ได้มาตรฐาน ตำแหน่งของฟันไม่ได้มาตรฐาน ความหนาของฟันไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งความผิดพลาดนี้จะมีค่าไม่แน่นอน หรือมาจากโครงสร้างของเครื่องที่ไม่สมดุลและการติดตั้งที่ไม่มั่นคง ทำให้มอเตอร์หมุนได้ระยะที่คลาดเคลื่อนไปจากการคำนวณ

5.2 อุปสรรคและปัญหา

5.2.1 โปรแกรมที่เขียนมีความไม่แน่นอนในการใช้งาน ในการทดลองบางครั้งสั่งการแล้วมอเตอร์ไม่หมุนตามโปรแกรม

5.2.2 การหมุนของมอเตอร์ไม่ราบรื่น มีการกระตุก สั่น

5.2.3 การเชื่อมสายและบัดกรีที่ไม่ดี ทำให้วงจรไม่ทำงานหรือทำงานผิดพลาด เสียหาย

5.2.4 โครงสร้างที่ออกแบบมีความไม่มั่นคง เมื่อใช้งานต่อเนื่องอุปกรณ์มีการเคลื่อนที่จากจุดที่ติดตั้ง

5.2.5 มอเตอร์หัวเจาะมีกำลังไม่เพียงพอ เมื่อนำมาติดตั้งกับตัวเครื่อง

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 5.3.1 ควรศึกษามอเตอร์ และหลักการใช้งานให้เข้าใจก่อนการออกแบบจริง
- 5.3.2 ควรตรวจสอบจุดบัดกรีก่อนทำการทดลอง
- 5.3.3 เพิ่มอุปกรณ์ต่อยึดโครงสร้างให้มั่นคงมากขึ้น ตรวจสอบน็อต สกรูก่อนทำการทดลอง



เอกสารอ้างอิง

- [1] ศักดิ์ชัย ศรีมากรณ์. (1 เมษายน 2554). การพัฒนาโปรแกรมสำหรับเครื่องซีเอ็นซีขนาดเล็กด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง , มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง.
- [2] สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม, 2561, แหล่งที่มา
<https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-stepping-motor/>
- [3] สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม, 2561, แหล่งที่มา
http://narong.ece.engr.tu.ac.th/ei444/document/15-stepper_motor.pdf
- [4] สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม, 2561, แหล่งที่มา
<http://commandronestore.com/products/cm4988.php>
- [5] สืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม, 2561, แหล่งที่มา
<https://www.pololu.com/product/1182/specs>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code ที่ใช้ Upload ให้ Arduino เพื่อให้ใช้งานเป็น GRBL controller

```
#include <config.h>

#include <coolant_control.h>

#include <cpu_map.h>

#include <defaults.h>

#include <eeprom.h>

#include <gcode.h>

#include <grbl.h>

#include <jog.h>

#include <limits.h>

#include <motion_control.h>

#include <nuts_bolts.h>

#include <planner.h>

#include <print.h>

#include <probe.h>

#include <protocol.h>

#include <report.h>

#include <serial.h>

#include <settings.h>

#include <spindle_control.h>

#include <stepper.h>

#include <system.h>

#include <grbl.h>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

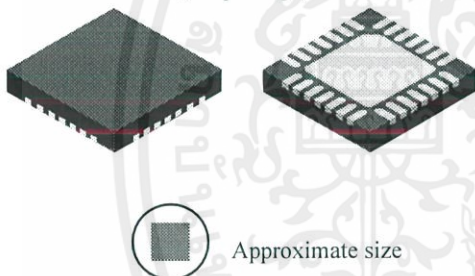
DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

Features and Benefits

- Low $R_{DS(ON)}$ outputs
- Automatic current decay mode detection/selection
- Mixed and Slow current decay modes
- Synchronous rectification for low power dissipation
- Internal UVLO
- Crossover-current protection
- 3.3 and 5 V compatible logic supply
- Thermal shutdown circuitry
- Short-to-ground protection
- Shorted load protection
- Five selectable step modes: full, $1/2$, $1/4$, $1/8$, and $1/16$

Package:

28-contact QFN
with exposed thermal pad
5 mm × 5 mm × 0.90 mm
(ET package)



Approximate size

Description

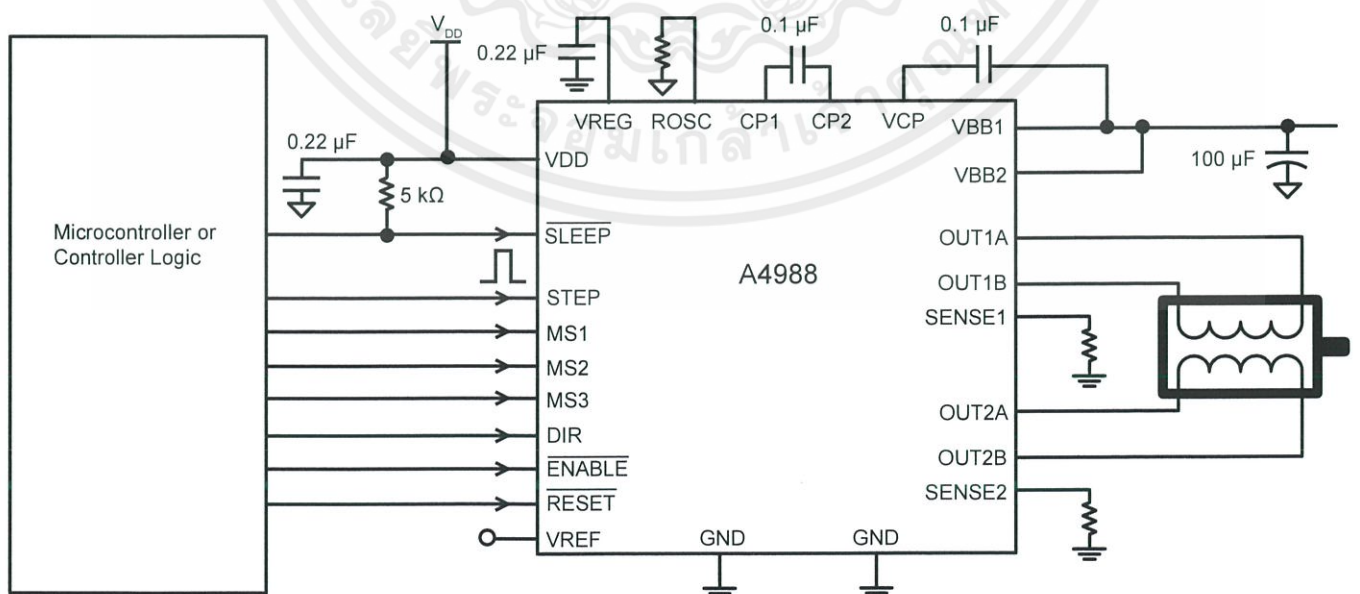
The A4988 is a complete microstepping motor driver with built-in translator for easy operation. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes, with an output drive capacity of up to 35 V and ± 2 A. The A4988 includes a fixed off-time current regulator which has the ability to operate in Slow or Mixed decay modes.

The translator is the key to the easy implementation of the A4988. Simply inputting one pulse on the STEP input drives the motor one microstep. There are no phase sequence tables, high frequency control lines, or complex interfaces to program. The A4988 interface is an ideal fit for applications where a complex microprocessor is unavailable or is overburdened.

During stepping operation, the chopping control in the A4988 automatically selects the current decay mode, Slow or Mixed. In Mixed decay mode, the device is set initially to a fast decay for a proportion of the fixed off-time, then to a slow decay for the remainder of the off-time. Mixed decay current control results in reduced audible motor noise, increased step accuracy, and reduced power dissipation.

Continued on the next page...

Typical Application Diagram



Description (continued)

Internal synchronous rectification control circuitry is provided to improve power dissipation during PWM operation. Internal circuit protection includes: thermal shutdown with hysteresis, undervoltage lockout (UVLO), and crossover-current protection. Special power-on sequencing is not required.

The A4988 is supplied in a surface mount QFN package (ES), 5 mm × 5 mm, with a nominal overall package height of 0.90 mm and an exposed pad for enhanced thermal dissipation. It is lead (Pb) free (suffix -T), with 100% matte tin plated leadframes.

