



เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร
AGRICULTURAL AUTOMATIC HOLE DRILLING MACHINE

ชนะชัย พันธุ์สถิตย์วงศ์

CHANACHAI PHANSATHITWONG

ณัฐพงษ์ แสงจันทร์

NATTAPONG SANGJAN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร
AGRICULTURAL AUTOMATIC HOLE DRILLING MACHINE

ชนะชัย พันธุ์สถิตย์วงศ์

CHANACHAI PHANSATHITWONG

ณัฐพงษ์ แสงจันทร์

NATTAPONG SANGJAN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2565

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

เรื่อง เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร

Agricultural Automatic Hole Drilling Machine

ผู้จัดทำ

1. นายชนะชัย พันธุ์สถิตย์วงศ์ รหัสนักศึกษา 62201005
2. นายณัฐพงษ์ แสงจันทร์ รหัสนักศึกษา 62201007


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ว่าที่ร้อยตรี ศิลา ศิริมาสกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|------------------|---|
| ชื่อปริญญานิพนธ์ | เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร |
| นักศึกษา | นายชนะชัย พันธุ์สถิตย์วงศ์ รหัสนักศึกษา 62201005 |
| | นายณัฐพงษ์ แสงจันทร์ รหัสนักศึกษา 62201007 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ว่าที่ ร.ต.ศิลา ศิริมาสกุล |
| หลักสูตร | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ |
| ปีการศึกษา | 2565 |

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการสร้างเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร เครื่องประกอบด้วยใช้จีพีเอสควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งได้นำเทคโนโลยีทางด้าน ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (จีพีเอส) เข้ามาและ ระบบเข็มทิศ มาประยุกต์ใช้งานกับเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร เพื่อกำหนดพิกัดที่จะเจาะหลุม โดยโครงสร้างของเครื่องจะเป็นระบบ 4 ล้อ โดยล้อหน้า 2 ล้อ จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ เป็นล้อขับเคลื่อน ส่วนล้อหลังหมุนตามอิสระ ส่วนระบบเครื่องเจาะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ เป็นตัวขับเคลื่อนขึ้นลงของตัวเจาะ ส่วนตัวเจาะจะใช้เครื่องยนต์สองจังหวะขนาด 62 ซีซี การทำงานของเครื่องแบบอัตโนมัติ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณพิกัด 4 จุดโดยสั่งการบนแป้นปุ่มกดที่กล่องควบคุมและมีจอแสดงสถานะแบตเตอรี่

จากการทดลองการเจาะหลุมของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร สามารถเจาะแบบอัตโนมัติ ตัวเครื่องสามารถทำงานเจาะแบบอัตโนมัติได้ ตามค่าความลึกที่ป้อนค่าเข้าไป โดยมีความลึกตั้งแต่ 20 เซนติเมตรถึง 50 เซนติเมตร

คำสำคัญ: มอเตอร์ไฟฟ้า, เครื่องยนต์, จีพีเอส, เข็มทิศ

| | |
|----------------------|---|
| Project | Agricultural Automatic Hole Drilling Machine |
| Student | Mr. Chanachai Phansathitwong Student ID 62201005 |
| | Mr. Nattapong sangjan Student ID 62201007 |
| Advisor | Acting Sub Lt.Sila Sirimaskul |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Program in | Electronics Engineering |
| Academic Year | 2022 |

ABSTRACT

This thesis presents the construction of an automatic borehole drilling machine for agriculture. The machine consists of using GPS controlled through a microcontroller, which has adopted the technology. The global positioning system (GPS) came in and the compass system was applied to the automated borehole machine for agriculture to determine the coordinates to drill holes. The structure of the machine is a 4-wheel system, with the front 2 wheels using a 24-volt DC electric motor as the driving wheel. The rear wheels rotate independently as for the drilling machine system, a 24-volt DC electric motor is used to propel the drill up and down. The punching part uses a 62 cc two-stroke engine. The operation of the machine is automatic. It uses a microcontroller to calculate the coordinates of 4 points by commands on the keypad on the control box and has a battery status display.

From the experiment of drilling holes of automatic borehole machines for agriculture can punch automatically The machine can perform automatic drilling according to the input depth value, with depth ranging from 20 cm to 50 cm.

Keywords: Electric motor, Engine, GPS, Compass

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เรียบเรียงความรู้เกี่ยวกับ เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบุคคลหลาย ๆ ท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณทุก ๆ ท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ผู้ซึ่งคอยให้การอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษา ตลอดจนให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ว่าที่ร้อยตรี ศิลา ศิริมาสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งเอื้อเพื่อเครื่องมือเครื่องใช้ในการทำโครงการ และติดตามเกี่ยวกับงานโครงการตลอดมา ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาของท่านจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ คอยช่วยเหลือเสมอมา และต้องขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่คอยช่วยเหลือในการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชนะชัย พันธุ์สุทธิยวงศ์

ณัฐพงษ์ แสงจันทร์

มิถุนายน 2566

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | IX |
| สารบัญรูป..... | XII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำโครงการ..... | 1 |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... | 1 |
| 1.4 ขอบเขตของโครงการและคุณลักษณะเฉพาะ..... | 1 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... | 2 |
| 1.7 โครงสร้างปริญญานิพนธ์..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนเมกะ (Arduino Mega2560)..... | 5 |
| 2.2 รีเลย์ (Relay)..... | 7 |
| 2.2.1 หลักการทำงานของรีเลย์..... | 7 |
| 2.2.2 จุดเชื่อมต่อการใช้งานของรีเลย์..... | 8 |
| 2.3 แบตเตอรี่ (Battery)..... | 8 |
| 2.4 มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)..... | 9 |
| 2.4.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)..... | 10 |
| 2.4.2 การกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง..... | 10 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.5 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) | 10 |
| 2.5.1 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ | 10 |
| 2.5.2 เซอร์โวมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด | 11 |
| 2.6 เฟืองเกียร์ทดรอบ | 11 |
| 2.7 จีพีเอส Global Positioning System | 14 |
| 2.7.1 การทำงานของ จีพีเอส | 14 |
| 2.7.2 ส่วนประกอบของ จีพีเอส | 14 |
| 2.7.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสัญญาณจีพีเอส | 15 |
| 2.8 โมดูลเข็มทิศ(Compass Module)..... | 15 |
| 2.9 จอแอลซีดี | 16 |
| 2.9.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของแอลซีดี | 16 |
| 2.9.2 การแบ่งแอลซีดีตามลักษณะการแสดงผล | 17 |
| 2.10 สเต็ปป์มอเตอร์(Stepping Motor) | 17 |
| 2.11 แป้นปุ่มกด (Keypad)..... | 21 |
| 2.12 ไฟแสดงสถานะ (pilot lamp หรือ status light)..... | 22 |
| 2.13 ไดโอดเปล่งแสง..... | 22 |
| 2.14 มอสเฟต (MOSFET) | 23 |
| 2.15 เครื่องยนต์ 2 จังหวะ (Two-stroke engine)..... | 24 |
| 2.15.1 การทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ | 24 |
| 2.16 ไบดอกเจาะดิน..... | 25 |
| 2.16.1 ส่วนที่ใช้ในการขุดหลุม มีหลายประเภทตามลักษณะของการใช้งาน | 25 |
| 2.17 ลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch) | 26 |
| บทที่ 3 การออกแบบ | 28 |
| 3.1.บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร | 28 |
| 3.2 โพล์ชาร์ตการทำงานของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร | 29 |
| 3.2.1 โพล์ชาร์ตการทำงานรวมของเครื่องเจาะ | 29 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 3.2.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานรับค่าจากจีพีเอส | 30 |
| 3.2.3 โฟลว์ชาร์ตการทำงานรับค่าจากเข็มทิศ | 31 |
| 3.2.4 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของการเคลื่อนที่รถ | 32 |
| 3.2.5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องเจาะ | 33 |
| 3.2.6 การทำงานของโฟลว์ชาร์ตการวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ | 34 |
| 3.3 การคำนวณหาแบตเตอรี่ที่ใช้ในเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร | 34 |
| 3.4 การคำนวณเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่ | 35 |
| 3.5 วงจรควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน | 36 |
| 3.5.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ | 36 |
| 3.6 ออกแบบวงจรขับเคลื่อนล้อและเครื่องเจาะ | 38 |
| 3.6.1 วงจรรีเลย์ | 38 |
| 3.6.2 วงจรขั้วรีเลย์ | 39 |
| 3.6.3 วงจรมอสเฟต | 40 |
| 3.7 การออกแบบวงจรควบคุมแรงดัน | 40 |
| 3.8 โครงสร้างของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ | 42 |
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง | 46 |
| 4.1 การทดลองเจาะดินชนิดต่าง ๆ | 46 |
| 4.1.1 ขั้นตอนการทดลองเจาะดินชนิดต่างๆ แบบอัตโนมัติ | 46 |
| 4.1.2 ผลการทดลองเจาะดินชนิดต่างๆ แบบอัตโนมัติ | 47 |
| บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง | 73 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 73 |
| 5.1.1 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร | 73 |
| 5.1.2 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร | |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 73 |
| 5.1.3 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 73 |
| 5.1.4 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 73 |
| 5.1.5 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 73 |
| 5.1.6 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 74 |
| 5.1.7 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 74 |
| 5.1.8 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 74 |
| 5.1.9 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 74 |
| 5.1.10 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 74 |
| 5.1.11 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 74 |
| 5.1.12 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 74 |
| 5.1.13 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 75 |
| 5.1.14 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 75 |
| 5.1.15 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 75 |

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

| | |
|--|----|
| 5.1.16 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 75 |
| 5.1.17 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 75 |
| 5.1.18 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 75 |
| 5.1.19 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 75 |
| 5.1.20 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 76 |
| 5.1.22 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 76 |
| 5.1.23 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 76 |
| 5.1.24 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 76 |
| 5.1.25 การทดลองความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอส..... | 76 |
| 5.1.26 การทดลองระยะห่างของแต่ละหลุมโดยมีระยะห่าง 7 เมตร..... | 76 |
| 5.1.27 การทดลองระยะห่างระหว่างแถวที่ 1 และแถวที่ 2 ซึ่งกำหนดระยะห่าง 7 เมตร..... | 76 |
| 5.2 ปัญหาและอุปสรรค..... | 77 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 77 |
| เอกสารอ้างอิง | 71 |
| ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร | 75 |
| ภาคผนวก ข เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร..... | 87 |
| ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ (Datasheet)..... | 97 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1..... | 2 |
| 1.2 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2..... | 3 |
| 4.1 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 48 |
| 4.2 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 49 |
| 4.3 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 50 |
| 4.4 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 50 |
| 4.5 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 52 |
| 4.6 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 52 |
| 4.7 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 54 |
| 4.8 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 54 |
| 4.9 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 55 |
| 4.10 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 56 |
| 4.11 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 57 |
| 4.12 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 58 |

สารบัญตาราง(ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.13 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 59 |
| 4.14 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 60 |
| 4.15 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 61 |
| 4.16 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 62 |
| 4.17 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 63 |
| 4.18 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 63 |
| 4.19 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 65 |
| 4.20 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 65 |
| 4.21 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 66 |
| 4.22 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 67 |
| 4.23 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 68 |
| 4.24 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร..... | 69 |

สารบัญตาราง(ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.25 การทดลองความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอส | 71 |
| 4.26 การทดลองระยะห่างของแต่ละหลุมโดยมีระยะห่าง 7 เมตร | 72 |
| 4.27 การทดลองระยะห่างระหว่างแถวที่1และแถวที่2 ซึ่งกำหนดระยะห่าง 7 เมตร | 73 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนเมกะ (Arduino Mega2560) | 5 |
| 2.2 ขาไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนเมกะ..... | 7 |
| 2.3 การต่อรีเลย์ | 8 |
| 2.4 รีเลย์ (Relay)..... | 9 |
| 2.5 แบตเตอรี่ (Battery) | 10 |
| 2.6 มอเตอร์เกียร์ กระแสตรง 24 โวลต์ 250 วัตต์..... | 10 |
| 2.7 เซอร์โวมอเตอร์..... | 12 |
| 2.8 เกียร์ทดรอบ LIMING (Worm Gear LIMING)..... | 15 |
| 2.9 โมดูลเข็มทิศ | 15 |
| 2.10 จอแอลซีดี (LCD)..... | 18 |
| 2.11 สเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร | 19 |
| 2.12 สเต็ปป์มอเตอร์แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็ก | 20 |
| 2.13 สเต็ปป์มอเตอร์แบบผสม..... | 21 |
| 2.15 สเต็ปป์มอเตอร์แบบไบโพลาร์ | 22 |
| 2.16 แป้นปุ่มกด (Keypad) | 23 |
| 2.17 ไฟแสดงสถานะ (Pilot Lamp หรือ Status Light) | 24 |
| 2.18 ไดโอดเปล่งแสง (LED)..... | 24 |
| 2.19 มอสเฟต (MOSFET)..... | 25 |
| 2.20 เครื่องยนต์ 2 จังหวะ (Two-stroke engine)..... | 26 |
| 2.21 ใบดอกเจาะดิน | 27 |
| 2.22 ลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch)..... | 28 |
| 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร..... | 29 |
| 3.2 โพล์ชาร์ตการทำงานรับค่าจากเข็มทิศ..... | 30 |
| 3.3 โพล์ชาร์ตการทำงานรับค่าจากจีพีเอส..... | 31 |
| 3.4 โพล์ชาร์ตการทำงานรวมของเครื่องเจาะ | 32 |
| 3.5 โพล์ชาร์ตการทำงานของการเคลื่อนที่รถ..... | 33 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.6 โพล์ชาร์ตการทำงานของเครื่องเจาะ | 34 |
| 3.7 โพล์ชาร์ตการวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่ | 35 |
| 3.8 วงจรรีเลย์ควบคุมการเคลื่อนที่ | 37 |
| 3.9 การทำงานของวงจรรีเลย์ตัวที่ 1 | 39 |
| 3.10 การทำงานของวงจรรีเลย์ตัวที่ 2 | 38 |
| 3.11 วงจรรีเลย์ | 38 |
| 3.12 วงจรขั้วรีเลย์ | 39 |
| 3.13 วงจรมอสเฟส | 40 |
| 3.14 วงจรคุมแรงดัน 5 โวลต์ | 41 |
| 3.15 วงจรคุมแรงดัน 12 โวลต์ | 41 |
| 3.16 โครงสร้างของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ | 42 |
| 3.17 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ | 42 |
| 3.18 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ | 43 |
| 3.19 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ | 43 |
| 3.20 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ | 44 |
| 3.21 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ | 44 |
| 3.22 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ | 45 |
| 3.23 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ | 45 |
| 4.1 การเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร | 48 |
| 4.2 การเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร | 50 |
| 4.3 การเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร | 52 |
| 4.4 การเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร | 54 |
| 4.5 การเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร | 56 |
| 4.6 การเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร | 58 |
| 4.7 การเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร | 60 |
| 4.8 การเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร | 61 |
| 4.9 การเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร | 63 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.10 การเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร..... | 65 |
| 4.11 การเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร..... | 67 |
| 4.12 การเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร..... | 69 |
| ข.1 การใส่ขี้แอมเตอร์รี่..... | 87 |
| ข.2 เปิดสวิตช์ on ที่แผงคอนโทรล..... | 87 |
| ข.3 กำหนดค่าต่าง ๆ บนแป้นปุ่มกด..... | 88 |
| ข.4 วิธีสตาร์ทเครื่องยนต์..... | 88 |
| ข.5 วิธีดับเครื่องยนต์..... | 89 |
| ข.6 วิธีดับเครื่องยนต์และระบบไฟในกรณีฉุกเฉิน..... | 89 |
| ข.7 การใส่ขี้แอมเตอร์รี่..... | 90 |
| ข.8 เปิดสวิตช์ on ที่แผงคอนโทรล..... | 90 |
| ข.9 วิธีสตาร์ทเครื่องยนต์..... | 91 |
| ข.10 การกดปุ่มสั่งการต่าง ๆ..... | 91 |
| ข.11 การกดปุ่มสั่งการต่าง ๆ..... | 92 |
| ข.12 วิธีดับเครื่องยนต์..... | 93 |
| ข.13 วิธีดับเครื่องยนต์และระบบไฟในกรณีฉุกเฉิน..... | 93 |
| ข.14 วิธีเติมน้ำมัน..... | 94 |

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำโครงการ สมมติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้นวัตกรรมผสมผสานเข้ากับเทคโนโลยีเป็นกระแสที่กำลังเป็นที่นิยมและถูกกล่าวถึงมากในวงกว้าง เนื่องจากอุตสาหกรรมการเกษตรได้นำวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องถิ่น หรืออุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วนั้น นำมาดัดแปลงให้เข้ากับนวัตกรรมเทคโนโลยี เพื่อผลิตที่มากขึ้นลดต้นทุนการผลิต และประหยัดเวลาในการทำงานของมนุษย์ คณะผู้จัดทำจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องขุดเจาะดินเพื่อปลูกต้นไม้อัตโนมัติทางการเกษตร

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

- 1) ลดต้นทุนในการทำการเกษตร
- 2) ประหยัดเวลาในการทำการเกษตร
- 3) พัฒนาการเกษตรให้ทันสมัย
- 4) เพื่อให้หลุมมีขนาดเท่ากันจัดเรียงเป็นระเบียบสวยงาม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1) เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตรสามารถเจาะหลุมได้ทั้งแบบบังคับในทอมที่ 1 และแบบอัตโนมัติในทอมที่ 2
- 2) เครื่องเจาะหลุมสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

1.4 ขอบเขตของโครงการและคุณลักษณะเฉพาะ

- 1) ขนาดหลุมที่เจาะได้มีขนาดหลุม 30 เซนติเมตร

- 2) เครื่องสามารถกำหนดความลึกหลุมเจาะได้สูงสุด 50 เซนติเมตร
- 3) เครื่องมีขนาดกว้างไม่เกิน 100 เซนติเมตร ยาวไม่เกิน 150 เซนติเมตร
- 4) โครงสร้างสามารถรองรับกำลังของเครื่องเจาะกำลัง 6 แรงม้า
- 5) เครื่องสามารถเจาะหลุมในพื้นที่ที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้พิกัดจีพีเอส
- 6) เครื่องสามารถกำหนดระยะห่างของแต่ละหลุมได้โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10

เปอร์เซ็นต์

- 7) เครื่องสามารถกำหนดระยะห่างของแต่ละแถวได้โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10

เปอร์เซ็นต์

- 8) ใช้เวลาในการเจาะหลุมของดินร่วนและดินทราย 4 ถึง 6 นาทีต่อ 1 หลุม และดินเหนียว 4 ถึง 10 นาทีต่อ 1 หลุม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ศึกษาหาความรู้เรื่องการใช้จีพีเอส
- 2) ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงาน
- 3) เป็นการพัฒนาการทำการเกษตรให้มีความทันสมัย
- 4) เป็นการพัฒนาทักษะและความรู้ให้แก่ผู้ทำโครงการ
- 5) ลดเวลาในการเจาะหลุมได้ดีกว่าการขุดหลุมด้วยจอบหรือเสียม

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 ช่วงใหญ่ ๆ คือแผนการดำเนินงานในภาคเรียนที่ 1 และภาคเรียนที่ 2 ซึ่งได้แจกแจงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 1.1 และ ตารางที่ 1.2 ดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | ระยะเวลาดำเนินงาน | | | |
|---|-------------------|--------|-----------|---------|
| | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
| 1) คิดหัวข้อโครงการนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา | | ←→ | | |
| 2) ศึกษาค้นคว้าการทำงานของเครื่องยนต์และมอเตอร์ | ←→ | | | |

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1 (ต่อ)

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | ระยะเวลาดำเนินงาน | | | |
|----------------------------------|-------------------|--------|-----------|---------|
| | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
| 3) จัดทำโครงสร้างของเครื่อง | | ← | → | |
| 4) ทดลองการใช้งานวงจรควบคุมต่างๆ | | | ← | → |
| 5) ทดสอบระบบและแก้ปัญหา | | | ← | → |
| 6) จัดทำรายงานและนำเสนอ | | | | ← |

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | ระยะเวลาดำเนินงาน | | | | |
|----------------------------------|-------------------|------------|--------|--------|---------|
| | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม |
| 1) ศึกษาค้นคว้าการใช้งานระบบ GPS | ← | → | | | |
| 2) ศึกษาเขียนโปรแกรมอัตโนมัติ | | ← | → | | |
| 3) ทดสอบระบบและ แก้ปัญหา | | | ← | → | |
| 4) จัดทำรายงานและนำเสนอ | | | | | ← |

1.7 โครงสร้างปริญญานิพนธ์

เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร ได้อธิบายขั้นตอนกระบวนการและวิธีการออกแบบต่างๆ โดยมีส่วนเนื้อหาเป็นบทต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ของการทำโครงงาน สมมุติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตรด้วยการประมวลผลและอุปกรณ์ ได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนเมกะ (Arduino Mega2560) รีเลย์ (Relay) แบตเตอรี่ (Battery) มอเตอร์กระแสตรง เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เฟืองเกียร์ทดรอบ จีพีเอส (GPS) โมดูลเข็มทิศ จอแสดงผลแอลซีดี (LCD) สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor) แป้นปุ่มกด (Keypad) ไฟแสดงสถานะ (pilot lamp) ไดโอดเปล่งแสง (LED) มอสเฟต (MOSFET)

เครื่องยนต์ 2 จังหวะ ดอกสว่านเจาะดิน ลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch) รวมไปถึงความรู้และทฤษฎีต่าง ๆ บทที่ 3 ในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร ซึ่งจะประกอบไปด้วยบล็อกไดอะแกรมการทำงาน โพล์ชาร์ตการทำงานของระบบ การออกแบบวงจร และการออกแบบในส่วนของโครงสร้างของตัวเครื่องเจาะ โครงสร้างส่วนของวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานต่าง ๆ

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลอง การทดสอบการเจาะหลุม ชนิดดินที่กำหนด เวลาในการเจาะหลุม ความคลาดเคลื่อนพิกัดจีพีเอส ความคลาดเคลื่อนแต่ละหลุม และความคลาดเคลื่อนแต่ละแถว

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการทดลอง การทำงานของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร อุปสรรคที่พบ และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่สามารถพัฒนาเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นในอนาคตต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร ด้วยการประมวลผลและอุปกรณ์ ได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนเมกะ (Arduino Mega2560) รีเลย์ (Relay) แบตเตอรี่ (Battery) มอเตอร์กระแสตรง เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เฟืองเกียร์ทดรอบ จีพีเอส (GPS) โมดูลเข็มทิศ จอแสดงผลแอลซีดี (LCD) สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor) แป้นปุ่มกด (Keypad) ไฟแสดงสถานะ (pilot lamp) ไดโอดเปล่งแสง (LED) มอสเฟต (MOSFET) เครื่องยนต์ 2 จังหวะ ดอกสว่านเจาะดิน ลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch) รวมไปถึงความรู้และทฤษฎีต่าง ๆ เป็นต้น

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนเมกะ (Arduino Mega2560)

บอร์ดประมวลผลอาดูยโนเมกะ 2560 [1] เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ชิปเอทีเมกะ 2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลักมีลักษณะภายนอก แสดงดังรูปที่ 2.1 จะสามารถนำไปพัฒนาโปรเจก (Project) ได้หลากหลาย เรียนรู้ง่ายสามารถเขียนโปรแกรมบนอาดูยโนไอดีอี (Arduino IDE) และโปรแกรมผ่านยูเอสบี (USB) มีดิจิตอลอินพุต/เอาต์พุต 54 ขา สามารถใช้เป็นเอาต์พุต PWM ได้ 15 ขา มีอนาล็อกอินพุต 16 ขา มี UARTs (Hardware serial ports) 4 ขา ทำงานที่ความถี่ 16 เมกะเฮิร์ตซ์ สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิลยูเอสบี หรือใช้ adaptor AC-to-DC เพื่อเริ่มต้นใช้งาน และมีปุ่มรีเซ็ต