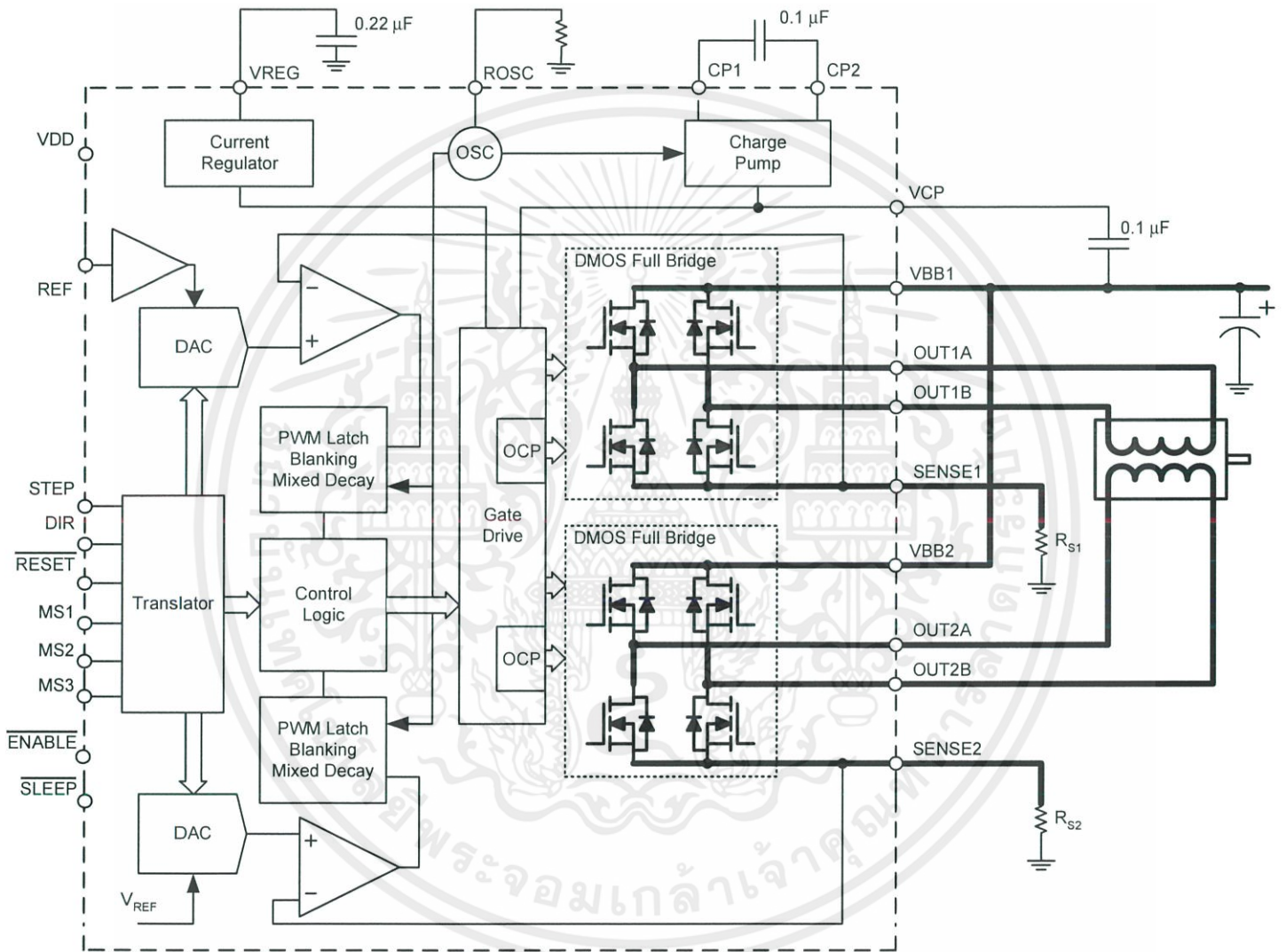
Selection Guide

Part Number	Package	Packing
A4988SETTR-T	28-contact QFN with exposed thermal pad	1500 pieces per 7-in. reel

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	V_{BB}		35	V
Output Current	I_{OUT}		±2	A
Logic Input Voltage	V_{IN}		-0.3 to 5.5	V
Logic Supply Voltage	V_{DD}		-0.3 to 5.5	V
Motor Outputs Voltage			-2.0 to 37	V
Sense Voltage	V_{SENSE}		-0.5 to 0.5	V
Reference Voltage	V_{REF}		5.5	V
Operating Ambient Temperature	T_A	Range S	-20 to 85	°C
Maximum Junction	$T_{J(max)}$		150	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-55 to 150	°C

Functional Block Diagram



ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{BB} = 35\text{ V}$ (unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. ²	Max.	Units
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V_{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V_{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	R_{DSON}	Source Driver, $I_{OUT} = -1.5\text{ A}$	–	320	430	$\text{m}\Omega$
		Sink Driver, $I_{OUT} = 1.5\text{ A}$	–	320	430	$\text{m}\Omega$
Body Diode Forward Voltage	V_F	Source Diode, $I_F = -1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
		Sink Diode, $I_F = 1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I_{BB}	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I_{DD}	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	$V_{IN(1)}$		$V_{DD} \times 0.7$	–	–	V
	$V_{IN(0)}$		–	–	$V_{DD} \times 0.3$	V
Logic Input Current	$I_{IN(1)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.7$	–20	<1.0	20	μA
	$I_{IN(0)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.3$	–20	<1.0	20	μA
Microstep Select	R_{MS1}	MS1 pin	–	100	–	$\text{k}\Omega$
	R_{MS2}	MS2 pin	–	50	–	$\text{k}\Omega$
	R_{MS3}	MS3 pin	–	100	–	$\text{k}\Omega$
Logic Input Hysteresis	$V_{HYS(IN)}$	As a % of V_{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t_{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
Fixed Off-Time	t_{OFF}	OSC = VDD or GND	20	30	40	μs
		$R_{OSC} = 25\text{ k}\Omega$	23	30	37	μs
Reference Input Voltage Range	V_{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I_{REF}		–3	0	3	μA
Current Trip-Level Error ³	err_I	$V_{REF} = 2\text{ V}$, $\%I_{TRIPMAX} = 38.27\%$	–	–	± 15	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$, $\%I_{TRIPMAX} = 70.71\%$	–	–	± 5	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$, $\%I_{TRIPMAX} = 100.00\%$	–	–	± 5	%
Crossover Dead Time	t_{DT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold ⁴	I_{OCPST}		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T_{TSD}		–	165	–	$^\circ\text{C}$
Thermal Shutdown Hysteresis	T_{TSDHYS}		–	15	–	$^\circ\text{C}$
VDD Undervoltage Lockout	V_{DDUVLO}	V_{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	$V_{DDUVLOHYS}$		–	90	–	mV

¹For input and output current specifications, negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device pin.

²Typical data are for initial design estimations only, and assume optimum manufacturing and application conditions. Performance may vary for individual units, within the specified maximum and minimum limits.

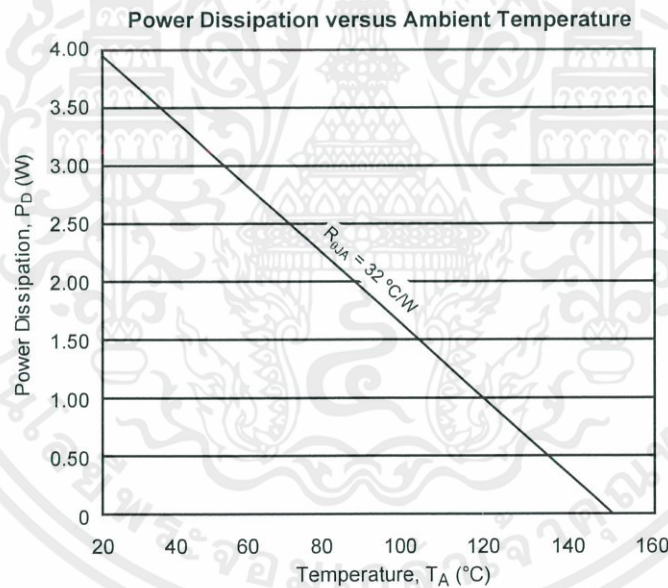
³ $V_{ERR} = [(V_{REF}/8) - V_{SENSE}] / (V_{REF}/8)$.

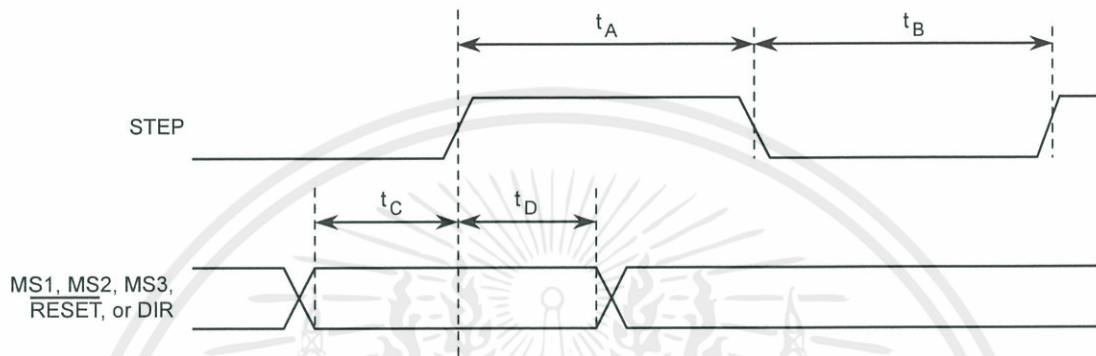
⁴Overcurrent protection (OCP) is tested at $T_A = 25^\circ\text{C}$ in a restricted range and guaranteed by characterization.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Test Conditions*	Value	Units
Package Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Four-layer PCB, based on JEDEC standard	32	$^{\circ}C/W$

*Additional thermal information available on Allegro Web site.





Time Duration	Symbol	Typ.	Unit
STEP minimum, HIGH pulse width	t_A	1	μs
STEP minimum, LOW pulse width	t_B	1	μs
Setup time, input change to STEP	t_C	200	ns
Hold time, input change to STEP	t_D	200	ns

Figure 1: Logic Interface Timing Diagram

Table 1: Microstepping Resolution Truth Table

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Excitation Mode
L	L	L	Full Step	2 Phase
H	L	L	Half Step	1-2 Phase
L	H	L	Quarter Step	W1-2 Phase
H	H	L	Eighth Step	2W1-2 Phase
H	H	H	Sixteenth Step	4W1-2 Phase

Functional Description

Device Operation. The A4988 is a complete microstepping motor driver with a built-in translator for easy operation with minimal control lines. It is designed to operate bipolar stepper motors in full-, half-, quarter-, eighth-, and sixteenth-step modes. The currents in each of the two output full-bridges and all of the N-channel DMOS FETs are regulated with fixed off-time PWM (pulse width modulated) control circuitry. At each step, the current for each full-bridge is set by the value of its external current-sense resistor (R_{S1} and R_{S2}), a reference voltage (V_{REF}), and the output voltage of its DAC (which in turn is controlled by the output of the translator).

At power-on or reset, the translator sets the DACs and the phase current polarity to the initial Home state (shown in Figures 9 through 13), and the current regulator to Mixed Decay Mode for both phases. When a step command signal occurs on the STEP input, the translator automatically sequences the DACs to the next level and current polarity. (See Table 2 for the current-level sequence.) The microstep resolution is set by the combined effect of the MSx inputs, as shown in Table 1.

When stepping, if the new output levels of the DACs are lower than their previous output levels, then the decay mode for the active full-bridge is set to Mixed. If the new output levels of the DACs are higher than or equal to their previous levels, then the decay mode for the active full-bridge is set to Slow. This automatic current decay selection improves microstepping performance by reducing the distortion of the current waveform that results from the back EMF of the motor.

Microstep Select (MSx). The microstep resolution is set by the voltage on logic inputs MSx, as shown in Table 1. The MS1 and MS3 pins have a 100 k Ω pull-down resistance, and the MS2 pin has a 50 k Ω pull-down resistance. When changing the step mode the change does not take effect until the next STEP rising edge.

If the step mode is changed without a translator reset, and absolute position must be maintained, it is important to change the step mode at a step position that is common to both step modes in order to avoid missing steps. When the device is powered down, or reset due to TSD or an over current event the translator is set to

the home position which is by default common to all step modes.

Mixed Decay Operation. The bridge operates in Mixed decay mode, at power-on and reset, and during normal running according to the ROSC configuration and the step sequence, as shown in Figures 9 through 13. During Mixed decay, when the trip point is reached, the A4988 initially goes into a fast decay mode for 31.25% of the off-time, t_{OFF} . After that, it switches to Slow decay mode for the remainder of t_{OFF} . A timing diagram for this feature appears on the next page.

Typically, mixed decay is only necessary when the current in the winding is going from a higher value to a lower value as determined by the state of the translator. For most loads automatically-selected mixed decay is convenient because it minimizes ripple when the current is rising and prevents missed steps when the current is falling. For some applications where microstepping at very low speeds is necessary, the lack of back EMF in the winding causes the current to increase in the load quickly, resulting in missed steps. This is shown in Figure 2. By pulling the ROSC pin to ground, mixed decay is set to be active 100% of the time, for both rising and falling currents, and prevents missed steps as shown in Figure 3. If this is not an issue, it is recommended that automatically-selected mixed decay be used, because it will produce reduced ripple currents. Refer to the Fixed Off-Time section for details.

Low Current Microstepping. Intended for applications where the minimum on-time prevents the output current from regulating to the programmed current level at low current steps. To prevent this, the device can be set to operate in Mixed decay mode on both rising and falling portions of the current waveform. This feature is implemented by shorting the ROSC pin to ground. In this state, the off-time is internally set to 30 μ s.

Reset Input (\overline{RESET}). The \overline{RESET} input sets the translator to a predefined Home state (shown in Figures 9 through 13), and turns off all of the FET outputs. All STEP inputs are ignored until the \overline{RESET} input is set to high.

Step Input (STEP). A low-to-high transition on the STEP

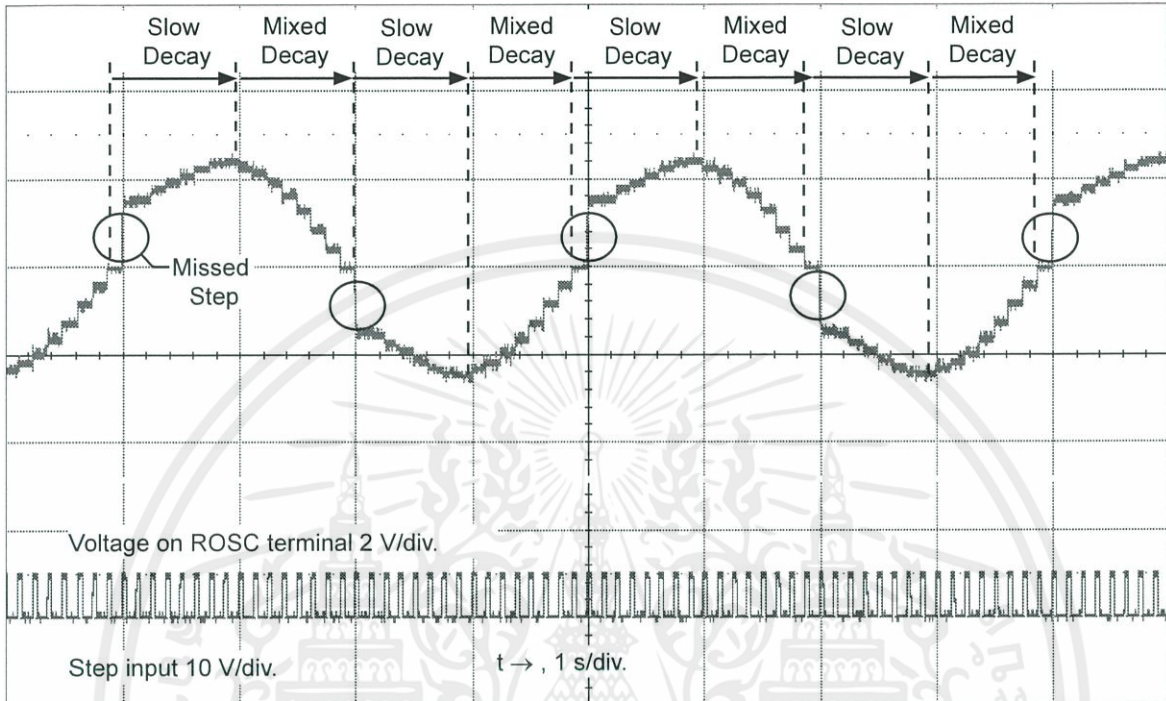


Figure 2: Missed Steps in Low-Speed Microstepping

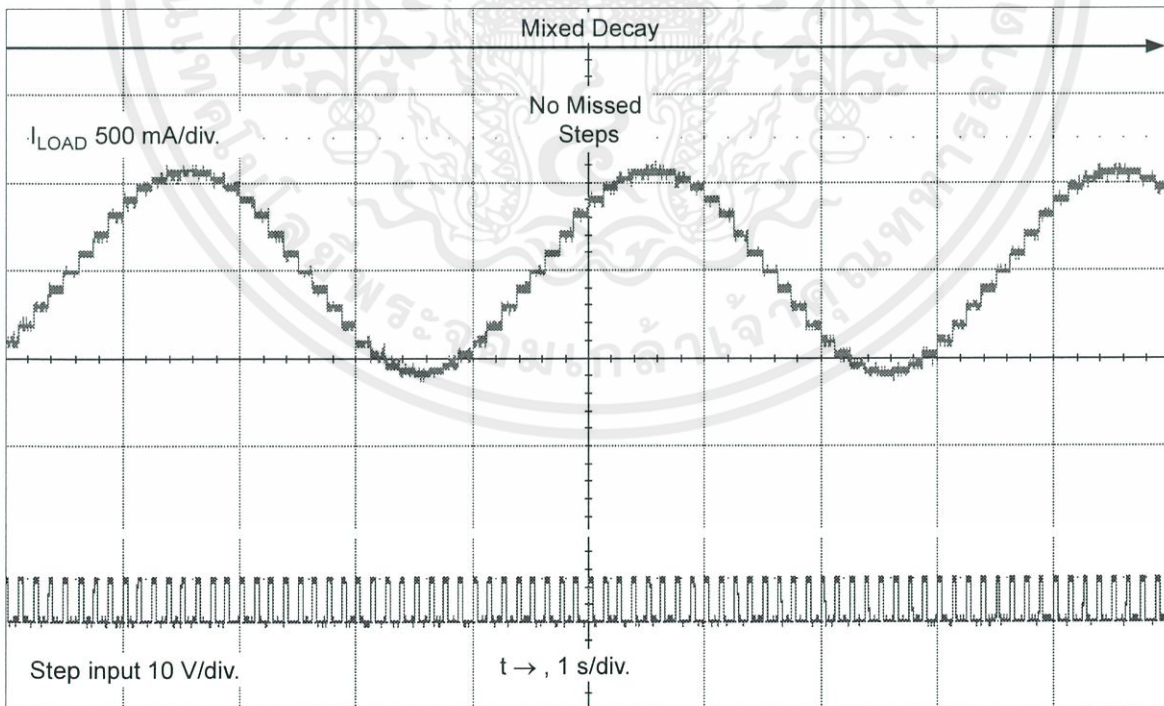


Figure 3: Continuous Stepping Using Automatically-Selected Mixed Stepping (ROSC pin grounded)

input sequences the translator and advances the motor one increment. The translator controls the input to the DACs and the direction of current flow in each winding. The size of the increment is determined by the combined state of the MSx inputs.