รูปที่ 2.1 รูปของไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนเมกะ

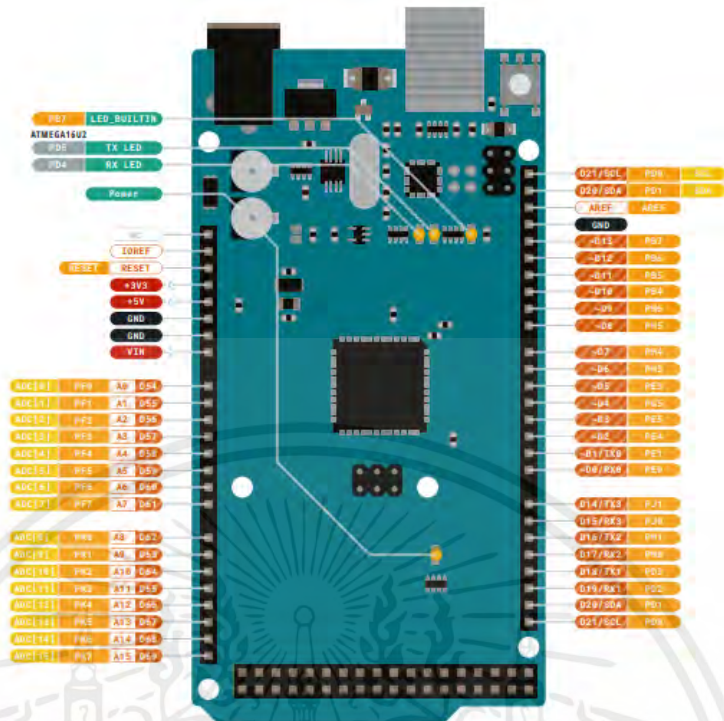
(ที่มา: <https://www.ai-corporation.net/2021/11/25/arduino-mega2560/>)

คุณสมบัติของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนเมกะเมกะ 2560 บอร์ดอาดุยโนเมกะสามารถรับพลังงานจากพอร์ตยูเอสบี (USB port) หรือ จากแหล่งจ่ายไฟ 12 โวลต์ โดยที่แหล่งจ่ายไฟจะถูกเลือกอัตโนมัติแหล่งจ่ายไฟภายนอกสามารถใช้อะแดปเตอร์ (Adapter) หรือจากแบตเตอรี่โดยเลือกช่องที่ต้องการ ทั้งพอร์ตยูเอสบี พอร์ต 12 โวลต์ และขากราวด์ (GND) ของบอร์ด บอร์ดอาดุยโนเมกะสามารถทำงานได้ในช่วงแรงดัน 6 ถึง 20 โวลต์ หากแหล่งจ่ายมีค่าต่ำกว่า 7 โวลต์ อาจทำให้ช่องพิน 5 โวลต์ มีแรงดันต่ำกว่า 5 โวลต์ หรือจ่ายไฟได้ไม่เสถียร และหากมีแรงดันสูงกว่า 20 โวลต์ อาจทำให้บอร์ดเสียหายได้ แรงดันช่วงที่เหมาะสมจึงเป็นช่วง 7 ถึง 12 โวลต์ ขาต่อใช้งานแสดงดังรูปที่ 2.2 คุณสมบัติของบอร์ดอาดุยโนเมกะ 2560 มีดังนี้

- 1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega2560
- 2) แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์
- 3) แรงดันไฟฟ้าอินพุตที่แจ๊ค 7 ถึง 12 โวลต์
- 4) ขาอินพุต/เอาต์พุตแบบดิจิตอล 54 พิน
- 5) ขาอินพุต/เอาต์พุตแบบอนาล็อก 16 พิน
- 6) กระแสตรงขาอินพุต/เอาต์พุต 20 มิลลิแอมป์
- 7) กระแสตรงสำหรับพิน 3.3 โวลต์ 50 มิลลิแอมป์
- 8) หน่วยความจำแฟลช 256 กิโลไบต์
- 9) ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิร์ตซ์

ขาต่อใช้งานทั่วไป

- 1) ขา VIN เป็นขาจ่ายแรงดันขาเข้าของบอร์ด โดยใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก
- 2) ขา 5 โวลต์ เป็นขาที่จ่ายแรงดัน 5 โวลต์ โดยควบคุมจากบอร์ด
- 3) ขา 3V3 เป็นแรงดันที่สร้างขึ้นจากเรกกูเลเตอร์บนบอร์ด
- 4) ขา GND เป็นขากราวด์
- 5) ขา External Interrupts 2, 3, 18, 19, 20, 21 ขาเหล่านี้สามารถกำหนดค่าที่เรียกอินเทอร์รับ ในค่าต่ำ ๆ ขอบขาขึ้นและลง หรือเปลี่ยนแปลงค่าได้
- 6) ขา PWM 2 ถึง 13 และ 44 ถึง 46 ให้ PWM เอาต์พุต 8 บิต
- 7) ขาพอร์ต SPI ขา 50 (MISO), ขา 51 (MOSI), ขา 52 (SCK), ขา 53 (SS) ใช้สำหรับรองรับการสื่อสารแบบเอสพีไอ โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกันกับ ICSP header
- 8) ขา TWI 20 (SDA) and 21 (SCL) รองรับการทำงานเชื่อมต่อแบบ TWI (I2C)



รูปที่ 2.2 รูปของขงาไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน้เมกะ

(ที่มา: <https://www.ai-corporation.net/2021/11/25/arduino-mega2560/>)

2.2 รีเลย์ (Relay)

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก [2] มีลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.3 เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทกให้เปลี่ยนสถานะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์ ซึ่งสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ

2.2.1 หลักการทำงานของรีเลย์

รีเลย์ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก มีดังนี้

1) ขดลวด (Coil) เหนียวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แก่โลหะไปกระตุ้นให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากแหล่งจ่ายภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวดเหนียวนำ เมื่อขดลวดได้รับแรงดัน จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระตุ้นให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน

2) หน้าสัมผัส (Contact) ทำหน้าที่คล้ายกับสวิตช์ ให้เปิดหรือให้ปิด

2.2.2 จุดเชื่อมต่อการใช้งานของรีเลย์

จุดต่อ Normal Close (NC) หมายความว่าปกติปิด หรือ หากยังไม่จ่ายไฟให้ ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา

จุดต่อ Normal Open (NO) หมายความว่าปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ ขดลวดเหนี่ยวนำสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปมักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิด เช่น โคมไฟสนามเหนือบ้าน

จุดต่อ Common (C) คือจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 รีเลย์ (Relay)

(ที่มา: <http://www.weenatech.com/product>)

2.3 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ [3] อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานไฟฟ้า มีลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.4 และจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ด้วยการใช้เซลล์กัววานิก ประกอบไปด้วยขั้วบวก และขั้วลบพร้อมกับสารละลายอีกชนิดหนึ่งคือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งสามารถจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ สามารถอัดประจุเข้าไปได้อีกหลาย ๆ ครั้งแต่ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่นั้นจะไม่เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ ในการอัดประจุเข้าไปใหม่ในแต่ละครั้งนั้นประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะอยู่ที่ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ เพราะเสียพลังงานไปบางส่วนในรูปแบบความร้อน และปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ และคายประจุ



รูปที่ 2.4 แบตเตอรี่ (Battery)

(ที่มา: <https://www.saraphanbattery.com>)

2.4 มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

มอเตอร์กระแสตรง [4] แสดงดังรูปที่ 2.5 เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุม เครื่องจักรกลต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงานดังนั้นจึงควรทราบถึงความหมาย และชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าและคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของตัวมอเตอร์ และสามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับงาน



รูปที่ 2.5 มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

(ที่มา: <http://o1farm.lnwshop.com>)

2.4.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

หลักการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด ซึ่งขดลวดชุดหนึ่งอยู่ที่ (Stator) เรียกว่าขดลวดสนาม (Field winding) ที่ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กถาวร ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายมานั้นจะมาจากแหล่งเดียวกันกับขดลวดอาร์เมเจอร์ แต่ในบางครั้งสำหรับมอเตอร์เล็ก ๆ นั้นจะใช้แม่เหล็กถาวรแทนการใช้ขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กถาวร และขดลวดชุดที่สองที่อยู่ในส่วนของโรเตอร์ (Rotor) จะเรียกว่าขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding) ซึ่งจะจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์ผ่านแปรงถ่าน (Brush) และชุดคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งตัวขดลวดนั้นจะทำให้เกิดทอร์ก (Torque) ในการหมุนของโรเตอร์ที่เกิดมาจากการกระทำ ระหว่างขั้วแม่เหล็กของขดลวดในสเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ที่ต่างขั้วกันและผลักกันทำให้เกิดการหมุนขึ้นได้มากที่สุด

2.4.2 การกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง

การทำงานของมอเตอร์ และการกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงในการที่จะควบคุมการหมุน และทิศทางของมอเตอร์นั้นจะต้องมีวงจรในการช่วยทำงานการใช้รีเลย์เข้ามาควบคุมการเปลี่ยนทิศทางของ มอเตอร์ โดยการควบคุมการปิดและเปิดรีเลย์ 2 ตัว ซึ่งจะทำงานกลับทิศทางกันโดยสลับการทำงานของรีเลย์ทีละตัว เช่น การให้รีเลย์ตัวที่ 1 ทำงาน และรีเลย์ตัวที่ 2 หยุดทำงานมอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา และถ้าให้รีเลย์ตัวที่ 1 หยุดทำงาน และรีเลย์ตัวที่ 2 ทำงานมอเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

2.5 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์ [5] เป็นชนิดหนึ่งของมอเตอร์ที่ใช้ในระบบควบคุม มีลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.6 และปรับเปลี่ยนตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่ของวัตถุตามคำสั่งที่ได้รับ โดยมีหลักการทำงานคือการตรวจจับตำแหน่งปัจจุบัน และทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการหรือรักษาตำแหน่งให้คงที่ลักษณะของเซอร์โวมอเตอร์คือ วัสดุที่มีขนาดและรูปร่างหลากหลาย มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยมอเตอร์และระบบตัวควบคุม

2.5.1 เซอร์โวมอเตอร์มีการทำงานหลัก ๆ อยู่ในโหมดควบคุม 2 โหมด

1) โหมดควบคุมตำแหน่ง (Position Control Mode) เมื่อได้รับสัญญาณควบคุมตำแหน่ง มอเตอร์จะหมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ และรักษาตำแหน่งนั้นในขณะที่ได้รับสัญญาณควบคุมอยู่

2) โหมดควบคุมความเร็ว (Speed Control Mode) เมื่อได้รับสัญญาณควบคุมความเร็ว มอเตอร์จะหมุนในความเร็วที่กำหนดไว้ และรักษาความเร็วนั้นในขณะที่ได้รับสัญญาณควบคุมอยู่



รูปที่ 2.6 เซอร์โวมอเตอร์(Servo Motor)

(ที่มา: <http://robo-circuit.com>)

2.5.2 เซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย

- 1) มอเตอร์(Motor) เซอร์โวมอเตอร์ใช้มอเตอร์เป็นหลักซึ่งมีโครงสร้างที่สามารถควบคุมการหมุนโดยใช้สัญญาณพลังงานไฟฟ้า
- 2) เซอร์โวชุดก้าน (Servo Shaft) เป็นก้านหรือแขนที่ต่ออยู่กับมอเตอร์และใช้สำหรับรับแรงที่มอเตอร์ส่งออกมา และส่งพลังงานไปยังวัตถุที่ต้องการควบคุม
- 3) วงจรควบคุม (Control Circuit) เป็นส่วนที่ใช้ในการรับสัญญาณควบคุม และประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยังมอเตอร์เพื่อควบคุมการหมุน และตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์

2.6 เฟืองเกียร์ทดรอบ

เฟืองเกียร์ทดรอบ [6] แสดงดังรูปที่ 2.7 เป็นอุปกรณ์ที่มีการส่งกำลังไปผ่านที่ตัวฟันเฟืองในแบบแรงบิดตัวเฟืองจะเป็นตัวช่วยในการทดรอบให้ใช้กำลังที่ลดน้อยลงในขณะที่การขับเคลื่อนของกลไกเป็นไปด้วยความเร็ว มีการใช้หลักเรื่องการทดรอบด้วยการใช้เฟืองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กกว่าเฟืองนั้นเพื่อให้ส่งกำลังในรูปแบบของแรงบิด มีการหมุนตัว

เฟืองที่มีฟันเฟืองในแนวรัศมีความโค้ง ซึ่งการส่งกำลังจะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำงานของฟันเฟืองตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป การทำงานของเกียร์ทดรอบจะมีส่วนประกอบของฟันเฟืองหลายประเภท และมีอัตราทดรอบที่เริ่มต้นตั้งแต่ 1/10, 1/20, 1/30, 1/40 และ 1/50

เฟืองเกียร์ทดรอบ ออกเป็น 5 ประเภท คือ

1) ชนิดแบบตรง จะทำให้การสูญเสียพลังงานมีต่ำกว่า จะมีลักษณะพิเศษตรงฟันเฟืองที่เป็นแบบแนวขนานขนานไปกับช่วงรูเพลลา โดยชื่อเรียกว่า เฟืองขนานเพลลา (Parallel-shaft Gear) เฟืองตรง (Spur Gear) เป็นอุปกรณ์เพื่อส่งกำลังระยะสั้นมีความแข็งแรงพอสมควร

ข้อดี คือ ประสิทธิภาพในการใช้งานสูง ประกอบได้ง่ายพร้อมใช้งาน และสูญเสียพลังงานต่ำ เพราะแรงสั่นไถลมีน้อย

ข้อเสีย คือ ในการใช้งานรอบเร็วจะเสียงดัง ใช้งานแบบคู่ขนานได้เท่านั้น และความแข็งแรงค่อนข้างน้อยกว่าเฟืองชนิดอื่น

2) ชนิดแบบเฉียง มีลักษณะของตัวเฟืองคล้ายกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะไม่ขนานกับเพลลา แต่จะเป็นการทำมุมเฉียงเพื่อให้ได้มุมที่ต้องการ สามารถเอียงไปได้ทั้งซ้ายและขวา เวลาทำงานเฟืองชนิดนี้จะมีเสียงเบาและทำงานได้ไหลลื่นดี เพราะซี่ฟันที่มีความลาดเอียงทำให้การเสียดสีน้อย เฟืองชนิดนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งแบบแนวขนานและแบบตั้งตรง

ข้อดี คือ การทำงานเงียบ เสียงไม่ดัง ทำงานอย่างราบรื่นและต่อเนื่อง

ข้อเสีย คือ ประสิทธิภาพในการทำงานค่อนข้างต่ำ การสูญเสียพลังงานมีสูงเกิดจากการสั่นไถลที่มากขึ้น

3) ชนิดแบบดอกจอก มีรูปทรงผสมผสานกันระหว่างเฟืองตรง, เฟืองเฉียง และรูปกรวย มีความพิเศษที่เป็นเฟืองแบบ 2 ตัวขบกันอยู่ในแนวเพลลา โดยที่เพลลาของทั้งคู่จะอยู่ในลักษณะตั้งฉากหรืออยู่แนวตัดกัน เพลลา 2 ตัวนี้จะทำการตั้งฉากกันในระดับ 90 องศา การทำงานเฟืองชนิดนี้จะปรับเปลี่ยนไปตามรูปร่าง ซึ่งเฟืองชนิดนี้มีแยกออกมาเป็น 2 ประเภท คือ แบบตรง (Straight Type) และแบบโค้ง (Spiral Type)

ข้อดี คือ เหมาะกับการใช้ในอัตราทดของเฟืองที่มีมาก ๆ ประสิทธิภาพในการใช้งานและการส่งถ่ายกำลังสูง และเฟืองแบบเฉียงถูกออกแบบให้อัตราการทดมีมากกว่าจึงแข็งแรงและทนทานมากกว่าเฟืองดอกจอกแบบตรง

ข้อเสีย คือ เฟืองดอกจอกแบบเฉียงจะประกอบยาก เมื่อเวลาทำงานต้องการปรับเปลี่ยนมุมยาก และเพลลาทำงานหนักจากการกระแทกสูง จึงต้องเลือกตั้ลูกปืน ที่มีความทนทานสูง

4) ชนิดแบบตัวหนอน คือชุดเกียร์ที่ประกอบกันขึ้นมา 2 ชั้น โดยส่วนของล้อตัวหนอนและตัวเฟืองทำงานแบบเซลฟ์ล็อกกิ้ง (Self-Locking) ที่ให้เสียงเงียบ ทำงานต่อเนื่อง แต่สูญเสียพลังงานสูงและแรงกระทำสูงขึ้น

ข้อดี คือ สามารถใช้กับอัตราการทดเฟืองที่มากขึ้น

ข้อเสีย คือ การสูญเสียพลังงานที่สูงและเกิดแรงกระทำบนตัวหนอนที่สูง

5) ชนิดแบบสะพาน เป็นเฟืองที่มีลักษณะตรง คล้ายรูปร่างของสะพาน ฟันเฟืองจะทำมุมกับลำตัวประมาณ 90 องศา และใช้คู่กับตัวเฟืองตรง นำมาใช้เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ให้กลายเป็นการหมุน หรือเปลี่ยนการเคลื่อนที่ในเชิงมุมและเชิงเส้น นอกจากนี้ยังเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงเส้นให้กลายเป็นแบบกลับไป-กลับมา

ข้อดี คือ เมื่อใช้งานร่วมกับเฟืองตรงหรือเฟืองแบบตัวเล็ก จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นได้ทันที

ข้อเสีย คือ เฟืองจะไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เพราะต้องเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ และจะต้องไปจบที่ปลายสะพานเท่านั้น

วิธีการเลือกมอเตอร์เกียร์ทด (Reduction gear motor) เพื่อให้ได้การทำงานที่มีประสิทธิภาพ ควรเลือกใช้ตรงตามความต้องการใช้งาน เป็นหลัก ต้องดูที่ข้อมูลจำเพาะ ของตัว มอเตอร์เกียร์ทด ที่ต้องการ คำนวณอัตราของแรงบิด ดูจำนวนของรอบที่ต้องการใช้งาน เรื่องของ การควบคุมปรับความเร็ว และความเข้าให้เหมาะสมกับงาน



รูปที่ 2.7 เกียร์ทรอบ (Worm Gear LIMING)

(ที่มา: <https://fms.co.th/LM-Worm-Gear>)

2.7 จีพีเอส (Global Positioning System)

จีพีเอส [7] เป็นระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก เป็นระบบที่ใช้ดาวเทียมประมาณ 24 ดวงทั่วโลก โคจรรอบโลกที่ความสูง 10,600 ไมล์ จากพื้นผิวโลก ดาวเทียมจะเว้นระยะพื้นที่เท่า ๆ กัน จากทุกมุมบนโลก และจะมีดาวเทียม 4 ดวง ที่อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า ระบบจีพีเอสนี้ จะทำให้คนบนพื้นโลกที่มีเครื่องรับ สัญญาณจีพีเอสสามารถทราบถึงพิกัดตำแหน่งที่ตนเองยืนอยู่ได้โดยความแม่นยำของการระบุตำแหน่งนั้นอยู่ ระหว่าง 10 ถึง 100 เมตรในอุปกรณ์รับสัญญาณส่วนใหญ่ แต่สำหรับอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสชนิดพิเศษที่ใช้ในกองทัพอาจสามารถรับสัญญาณได้แม่นยำถึงระยะ 1 เมตร ซึ่งแต่ก่อนการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสจะใช้สำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์เป็นหลัก

2.7.1 การทำงานของจีพีเอส

- 1) ดาวเทียมหลักของ จีพีเอส ทั้งหมด 21 ดวง และอีก 3 ดวงเป็นดาวเทียมสำรอง
- 2) ดาวเทียมแต่ละตัว จะประกอบไปด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่เวลาในระบบจะไม่หยุดเดินและ ส่งสัญญาณวิทยุได้ตลอดจนกว่าดาวเทียมดวงนั้นจะหมดอายุและร่วงลงสู่พื้นโลก
- 3) ดาวเทียมทุกดวงจะโคจรตามวงโคจรของตนเองและเวลาที่ใช้ในดาวเทียมดวงนั้น ๆ จะถูกตั้ง ค่าไว้แล้ว ซึ่งการถ่ายทอดตำแหน่งและเวลาของดาวเทียมแต่ละดวงยังสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง
- 4) อุปกรณ์รับสัญญาณ จีพีเอส ทุกตัวจะประกอบไปด้วยจอที่สามารถแสดงแผนที่โลกได้ โดย ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่ได้จะไปแสดงให้สอดคล้องกับตำแหน่งบนแผนที่
- 5) อุปกรณ์รับสัญญาณ จีพีเอส ที่มีความสามารถเพิ่มเติม สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ครบ ทั้ง 4 ดวงโดยข้อมูลที่ได้จะแสดงถึงความสูงของตำแหน่งนั้นด้วย
- 6) ถ้าเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นอุปกรณ์รับสัญญาณ จีพีเอส สามารถที่จะคำนวณความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่ได้
- 7) ระบบ จีพีเอส ที่มีความสามารถสูงจะสามารถระบุสถานที่เป้าหมายที่ต้องการไปและคำนวณ เวลาในการเดินทางได้

2.7.2 ส่วนประกอบของจีพีเอส

- 1) ส่วนอวกาศ ประกอบไปด้วยดาวเทียม 3 ค่าย คือ อเมริกา รัสเซีย ยุโรป ของอเมริกา ชื่อ NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging GPS) มีดาวเทียมทั้งหมด 28 ดวง และที่ใช้จริง 24 ดวง อีก 4 ดวง เป็นดาวเทียมสำรอง มีรัศมีวงโคจรจากพื้นโลกประมาณ 20,162.81 กิโลเมตร หรือ 12,600 ไมล์ ดาวเทียมแต่ละดวงนั้นใช้เวลาในการโคจรรอบโลกประมาณ 12 ชั่วโมง

2) ส่วนควบคุม ประกอบไปด้วยสถานีภาคพื้นดิน สถานีใหญ่ที่ Falcon Air Force Base ประเทศ อเมริกา และศูนย์ควบคุมย่อยอีก 5 จุด กระจายไปยังภูมิภาคอื่น ๆ ทั่วโลก

3) ส่วนผู้ใช้งาน ในส่วนของผู้ใช้งานต้องมีเครื่องรับสัญญาณที่สามารถรับคลื่นและแปรรหัสจาก ดาวเทียมเพื่อนำมาประมวลผลให้เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ

2.7.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสัญญาณจีพีเอส

1) สัญญาณกระจายหลายเส้นทาง สัญญาณจาก จีพีเอส อาจสะท้อนจากวัตถุต่าง ๆ เช่น ตึกสูง ภูเขาสูง ภูเขาสูงใหญ่ที่อยู่ระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะเพิ่มเวลาในการเดินทางของสัญญาณ และ ก่อให้เกิดความผิดพลาดของสัญญาณได้

2) ความล่าช้าของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศที่บางที่ ประกอบไปด้วยแก๊สที่แตกตัวเป็นประจุบวกและลบ ทำให้การส่งสัญญาณจีพีเอสล่าช้ากว่าปกติได้

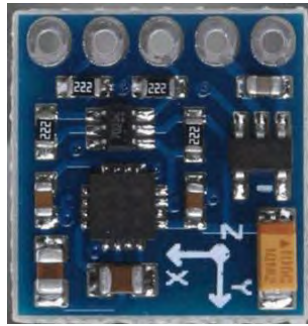
3) ความผิดพลาดของการโคจร ตำแหน่งของดาวเทียมที่รายงานไปอาจไม่แม่นยำ

4) ความผิดพลาดจากนาฬิกาตัวรับสัญญาณนาฬิกาในตัวรับสัญญาณอาจมีการระบเวลาผิดพลาดเล็กน้อยเนื่องจากแม่นยำน้อยกว่านาฬิกาในดาวเทียมจีพีเอส

2.8 โมดูลเข็มทิศ (Compass Module)

โมดูลเข็มทิศ [8] เป็นเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.8 เพื่อใช้ระบุตำแหน่งทิศทางได้อย่างถูกต้องแม่นยำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับหุ่นยนต์ หรืออุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ที่ต้องมีการเคลื่อนที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาทิศทางขั้วแม่เหล็กโลก คือเข็มทิศ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์อย่างมากในการเดินทาง เอาไว้หาทิศทาง ซึ่งเข็มทิศนั้นจะต้องชี้บอกตำแหน่งทางทิศเหนืออยู่เสมอ

โมดูลเข็มทิศมีการพัฒนาจนกลายเป็นโมดูลขนาดเล็ก ๆ มีขนาดเพียง 6 x 6 มิลลิเมตร ซึ่งเล็กมาก ๆ สามารถนำไปติดตั้งที่อุปกรณ์ เช่น มือถือหรือโน้ตบุ๊ก โดยใช้ในการเชื่อมต่อข้อมูล แบบ I2C โดยใช้ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 2.7 โวลต์ ถึง 5 โวลต์



รูปที่ 2.8 โมดูลซีเอ็มทีศ

(ที่มา: <https://www.mcucity.com/product/2972>)

2.9 จอแสดงผลแอลซีดี (LCD)

จอแสดงผลแอลซีดี [9] เป็นจอที่ทำมาจากผลึกเหลวของคริสตัล คือด้านหลังจอจะมีไฟส่องสว่างหรือที่เรียกว่าแบ็คไลท์ (Backlight) แสดงดังรูปที่ 2.9 เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นที่ผลึกจะทำให้ผลึกโปร่งแสง ทำให้แสงที่มาจากไฟแบ็คไลท์แสดงขึ้นมาบนหน้าจอส่วนอื่น ที่โดนผลึกปิดกั้นไว้จะไม่สว่าง ผลึกมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตัล เช่น สีเขียว หรือ สีฟ้า ฯลฯ ทำให้เมื่อมองไปที่จอจะพบกับตัวหนังสือและพื้นหลังสีต่างกัน จอแอลซีดีเป็นจอแสดงผลรูปแบบหนึ่งที่ยิมนำมาใช้งาน จอแอลซีดีมีทั้งแบบแสดงผลเป็น ตัวอักษรเรียกว่า จอแอลซีดีตัวอักษรซึ่งมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่แสดงผลไว้ และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์เรียกว่า กราฟิกแอลซีดี นอกจากนี้บางชนิดเป็นจอที่มีการผลิตขึ้นมาใช้เฉพาะงาน ทำให้มีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะเจาะจงในการแสดงผล เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องคิดเลข หรือ หน้าปัดวิทยุ เป็นต้น

2.9.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของแอลซีดี

โครงสร้างของแอลซีดีทั่วไปจะประกอบขึ้นด้วย 2 แผ่นแก้วประกบกัน โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6 ถึง 10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใส มีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบ และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบแม่เหล็ก โดยแอลซีดีสามารถแสดงผลให้เรามองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกัน คือ

- 1) แบบใช้การสะท้อนแสง (Reflective Mode) แบบนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของแอลซีดี ซึ่งแอลซีดีประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ
- 2) แบบใช้การส่งผ่าน (Transitive Mode) แบบนี้วางหลอดไฟไว้ด้านหลังจอ เพื่อให้การอ่านค่าที่แสดงผลทำได้ชัดเจน

3) แบบส่งผ่านและสะท้อน (Transflective Mode) แบบนี้เป็นการนำเอา ข้อดีของจอแสดงผลแอลซีดีทั้ง 2 แบบ มารวมกันมีทั้ง 16 ตัวอักษร 20 ตัวอักษรหรือมากกว่า และจำนวนบรรทัดจะมีตั้งแต่ 1 บรรทัด 2 บรรทัด 4 บรรทัดหรือมากกว่า

2.9.2 การแบ่งแอลซีดีตามลักษณะการแสดงผล

1) จอแอลซีดีจะแสดงผลเป็นอักขระ เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว เช่นจอแอลซีดีขนาด 16×2 คือใน 1 แถวมีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน ส่วน 20×4 หมายถึงใน 1 แถวมี ตัวอักษรใส่ได้ 20 ตัว และมีทั้งหมด 4 บรรทัด

2) แอลซีดีแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์ เป็นจอที่สามารถกำหนดได้ว่าจะให้แต่ละจุดบนหน้าจอกันแสงหรือปล่อยแสงออกไปทำให้จอนี้สามารถสร้างรูปขึ้นมาบนหน้าจอได้ การระบุขนาดจะระบุในลักษณะของจำนวนจุด (Pixels) ในแต่ละแนว เช่น 128×64 หมายถึงจอที่มีจำนวนจุดตามแนวนอน 128 จุด และมีจุดตามแนวตั้ง 64 จุด



รูปที่ 2.9 จอแอลซีดี (LCD)

(ที่มา: <https://www.mcucity.com/product/2972>)

2.10 สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor)

สเต็ปป์มอเตอร์ [10] เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับควบคุมการหมุน เพื่อกำหนดตำแหน่งและทิศทางด้วยมุมมองฯ ให้กับกลไกการทำงานของเครื่องจักรกลที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น ระบบควบคุมในหุ่นยนต์ เครื่องพิมพ์ สายพานลำเลียงในโรงงาน และอีกมากมาย ซึ่งอาศัยการทำงานจากการใช้สัญญาณไฟฟ้าแบบคลื่นสี่เหลี่ยม (Pulse) ขับมอเตอร์เพื่อให้แกนหมุนแบบไม่ต่อเนื่อง แต่จะขับเคลื่อนไปที่ละขั้นโดยสามารถหมุนได้รอบแกน 360 องศา ทำให้กลไกการเคลื่อนที่ของแกนหมุนมีความเร็วต่ำ และ

รักษาแรงบิดได้ในทันทีโดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างมอเตอร์ของแต่ละตัว จึงไม่ทำให้มอเตอร์เกิดความเสียหายเมื่อมีการใช้งาน แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของมอเตอร์แต่ละตัวด้วยเช่นกัน โดยสแต็ปป์มอเตอร์โรตารี นั้นมีหลากหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งานที่แตกต่างกัน

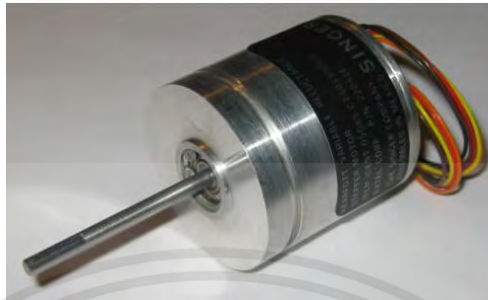
1) สแต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Stepping Motor) เป็นสแต็ปป์มอเตอร์ ที่มีโครงสร้างภายในที่ประกอบด้วย โรเตอร์รูปทรงกระบอกที่เป็นแม่เหล็กแบบถาวร และโครงสร้างภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.10 และส่วนของสเตเตอร์จะถูกพันด้วยขดลวดเอาไว้หลายซี่ เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป จะทำให้ขดลวดที่พันกับสเตเตอร์ และโรเตอร์เกิดการผลักต่อกัน และถ้าหากไม่มีการป้อนไฟฟ้าเข้าไปยังอุปกรณ์ จะทำให้โรเตอร์หยุดอยู่กับที่ ส่งผลให้สแต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้มีแรงบิดที่สูงกว่า สแต็ปป์มอเตอร์ประเภทอื่น โดย ข้อดีของสแต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้ คือ ในระหว่างการใช้งาน จะไม่มีเสียงที่ดังรบกวน จึงนิยมนำมาใช้งานกับเครื่องซีเอ็นซี (Computer Numerical Control) ระบบควบคุมวาล์ว และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.10 สแต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร
(ที่มา: <https://www.changfi.com/fix/2021/12/23/14527/>)

2) สแต็ปป์มอเตอร์แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็ก (Variable Reluctance Stepping Motor) ลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.11 เป็นสแต็ปป์มอเตอร์ ที่มีโครงสร้างภายในที่ประกอบด้วย โรเตอร์ที่ผลิตมาจากสาร เฟอร์โรแมกเนติกแบบอ่อน และในส่วนของสเตเตอร์นั้นจะเป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่ง ข้อดีของ สแต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้ คือ สามารถทำให้โรเตอร์หมุนรอบได้สูงกว่า สแต็ปป์มอเตอร์แบบแรก อีกทั้งยังสามารถหมุนได้ในขณะที่ไม่มีการจ่ายไฟฟ้าเข้าไปยังอุปกรณ์ ส่งผลให้สแต็ปป์มอเตอร์

ประเภทนี้มี ข้อเสียตรงที่จะมีเสียงดังรบกวนขณะที่มอเตอร์กำลังทำงาน จึงเหมาะกับเครื่องกลที่ต้องการแรงบิดต่ำไปจนถึงระดับปานกลาง เช่น ใช้ในชุดหัวอ่านของแผ่นดิสก์เก็ต เป็นต้น



รูปที่ 2.11 สเต็ปป์มอเตอร์แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็ก

(ที่มา: <https://www.changfi.com/fix/2021/12/23/14527/>)

3) สเต็ปป์มอเตอร์แบบผสม (Hybrid Stepping Motor) แสดงดังรูปที่ 2.12 เป็นสเต็ปป์มอเตอร์มีการทำงานร่วมกันระหว่างมอเตอร์สองชนิด นั่นคือ แบบแม่เหล็กถาวร และแบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้ ทำให้แกนของมอเตอร์ประเภทนี้มีแรงบิดที่สูง อีกทั้งยังได้มุมในการหมุนที่ตรงกับตำแหน่งตามที่ต้องการโดยใช้พลังงานต่ำอีกด้วย จึงทำให้สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้มีราคาที่สูงกว่า สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทอื่น ๆ จึงนิยมนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ กันอย่างแพร่หลาย เช่น เครื่องซีเอ็นซี (Computer Numerical Control) เป็นต้น



รูปที่ 2.12 สเต็ปป์มอเตอร์แบบผสม

(ที่มา: <https://www.changfi.com/fix/2021/12/23/14527/>)

4) สเต็ปป์มอเตอร์แบบไบโพลาร์ (Bipolar Stepping Motor) แสดงดังรูปที่ 2.13 เป็นสเต็ปป์มอเตอร์ ที่เป็นระบบไฟฟ้าแบบ 2 เฟส โดยใช้การกระตุ้นให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทั้ง 2 ขดลวดในเวลาเดียวกัน ทำให้ โรเตอร์สามารถหมุนด้วยแรงดึงได้มากกว่า จึงส่งผลให้สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้ มีข้อเสียตรงที่จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าที่มากขึ้น ในการนำมาระดับการทำงานของอุปกรณ์ จึงทำให้สเต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้ เป็นที่นิยมในการนำมาต่อเข้ากับวงจรควบคุมเครื่องมือหรือเครื่องจักร ที่ต้องการจัดสเปคให้ตรงต่อความต้องการต่าง ๆ



รูปที่ 2.13 สเต็ปป์มอเตอร์แบบไบโพลาร์

(ที่มา: <https://www.changfi.com/fix/2021/12/23/14527/>)

5) สเต็ปป์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar Stepping Motor) แสดงดังรูปที่ 2.14 เป็นสเต็ปป์มอเตอร์ที่เป็นระบบไฟฟ้าแบบ 4 เฟส โดยสเตเตอร์ของมอเตอร์ประเภทนี้จะเป็นขดลวดที่พันแบบ 2 ขดบนขั้วแม่เหล็ก และในส่วนของโรเตอร์นั้นจะเป็นสนามแม่เหล็กที่มีกำลังอ่อน เนื่องจากสเต็ปป์มอเตอร์ประเภทนี้มีการใช้อุปกรณ์ที่น้อยกว่าแบบไบโพลาร์ จึงส่งผลให้ขั้วแม่เหล็กเกิดการทำงานในทิศทางตรงกันข้ามกันได้



รูปที่ 2.14 สเต็ปป์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

(ที่มา: <https://www.changfi.com/fix/2021/12/23/14527/>)

2.11 แป้นปุ่มกด (Keypad)

แป้นปุ่มกด [11] เป็นอุปกรณ์สำหรับรับอินพุตจากผู้ใช้ มีลักษณะเป็นปุ่มกดหลายปุ่ม ถูกจัดเรียงกันในลักษณะเป็นอาร์เรย์ แสดงดังรูปที่ 2.15 แบ่งเป็นแถวแนวนอน (Rows) และแถวแนวตั้ง (Columns) เช่น $3 \times 4 = 12$ ปุ่ม หรือ $4 \times 4 = 16$ ปุ่ม เป็นต้น แต่ละปุ่ม จะมีสัญลักษณ์เขียนกำกับไว้ เช่น ตัวเลข 0-9, #, * เป็นต้นโดยปกติ ถ้าต่อปุ่มกดแยกจำนวน 16 ตัว จำเป็นต้องใช้ขาสัญญาณทั้งหมด 16 ขา แต่ถ้าใช้การจัดเรียงแบบ 4×4 จะใช้ขาสัญญาณเพียง 8 ขา ต้องมีการตรวจสอบว่าปุ่มกดใดถูกกดบ้างในขณะนั้น วิธีการนี้เรียกว่า การสแกนปุ่มกด (Key Scan) การใช้งาน 4×4 ปุ่มกด ร่วมกับบอร์ดอาตตูรีโน เพื่อคอยตรวจสอบว่าผู้ใช้ได้กดปุ่มใดบ้าง อุปกรณ์ที่ใช้เป็น 4×4 ปุ่มกด มีสายเชื่อมต่อและคอนเนกเตอร์จำนวน 8 ขา แบบตัวเมียถ้าต้องการเสียบขาลงบนบอร์ด จะสามารถใช้ ฟินแฮดเตอร์ตัวผู้ เป็นตัวเชื่อมต่อได้ขาทั้ง 8 นั้น ถ้ามองจากด้านหน้า (Front View) และนับจากซ้ายไปขวา จะเป็นขาหมายเลข 1 ถึง 8 ตามลำดับ โดยที่ขา 1 ถึง 4 จะเป็นขาสำหรับแถวแนวนอน (Rows) และขา 5 ถึง 8 จะเป็นขาแนวตั้ง (Columns) ในการใช้งานร่วมกับบอร์ดอาตตูรีโน จะต้องต่อตัวต้านทานแบบ ดึงขึ้น เช่น 1 กิโลโอห์ม ถึง 10 กิโลโอห์ม เฉพาะที่ขาแนวตั้งแต่ละขาค้วย รวมทั้งหมด 4 ตัว



รูปที่ 2.15 แป้นปุ่มกด (Keypad)

(ที่มา: Amazon.ca: Electronics)

2.12 ไฟแสดงสถานะ (Pilot Lamp หรือ Status Light)

ไฟแสดงสถานะ [12] แสดงดังรูปที่ 2.16 เป็นหลอดไฟแสดงสถานะ มักติดตั้งไว้ที่ตู้ควบคุมไฟฟ้า โดยมีหน้าที่บอกสถานะการทำงาน เช่น การทำงาน การหยุดทำงาน หรือแจ้งเตือนเมื่อมีกรณีเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในระบบโดยสีของไฟสถานะ จะแจ้งเตือนโดยแสดงตามสีที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้

สีของ (Pilot Lamp) ใช้แสดงสถานะการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งสีที่นิยมใช้กันมีดังนี้

1) สีแดง (Red) เป็นสีที่มักจะใช้กับการแจ้งสถานะของเครื่องจักรเมื่อหยุดการทำงาน หรือไม่พร้อมสำหรับการใช้งาน

2) สีเหลือง (Yellow or Amber) เป็นการแจ้งสัญญาณเตือน ตัวอย่างเช่น แจ้งเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทำการตรวจเช็คเครื่องจักร เมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น

3) สีฟ้า (Blue) เป็นสีที่นิยมนำไปใช้กับตู้ไฟฟ้า 3 เฟสบอกสถานะการทำงานในเวลาตามมาตรฐาน VDE ของประเทศเยอรมัน



รูปที่ 2.16 ไฟแสดงสถานะ (Pilot Lamp หรือ Status Light)

(ที่มา: <https://misumitechnical.com/technical/electrical/pilot-lamp>)

2.13 ไดโอดเปล่งแสง (LED)

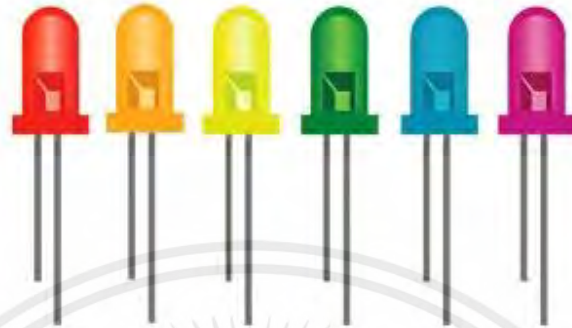
ไดโอดเปล่งแสง หรือ แอลอีดี (LED) [13] เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จำพวกไดโอดที่สามารถเปล่งแสงให้มองเห็นได้ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน สีของแสงที่เปล่ง ออกมาขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้ มีลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.17

การเลือกใช้ ไดโอดเปล่งแสง

- 1) เลนส์ เป็นตัวบอกประเภทและ วัสดุที่ใช้ทำ
- 2) ความสว่างของแสง เป็นตัวบอกระดับความสว่างของแสง

3) color (wavelength) เป็นตัวบอกสี ขนาดของความยาวคลื่นที่ แอสอีดีเปล่งแสง

ออกมา



รูปที่ 2.17 ไดโอดเปล่งแสง (LED)
(ที่มา: <https://www.ai-corporation.net>)

2.14 มอสเฟต (MOSFET)

มอสเฟต ย่อมาจาก (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) [14] แสดงดังรูปที่ 2.18 คือทรานซิสเตอร์ที่ทำงานได้โดยการควบคุมด้วยสนามไฟฟ้า ซึ่งสนามไฟฟ้านี้เกิดขึ้นได้จากการป้อนแรงดันอินพุตเข้าที่เกต (Gate) ของมอสเฟต ดังนั้นมอสเฟตกำลัง คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ควบคุมการ เปิด-ปิด ของกระแสไฟฟ้าได้ด้วยแรงดัน (Voltage control current source)

ประเภทของมอสเฟต มีดังนี้

1) NMOS (Negative MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท เอ็นพีเอ็น (NPN) เมื่อมีความต่างศักย์เป็นบวก สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก ขั้วซอร์ส ไป ขั้วเดรน

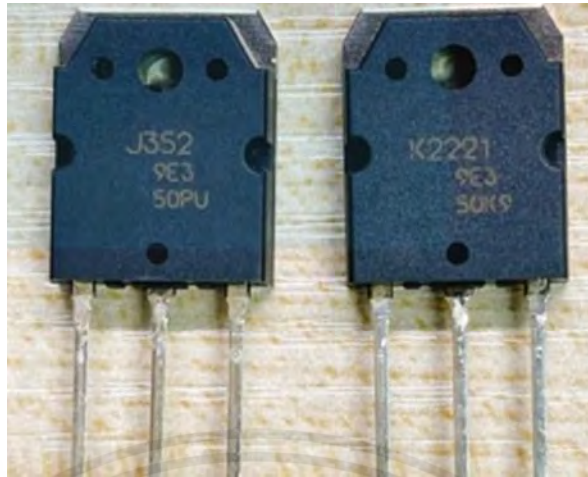
2) PMOS (Positive MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ประเภท พีเอ็นพี (PNP) เมื่อมีความต่างศักย์ต่ำหรือเป็นลบ สัญญาณไฟฟ้าจึงจะไหลจาก ขั้วซอร์ส ไป ขั้วเดรน

โครงสร้างของมอสเฟส

1) ขั้วเดรน เป็นขา ออกของสัญญาณ

2) ขั้วซอร์ส เป็นขา เข้าของสัญญาณ

3) ขั้วเกต เป็นส่วนที่ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นสองแผ่นเพื่อ สร้างสนามไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเข้าออกของสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 2.18 มอสเฟต (MOSFET)

(ที่มา: <http://www.108ham.com/?id=219&antenna.html>)

2.15 เครื่องยนต์ 2 จังหวะ (Two-Stroke Engine)

เครื่องยนต์ 2 จังหวะ [15] แสดงดังรูปที่ 2.19 คือ เครื่องยนต์ที่ทำงาน 2 ช่วงชัก คือ ช่วงชักที่ 1 คือช่วงชักดูดกับอัด และ ช่วงชักที่ 2 คือช่วงชักกระเปิดและคาย และเครื่องยนต์ 2 ช่วงชักจะไม่มีวาล์วเปิดปิดไอดีไอเสีย แต่จะใช้ลูกสูบเป็นตัวเปิดปิดไอดีไอเสียแทน ซึ่งเครื่องยนต์ 2 ช่วงชักจะทำงานรอบจัดกว่าเครื่องยนต์ 4 จังหวะ และการเผาไหม้มีประสิทธิภาพต่อยกกว่าสี่จังหวะ

2.15.1 การทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ

1) การดูด และ อัด จังหวะที่ 1 คือ เมื่อลูกสูบล่วงจากข้างบนลงข้างล่าง จะเป็นจังหวะที่ดูด อากาศจากห้องแครงก์เข้าสู่กระบอกสูบและ ทำการ อัด อากาศขึ้นไป

2) การกระเปิดและคาย จังหวะที่ 2 คือ หัวเทียนจะสร้างกระแสไฟออกมาเพื่อ จุดระเบิด ในห้องเผาไหม้ หลังจากการจุดระเบิด ลูกสูบจะถูกดันลงมา เพื่อดันไอดีในห้องเผาไหม้ที่ถูกอัดไว้จาก จังหวะก่อนหน้าให้ไอดีไอเสียออกมา ทำให้เกิดจังหวะ คาย ในช่วงเวลาที่ไม่เกี่ยวข้องกันนั่นเอง

ลักษณะของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ มีดังนี้

1) เสียงของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ จะมีเสียงออกแหลม ๆ และเมื่อจอดรถติดเครื่องยนต์ไว้จะมีรอบเดินรถที่ไม่เรียบ

2) จะมีควันออกจากท่อไอเสีย เพราะจำเป็นต้องใช้น้ำมันเครื่องชนิดพิเศษที่เรียกว่า ออโต้ลูบ เพื่อเข้าไปช่วยหล่อลื่นชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในบริเวณห้องเครื่องพร้อมกับเกิดการเผาไหม้ออกมาทางท่อไอเสีย



รูปที่ 2.19 เครื่องยนต์ 2 จังหวะ (Two-stroke engine)

(ที่มา <https://technologyengineworks.blogspot.com/2015/09/2.html>)

2.16 ใบดอกเจาะดิน

ใบดอกเจาะดิน [16] แสดงดังรูปที่ 2.20 คืออุปกรณ์ขุดเจาะหรือ สว่านขนาดใหญ่ที่มีด้ามจับ ใช้สำหรับเจาะรูในพื้นดิน โดยทั่วไปจะมีใบเกลียว (Flighting) เพื่อทำหน้าที่เป็นสกรูลำเลียงเพื่อนำเศษวัสดุที่เจาะออก การหมุนเป็นเกลียวของใบมีดทำให้วัสดุเคลื่อนออกจากรูที่กำลังเจาะในลักษณะ การยกตัวในแนวตั้ง

2.16.1 ใบเจาะที่ใช้ในการขุดหลุม มีหลายประเภทตามลักษณะของการใช้งาน

- 1) ใบเจาะหลุมเสา (หลุมเสา)
- 2) ใบเจาะขุดดินมือหมุน
- 3) เครื่องขุดหลุมเสา
- 4) แบ่งตามลักษณะของวิธีทำงาน
- 5) หมุนด้วยมือ
- 6) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า
- 7) เครื่องยนต์สันดาปภายใน