Direction Input (DIR). This determines the direction of rotation of the motor. Changes to this input do not take effect until the next STEP rising edge.

Internal PWM Current Control. Each full-bridge is controlled by a fixed off-time PWM current control circuit that limits the load current to a desired value, I_{TRIP} . Initially, a diagonal pair of source and sink FET outputs are enabled and current flows through the motor winding and the current sense resistor, R_{Sx} . When the voltage across R_{Sx} equals the DAC output voltage, the current sense comparator resets the PWM latch. The latch then turns off the appropriate source driver and initiates a fixed off time decay mode

The maximum value of current limiting is set by the selection of R_{Sx} and the voltage at the VREF pin. The transconductance function is approximated by the maximum value of current limiting, $I_{TripMAX}$ (A), which is set by

$$I_{TripMAX} = V_{REF} / (8 \times R_S)$$

where R_S is the resistance of the sense resistor (Ω) and V_{REF} is the input voltage on the REF pin (V).

The DAC output reduces the V_{REF} output to the current sense comparator in precise steps, such that

$$I_{trip} = (\%I_{TripMAX} / 100) \times I_{TripMAX}$$

(See Table 2 for $\%I_{TripMAX}$ at each step.)

It is critical that the maximum rating (0.5 V) on the SENSE1 and SENSE2 pins is not exceeded.

Fixed Off-Time. The internal PWM current control circuitry uses a one-shot circuit to control the duration of time that the DMOS FETs remain off. The off-time, t_{OFF} , is determined by the ROSC terminal. The ROSC terminal has three settings:

- ROSC tied to VDD — off-time internally set to 30 μ s, decay mode is automatic Mixed decay except when in full step where decay mode is set to Slow decay
- ROSC tied directly to ground — off-time internally set to 30 μ s, current decay is set to Mixed decay for both increasing and decreasing currents for all step modes.

- ROSC through a resistor to ground — off-time is determined by the following formula, the decay mode is automatic Mixed decay for all step modes except full step which is set to slow decay.

$$t_{OFF} \approx R_{OSC} / 825$$

Where t_{OFF} is in μ s.

Blanking. This function blanks the output of the current sense comparators when the outputs are switched by the internal current control circuitry. The comparator outputs are blanked to prevent false overcurrent detection due to reverse recovery currents of the clamp diodes, and switching transients related to the capacitance of the load. The blank time, t_{BLANK} (μ s), is approximately

$$t_{BLANK} \approx I \mu s$$

Shorted-Load and Short-to-Ground Protection.

If the motor leads are shorted together, or if one of the leads is shorted to ground, the driver will protect itself by sensing the overcurrent event and disabling the driver that is shorted, protecting the device from damage. In the case of a short-to-ground, the device will remain disabled (latched) until the SLEEP input goes high or VDD power is removed. A short-to-ground overcurrent event is shown in Figure 4.

When the two outputs are shorted together, the current path is through the sense resistor. After the blanking time ($\approx 1 \mu$ s) expires, the sense resistor voltage is exceeding its trip value, due to the overcurrent condition that exists. This causes the driver to go into a fixed off-time cycle. After the fixed off-time expires the driver turns on again and the process repeats. In this condition the driver is completely protected against overcurrent events, but the short is repetitive with a period equal to the fixed off-time of the driver. This condition is shown in Figure 5.

During a shorted load event it is normal to observe both a positive and negative current spike as shown in Figure 3, due to the direction change implemented by the Mixed decay feature. This is shown in Figure 6. In both instances the overcurrent circuitry is protecting the driver and prevents damage to the device.

Charge Pump (CP1 and CP2). The charge pump is used to generate a gate supply greater than that of VBB for driving the source-side FET gates. A 0.1 μ F ceramic capacitor, should be connected between CP1 and CP2. In addition, a 0.1 μ F ceramic capacitor is required between VCP and VBB, to act as a reservoir for operating the high-side FET gates.

Capacitor values should be Class 2 dielectric $\pm 15\%$ maximum, or tolerance R, according to EIA (Electronic Industries Alliance) specifications.

V_{REG} (VREG). This internally-generated voltage is used to operate the sink-side FET outputs. The nominal output voltage of the VREG terminal is 7 V. The VREG pin must be decoupled with a 0.22 μ F ceramic capacitor to ground. V_{REG} is internally monitored. In the case of a fault condition, the FET outputs of the A4988 are disabled.

Capacitor values should be Class 2 dielectric $\pm 15\%$ maximum, or tolerance R, according to EIA (Electronic Industries Alliance) specifications.

Enable Input ($\overline{\text{ENABLE}}$). This input turns on or off all of the FET outputs. When set to a logic high, the outputs are disabled. When set to a logic low, the internal control enables the outputs as required. The translator inputs STEP, DIR, and MSx, as well as the internal sequencing logic, all remain active, independent of the $\overline{\text{ENABLE}}$ input state.

Shutdown. In the event of a fault, overtemperature (excess T_J) or an undervoltage (on VCP), the FET outputs of the A4988 are disabled until the fault condition is removed. At power-on, the UVLO (undervoltage lockout) circuit disables the FET outputs and resets the translator to the Home state.

Sleep Mode ($\overline{\text{SLEEP}}$). To minimize power consumption when the motor is not in use, this input disables much of the internal circuitry including the output FETs, current regulator, and charge pump. A logic low on the SLEEP pin puts the A4988 into Sleep mode. A logic high allows normal operation, as well as start-up (at which time the A4988 drives the motor to the Home microstep position). When emerging from Sleep mode, in order to allow the charge pump to stabilize, provide a delay of 1 ms before issuing a Step command.

Mixed Decay Operation. The bridge operates in Mixed Decay mode, depending on the step sequence, as shown in Figures 9 through 13. As the trip point is reached, the A4988 initially goes into a fast decay mode for 31.25% of the off-time, t_{OFF} . After that, it switches to Slow Decay mode for the remainder of t_{OFF} . A timing diagram for this feature appears in Figure 7.

Synchronous Rectification. When a PWM-off cycle is triggered by an internal fixed-off time cycle, load current recirculates according to the decay mode selected by the control logic. This synchronous rectification feature turns on the appropriate FETs during current decay, and effectively shorts out the body diodes with the low FET $R_{\text{DS(ON)}}$. This reduces power dissipation significantly, and can eliminate the need for external Schottky diodes in many applications. Synchronous rectification turns off when the load current approaches zero (0 A), preventing reversal of the load current.

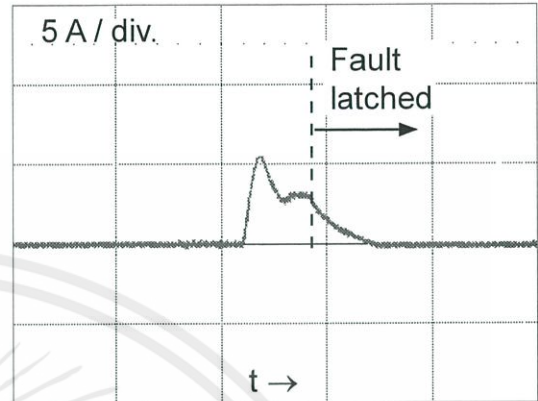


Figure 4: Short-to-Ground Event

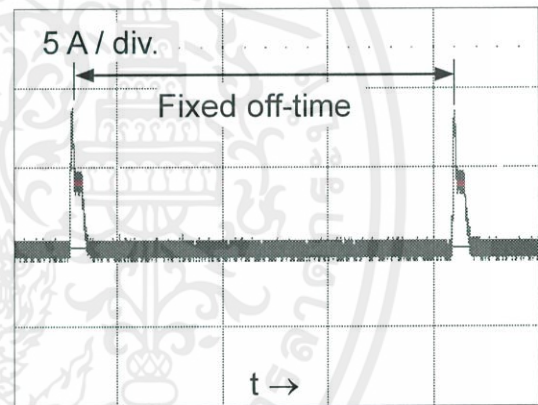


Figure 5: Shorted Load (OUTxA → OUTxB) in Slow Decay Mode

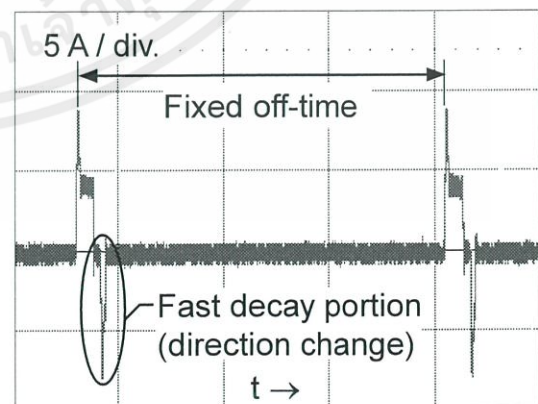
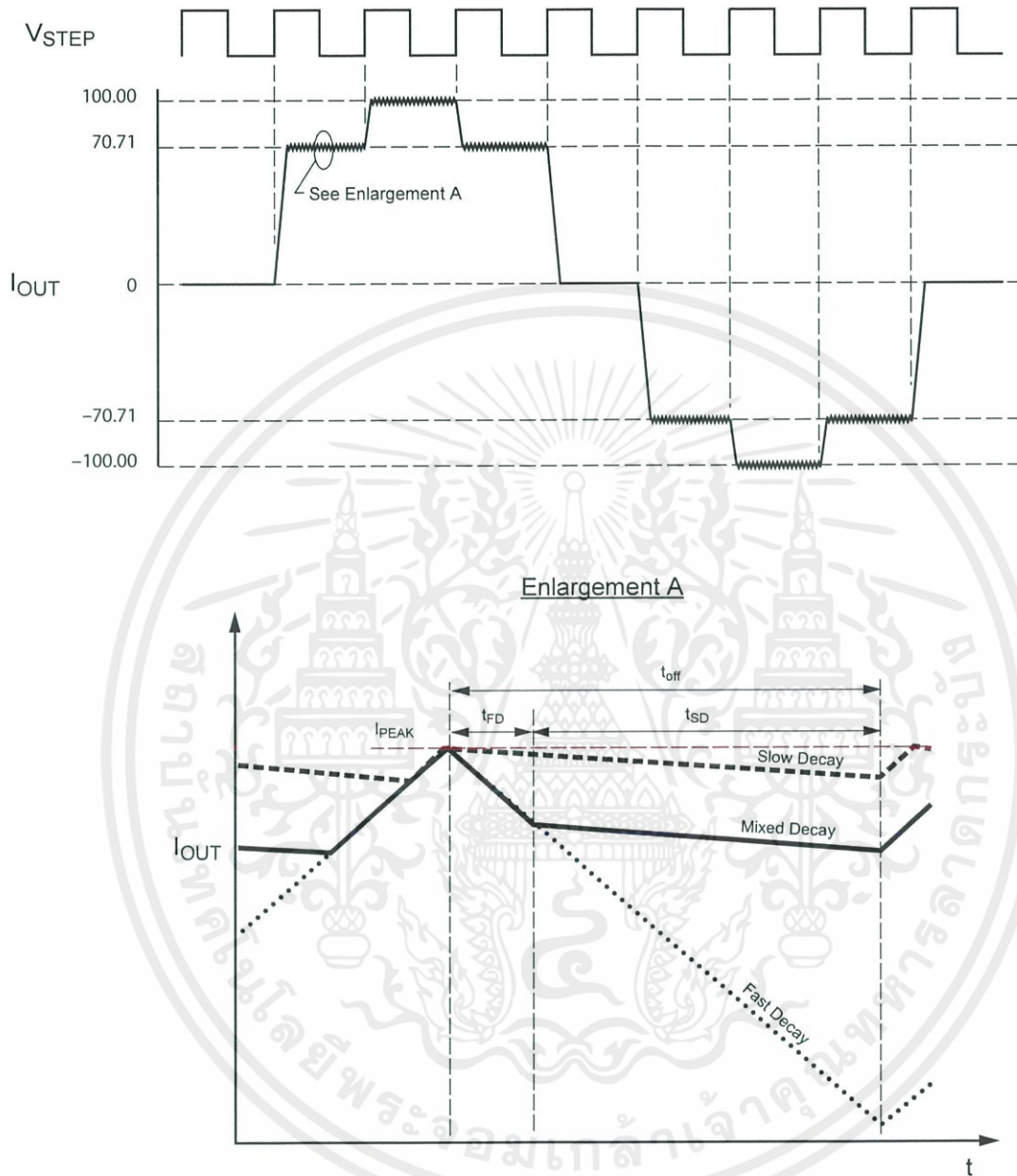


Figure 6: Shorted Load (OUTxA → OUTxB) in Mixed Decay Mode



Symbol	Characteristic
t_{off}	Device fixed off-time
I_{PEAK}	Maximum output current
t_{SD}	Slow decay interval
t_{FD}	Fast decay interval
I_{OUT}	Device output current

Figure 7: Current Decay Modes Timing Chart

Application Layout

Layout. The printed circuit board should use a heavy ground-plane. For optimum electrical and thermal performance, the A4988 must be soldered directly onto the board. Pins 3 and 18 are internally fused, which provides a path for enhanced thermal dissipation. These pins should be soldered directly to an exposed surface on the PCB that connects to thermal vias are used to transfer heat to other layers of the PCB.

In order to minimize the effects of ground bounce and offset issues, it is important to have a low impedance single-point ground, known as a *star ground*, located very close to the device. By making the connection between the pad and the ground plane directly under the A4988, that area becomes an ideal location for a star ground point. A low impedance ground will prevent ground bounce during high current operation and ensure that the supply voltage remains stable at the input terminal.

The two input capacitors should be placed in parallel, and as close to the device supply pins as possible. The ceramic capacitor (CIN1) should be closer to the pins than the bulk capacitor (CIN2). This is necessary because the ceramic capacitor will be responsible for delivering the high frequency current components. The sense resistors, RSx, should have a very low impedance path to ground, because they must carry a large current while supporting very accurate voltage measurements by the current sense comparators. Long ground traces will cause additional voltage drops, adversely affecting the ability of the comparators to accurately measure the current in the windings. The SENSEx pins have very short traces to the RSx resistors and very thick, low impedance traces directly to the star ground underneath the device. If possible, there should be no other components on the sense circuits.