รูปที่ 2.20 โใบดอกเจาะดิน

(ที่มา: <https://www.globalhouse.co.th/product/detail/3922007950263#gallery-1>)

2.17 ลิ้มิตสวิตช์ (Limit Switch)

ลิ้มิตสวิตช์ [17] เป็นอุปกรณ์เปิด-ปิดวงจรไฟฟ้า มีลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 2.21 ซึ่งประกอบด้วยปุ่มสวิตช์เปิด หรือ ปิด และ ภายในจะเป็นจุดเชื่อมต่อที่มีหลักการทํางาน 2 ลักษณะ ได้แก่ ปกติเปิด (NO) จะไม่จ่ายกระแสไฟ และปกติปิด (NC) จะจ่ายกระแสไฟ โดยสามารถเลือกต่อวงจรให้เหมาะสมกับรูปแบบการทํางานได้ตามต้องการ และลิ้มิตสวิตช์จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในเครื่องจักรกลอุตสาหกรรม สายพานลำเลียง และอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป

ประเภทของลิ้มิตสวิตช์ มีดังนี้

1) ลิ้มิตสวิตช์แบบทั่วไป ได้รับการออกแบบมาเพื่อเน้นควบคุมการเปิด-ปิดที่ง่าย และไม่ซับซ้อน มีแอกทูเอเตอร์โลหะที่จะทํางานเปิดหรือปิดเมื่ออุปกรณ์ทํางานไปจนถึงจุดที่ได้กำหนดไว้ โดยทั่วไปจะใช้ในงานที่ไม่ต้องการตำแหน่ง หรือรูปแบบที่แม่นยำ และมักใช้แทนสวิตช์เชิงกลต่าง ๆ

2) ลิ้มิตสวิตช์แบบปรับได้ เป็นประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องใช้การสัมผัสทางกายภาพ แต่สามารถใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับวัตถุที่มาถึงจุดที่กำหนด และเปิดใช้งานได้เลย มักใช้ในงานที่มีความเสี่ยงที่จะเกิด

ความเสียหาย หรือการปนเปื้อนต่อลิมิตสวิตช์และไม่สามารถนำไปติดตั้งใกล้ ๆ ได้โดยทั่วไปจะมีราคาที่สูงกว่า แต่มีความแม่นยำมากกว่า



รูปที่ 2.21 ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch)
(ที่มา: <https://www.deveindus.com/limit-switch/>)

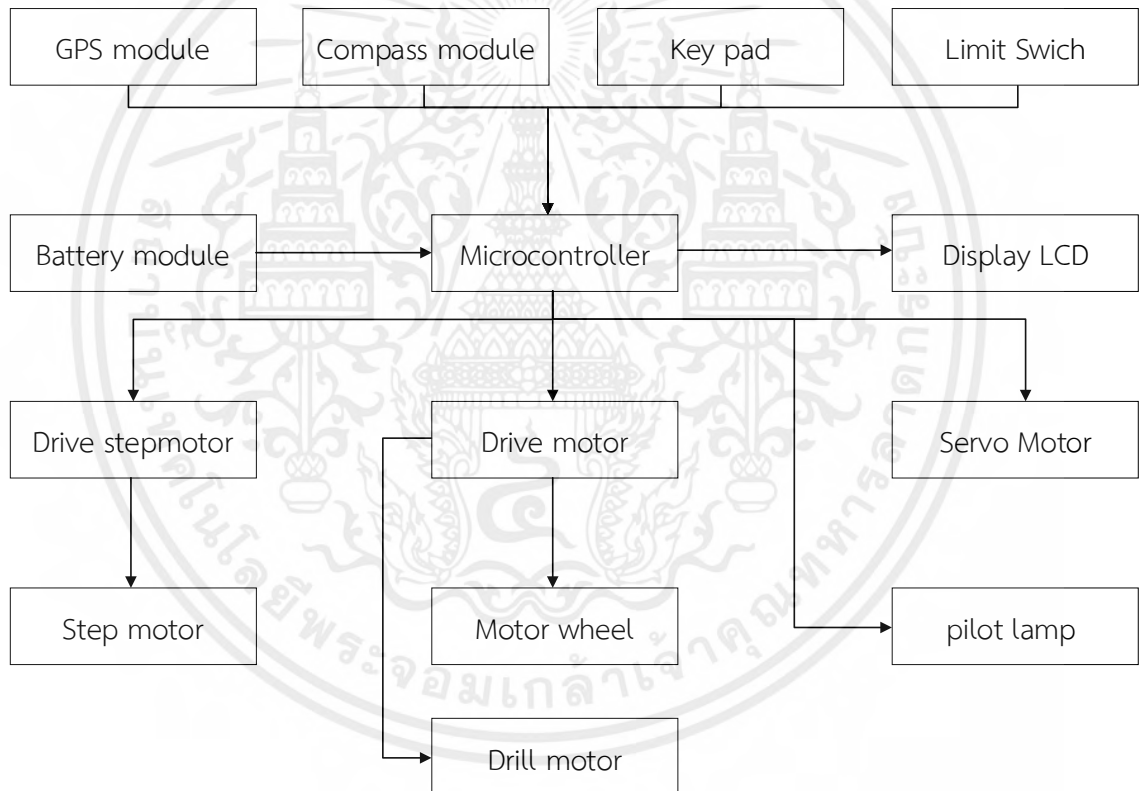
บทที่ 3

การออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร ซึ่งจะประกอบไปด้วย ในส่วนของโครงสร้างของตัวเครื่องเจาะ โครงสร้างส่วนของวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานต่างๆ

3.1 การออกแบบ

3.1.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร

จากรูปที่ 3.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมเป็นการทำงานของตัวเครื่องทั้งหมดโดยตัวเครื่องนั้น จะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการรับค่าจาก จีพีเอสโมดูล

โมดูลเข็มทิศ คีย์แพด ลิมิตสวิตช์ และโมดูลวัดแบตเตอรี่ เพื่อนำมาประมวลผลและบันทึกค่า จะแสดงสถานะแบตเตอรี่ผ่านหลอดไฟแสดงสถานะ หากว่าแบตเตอรี่ต่ำจะทำให้หลอดไฟแสดงสถานะ สว่างขึ้น จากนั้น จะแสดงการทำงานต่าง ๆ ผ่านจอแสดงผลแอลซีดี และจะสั่งให้ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ทำงาน ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ จะทำการปรับระยะความลึกของหลุมที่จะเจาะ และตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะสั่งให้ตัวเครื่องที่ไปยังพิกัดที่ต้องการ โดยสั่งให้ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ทำงาน ส่งผลให้ตัวมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องเจาะทำงานตามที่ตั้งค่าความลึกไว้

3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร

โฟลว์ชาร์ตการทำงานเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร ประกอบด้วยโฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องเจาะ การรับค่าจากจีพีเอส การรับค่าเข็มทิศ การทำงานของการเคลื่อนที่เครื่องเจาะ การทำงานเครื่องเจาะ

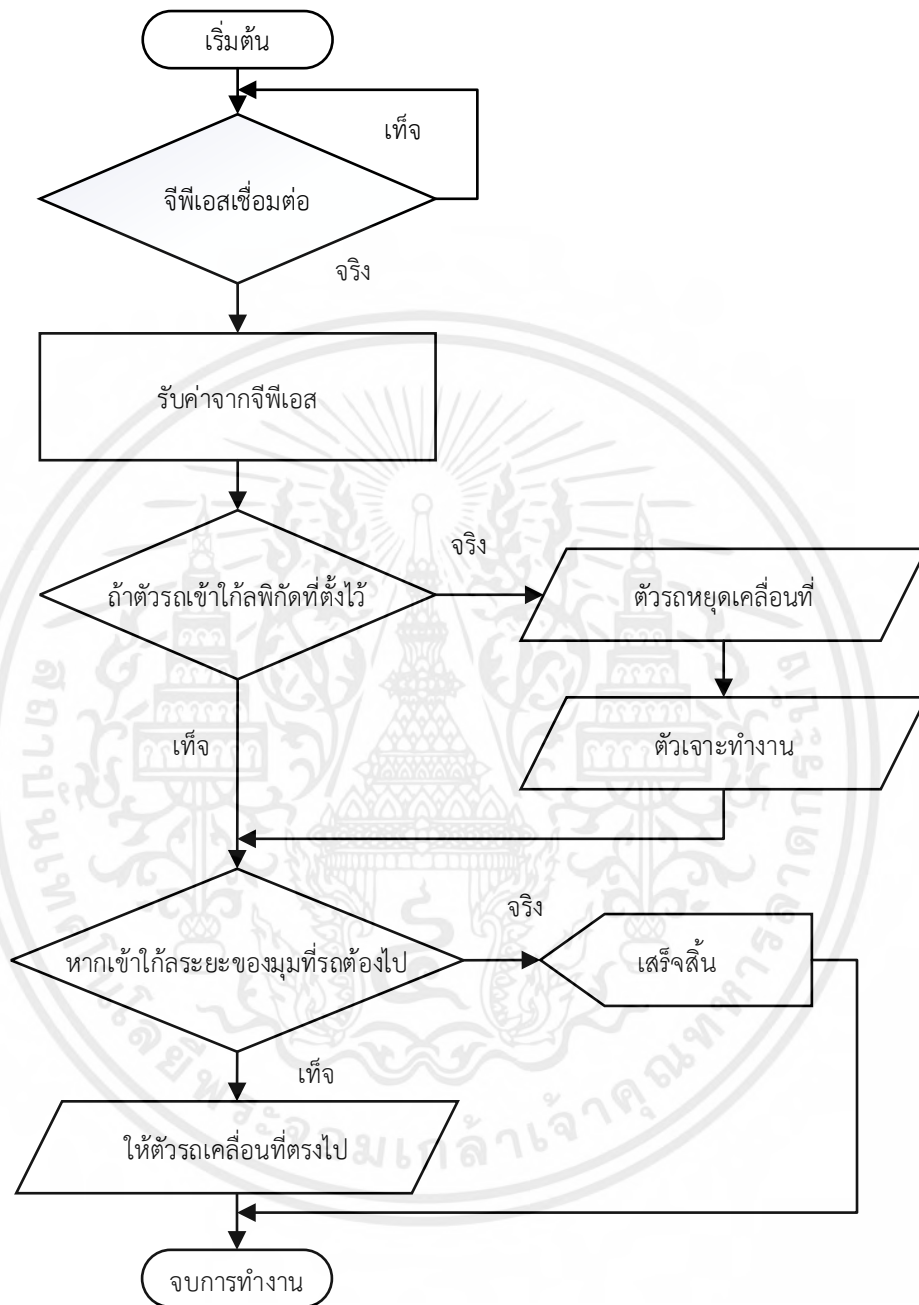
3.2 1 โฟลว์ชาร์ตการทำงานรับค่าจากเข็มทิศ



รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานรับค่าจากเข็มทิศ

จากรูปที่ 3.2 เริ่มจากต่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากโมดูลเข็มทิศจากนั้นนำค่าที่ได้ไปทำการเทียบค่า องศาของมุมเข็มทิศใหม่แล้วจึงนำค่าไปใช้

3.2.2 โพล์ชาร์ตการทำงานรับค่าจากจีพีเอส



รูปที่ 3.3 โพล์ชาร์ตการทำงานรับค่าจากจีพีเอส

จากรูปที่ 3.3 เริ่มจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบว่าตัว จีพีเอส มีการเชื่อมต่อหรือยัง โดยเมื่อรับค่าดาวเทียมได้เท่ากับ หรือมากกว่าสามดวงจะถือว่าเชื่อมต่อสำเร็จ เมื่อตัวจีพีเอสเชื่อม

ต่อแล้วจะนำค่า ละติจูด และ ลองติจูด ไปเก็บไว้ในตัวแปร เพื่อนำไปใช้ ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจว่าพิกัดที่ตัวเครื่องอยู่ตอนนี้เข้าใกล้พิกัดที่ตั้งไว้หรือยัง หากเข้าใกล้แล้วจะหยุดตัวเครื่องเจาะ และจะทำการเจาะหลุมและตรวจสอบ จุดที่ตัวเครื่องเจาะอยู่ เทากับจำนวนพิกัดที่ตั้งไว้หรือยัง หากเข้าใกล้แล้ว ให้แสดงค่าออก จอแอลซีดี ว่าเสร็จสิ้น แต่ถ้าหากว่าจุดที่ตัวเครื่องเจาะอยู่ ยังไม่เท่ากับจำนวนจุดที่ตั้งไว้ ก็ให้ตัวเครื่องเจาะเคลื่อนที่ไปยังจุดต่อไป

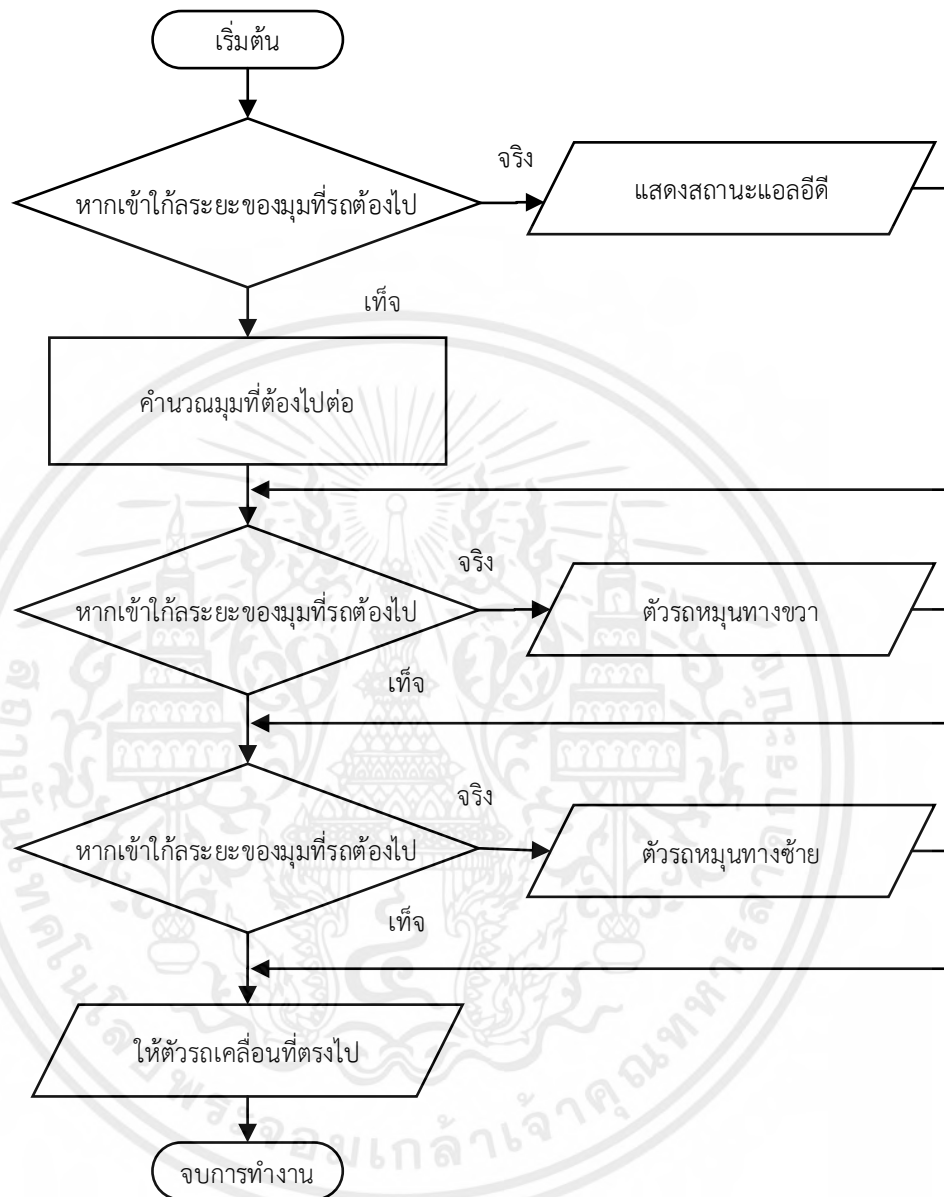
3.2.3 โฟลว์ชาร์ตการทำงานรวมของเครื่องเจาะ



รูปที่ 3.4 โฟลว์ชาร์ตการทำงานรวมของเครื่องเจาะ

จากรูปที่ 3.4 เริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากจีพีเอส รับค่าจากเข็มทิศ และนำไปประมวลผล จากนั้นจะสั่งให้มอเตอร์ล้อทำงาน เพื่อให้ตัวเครื่องเจาะไปยังจุดที่ต้องการ และมีการแสดงค่าละติจูดและ ลองติจูด บนจอแอลซีดี จากนั้นจะตรวจสอบระดับแรงดันแบตเตอรี่

3.2.4 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องเคลื่อนที่รถ

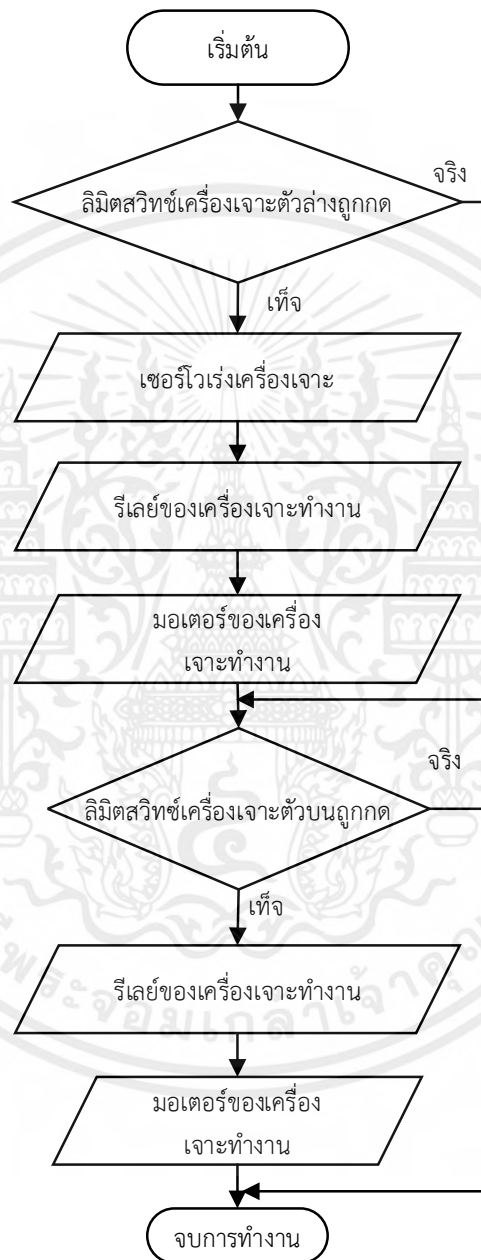


รูปที่ 3.5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องเคลื่อนที่รถ

จากรูปที่ 3.5 การทำงาน เริ่มต้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบระยะมุมที่ตัวเครื่องต้องไปใกล้ หรือยังหากเข้าใกล้แล้ว จะแสดงสถานะผ่าน ไฟแอลอีดี หากยังไม่เข้าใกล้ จะคำนวณมุมที่ต้องไปต่อ และตรวจสอบว่าหาก ตัวเครื่องเบี่ยงไปทางซ้ายเกินไปให้ตัวเครื่องเลี้ยวขวา และตรวจสอบว่าหาก

ตัวเครื่องเบี่ยงไปทางขวาเกินไปให้ตัวเครื่องเลี้ยวซ้าย หากถ้าไม่ใช่ทั้งสองกรณี ให้ตัวเครื่องเจาะเคลื่อนที่ตรงไป

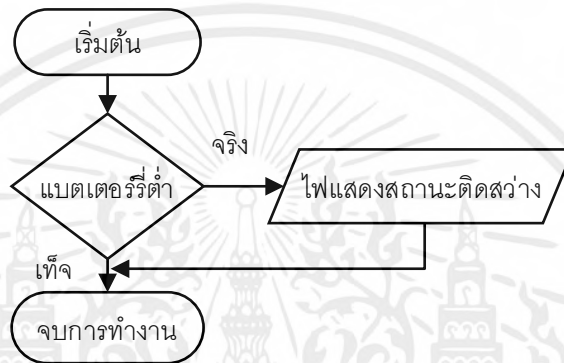
3.2.5 โพลีชาร์ตการทำงานของเครื่องเจาะ



รูปที่ 3.6 โพลีชาร์ตการทำงานของเครื่องเจาะ

จากรูปที่ 3.6 การทำงาน เริ่มต้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบว่า ตัวลิมิตสวิตช์ เครื่องเจาะตัวล่าง ถูกกดหรือยัง หากถูกกดแล้วให้ไปเงื่อนไขต่อไปหากว่ายังไม่ถูกกดให้เซอร์โวเร่งเครื่อง เจาะทำงานและมอเตอร์เครื่องเจาะทำงาน เมื่อออกจากเงื่อนไขนี้จะเข้าเงื่อนไขต่อไป คือตรวจสอบว่า ลิมิตสวิตช์ตัวบนถูกกด หรือยังหากถูกกดแล้วมอเตอร์เครื่องเจาะ จะหยุดทำงาน หากว่ายังไม่ถูกกดจะสั่ง ให้ รีเลย์เครื่องเจาะทำงาน และมอเตอร์ทำงานจนกว่าลิมิตสวิตช์ตัวบนจะถูกกด

3.2.6 การทำงานของโฟลว์ชาร์ตการวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่



รูปที่ 3.7 โฟลว์ชาร์ตการวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3.7 การทำงานเริ่มต้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบว่าตัวแบตเตอรี่ต่ำ หรือไม่หากมีระดับแบตเตอรี่ต่ำ เงื่อนไขจะเป็นจริง และไฟแสดงสถานะจะสว่างขึ้น แต่หากระดับ แบตเตอรี่ยังไม่ต่ำ เงื่อนไขเป็นเท็จและจบการทำงาน

3.3 การคำนวณหาแบตเตอรี่ที่ใช้ในเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร

มอเตอร์เกียร์ จำนวน 3 ตัว ขนาด 250 W จะคำนวณหากระแสได้ดังนี้(1)

$$P = IV \quad (3.1)$$

เมื่อ P คือกำลังไฟฟ้า (W)

I คือกระแสที่วัดได้ (A)

V คือแรงดันที่วัดได้ (V)

จะได้

$$I_m = P/V \quad (3.2)$$

$$I_{m1} = \frac{250}{24} \quad (3.3)$$

$$I_{m1} = 10.41 \text{ แอมป์}$$

เนื่องจากมอเตอร์เครื่องเจาะหลุมมีจำนวน 3 ตัว จึงนำไปคูณ 3 จะได้ดังสมการต่อไปนี้

$$I_{m123} = I_{m1} \times 3$$

$$I_{m123} = 10.41 \times 3$$

ดังนั้นจะได้กระแสของมอเตอร์ทั้งหมด ดังนี้

$$I_{m123} = 31.23 \text{ แอมป์}$$

3.4 การคำนวณเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ขนาด 85 แอมป์ 12 โวลต์ ต่ออนุกรมกันจำนวน 2 ลูกคำนวณหาเวลาการใช้งานได้ดังนี้

$$T = \frac{IV}{P} \quad (3.4)$$

เมื่อ T คือเวลาที่ใช้ได้ของแบตเตอรี่ (ชั่วโมง)

I คือ กระแสที่วัดได้ (A)

V คือ แรงดันที่วัดได้ (V)

P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

มอเตอร์ขนาด 250 วัตต์ 3 ตัว จะได้ 250×3 ขนาดของมอเตอร์ = 750 วัตต์

$$T = 85 \times 12 / 750 \quad (3.5)$$

$$= 1.36 \text{ ชั่วโมง}$$

ดังนั้นแบตเตอรี่จะใช้ได้ทั้งหมด 1.36 ชั่วโมง แต่เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นแบตเตอรี่ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจึงมีค่าประสิทธิภาพประมาณ 70% ดังนั้นแบตเตอรี่จะใช้ได้ทั้งหมด 1.07 ชั่วโมง

เวลาในการเจาะหลุมของดินทราย 5 หลุมใช้เวลา 7.36 นาที เวลาการใช้งานของแบตเตอรี่ 1.07 ชั่วโมง หาร 7.36 นาที คุณจำนวนหลุม 5 หลุม ดังนั้น ดินทรายเจาะหลุมได้ 45 หลุม เวลาในการเจาะหลุมของดินเหนียว 5 หลุมใช้เวลา 11.47 นาที

เวลาการใช้งานของแบตเตอรี่ 1.07 ชั่วโมง หาร 11.47 นาที คุณจำนวนหลุม 5 หลุม ดังนั้น ดินเหนียวเจาะหลุมได้ 29 หลุม

เวลาในการเจาะหลุมของดินร่วน 5 หลุมใช้เวลา 10.33 นาที

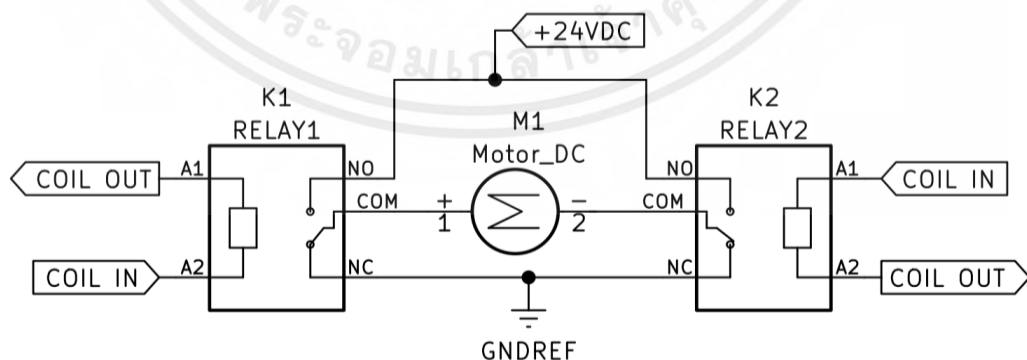
เวลาการใช้งานของแบตเตอรี่ 1.07 ชั่วโมง หาร 10.33 นาที คุณจำนวนหลุม 5 หลุม ดังนั้น ดินทรายเจาะหลุมได้ 32 หลุม

3.5 วงจรควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน

วิธีการควบคุมทิศทางมอเตอร์อย่างง่ายด้วยการใช้รีเลย์ 2 ตัวเพื่อกลับทิศทางของมอเตอร์ สามารถควบคุมทิศทางมอเตอร์ไฟฟ้าดีซี ได้อย่างง่ายๆ โดยการใช้อุปกรณ์ที่มีหน้าสัมผัส เอ็นโอ เอ็นซี ซีโอ เอ็ม มาต่อกัน จำนวน 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เป็นที่ทราบกันดีว่ามอเตอร์ไฟฟ้า ดีซี นั้นจะสามารถกลับทิศทางการ หมุนด้วยการกลับขั้วแหล่งจ่าย ซึ่งเป็นพื้นฐานการ ควบคุมมอเตอร์แบบ เอชบริดจ์

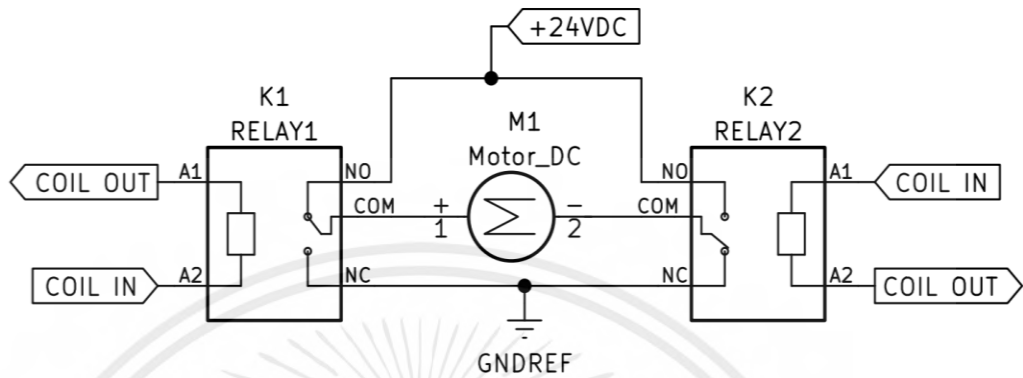
3.5.1 หลักการทำงานของมอเตอร์

เมื่อไม่ได้จ่ายไฟเข้าไปขั้วรีเลย์ทั้งสองตัว ขั้วมอเตอร์ จะถูกต่อกับหน้าสัมผัส เอ็นซี ลงกราวด์ ไปทั้งสองสาย ซึ่งจะทำให้มอเตอร์อยู่ในสภาวะเบรก โดยเมื่อมอเตอร์มีแรงหมุนจากภายใน มอเตอร์จะเปลี่ยนสภาวะเป็น ไดนาโมเกิดกระแสไหลครบวงจรในตัวเองทำให้มอเตอร์เกิดการหมุนกว่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับ การปล่อยสายลอยไว้



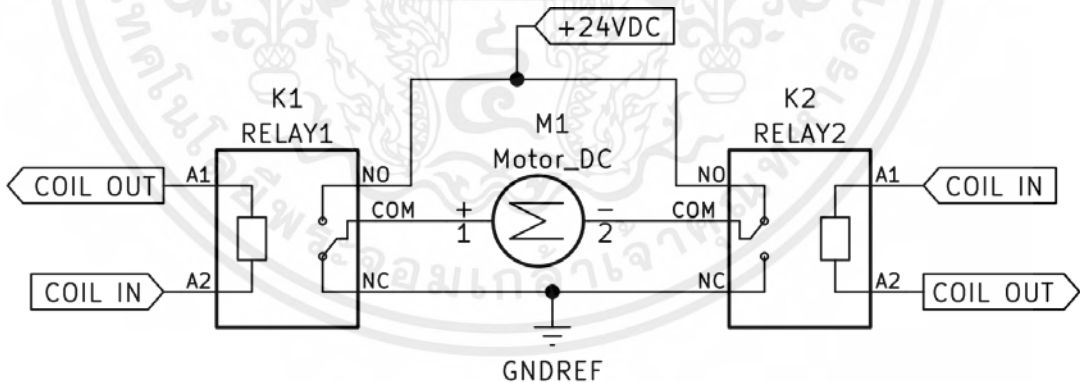
รูปที่ 3.8 วงจรรีเลย์ควบคุมการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.8 เมื่อมีการขั้วรีเลย์ K1 จะทำให้กระแสวิ่งจากแหล่งจ่าย (VCC) ไปยังขั้วบวกของมอเตอร์และขั้วลบของมอเตอร์ไหลลงกราวด์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปยังทิศทางตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 3.9 การทำงานของวงจรรีเลย์ตัวที่ 1

จากรูปที่ 3.10 เมื่อทำการ เปิดรีเลย์ K2 และ ปิดรีเลย์ K1 จะทำให้กระแสวิ่งจากแหล่งจ่าย (VCC) ไปยังขั้วลบของมอเตอร์และขั้วบวกของมอเตอร์จะเชื่อมต่อลงกราวด์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปยังทิศทางตามทวนนาฬิกา



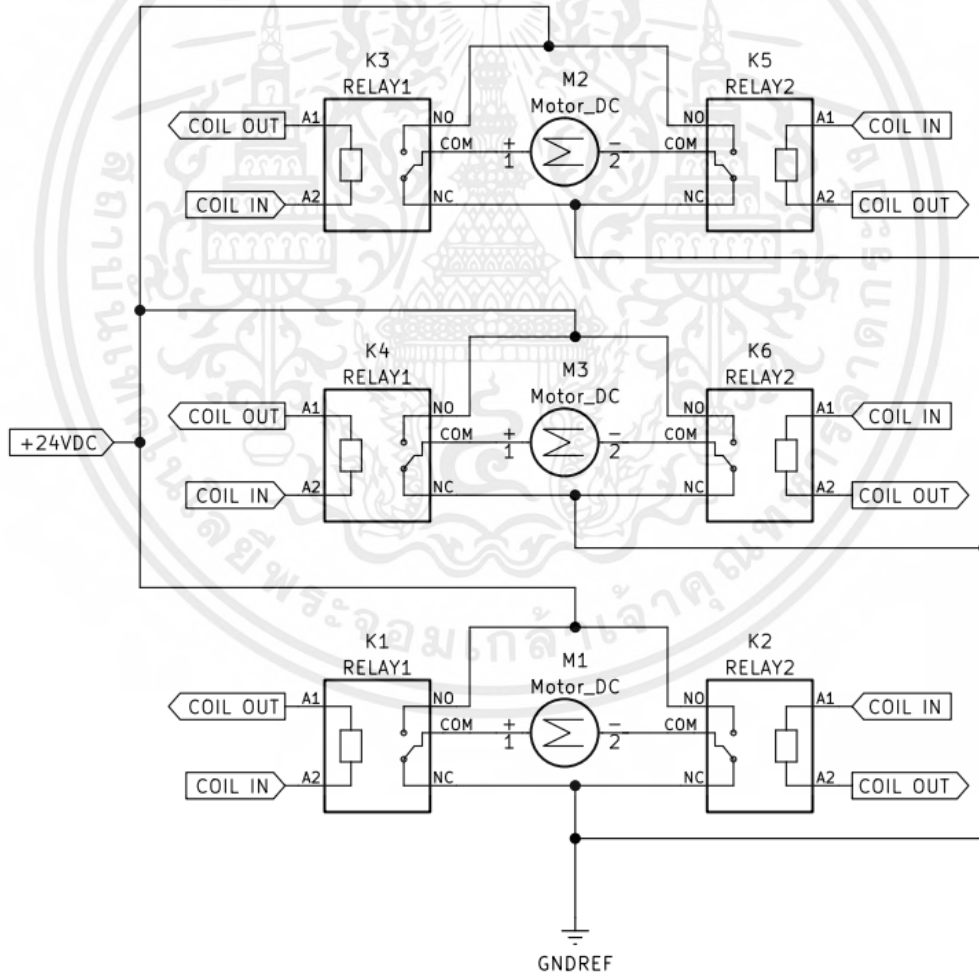
รูปที่ 3.10 การทำงานของวงจรรีเลย์ตัวที่ 2

3.6 ออกแบบวงจรขับเคลื่อนล้อและเครื่องเจาะ

การทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนเราจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) ส่วนของวงจรรีเลย์ 2) วงจรขับเคลื่อน 3) วงจรมอเตอร์เฟส

3.6.1 วงจรรีเลย์

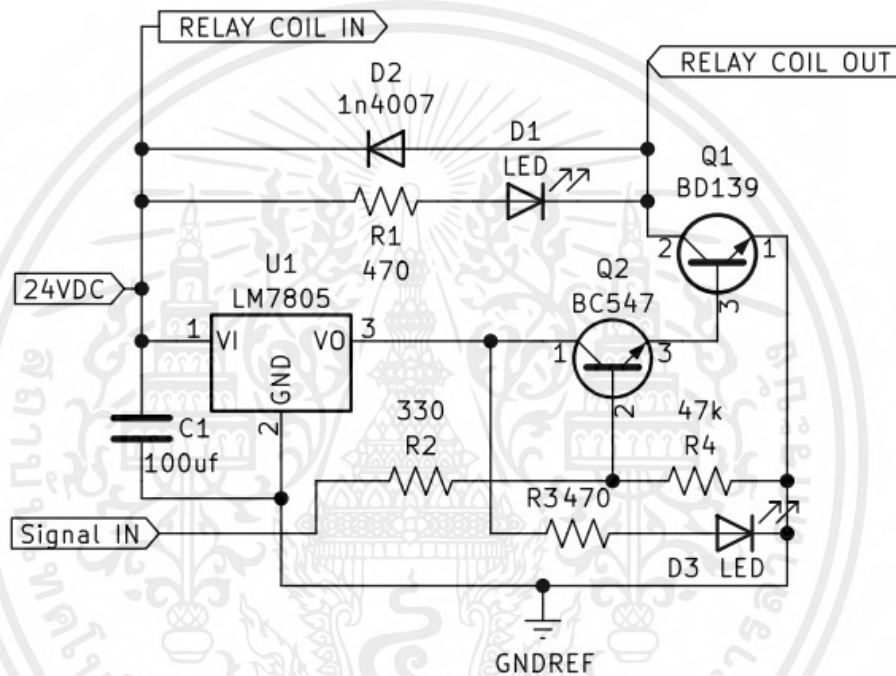
วงจรรีเลย์เป็นวงจรที่มีหน้าที่ในควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดยใช้รีเลย์ 2 ตัวมาต่อรวมกันเป็น เซลบริดจ์ โดยขา com ของรีเลย์ทั้งสองตัวจะต่อเข้ากับมอเตอร์และนำขา NC ของรีเลย์ตัวที่ K1 ต่อกับขา เอ็นโอ ของรีเลย์ตัวที่ K2 และนำ ขา NO ของรีเลย์ตัวที่ K1 ต่อเข้ากับขา NC ของรีเลย์ตัวที่ K2 และนำไปต่อกับ กราวด์ หากต้องการที่จะให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางการให้เราทำงานจ่ายไฟบวก 12 โวลต์ ให้กับรีเลย์ทั้งสองตัวมอเตอร์ก็จะหมุนกลับทิศทางการ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรรีเลย์

3.6.2 วงจรขับรีเลย์

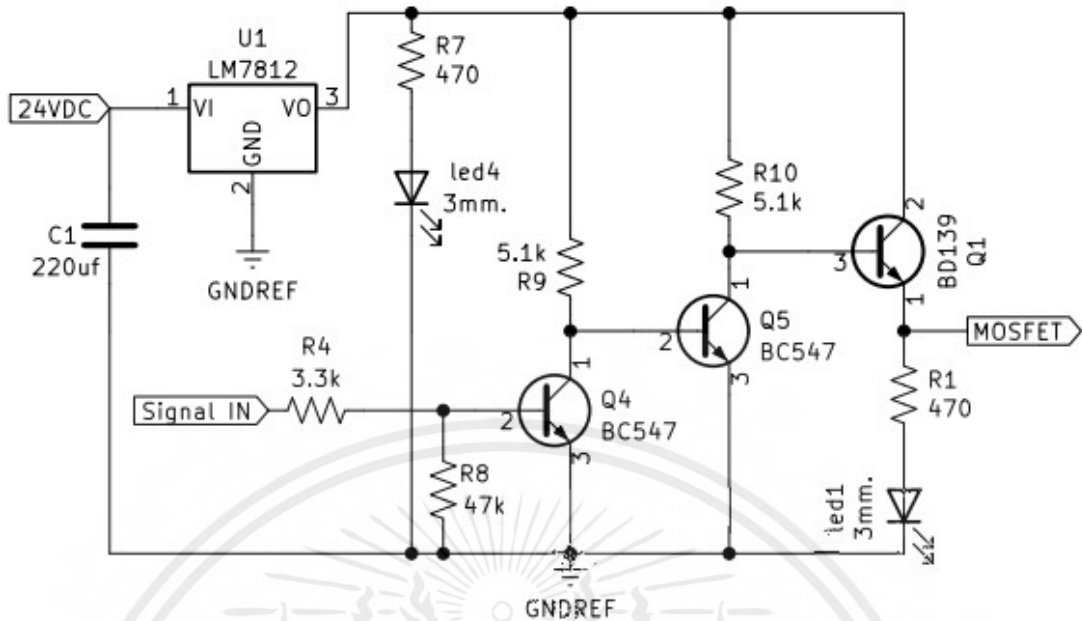
วงจรขับรีเลย์นั้นเป็นวงจรที่รับคำสั่งมาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้รีเลย์ทำงานเนื่องจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่สามารถจ่ายกระแสและ แรงดันไปจ่ายให้รีเลย์ทำงานได้จึงต้องมีบอร์ดขับรีเลย์ โดยเราจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547 และ BD139 ต่อแบบตารลิงตัน โดยเมื่อเราไปอัสขาเบส (Base) ของ BC547 จะต่ออยู่กับ BD139 ก็จะทำให้ตัว BD139 นำกระแสจากรีเลย์ลงกราวด์ (GND) ทำให้รีเลย์ทำงาน วงจรดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรขับรีเลย์

3.6.3 วงจรมอสเฟต

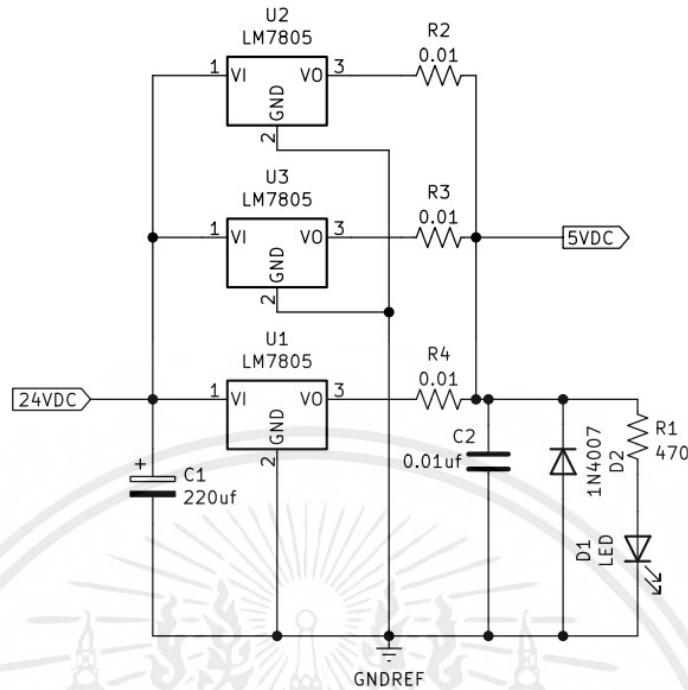
วงจรมอสเฟตเป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมรอบและ ความเร็วของมอเตอร์โดยการต่อนั้น เราจะต่อจากวงจรรีเลย์โดยต่อขึ้นไว้ ระหว่างเอาต์พุตจากรีเลย์ลงกราวด์เพื่อเป็นการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยเมื่อเราไปอัสที่ขาเบส (Base) ของทรานซิสเตอร์ Q4, Q5 จะทำให้ Q1 ทำงานส่งผลให้มอสเฟต นำกระแสจากมอเตอร์ที่ผ่านวงจรรีเลย์มาลงกราวด์ทำให้มอเตอร์ทำงาน การคุมความเร็วรอบขึ้นอยู่กับ การไปอัสจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จ่ายออกมาเป็น PWM วงจรดังรูปที่ 3.13



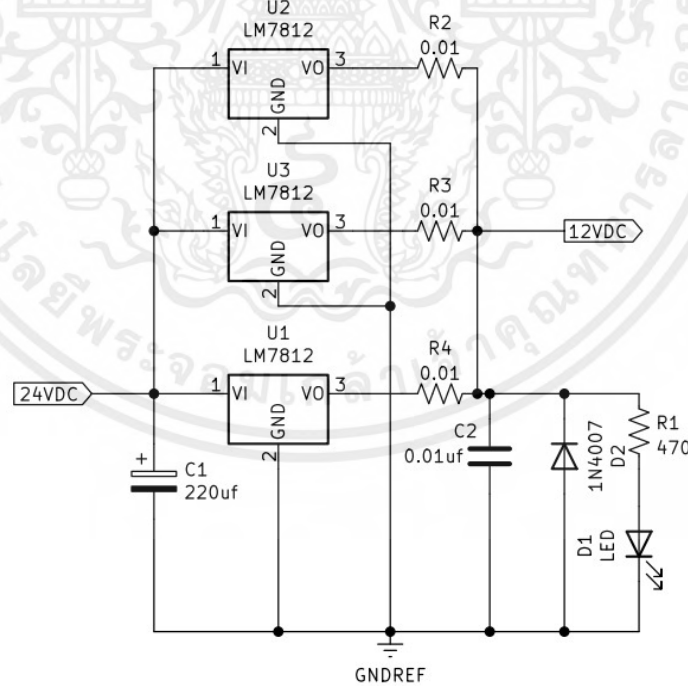
รูปที่ 3.13 วงจรมอสเฟส

3.7 การออกแบบวงจรควบคุมแรงดัน

ในการออกแบบวงจรควบคุมแรงดัน จะใช้ไอซีเรกูเลตในการควบคุมแรงดันเพื่อ ใช้ไปเลี้ยงวงจรต่างๆ โดยจะใช้ไอซีเบอร์ LM7812 และ LM7805 ในการเป็นวงจรควบคุมแรงดัน โดยต่อขนานกัน 3 ตัว เพื่อเพิ่มกระแสเอาท์พุทของวงจร และต่อผ่านตัวต้านทานชนิดกระเบื้อง เพื่อให้มีการดึงกระแสเท่า ๆ กัน ในไอซีแต่ละตัว วงจรดังรูปที่ 3.14 และ รูปที่ 3.15 วงจรคุมแรงดัน 12 โวลต์



รูปที่ 3.14 วงจรคุมแรงดัน 5 โวลต์



รูปที่ 3.15 วงจรคุมแรงดัน 12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

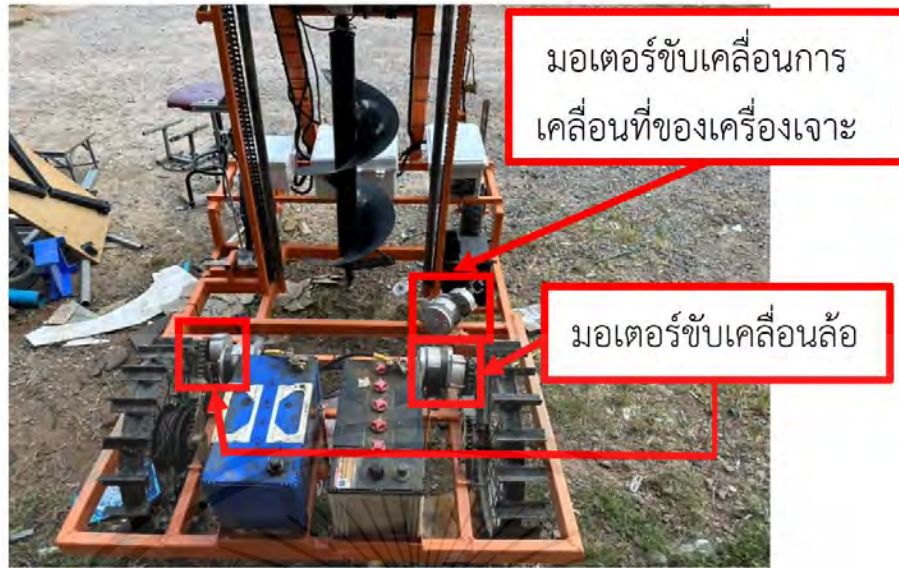
3.8 โครงสร้างของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ