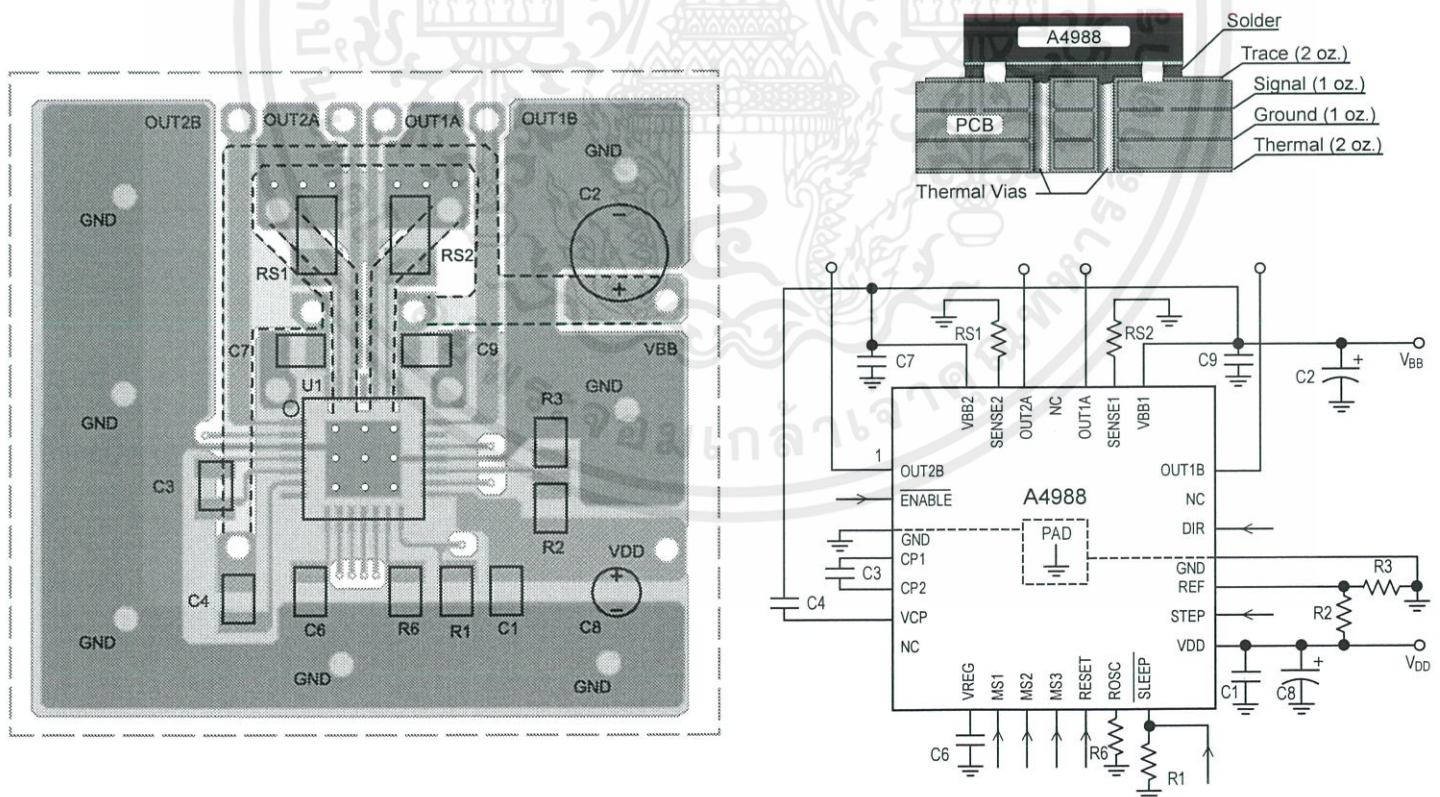
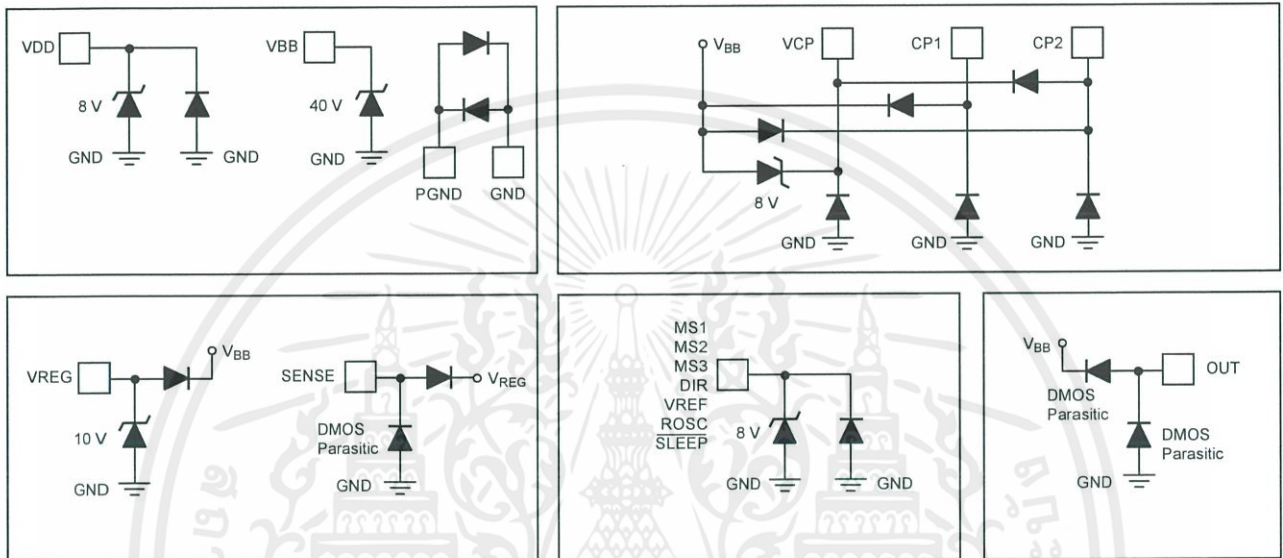
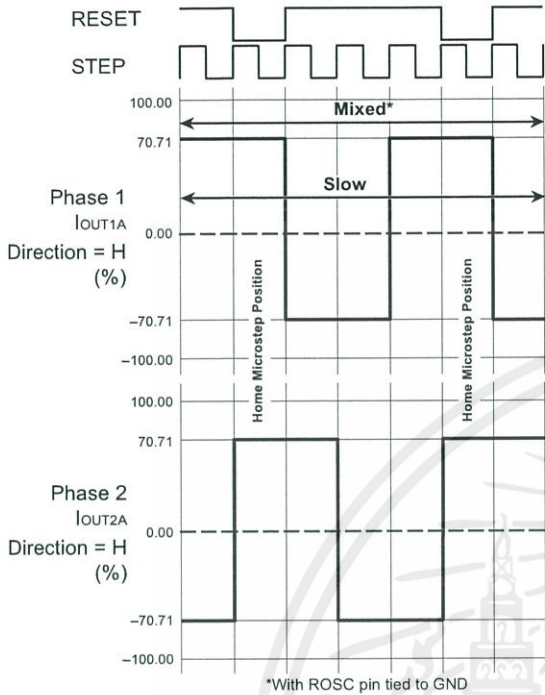


Figure 8: Typical Application and Circuit Layout

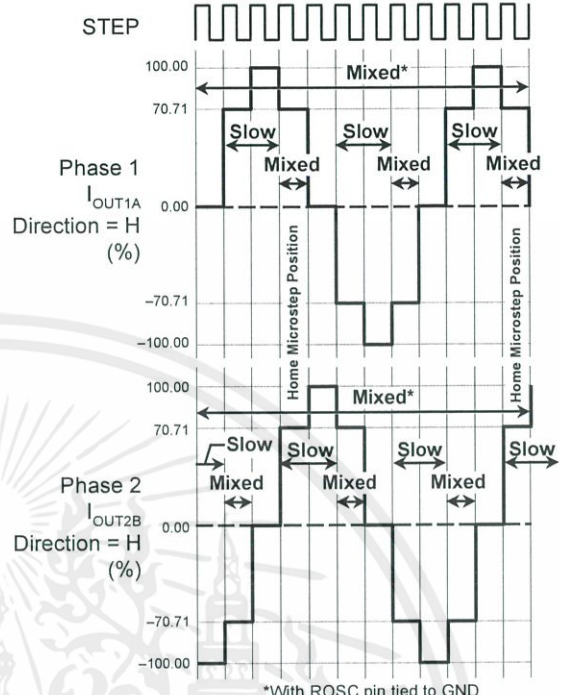
Pin Circuit Diagrams





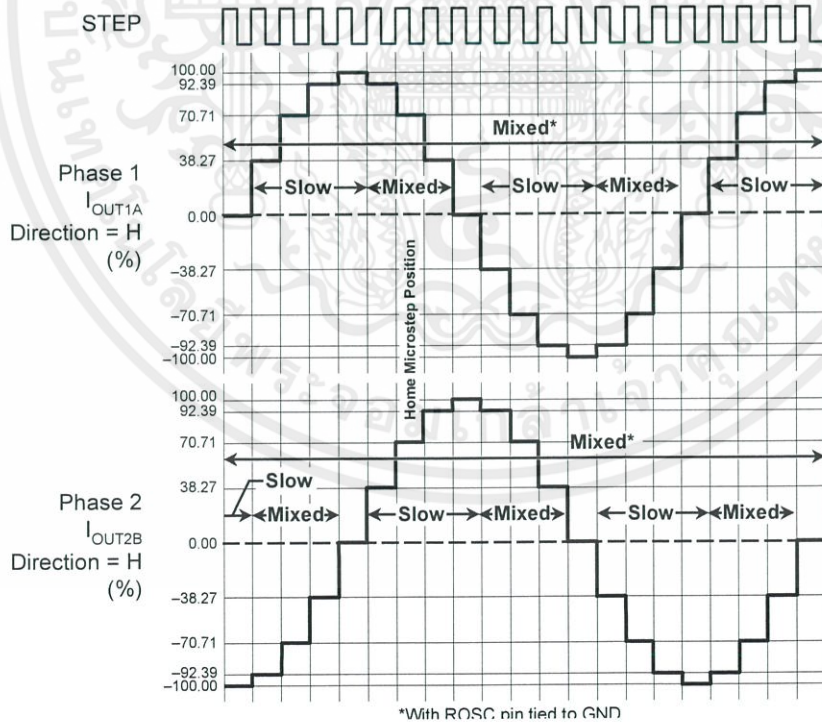
DIR = H

Figure 9: Decay Mode for Full-Step Increments



DIR = H

Figure 10: Decay Modes for Half-Step Increments



DIR = H

Figure 11: Decay Modes for Quarter-Step Increments

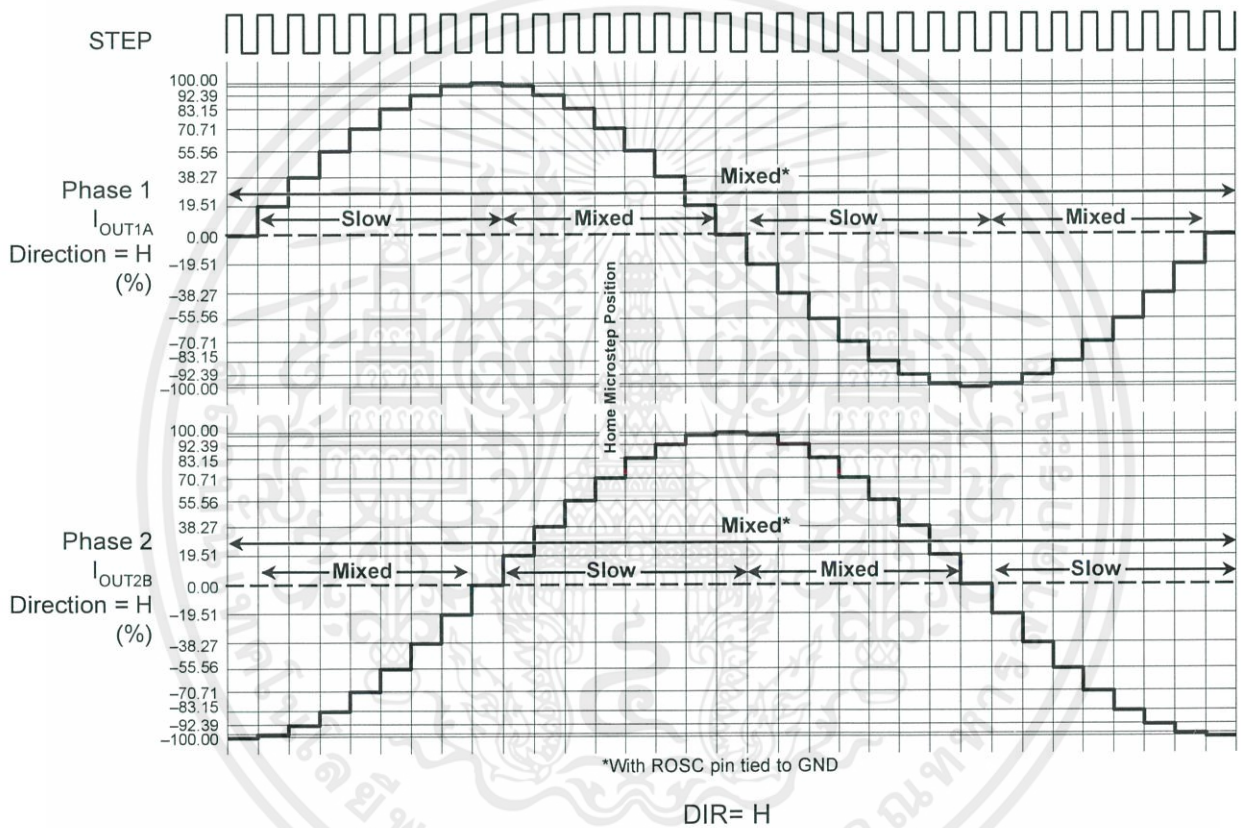


Figure 12: Decay Modes for Eighth-Step Increments

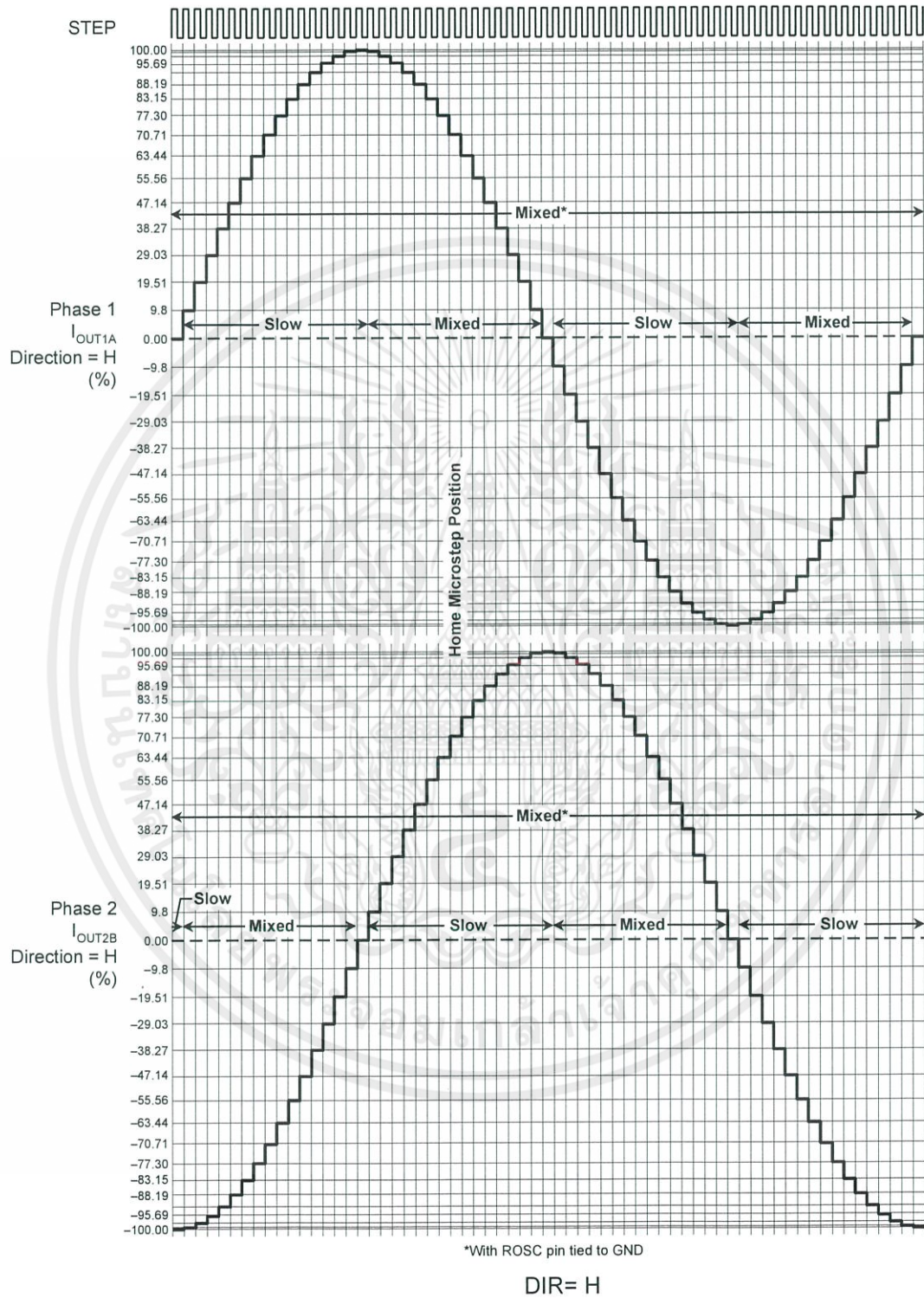
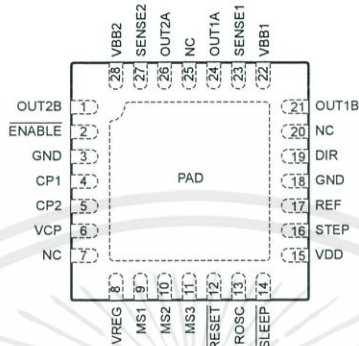


Figure 13: Decay Modes for Sixteenth-Step Increments

Table 2: Step Sequencing Settings
Home microstep position at Step Angle 45°; DIR = H

Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% I _{tripMax}] (%)	Phase 2 Current [% I _{tripMax}] (%)	Step Angle (°)	Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% I _{tripMax}] (%)	Phase 2 Current [% I _{tripMax}] (%)	Step Angle (°)	
	1	1	1	1	100.00	0.00	0.0		5	9	17	33	-100.00	0.00	180.0	
				2	99.52	9.80	5.6					34	-99.52	-9.80	185.6	
			2	3	98.08	19.51	11.3				18	35	-98.08	-19.51	191.3	
				4	95.69	29.03	16.9					36	-95.69	-29.03	196.9	
		2	3	5	92.39	38.27	22.5			10	19	37	-92.39	-38.27	202.5	
				6	88.19	47.14	28.1					38	-88.19	-47.14	208.1	
			4	7	83.15	55.56	33.8				20	39	-83.15	-55.56	213.8	
				8	77.30	63.44	39.4					40	-77.30	-63.44	219.4	
1	2	3	5	9	70.71	70.71	45.0	3	6	11	21	41	-70.71	-70.71	225.0	
				10	63.44	77.30	50.6					42	-63.44	-77.30	230.6	
			6	11	55.56	83.15	56.3					22	43	-55.56	-83.15	236.3
				12	47.14	88.19	61.9					44	-47.14	-88.19	241.9	