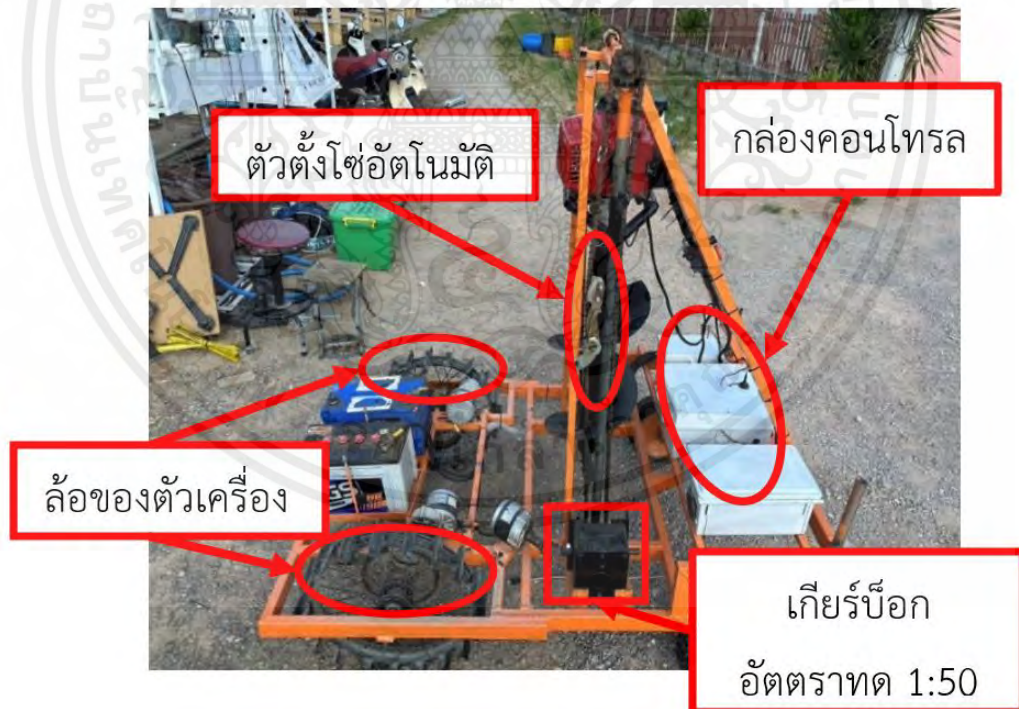
รูปที่ 3.16 โครงสร้างของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ



รูปที่ 3.17 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ



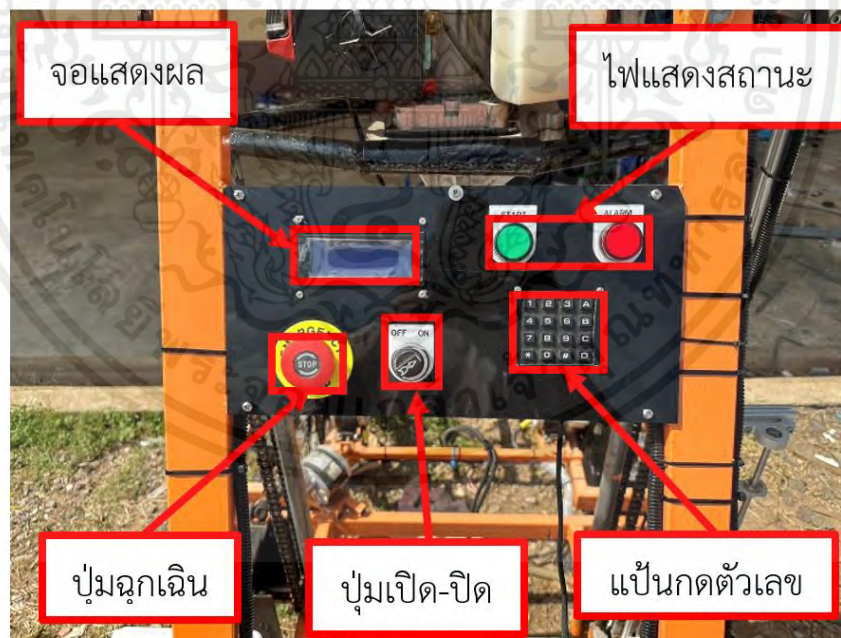
รูปที่ 3.18 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ



รูปที่ 3.19 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ



รูปที่ 3.20 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ



รูปที่ 3.21 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ



รูปที่ 3.22 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ



รูปที่ 3.23 ส่วนประกอบของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติ

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้การทดลองและผลการทดลอง ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลอง การทดสอบการเจาะหลุม ชนิดดินที่กำหนด เวลาในการเจาะหลุม ความคลาดเคลื่อนพีคัดจีพีเอส ความคลาดเคลื่อนแต่ละหลุม และความคลาดเคลื่อนแต่ละแถว

4.1 การทดลองเจาะดินชนิดต่างๆ แบบอัตโนมัติ

การทดลองเจาะดินชนิดต่าง ๆ แบบอัตโนมัติ เพื่อทดสอบระยะเวลาความลึกในการเจาะของดินแต่ละชนิด และระยะเวลาในการเจาะของดินแต่ละชนิด โดยมีดินทราย ดินร่วน ดินเหนียว

4.1.1 ขั้นตอนการทดลองเจาะดินชนิดต่างๆ แบบอัตโนมัติ

- 1) เลือกชนิดดินที่ต้องการเจาะ
- 2) เปิดสวิตช์บนแผงควบคุม
- 3) สตาร์ทเครื่องเจาะ
- 4) กำหนดระยะห่างแต่ละหลุม บนแผงควบคุมเพื่อใช้ในการเจาะ
- 5) เคลื่อนเครื่องเจาะไปยังจุดที่ต้องการเจาะ
- 6) ทำการเจาะหลุม และ จับเวลาของการเจาะแต่ละครั้ง
- 7) บันทึกผลการทดลองระยะเวลาในการเจาะดินที่ระยะความลึก 20 ถึง 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรของดินทราย ลงในตารางที่ 4.1, 4.3, 4.5, 4.7, ของดินร่วนลงในตารางที่ 4.9, 4.11, 4.13, 4.15 และของดินเหนียวลงในตารางที่ 4.17, 4.19, 4.21, 4.23

นำผลการทดลองที่ได้ไปหารระยะเวลาเฉลี่ยจากสมการที่ 4.1

$$\text{ระยะเวลาเฉลี่ย} = \frac{\text{ระยะเวลาทั้งหมด}}{\text{จำนวนครั้ง}}$$

(4.1)

- 8) วัดความลึกของหลุมที่เจาะ

9) บันทึกผลการทดลองความลึกในการเจาะดินที่ระยะความลึก 20 ถึง 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรของดินทราย ลงในตารางที่ 4.2, 4.4, 4.6, 4.8 ของดินร่วนลงในตารางที่ 4.10, 4.12, 4.14, 4.16, และของดินเหนียวลงในตารางที่ 4.18, 4.20, 4.22, 4.24

นำผลการทดลองที่ได้ไปหารระยะเวลาเฉลี่ยจากสมการที่ 4.2

$$\text{ร้อยละความผิดพลาด} = \frac{|\text{ความลึกของหลุมที่เจาะได้} - \text{ความลึกของหลุม}|}{\text{ความลึกของหลุม}} \times 100 \quad (4.2)$$

4.2.2 ผลการทดลองเจาะดินชนิดต่างๆ แบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.1 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|----------------|-------------------|
| 1 | 40 |
| 2 | 40 |
| 3 | 41 |
| 4 | 39 |
| 5 | 40 |
| 6 | 41 |
| 7 | 41 |
| 8 | 40 |
| 9 | 41 |
| 10 | 40 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 40.3 |

จากตารางที่ 4.1 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 40.3 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.2 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 19 | 5 |
| 2 | 20 | 0 |
| 3 | 19 | 5 |
| 4 | 21 | 5 |
| 5 | 20 | 0 |
| 6 | 19 | 5 |
| 7 | 21 | 5 |
| 8 | 20 | 0 |
| 9 | 20 | 0 |
| 10 | 19 | 5 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 3 |

จากตารางที่ 4.2 สรุปได้ว่าความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 3 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.1 การเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.3 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา(วินาที) |
|----------------|------------------|
| 1 | 65 |
| 2 | 65 |
| 3 | 64 |
| 4 | 66 |
| 5 | 65 |
| 6 | 66 |
| 7 | 64 |
| 8 | 66 |
| 9 | 64 |
| 10 | 65 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 65 |

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.3 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 65 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.4 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|---------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 30 | 0 |
| 2 | 31 | 3.3 |
| 3 | 29 | 3.3 |
| 4 | 30 | 0 |
| 5 | 29 | 3.3 |
| 6 | 31 | 3.3 |
| 7 | 29 | 3.3 |
| 8 | 30 | 0 |

ตารางที่ 4.4 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 9 | 30 | 0 |
| 10 | 31 | 3.3 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 1.98 |

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.4 สรุปได้ว่าความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบวาระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.98 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.2 การเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.5 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา(วินาที) |
|----------------|------------------|
| 1 | 93 |
| 2 | 93 |
| 3 | 90 |
| 4 | 92 |
| 5 | 93 |
| 6 | 90 |
| 7 | 92 |
| 8 | 92 |
| 9 | 91 |
| 10 | 90 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 91.6 |

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.5 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 91.6 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.6 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|---------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 40 | 0 |
| 2 | 39 | 2.5 |
| 3 | 41 | 2.5 |
| 4 | 40 | 0 |
| 5 | 39 | 2.5 |
| 6 | 40 | 0 |
| 7 | 39 | 2.5 |

ตารางที่ 4.6 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 8 | 41 | 2.5 |
| 9 | 40 | 0 |
| 10 | 40 | 0 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 1.25 |

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.6 สรุปได้ว่าความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.25 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.3 การเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.7 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|----------------|-------------------|
| 1 | 120 |
| 2 | 122 |
| 3 | 120 |
| 4 | 119 |
| 5 | 120 |
| 6 | 122 |
| 7 | 120 |
| 8 | 121 |
| 9 | 121 |
| 10 | 119 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 120.4 |

จากตารางที่ 4.7 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 120.4 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

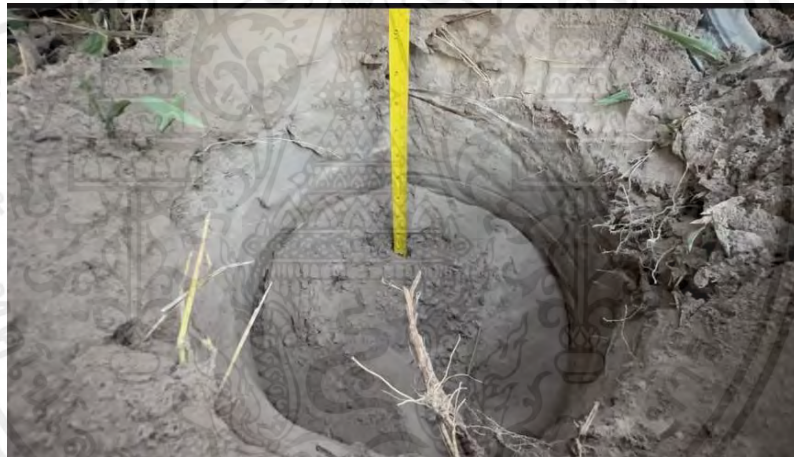
ตารางที่ 4.8 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|---------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 48 | 4 |
| 2 | 48 | 4 |
| 3 | 49 | 2 |
| 4 | 49 | 2 |
| 5 | 50 | 0 |
| 6 | 50 | 0 |
| 7 | 48 | 4 |
| 8 | 49 | 2 |

ตารางที่ 4.8 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 9 | 50 | 0 |
| 10 | 50 | 0 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 1.8 |

จากตารางที่ 4.8 สรุปได้ว่าทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.8 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.4 การเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.9 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|---------|-------------------|
| 1 | 44 |
| 2 | 45 |
| 3 | 44 |
| 4 | 46 |

ตารางที่ 4.9 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|----------------|-------------------|
| 5 | 45 |
| 6 | 45 |
| 7 | 46 |
| 8 | 44 |
| 9 | 44 |
| 10 | 45 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 44.8 |

จากตารางที่ 4.9 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 44.8 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.10 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 1 | 20 | 0 |
| 2 | 21 | 5 |
| 3 | 20 | 0 |
| 4 | 19 | 5 |
| 5 | 20 | 0 |
| 6 | 21 | 5 |
| 7 | 19 | 5 |
| 8 | 21 | 5 |
| 9 | 20 | 0 |
| 10 | 20 | 0 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 2.5 |

จากตารางที่ 4.10 สรุปได้ว่าทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 2.5 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.5 การเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.11 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|---------|-------------------|
| 1 | 55 |
| 2 | 56 |
| 3 | 54 |
| 4 | 56 |
| 5 | 54 |
| 6 | 55 |
| 7 | 55 |
| 8 | 54 |
| 9 | 56 |

ตารางที่ 4.11 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

| หลุมที่ | ระยะเวลา(วินาที) |
|----------------|------------------|
| 10 | 56 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 55.1 |

จากตารางที่ 4.11 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 55.1 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.12 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 30 | 0 |
| 2 | 31 | 3.3 |
| 3 | 29 | 3.3 |
| 4 | 30 | 0 |
| 5 | 31 | 3.3 |
| 6 | 30 | 0 |
| 7 | 29 | 3.3 |
| 8 | 31 | 3.3 |
| 9 | 29 | 3.3 |
| 10 | 30 | 0 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 1.98 |

จากตารางที่ 4.12 สรุปได้ว่าทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.98 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.6 การเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.13 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|----------------|-------------------|
| 1 | 93 |
| 2 | 92 |
| 3 | 94 |
| 4 | 93 |
| 5 | 92 |
| 6 | 93 |
| 7 | 92 |
| 8 | 94 |
| 9 | 93 |
| 10 | 93 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 92.9 |

จากตารางที่ 4.13 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 92.9 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.14 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 40 | 0 |
| 2 | 41 | 2.5 |
| 3 | 40 | 0 |
| 4 | 40 | 0 |
| 5 | 39 | 2.5 |
| 6 | 41 | 2.5 |
| 7 | 39 | 2.5 |
| 8 | 39 | 2.5 |
| 9 | 40 | 0 |
| 10 | 41 | 2.5 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 1.5 |

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.14 สรุปได้ว่าทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.5 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.7 การเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.15 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|----------------|-------------------|
| 1 | 126 |
| 2 | 127 |
| 3 | 127 |
| 4 | 125 |
| 5 | 125 |
| 6 | 126 |
| 7 | 126 |
| 8 | 125 |
| 9 | 127 |
| 10 | 127 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 126.1 |

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.15 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 126.1 วินาที จากการเจาะดินทราย ทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.16 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 49 | 2 |
| 2 | 50 | 0 |
| 3 | 48 | 4 |
| 4 | 49 | 2 |
| 5 | 48 | 4 |
| 6 | 50 | 0 |
| 7 | 50 | 0 |
| 8 | 50 | 0 |
| 9 | 48 | 4 |
| 10 | 49 | 2 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 1.8 |

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.16 สรุปได้ว่าทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.8 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.8 การเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|----------------|-------------------|
| 1 | 54 |
| 2 | 55 |
| 3 | 56 |
| 4 | 55 |
| 5 | 55 |
| 6 | 54 |
| 7 | 55 |
| 8 | 55 |
| 9 | 56 |
| 10 | 56 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 55.1 |

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.17 สรุปได้ว่าทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 55.1 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.18 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|---------|-------------------------------|-------------------|
| 1 | 21 | 5 |
| 2 | 22 | 10 |
| 3 | 20 | 0 |
| 4 | 20 | 0 |
| 5 | 19 | 5 |
| 6 | 21 | 5 |

ตารางที่ 4.18 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 7 | 19 | 5 |
| 8 | 20 | 0 |
| 9 | 22 | 10 |
| 10 | 22 | 10 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 5 |

จากตารางที่ 4.18 สรุปได้ว่าทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 5 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.9 การเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.19 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|----------------|-------------------|
| 1 | 99 |
| 2 | 100 |
| 3 | 101 |
| 4 | 100 |
| 5 | 99 |
| 6 | 99 |
| 7 | 101 |
| 8 | 99 |
| 9 | 100 |
| 10 | 99 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 99.7 |

จากตารางที่ 4.19 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 99.7 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.20 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|---------|-------------------------------|-------------------|
| 1 | 30 | 0 |
| 2 | 30 | 0 |
| 3 | 31 | 3.3 |
| 4 | 29 | 3.3 |
| 5 | 31 | 3.3 |
| 6 | 29 | 3.3 |
| 7 | 30 | 0 |
| 8 | 30 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 9 | 29 | 3.3 |
| 10 | 30 | 0 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 1.65 |

จากตารางที่ 4.20 สรุปได้ว่าทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.65 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.10 การเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.21 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|---------|-------------------|
| 1 | 120 |
| 2 | 119 |
| 3 | 121 |
| 4 | 119 |
| 5 | 120 |

ตารางที่ 4.21 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

| หลุมที่ | ระยะเวลา(วินาที) |
|----------------|------------------|
| 6 | 120 |
| 7 | 119 |
| 8 | 119 |
| 9 | 121 |
| 10 | 120 |
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 119.8 |

จากตารางที่ 4.21 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 119.8 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.22 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 39 | 2.5 |
| 2 | 40 | 0 |
| 3 | 41 | 2.5 |
| 4 | 39 | 2.5 |
| 5 | 39 | 2.5 |
| 6 | 40 | 0 |
| 7 | 41 | 2.5 |
| 8 | 40 | 0 |
| 9 | 40 | 0 |
| 10 | 39 | 2.5 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 1.25 |

จากตารางที่ 4.22 สรุปได้ว่าความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.25 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.11 การเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.23 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะเวลา (วินาที) |
|---------|-------------------|
| 1 | 135 |
| 2 | 134 |
| 3 | 136 |
| 4 | 135 |
| 5 | 136 |
| 6 | 135 |
| 7 | 134 |
| 8 | 134 |
| 9 | 135 |
| 10 | 136 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

| หลุมที่ | ระยะเวลา(วินาที) |
|----------------|------------------|
| ระยะเวลาเฉลี่ย | 135 |

จากตารางที่ 4.23 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 135 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

ตารางที่ 4.24 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

| หลุมที่ | ระยะความลึกที่ได้ (เซนติเมตร) | ร้อยละความผิดพลาด |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 50 | 0 |
| 2 | 51 | 2 |
| 3 | 50 | 0 |
| 4 | 50 | 0 |
| 5 | 49 | 2 |
| 6 | 48 | 4 |
| 7 | 49 | 2 |
| 8 | 50 | 0 |
| 9 | 52 | 4 |
| 10 | 51 | 2 |
| ร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมด | | 1.6 |

จากตารางที่ 4.24 สรุปได้ว่าความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร พบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.6 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม



รูปที่ 4.12 การเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร




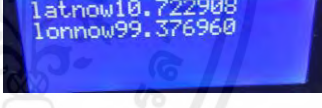

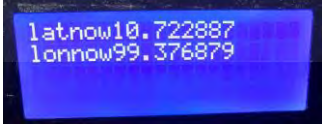
4.2 การทดลองการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอส

การทดลองการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอส เพื่อทดสอบความคลาดเคลื่อนของหลุมและแถวตามพิกัดจีพีเอส

4.2.1 การทดลองการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอส

- 1) กำหนดจุดที่ต้องการโดยการวัดระยะห่างแต่ละหลุม 7 เมตรและระยะห่างแต่ละแถว 7 เมตร โดยเซ็นเครื่องเจาะไปยังจุดที่วัดไว้เพื่ออ่านค่าพิกัด
- 2) บันทึกค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่อ่านค่าได้ ลงตารางที่ 4.25
- 3) ป้อนค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูด จากตารางที่ 4.25 ลงในโปรแกรมอาคุยโน
- 4) เปิดสวิตช์บนแผงควบคุม
- 5) เครื่องเจาะจะเคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนดไว้
- 6) บันทึกผลการทดลอง ในตารางที่ 4.25, 4.26, 4.27

ตารางที่ 4.25 การทดลองความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอส

| แถว | หลุม ที่ | ละติจูด, ลองจิจูด ที่ตั้งไว้ | ละติจูด, ลองจิจูด ที่ทำได้ | ความ ผิดพลาด (เมตร) | รูปการทดลอง |
|-----|-------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--|
| 1 | 1 | 10.722986 99.376154 | 10.722995 99.376744 | 4 |  |
| | 2 | 10.722959 99.376823 | 10.722951 99.376830 | 1 |  |
| | 3 | 10.722944 99.376884 | 10.722956 99.376886 | 1 |  |
| | 4 | 10.722927 99.376945 | 10.722908 99.376960 | 3 |  |
| 2 | 1 | 10.722881 99.376937 | 10.722889 99.376931 | 5 |  |
| | 2 | 10.722876 99.376853 | 10.722887 99.376879 | 3 |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 การทดลองความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอส (ต่อ)

| แถว | หลุม ที่ | ละติจูด, ลองจิจูด ที่ตั้งไว้ | ละติจูด, ลองจิจูด ที่ทำได้ | ความคลาด เคลื่อน (เมตร) | รูปการทดลอง |
|-----------|-------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|
| 2 | 3 | 10.721916 99.376808 | 10.722934 99.376804 | 2 |  |
| | 4 | 10.722920 99.376724 | 10.722925 99.376729 | 1 |  |
| ค่าเฉลี่ย | | | | | 2.5 |

จากตารางที่ 4.25 สรุปได้ว่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอสมีความคลาดเคลื่อน 2.5 เมตรจากทั้งหมด 8 หลุม

ตารางที่ 4.26 การทดลองระยะห่างของแต่ละหลุมโดยมีระยะห่าง 7 เมตร

| แถวที่ | ระยะห่างระหว่าง หลุม | ระยะห่างที่วัดได้ (เมตร) | ความคลาดเคลื่อน (เมตร) |
|-----------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | 1 และ 2 | 11 | 4 |
| | 2 และ 3 | 6 | 1 |
| | 3 และ 4 | 10 | 3 |
| 2 | 1 และ 2 | 6 | 1 |
| | 2 และ 3 | 10 | 3 |
| | 3 และ 4 | 8 | 1 |
| ค่าเฉลี่ย | | 8.5 | 2.16 |

จากตารางที่ 4.26 สรุปได้ว่าการทดลองระยะห่างของแต่ละหลุมโดยมีระยะห่าง 7 เมตรพบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 2.16 เมตร และ ระยะห่างที่ได้ 8.5 เมตร

การวัดระยะห่างระหว่างแถวโดยวัดจากระยะห่างระหว่างหลุมของแถวที่ 1 และแถวที่ 2 ได้ผลดัง ตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 การทดลองระยะห่างระหว่างแถวที่ 1 และแถวที่ 2 ซึ่งกำหนดระยะห่าง 7 เมตร

| หลุมที่ | ระยะที่วัดได้ (เมตร) | ความคลาดเคลื่อน (เมตร) |
|-----------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 24 | 17 |
| 2 | 9 | 2 |
| 3 | 9 | 2 |
| 4 | 25 | 18 |
| ค่าเฉลี่ย | 16.75 | 9.75 |

จากตารางที่ 4.27 สรุปได้ว่าการทดลองระยะห่างระหว่างแถวที่ 1 และแถวที่ 2 ซึ่งกำหนดระยะห่าง 7 เมตรพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 9.75 เมตร และค่าเฉลี่ยที่วัดได้ 16.75 เมตร

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึง บทสรุปในการทดลองจากบทที่ 4 ในหัวข้อ การทดลองเจาะหลุม ดินทราย ดินร่วน ดินเหนียว ในระยะความลึกต่าง ๆ ปัญหาและอุปสรรค และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเจาะดินชนิดต่าง ๆ แบบอัตโนมัติ เพื่อทดสอบระยะความลึกในการเจาะของดินแต่ละชนิด และระยะเวลาในการเจาะของดินแต่ละชนิด โดยมีดินทราย ดินร่วน ดินเหนียว

5.1.1 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 40.3 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.2 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 3 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.3 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 65 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.4 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.98 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.5 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 91.6 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.6 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.25 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.7 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 120.4 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.8 การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินทรายระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.8 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.9 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 44.8 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.10 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 2.5 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.11 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 55.1 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.12 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.98 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.13 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 92.9 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.14 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.5 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.15 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 126.1 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.16 การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินร่วนระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.8 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.17 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 55.1 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.18 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 20 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 5 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.19 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 99.7 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.20 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.65 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.21 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 119.8 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.22 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 40 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.25 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.23 การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองระยะเวลาในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะเวลาการเจาะหลุมเฉลี่ย 135 วินาที จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.24 การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร

การทดลองความลึกในการเจาะดินเหนียวระยะความลึก 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตรพบว่าระยะความลึกในการเจาะหลุมเฉลี่ยร้อยละ 1.6 จากการเจาะดินทรายทั้งหมด 10 หลุม

5.1.25 การทดลองความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอส

จากการทดลองความคลาดเคลื่อนการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอสสรุปได้ว่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ตามพิกัดจีพีเอสมีความคลาดเคลื่อน 2.5 เมตรจากทั้งหมด 8 หลุม

5.1.26 การทดลองระยะห่างของแต่ละหลุมโดยมีระยะห่าง 7 เมตร

จากการทดลองระยะห่างของแต่ละหลุมโดยมีระยะห่าง 7 เมตรสรุปได้ว่าการทดลองระยะห่างของแต่ละหลุมโดยมีระยะห่าง 7 เมตรพบว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 2.16 เมตร และระยะห่างที่ได้ 8.5 เมตร

5.1.27 การทดลองระยะห่างระหว่างแถวที่ 1 และแถวที่ 2 ซึ่งกำหนดระยะห่าง 7 เมตร

จากการทดลองระยะห่างระหว่างแถวที่ 1 และแถวที่ 2 ซึ่งกำหนดระยะห่าง 7 เมตร สรุปได้ว่าการทดลองระยะห่างระหว่างแถวที่ 1 และแถวที่ 2 มีความคลาดเคลื่อน 9.75 เมตร และค่าเฉลี่ยที่วัดได้ 16.75 เมตร

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

การทดลองเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตรโดยใช้จีพีเอส มีค่าผิดพลาดจากการอ่านค่าจากจีพีเอส และค่าผิดพลาดในภาคคำนวณต่าง ๆ การคำนวณตำแหน่งต่าง ๆ เช่นการคำนวณจาก จุดเอ จุดบี จุดซี และจุดดี ตัวเข็มทิศทำงานผิดพลาดในการอ่านค่าองศาทิศและถูกรบกวนได้ง่ายจากอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยรอบ และปัญหาในการเจาะหลุมถ้าหากเจอหินก้อนใหญ่จะเจาะหลุมต่อไม่ได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรใช้ โมดูลเข็มทิศ ที่มีความแม่นยำสูง
- 2) ควรใช้ โมดูลจีพีเอส ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อย

เอกสารอ้างอิง

- [1] จีราวุธ วารินทร์, **Arduino Uno พื้นฐานสำหรับงาน IoT**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, สนพ. บริษัท ริโวว่า จำกัด, 2561.
- [2] ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิสัย, **คู่มืออิเล็กทรอนิกส์ ฉบับ POCKET BOOK**. กรุงเทพฯ: วี.พรีนธ์
- [3] “แบตเตอรี่” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://www.saraphanbattery.com> เข้าถึงครั้งสุดท้าย 15 กุมภาพันธ์ 2566
- [4] ไชยชาญ หินเกิด, **มอเตอร์ไฟฟ้าและการควบคุม**, พิมพ์ครั้งที่ 2 , กรุงเทพฯ: ส.ส.ท บริษัท ริโวว่า จำกัด, 2561.
- [5] “เซอร์โวมอเตอร์” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <http://robo-circuit.com> เข้าถึงครั้งสุดท้าย 16 กุมภาพันธ์ 2566
- [6] “เฟืองเกียร์ทอรอบ” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://fms.co.th/LM-Worm-Gear> เข้าถึงครั้งสุดท้าย 16 กุมภาพันธ์ 2566
- [7] “จีพีเอส” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <http://www.arduino-indy.com> เข้าถึงครั้งสุดท้าย 19 กุมภาพันธ์ 2566
- [8] “โมดูลเข็มทิศ” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://www.mcucity.com/product/2972> เข้าถึงครั้งสุดท้าย 19 กุมภาพันธ์ 2566
- [9] “จอแอลซีดี” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://www.mcucity.com/product/2972> เข้าถึงครั้งสุดท้าย 19 กุมภาพันธ์ 2566
- [10] “สแต็ปปีงมอเตอร์” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://www.changfi.com/fix/> เข้าถึงครั้งสุดท้าย 19 กุมภาพันธ์ 2566
- [11] “แป้นปุ่มกดหรือ Keypad” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: Amazon.ca: Electronics เข้าถึงครั้งสุดท้าย 20 กุมภาพันธ์ 2566
- [12] “ไฟแสดงสถานะ” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://misumitechnical.com> เข้าถึงครั้งสุดท้าย 20 กุมภาพันธ์ 2566
- [13] บุญธรรม ภัทรจารุกุล, **งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น**, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2556

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] “มอสเฟต” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <http://www.108ham.com/?id=219&antenna.html>
เข้าถึงครั้งสุดท้าย 20 กุมภาพันธ์ 2566
- [15] “เครื่องยนต์ 2 จังหวะ” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://technologyengineworks.com>
เข้าถึงครั้งสุดท้าย 21 กุมภาพันธ์ 2566
- [16] “ดอกสว่านเจาะดิน” (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: <https://itoolmart.com/blog/>
เข้าถึงครั้งสุดท้าย 21 กุมภาพันธ์ 2566
- [17] บริษัท แพ็คโตมาร์ท จำกัด, **คู่มือไฟแสดงสถานะ**, กรุงเทพมหานคร: แพ็คโตมาร์ท จำกัด





ภาคผนวก ก
เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการทำงานของเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร

```

#include <Wire.h> //ไลบรารีขา เอสดีเอ เอสซีแอล
#include <MechaQMC5883.h> //ไลบรารีเซนเซอร์เข็มทิศ
#include "TinyGPS++.h" //ไลบรารี จีพีเอส
#include "SoftwareSerial.h" //ไลบรารีการสื่อสารแบบ ซีเรียล ของ จีพีเอส
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //ไลบรารีจอแอลซีดี
#include <Servo.h> //ไลบรารีเซอร์โว

LiquidCrystal_I2C lcd( 0x27 , 20, 4); //ประกาศว่าใช้จอแอลซีดีขนาด 20 คูณ 4
SoftwareSerial serial_connection(10, 11); //กำหนดขาอาร์เอคเป็นขา 10 ขาทีเอ็คเป็นขา 11
TinyGPSPlus gps; //ใช้ชื่อ จีพีเอส ในการเรียกใช้ จีพีเอส
char l = 1 ; //ประกาศตัวแปร
int godegree ; //ประกาศตัวแปร
int x, y, z; //ประกาศตัวแปร
int azimuth; //ประกาศตัวแปร
double a,o ; //ประกาศตัวแปร
char S3 = 0 ; //ประกาศตัวแปร

ส่วนการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อน
//มอเตอร์ล้อขวา
#define dirPinR 3 //ขาขับมอเตอร์ของล้อขวา ต่อขา 3
#define relayR 30 //ขาขับรีเลย์ของมอเตอร์ล้อขวา ต่อขา 30
//มอเตอร์ล้อซ้าย-
#define dirPinL 2 //ขาขับมอเตอร์ของล้อซ้าย ต่อขา 2
#define relayL 31 //ขาขับรีเลย์ของมอเตอร์ล้อซ้าย ต่อขา 31
MechaQMC5883 qmc; //กำหนดชื่อ คิวเอ็มซี5883 ในการเรียกใช้ เข็มทิศ

//ส่วนที่ต้องใส่ค่าพิกัด
char point_number = 4 ; //จำนวนจุดพิกัด

```

```

double Golat_set[4]={ 10.722990, 10.722966,10.722876,10.722912}; //ค่าละติจูด
double Golon_set[4]={ 99.376815, 99.376922,99.376892,99.376792}; //ค่าลองจิจูด
double Go_lat = Golat_set[1]; //กำหนดละติจูดเท่ากับจุดที่ 1
double Go_lon = Golon_set[1]; //กำหนดให้ลองจิจูดเท่ากับจุดที่ 1
double My_lat, My_lon ; //ตัวแปรเก็บค่าจุดที่รถอยู่
char STpoint = 1 ;
double SlopeX ; //ตัวแปรขนาดแกน X
double SlopeY ; //ตัวแปรขนาดแกน Y
double degree ; //ตัวแปรมุม
int t ;

//สเต็ปมอเตอร์
unsigned long pvstop; //ให้ พีวีเอสทีไอพี เป็นมิลลิวินาที
unsigned long pvstop1 = 0; //ให้ พีวีเอสทีไอพี1 เป็น 0
int dirPin = 26; //ให้ขา 26 เป็น ไดรพิน ของสเต็ปมอเตอร์
int stepPin = 6; //ให้ขา 6 เป็น สเต็ปพิน ของสเต็ปมอเตอร์
int enablepin =25; //ให้ขา 25 เป็น เอ็นนาเบิ้ลพิน ของสเต็ปมอเตอร์
int stepsPerRev = 1000; //กำหนด สเต็ป/รอบ เป็น 1000 เท่ากับ 1 เซนติเมตร
int limit_stepmotor = 37; //ลิมิตสวิตสเต็ปมอเตอร์
int limit_state = LOW; //สถานะของลิมิต
int drilllum ; //ความถี่ที่ต้องปรับสเต็ปมอเตอร์

//เครื่องเจาะ
Servo myservo; //เรียกใช้เซอร์โว
int MotorDrill = 4 ; //มอเตอร์เครื่องเจาะ
int RelayDrill_UP = 32; //รีเลย์มอเตอร์เครื่องเจาะขึ้น
int RelayDrill_DOWN = 33; //รีเลย์มอเตอร์เครื่องเจาะลง
int limitdrill_UP = 34; //ลิมิตสวิตเครื่องเจาะบนสุด

```

```

int limitdrillstate_UP = LOW;      //สถานะของลิมิตสวิตเครื่องเจาะบนสุด
int limitdrill_DOW = 35;          //ลิมิตสวิตเครื่องเจาะล่างสุด
int limitdrillstate_DOW = LOW;    //สถานะของลิมิตสวิตเครื่องเจาะล่างสุด

//วัดแบตเตอรี่
int v = A4 ;                      //รับค่าจากตัววัดแบตเตอรี่
int ledbat = 25 ;                 //แสดงค่าเมื่อแบตเตอรี่อ่อน
int Vin ;                          //ประกาศตัวแปร
float rv ;                         //ประกาศตัวแปร

void setup() {
  pinMode(dirPinR, OUTPUT); //กำหนดเป็น เอาท์พุต
  pinMode(relayR, OUTPUT);  //กำหนดเป็น เอาท์พุต
  pinMode(dirPinL, OUTPUT); //กำหนดเป็น เอาท์พุต
  pinMode(relayL, OUTPUT);  //กำหนดเป็น เอาท์พุต
  pinMode(LED, OUTPUT);     //กำหนดเป็น เอาท์พุต
  pinMode(LED2, OUTPUT);   //กำหนดเป็น เอาท์พุต
  pinMode(LED3, OUTPUT);   //กำหนดเป็น เอาท์พุต
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  Wire.begin();            //ใช้การสื่อสารแบบ ไอ2ซี
  Serial.begin(9600);      //ใช้การสื่อสารแบบ ซีเรียล ความเร็ว 9600
  //Serial3.begin(9600);
  qmc.init();

  serial_connection.begin(9600);
  Serial.println("GPS Start"); //ให้จีพีเอสเริ่มทำงาน

```

```

//เครื่องเจาะ
myservo.attach(12);           //ให้เซอร์โวใช้ขา 12
pinMode(MotorDrill, OUTPUT);  //กำหนดเป็น เอาท์พุต
pinMode(RelayDrill_UP, OUTPUT); //กำหนดเป็น เอาท์พุต
pinMode(RelayDrill_DOWN, OUTPUT); //กำหนดเป็น เอาท์พุต
//Serial.begin(9600);
pinMode(limitdrill_UP, INPUT); //กำหนดเป็น อินพุต
pinMode(limitdrill_DOW, INPUT); //กำหนดเป็น อินพุต

//วัตต์แบตเตอรี่
pinMode(v, INPUT);           //กำหนดเป็น อินพุต
pinMode(ledbat, OUTPUT);     //กำหนดเป็น เอาท์พุต

//สเต็ปมอเตอร์
pinMode(stepPin, OUTPUT);    //กำหนดเป็น เอาท์พุต
pinMode(dirPin, OUTPUT);     //กำหนดเป็น เอาท์พุต
pinMode(enablepin, OUTPUT);  //กำหนดเป็น เอาท์พุต
pinMode(limit_stepmotor, INPUT); //กำหนดเป็น อินพุต
}

void loop() {
  get_gps();                 //ฟังก์ชันรับค่า จีพีเอส
  get_degree();             //ฟังก์ชันรับค่า มุมเข็มทิศ
  motor_run();              //ฟังก์ชันมอเตอร์ทำงาน
  func_bat();               //ฟังก์ชันวัดระดับแบตเตอรี่
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("latnow");lcd.print(gps.location.lat(), 6); //แสดงค่าละติจูดออกจอแอลซีดี

```

```

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("lonnow");lcd.print(gps.location.lng(), 6); //แสดงค่าลองจิจูดออกจอแอลซีดี
lcd.setCursor(0, 3);
Serial.print("latnow:");
Serial.println(gps.location.lat(), 6); //แสดงค่าละติจูดออกซีเรียลมอนิเตอร์
Serial.print("lonnow:");
Serial.println(gps.location.lng(), 6); //แสดงค่าลองจิจูดออกซีเรียลมอนิเตอร์
delay(10);
}

//ฟังก์ชันคำนวณหาทิศทาง
void caculateDegree(){ //ฟังก์ชันคำนวณหาทิศทางเป็น องศาคิดเป็น 360 องศา
  SlopeX = My_lon - Go_lon ;
  SlopeY = My_lat - Go_lat ;
  if( SlopeX <= 0 && SlopeY <= 0){ //หากอยู่ตะวันออกเฉียงเหนือ ใช้สูตรนี้
    SlopeX = SlopeX * -1 ;
    SlopeY = SlopeY * -1 ;
    heading(SlopeY, SlopeX);
    degree = 90 - degree ;
    Serial.println("Case1");
  }else if( SlopeX > 0 && SlopeY <= 0){ //หากอยู่ที่ตะวันตกเฉียงเหนือ ใช้สูตรนี้
    SlopeY = SlopeY * -1 ;
    heading(SlopeX, SlopeY);
    degree = 360 - degree ;
    Serial.println("Case2");
  }else if( SlopeX <= 0 && SlopeY > 0){ //หากอยู่ที่ตะวันออกเฉียงใต้ ใช้สูตรนี้
    SlopeX = SlopeX * -1 ;
    heading(SlopeY, SlopeX);

```

```

    degree = 90 + degree ;
    Serial.println("Case3");
}else if( SlopeX > 0 && SlopeY > 0){ //หากอยู่ที่ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ใช้สูตรนี้
    heading(SlopeY, SlopeX);
    degree = 270 - degree ;
    Serial.println("Case4");
}
godegree = degree ; //ให้โกด์กรี เท่ากับ ดีกรี
Serial.print("My degree go : ");
Serial.println(degree);
}
double heading(double x, double y) {
    double head = atan2(x, y); //ใช้สูตร อากแทน เพื่อคำนวณหามุม
    degree = head * 57296 / 1000;
    if(degree < 0){ //หากค่าองศาติดลบ
        degree = degree * -1 ; //ทำให้เป็นบวกโดยคูณ -1
    }
    return head;
}
//ฟังก์ชันรับค่า จีพีเอส
void get_gps(){ //ฟังก์ชันรับค่า จีพีเอส
    while(serial_connection.available())
    {
        gps.encode(serial_connection.read());
    }
    if(gps.location.isUpdated())
    {
        My_lat = gps.location.lat() ; //ประกาศตัวแปร

```

```

My_lon = gps.location.lng() ; //ประกาศตัวแปร
if( S3 >= 3){ // จับดาวเทียมได้ไม่น้อยกว่า 3 ดวง
    if( SlopeX <= 0.00003 && SlopeX >= -0.00003 && SlopeY <= 0.00003 && SlopeY >= -
0.00003 ) //หากเข้าใกล้ระยะ
    {
        motor_stop(); //ให้มอเตอร์ล้อยุดทำงาน
        delay(2000); //หน่วงเวลา 2 วินาที
        func_drill(); //ทำงานฟังก์ชันเจาะ
        if( STpoint == point_number){ //ถ้าตัวเครื่องอยู่ที่พิกัดสุดท้ายแล้วแสดงค่าออกจอแอลซีดี
            while(t != 'D'){
                lcd.setCursor(6,0);
                lcd.print("FINISH");
                lcd.setCursor(4, 1);
                lcd.print("Reset arduino ");
                lcd.setCursor(3, 2);
                lcd.print("to start again");
            }
        }else{
            Go_lat = Golat_set[STpoint] ; //ถ้าตัวเครื่องยังไม่ถึงพิกัดสุดท้ายให้ตัวเครื่องไปยังจุดต่อไป
            Go_lon = Golon_set[STpoint] ; //ถ้าตัวเครื่องยังไม่ถึงพิกัดสุดท้ายให้ตัวเครื่องไปยังจุดต่อไป
            STpoint ++;
        }
        delay(10);
    }
    S3 = 0;
}
caculateDegree(); //ฟังก์ชันคำนวณหามุม
S3 ++ ;

```

```

    }
}

//ฟังก์ชันรับค่ามุมจากเข็มทิศ
void get_degree(){                                //ฟังก์ชันรับค่ามุมจากเข็มทิศ
    qmc.read(&x, &y, &z, &azimuth);
    azimuth = qmc.azimuth(&y,&x);
    Serial.print(" Degree ");                    //แสดงค่ามุมออกซีเรียลมอนิเตอร์
    Serial.print(azimuth);
    Serial.println();
}

//ฟังก์ชันคำนวณ มอเตอร์ล้อทำงาน
void motor_run(){
    if( SlopeX <= 0.00002 && SlopeX >= -0.00002 && SlopeY <= 0.00002 && SlopeY >= -
0.00002 ){                                       //หากเข้าใกล้ระยะ
        digitalWrite(LED2, HIGH);
    }else{
        digitalWrite(LED2, LOW);
        if( azimuth < (godegree-l) || azimuth > (godegree+l)){
            digitalWrite(LED, LOW);
            if( azimuth < (godegree-l) ){        //หากตัวเครื่องเบี่ยงซ้ายเกินไปให้เลี้ยวขวา
                motor_turnRigh();              //ฟังก์ชันเลี้ยวขวา
            }else if( azimuth > (godegree+l)){   //หากตัวเครื่องเบี่ยงขวาเกินไปให้เลี้ยวซ้าย
                motor_turnLeft();              //ฟังก์ชันเลี้ยวซ้าย
            }
        }
    }
}

```

```

}else{
    motor_up();                //หากไม่ใช่ทั้งสองกรณีให้ตัวเครื่องตรงไป
    digitalWrite(LED, HIGH);
}
}
}

//ฟังก์ชันมอเตอร์ทำงาน
void motor_up(){              //ฟังก์ชันตัวเครื่องตรงไป
    analogWrite(dirPinR, 230);
    digitalWrite(relayR, LOW);
    digitalWrite(dirPinL, HIGH);
    digitalWrite(relayL, LOW);
    Serial.print(" motor_up ");
}
void motor_turnRigh(){        //ฟังก์ชันตัวเครื่องเลี้ยวขวา
    digitalWrite(relayR, HIGH);
    delay(80);
    analogWrite(dirPinR, 100);
    //digitalWrite(relayR, LOW);
    digitalWrite(relayL, LOW);
    analogWrite(dirPinL, 240);
    Serial.print(" motor_turnRigh ");
}
void motor_turnLeft(){        //ฟังก์ชันตัวเครื่องเลี้ยวซ้าย
    digitalWrite(relayR, LOW);
    analogWrite(dirPinR, 240);

```

```

digitalWrite(relayL, HIGH);
delay(80);
analogWrite(dirPinL, 100 );
Serial.print(" motor_turnLeft ");
}
void motor_stop(){                                //ฟังก์ชันมอเตอร์หยุดทำงาน
digitalWrite(dirPinR, LOW);
digitalWrite(relayR, LOW);
digitalWrite(dirPinL, LOW);
digitalWrite(relayL, LOW);
Serial.print(" motor_stop ");
}

//ฟังก์ชันเครื่องเจาะ-
void func_drill(){
while(limitdrillstate_DOW != HIGH ){
limitdrillstate_DOW = digitalRead(limitdrill_DOW);
Serial.println(limitdrillstate_DOW);
myservo.write(10);
digitalWrite(RelayDrill_DOWN,HIGH);           //รีเลย์เครื่องเจาะลง
delay(80);
analogWrite(MotorDrill,37);                   //เครื่องเจาะลง
}
digitalWrite(RelayDrill_DOWN,LOW);           //รีเลย์เครื่องเจาะลง
digitalWrite(MotorDrill,LOW);                //เครื่องเจาะลง
myservo.write(0);
while(limitdrillstate_UP != HIGH ){
limitdrillstate_UP = digitalRead(limitdrill_UP);

```

```

digitalWrite(RelayDrill_UP,HIGH);    //รีเลย์เครื่องเจาะขึ้น
delay(80);
analogWrite(MotorDrill,150);        //เครื่องเจาะขึ้น
}
digitalWrite(RelayDrill_UP,LOW);     //รีเลย์เครื่องเจาะขึ้น
digitalWrite(MotorDrill,LOW);        //เครื่องเจาะขึ้น
}

//ฟังก์ชันวัดระดับแบตเตอรี่
void func_bat(){
  Vin = analogRead(v);               //ค่าอนาล็อกที่อ่านจากโมดูลวัดแบตเตอรี่
  rv = ((Vin * (5.0/1023)) / (0.1708));
  Serial.println(rv);
  if(rv<=21.6){
    digitalWrite(led,HIGH);          //หากแบตเตอรี่ต่ำไฟหลอดแลมปีสว่าง
  }
  else{
    digitalWrite(led,LOW);           //หากแบตเตอรี่ไม่ต่ำไฟหลอดแลมปีไม่สว่าง
  }
  delay(100);
}

```



ภาคผนวก ข

เครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คู่มือการใช้งานเครื่องเจาะหลุมอัตโนมัติเพื่อการเกษตร



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

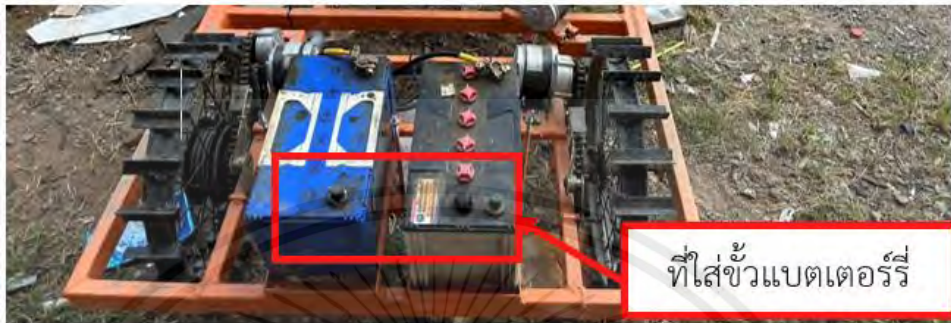
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใช้งานแบบอัตโนมัติ

- 1) เริ่มต้นจาก ใส่ขั้วแบตเตอรี่ ขั้วบวกใส่ขั้วบวกที่แบตเตอรี่ ขั้วลบใส่ที่ขั้วลบที่แบตเตอรี่ และขันน็อตให้แน่น แสดงดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 การใส่ขั้วแบตเตอรี่

- 2) เปิดสวิตช์ on ที่แผงคอนโทรลเพื่อใช้งานส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง แสดงดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 เปิดสวิตช์ on ที่แผงคอนโทรล

3) ทำการกดตัวเลขบนแป้นปุ่มกด กำหนดระยะความห่างของหลุม ระยะห่างของแถว และใส่พิกัดทั้ง 4 จุด แสดงดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 กำหนดค่าต่าง ๆ บนแป้นปุ่มกด

4) การสตาร์ทเครื่องยนต์ ให้ทำการดึงคันสตาร์ทให้สุดเพื่อติดเครื่องถ้ายังไม่ติดให้ดึงซ้ำจนเครื่องติด แสดงดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 วิธีสตาร์ทเครื่องยนต์