		4	7	13	38.27	92.39	67.5			12	23	45	-38.27	-92.39	247.5	
				14	29.03	95.69	73.1					46	-29.03	-95.69	253.1	
			8	15	19.51	98.08	78.8				24	47	-19.51	-98.08	258.8	
				16	9.80	99.52	84.4					48	-9.80	-99.52	264.4	
	3	5	9	17	0.00	100.00	90.0		7	13	25	49	0.00	-100.00	270.0	
				18	-9.80	99.52	95.6					50	9.80	-99.52	275.6	
			10	19	-19.51	98.08	101.3					26	51	19.51	-98.08	281.3
				20	-29.03	95.69	106.9					52	29.03	-95.69	286.9	
		6	11	21	-38.27	92.39	112.5			14	27	53	38.27	-92.39	292.5	
				22	-47.14	88.19	118.1					54	47.14	-88.19	298.1	
			12	23	-55.56	83.15	123.8				28	55	55.56	-83.15	303.8	
				24	-63.44	77.30	129.4					56	63.44	-77.30	309.4	
2	4	7	13	25	-70.71	70.71	135.0	4	8	15	29	57	70.71	-70.71	315.0	
				26	-77.30	63.44	140.6					58	77.30	-63.44	320.6	
			14	27	-83.15	55.56	146.3				30	59	83.15	-55.56	326.3	
				28	-88.19	47.14	151.9					60	88.19	-47.14	331.9	
		8	15	29	-92.39	38.27	157.5			16	31	61	92.39	-38.27	337.5	
				30	-95.69	29.03	163.1					62	95.69	-29.03	343.1	
			16	31	-98.08	19.51	168.8				32	63	98.08	-19.51	348.8	
				32	-99.52	9.80	174.4					64	99.52	-9.80	354.4	

Pin-out Diagram

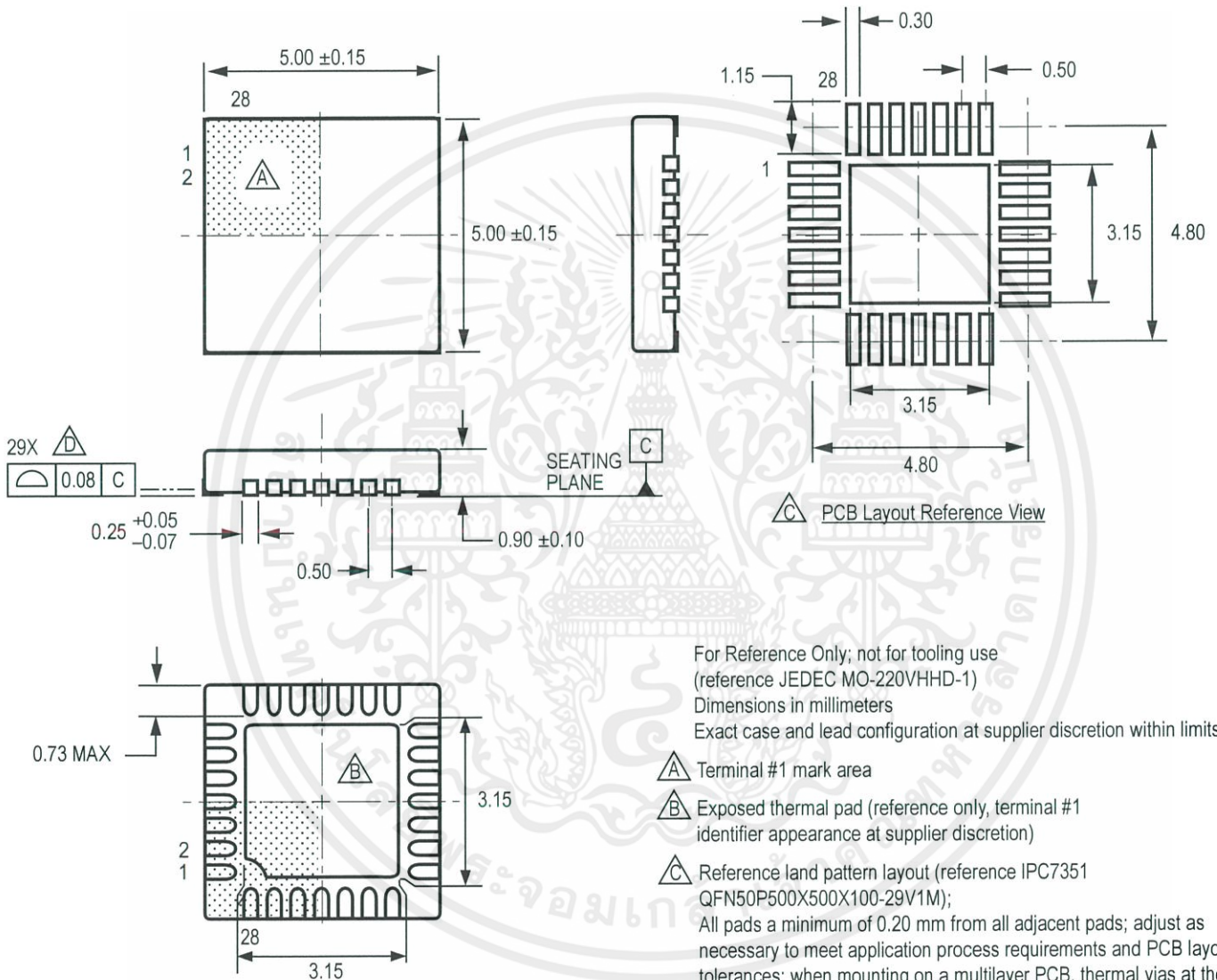


Terminal List Table

Name	Number	Description
CP1	4	Charge pump capacitor terminal
CP2	5	Charge pump capacitor terminal
VCP	6	Reservoir capacitor terminal
VREG	8	Regulator decoupling terminal
MS1	9	Logic input
MS2	10	Logic input
MS3	11	Logic input
RESET	12	Logic input
ROSC	13	Timing set
SLEEP	14	Logic input
VDD	15	Logic supply
STEP	16	Logic input
REF	17	G _m reference voltage input
GND	3, 18	Ground*
DIR	19	Logic input
OUT1B	21	DMOS Full Bridge 1 Output B
VBB1	22	Load supply
SENSE1	23	Sense resistor terminal for Bridge 1
OUT1A	24	DMOS Full Bridge 1 Output A
OUT2A	26	DMOS Full Bridge 2 Output A
SENSE2	27	Sense resistor terminal for Bridge 2
VBB2	28	Load supply
OUT2B	1	DMOS Full Bridge 2 Output B
ENABLE	2	Logic input
NC	7, 20, 25	No connection
PAD	-	Exposed pad for enhanced thermal dissipation*

*The GND pins must be tied together externally by connecting to the PAD ground plane under the device.

ET Package, 28-Pin QFN with Exposed Thermal Pad



For Reference Only; not for tooling use
(reference JEDEC MO-220VHHD-1)
Dimensions in millimeters
Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

- A** Terminal #1 mark area
- B** Exposed thermal pad (reference only, terminal #1 identifier appearance at supplier discretion)
- C** Reference land pattern layout (reference IPC7351 QFN50P500X500X100-29V1M); All pads a minimum of 0.20 mm from all adjacent pads; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances; when mounting on a multilayer PCB, thermal vias at the exposed thermal pad land can improve thermal dissipation (reference EIA/JEDEC Standard JESD51-5)
- D** Coplanarity includes exposed thermal pad and terminals

Revision History

Revision	Revision Date	Description of Revision
4	January 27, 2012	Update I _{OCPST}
5	May 7, 2014	Revised text on pg. 9; revised Figure 8 and Table 2



Copyright ©2009-2014, Allegro MicroSystems, LLC

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in any devices or systems, including but not limited to life support devices or systems, in which a failure of Allegro's product can reasonably be expected to cause bodily harm.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com