- 5) ขั้นตอนการทำงานอัตโนมัติ มีการทำงานทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังนี้
- 1) ตัวจีพีเอสคำนวณหาตำแหน่งที่ตัวเครื่องอยู่ในขณะนั้น โดยจะจับดาวเทียมได้อย่างน้อย 3 ดวง
 - 2) เซ็นเซอร์จะประมวลผลให้ไปในทิศทางที่กำหนด
 - 3) เครื่องจะเคลื่อนที่ไปยังหลุมที่สอง
 - 4) เครื่องจะเจาะหลุมที่กำหนดความลึกไว้จนเสร็จ แล้วไปหลุมต่อไปจนครบทุกหลุม
- 6) วิธีดับเครื่อง โดยให้กดปุ่ม Emergency แสดงดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 วิธีดับเครื่องยนต์

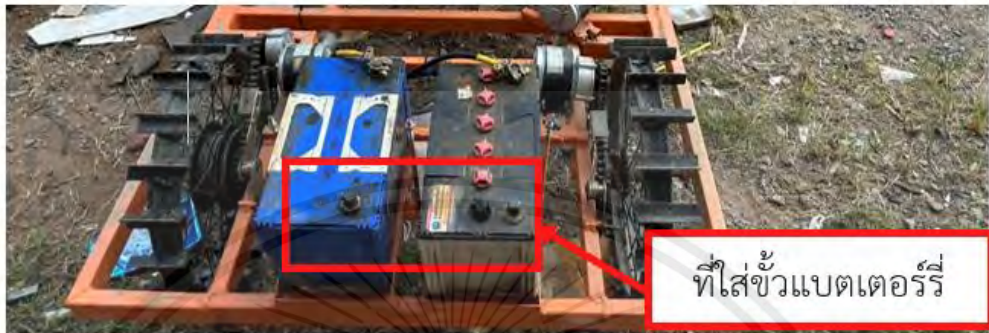
- 7) วิธีดับเครื่องยนต์และระบบไฟ ในกรณีฉุกเฉิน โดยให้กดปุ่มฉุกเฉิน แสดงดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 วิธีดับเครื่องยนต์และระบบไฟในกรณีฉุกเฉิน

ขั้นตอนใช้งานแบบบังคับรีโมท

- 1) เริ่มต้นจากให้ใส่ขั้วแบตเตอรี่ ขั้วบวกใส่ขั้วบวกที่แบตเตอรี่ ขั้วลบใส่ที่ขั้วลบที่แบตเตอรี่ และขันน็อตให้แน่น แสดงดังรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.7 การใส่ขั้วแบตเตอรี่

- 2) เปิดสวิตช์ on ที่แผงคอนโทรลเพื่อใช้งานส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง



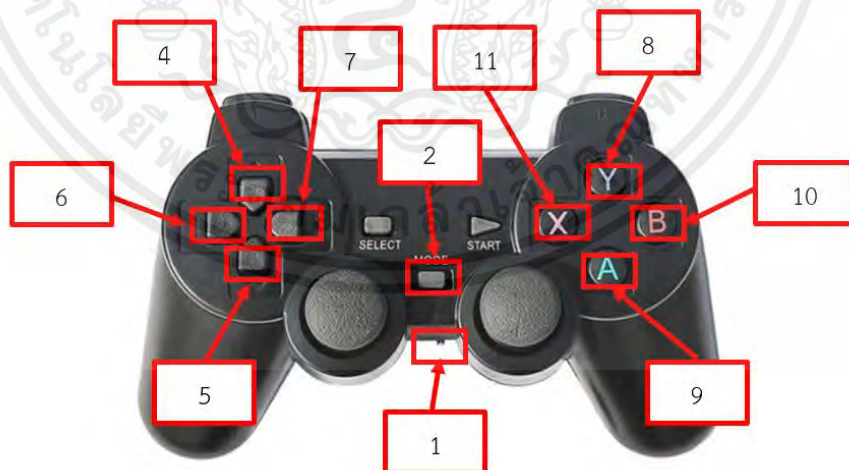
รูปที่ ข.8 เปิดสวิตช์ on ที่แผงคอนโทรล

3) การสตาร์ทเครื่องยนต์ ให้ทำการดึงคันสตาร์ทให้สุดเพื่อติดเครื่องถ้ายังไม่ติดให้ดึงซ้ำจนเครื่องติด แสดงดังรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.9 วิธีสตาร์ทเครื่องยนต์

4) การใช้งานรีโมทบังคับ แสดงดังรูปที่ ข.10 และ ข.11



รูปที่ ข.10 การกดปุ่มสั่งการต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 การกดปุ่มสั่งการต่าง ๆ

- 1) สวิตช์ เปิด-ปิด
- 2) เลือกโหมดที่จะใช้งาน
- 3) ไฟสถานะ เปิดการใช้งาน และสถานการณ์เชื่อมต่อ
- 4) เดินหน้า
- 5) ถอยหลัง
- 6) เลี้ยวซ้าย
- 7) เลี้ยวขวา
- 8) เลื่อนเครื่องเจาะขึ้น
- 9) เลื่อนเครื่องเจาะลง
- 10) เร่งเครื่องเจาะ
- 11) เบาเครื่องเจาะ
- 12) เครื่องเดินเบาเครื่องเจาะ

6) วิธีดับเครื่อง โดยให้กดปุ่ม Emergency แสดงดังรูปที่ ข.12



รูปที่ ข.12 วิธีดับเครื่องยนต์

7) วิธีดับเครื่องยนต์และระบบไฟ ในกรณีฉุกเฉิน โดยให้กดปุ่มฉุกเฉิน แสดงดังรูปที่ ข.13



รูปที่ ข.13 วิธีดับเครื่องยนต์และระบบไฟในกรณีฉุกเฉิน

8) วิธีเติมน้ำมัน แสดงดังรูปที่ ข.14



รูปที่ ข.14 วิธีเติมน้ำมัน

- 8.1) เปิดฝาถังน้ำมันโดยบิดไปทางซ้ายเพื่อเปิด และบิดไปทางขวาเพื่อปิด
- 8.2) การผสมน้ำมันเบนซิน กับ 2T (ออโต้ลูป) 25 : 1 คือน้ำมัน 25 ซีซี ต่อ ออโต้ลูป 1 ซีซี



ภาคผนวก ค

คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ (Datasheet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR

www.fairchildsemi.com

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

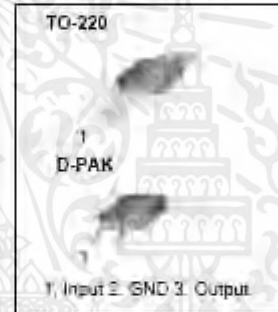
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

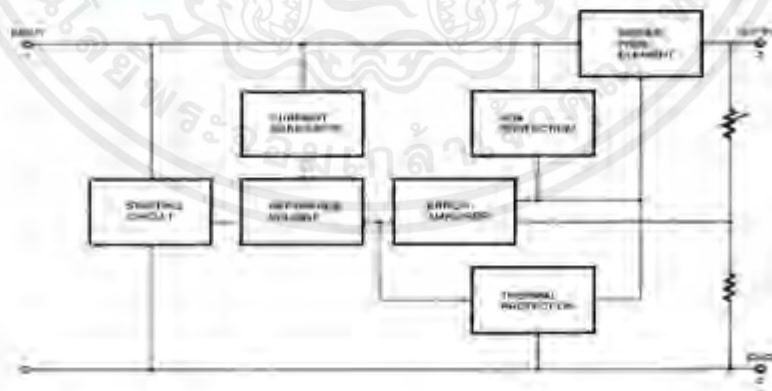
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

| Parameter | Symbol | Value | Unit |
|--|-----------------|------------|---------------|
| Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$) | V_I | 35 | V |
| | V_I | 40 | V |
| Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220) | $R_{\theta JC}$ | 5 | $^{\circ}C/W$ |
| Thermal Resistance Junction-Air (TO-220) | $R_{\theta JA}$ | 65 | $^{\circ}C/W$ |
| Operating Temperature Range | TOPR | 0 ~ +125 | $^{\circ}C$ |
| Storage Temperature Range | TSTG | -85 ~ +150 | $^{\circ}C$ |

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | MC7805/LM7805 | | | Unit | |
|--------------------------|-------------------------|--|--------------------------|------|------|-----------------|----|
| | | | Min. | Typ. | Max. | | |
| Output Voltage | V_O | $T_J = +25^{\circ}C$ | 4.8 | 5.0 | 5.2 | V | |
| | | $5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$ | 4.75 | 5.0 | 5.25 | | |
| Line Regulation (Note1) | Regline | $T_J = +25^{\circ}C$ | $V_O = 7V$ to $25V$ | - | 4.0 | 100 | mV |
| | | | $V_I = 8V$ to $12V$ | - | 1.6 | 50 | |
| Load Regulation (Note1) | Regload | $T_J = +25^{\circ}C$ | $I_O = 5.0mA$ to $1.5A$ | - | 9 | 100 | mV |
| | | | $I_O = 250mA$ to $750mA$ | - | 4 | 50 | |
| Quiescent Current | I_Q | $T_J = +25^{\circ}C$ | - | 5.0 | 8.0 | mA | |
| Quiescent Current Change | ΔI_Q | $I_O = 5mA$ to $1.0A$ | - | 0.03 | 0.5 | mA | |
| | | $V_I = 7V$ to $25V$ | - | 0.3 | 1.3 | | |
| Output Voltage Drift | $\Delta V_O / \Delta T$ | $I_O = 5mA$ | - | -0.8 | - | mV/ $^{\circ}C$ | |
| Output Noise Voltage | V_N | $f = 10Hz$ to $100kHz$, $T_A = +25^{\circ}C$ | - | 42 | - | $\mu V/V_O$ | |
| Ripple Rejection | RR | $f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$ | 62 | 73 | - | dB | |
| Dropout Voltage | V_{Drop} | $I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$ | - | 2 | - | V | |
| Output Resistance | r_O | $f = 1kHz$ | - | 15 | - | m Ω | |
| Short Circuit Current | I_{SC} | $V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$ | - | 230 | - | mA | |
| Peak Current | I_{PK} | $T_J = +25^{\circ}C$ | - | 2.2 | - | A | |

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Electrical Characteristics (MC7806)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 11\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | MC7806 | | | Unit | |
|--------------------------|-----------------------|--|---------------------------------------|------|------|------------------------|----|
| | | | Min. | Typ. | Max. | | |
| Output Voltage | V_O | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | 5.75 | 6.0 | 6.25 | V | |
| | | $5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8.0\text{V to } 21\text{V}$ | 5.7 | 6.0 | 6.3 | | |
| Line Regulation (Note1) | Regline | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | $V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$ | - | 5 | 120 | mV |
| | | | $V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$ | - | 1.5 | 60 | |
| Load Regulation (Note1) | Regload | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$ | - | 9 | 120 | mV |
| | | | $I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$ | - | 3 | 60 | |
| Quiescent Current | I_Q | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 5.0 | 8.0 | mA | |
| Quiescent Current Change | ΔI_Q | $I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ | - | - | 0.5 | mA | |
| | | $V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$ | - | - | 1.3 | | |
| Output Voltage Drift | $\Delta V_O/\Delta T$ | $I_O = 5\text{mA}$ | - | -0.8 | - | mV/ $^{\circ}\text{C}$ | |
| Output Noise Voltage | V_N | $f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 45 | - | $\mu\text{V}/V_O$ | |
| Ripple Rejection | RR | $f = 120\text{Hz}$ $V_I = 9\text{V to } 19\text{V}$ | 59 | 75 | - | dB | |
| Dropout Voltage | V_{Drop} | $I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 2 | - | V | |
| Output Resistance | r_O | $f = 1\text{kHz}$ | - | 19 | - | $\text{m}\Omega$ | |
| Short Circuit Current | ISC | $V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 250 | - | mA | |
| Peak Current | IPK | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 2.2 | - | A | |

Note:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Electrical Characteristics (MC7812)(Refer to test circuit, $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | MC7812 | | | Unit | |
|--------------------------|-------------------------|---|---------------------------------------|------|------|------------------------|----|
| | | | Min. | Typ. | Max. | | |
| Output Voltage | V_O | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | 11.5 | 12 | 12.5 | V | |
| | | $5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$ | 11.4 | 12 | 12.6 | | |
| Line Regulation (Note1) | Regline | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | $V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$ | - | 10 | 240 | mV |
| | | | $V_I = 18\text{V to } 22\text{V}$ | - | 3.0 | 120 | |
| Load Regulation (Note1) | Regload | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$ | - | 11 | 240 | mV |
| | | | $I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$ | - | 5.0 | 120 | |
| Quiescent Current | I_Q | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 5.1 | 8.0 | mA | |
| Quiescent Current Change | ΔI_Q | $I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$ | - | 0.1 | 0.5 | mA | |
| | | $V_I = 14.5\text{V to } 30\text{V}$ | - | 0.5 | 1.0 | | |
| Output Voltage Drift | $\Delta V_O / \Delta T$ | $I_O = 5\text{mA}$ | - | -1 | - | mV/ $^{\circ}\text{C}$ | |
| Output Noise Voltage | V_N | $f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 76 | - | $\mu\text{V}/V_O$ | |
| Ripple Rejection | RR | $f = 120\text{Hz}$ $V_I = 15\text{V to } 25\text{V}$ | 55 | 71 | - | dB | |
| Dropout Voltage | V_{Drop} | $I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 2 | - | V | |
| Output Resistance | r_O | $f = 1\text{kHz}$ | - | 18 | - | $\text{m}\Omega$ | |
| Short Circuit Current | I_{SC} | $V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 230 | - | mA | |
| Peak Current | IPK | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 2.2 | - | A | |

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Electrical Characteristics (MC7805A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|--------------------------|---------------------|--|------|------|------|------------------------|
| Output Voltage | V_O | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | 4.9 | 5 | 5.1 | V |
| | | $I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$ | 4.8 | 5 | 5.2 | |
| Line Regulation (Note 1) | Regline | $V_I = 7.5\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$ | - | 5 | 50 | mV |
| | | $V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$ | - | 3 | 50 | |
| | | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 7.3\text{V to } 20\text{V}$ | - | 5 | 50 | |
| | | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$ | - | 1.5 | 25 | |
| Load Regulation (Note 1) | Regload | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$ | - | 9 | 100 | mV |
| | | $I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ | - | 9 | 100 | |
| | | $I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$ | - | 4 | 50 | |
| Quiescent Current | I_Q | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 5.0 | 8 | mA |
| Quiescent Current Change | ΔI_Q | $I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ | - | - | 0.5 | mA |
| | | $V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$ | - | - | 0.8 | |
| | | $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | - | 0.8 | |
| Output Voltage Drift | $\Delta V/\Delta T$ | $I_O = 5\text{mA}$ | - | -0.8 | - | mV/ $^{\circ}\text{C}$ |
| Output Noise Voltage | V_N | $f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 10 | - | $\mu\text{V}/V_O$ |
| Ripple Rejection | RR | $f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 8\text{V to } 18\text{V}$ | - | 68 | - | dB |
| Dropout Voltage | V_{Drop} | $I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 2 | - | V |
| Output Resistance | r_O | $f = 1\text{kHz}$ | - | 17 | - | $\text{m}\Omega$ |
| Short Circuit Current | I_{SC} | $V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 250 | - | mA |
| Peak Current | I_{PK} | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 2.2 | - | A |

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Electrical Characteristics (MC7812A)(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

| Parameter | Symbol | Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit | |
|--------------------------|---------------------|---|-------------------------------------|------|-------|-------------------|-----|
| Output Voltage | V_O | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | 11.75 | 12 | 12.25 | V | |
| | | $I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 14.8\text{V to } 27\text{V}$ | 11.5 | 12 | 12.5 | | |
| Line Regulation (Note1) | Regline | $V_I = 14.8\text{V to } 30\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$ | - | 10 | 120 | mV | |
| | | $V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$ | - | 4 | 120 | | |
| | | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | $V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$ | - | 10 | | 120 |
| | | | $V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$ | - | 3 | | 60 |
| Load Regulation (Note1) | Regload | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$ | - | 12 | 100 | mV | |
| | | $I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$ | - | 12 | 100 | | |
| | | $I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$ | - | 5 | 50 | | |
| Quiescent Current | I_Q | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 5.1 | 6.0 | mA | |
| Quiescent Current Change | ΔI_Q | $V_I = 15\text{V to } 30\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | - | 0.8 | mA | |
| | | $V_I = 14\text{V to } 27\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$ | - | - | 0.8 | | |
| | | $I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$ | - | - | 0.5 | | |
| Output Voltage Drift | $\Delta V/\Delta T$ | $I_O = 5\text{mA}$ | - | -1.0 | - | mV/°C | |
| Output Noise Voltage | V_N | $f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 10 | - | $\mu\text{V}/V_O$ | |
| Ripple Rejection | RR | $f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$ | - | 60 | - | dB | |
| Dropout Voltage | V_{Drop} | $I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 2.0 | - | V | |
| Output Resistance | r_O | $f = 1\text{kHz}$ | - | 18 | - | $\text{m}\Omega$ | |
| Short Circuit Current | ISC | $V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 250 | - | mA | |
| Peak Current | IPK | $T_J = +25^{\circ}\text{C}$ | - | 2.2 | - | A | |

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by BD135/D

designed for use as audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi-complementary circuits.

- DC Current Gain— $h_{FE} = 40$ (Min) @ $I_C = 0.16$ Adg
- BD 135, 137, 138 are complementary with BD 138, 138, 140

1.5 AMPERE
POWER TRANSISTORS
NPN SILICON
45, 60, 80 VOLTS
10 WATTS



CASE 77-08
TO-225AA TYPE

MAXIMUM RATINGS

| Rating | Symbol | Type | Value | Unit |
|--|----------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Collector-Emitter Voltage | V_{CE0} | BD 135 BD 137 BD 138 | 45 60 80 | Vdc |
| Collector-Base Voltage | V_{CB0} | BD 135 BD 137 BD 138 | 45 60 100 | Vdc |
| Emitter-Base Voltage | V_{EB0} | | 5 | Vdc |
| Collector Current | I_C | | 1.5 | A _{dc} |
| Base Current | I_B | | 0.5 | A _{dc} |
| Total Device Dissipation @ $T_A = 25$ C Derate above 25 C | P_D | | 1.25 10 | Watts mW/C |
| Total Device Dissipation @ $T_C = 25$ C Derate above 25 C | P_D | | 12.5 100 | Watt mW/C |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{stg} | | -55 to +150 | C |

THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | Max | Unit |
|---|---------------|-----|------|
| Thermal Resistance, Junction to Case | θ_{JC} | 10 | C/W |
| Thermal Resistance, Junction to Ambient | θ_{JA} | 100 | C/W |

REV 7

© Motorola Inc. 1978



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

| Characteristic | Symbol | Type | Min | Max | Unit |
|--|-----------------|----------------------------|----------------|---------------|-----------------|
| Collector–Emitter Sustaining Voltage* ($I_C = 0.03\text{ A}_{dc}$, $I_B = 0$) | V_{CE0}^* | BD 135 BD 137 BD 139 | 45 80 80 | — — — | Vdc |
| Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 30\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 30\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $I_C = 125\text{ }\mu\text{C}$) | I_{CBO} | | — — | 0.1 10 | μAdc |
| Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$) | I_{EBO} | | — | 10 | μAdc |
| DC Current Gain ($I_C = 0.005\text{ A}$, $V_{CE} = 2\text{ V}$) ($I_C = 0.15\text{ A}$, $V_{CE} = 2\text{ V}$) ($I_C = 0.5\text{ A}$, $V_{CE} = 2\text{ V}$) | h_{FE}^* | | 25 40 25 | — 250 — | — |
| Collector–Emitter Saturation Voltage* ($I_C = 0.5\text{ A}_{dc}$, $I_B = 0.05\text{ A}_{dc}$) | $V_{CE(sat)}^*$ | | — | 0.5 | Vdc |
| Base–Emitter On Voltage* ($I_C = 0.5\text{ A}_{dc}$, $V_{CE} = 2.0\text{ Vdc}$) | $V_{BE(on)}^*$ | | — | 1 | Vdc |

* Pulse Test: Pulse Width 300 μs , Duty Cycle 2.0%.

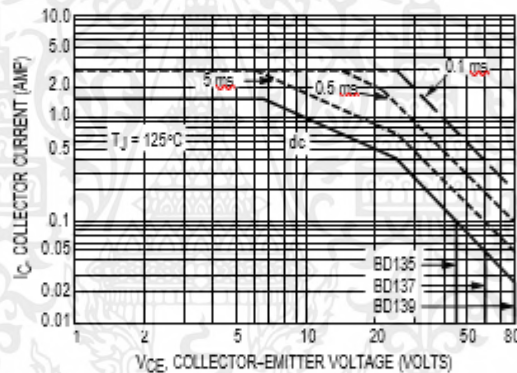
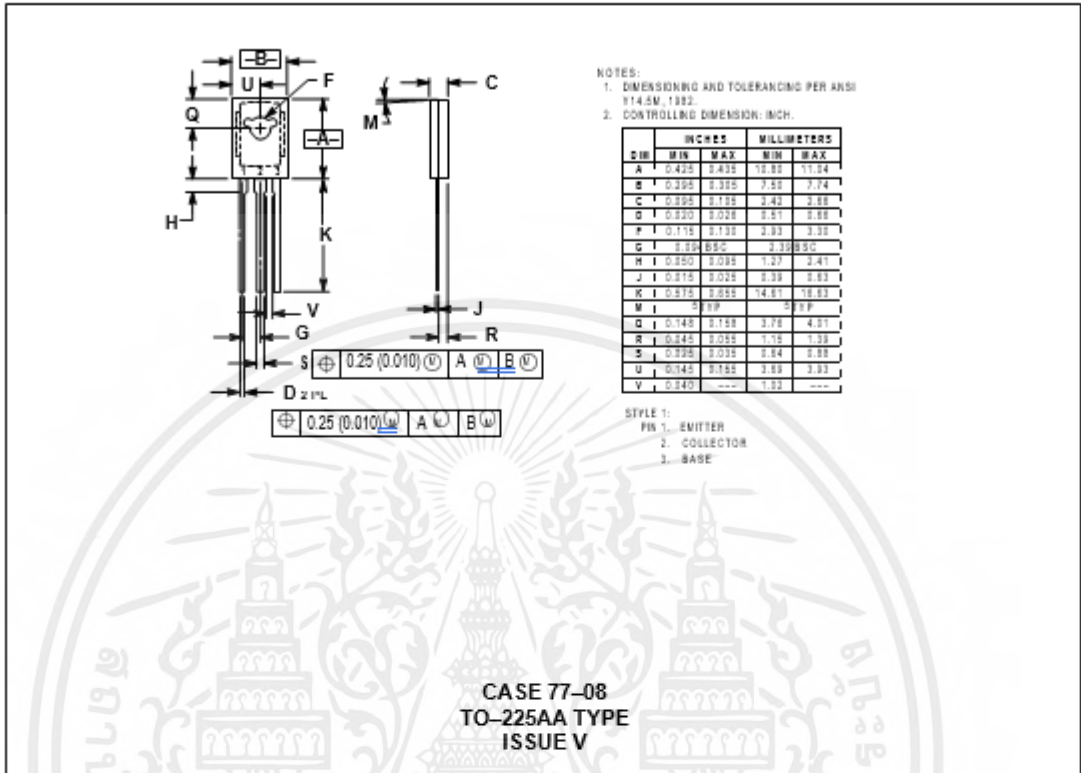


Figure 1. Active-Region Safe Operating Area

PACKAGE DIMENSIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by BC546/D

NPN Silicon



MAXIMUM RATINGS

| Rating | Symbol | BC 546 | BC 547 | BC 548 | Unit |
|--|----------------|-------------|--------|--------|--------------------------------------|
| Collector-Emitter Voltage | V_{CE0} | 65 | 45 | 30 | Vdc |
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 60 | 50 | 30 | Vdc |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | 6.0 | | | Vdc |
| Collector Current — Continuous | I_C | 100 | | | mA dc |
| Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | 225 | | 5.0 | $\frac{\text{mW}}{^\circ\text{C}}$ |
| Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C | P_D | 1.5 | | 12 | $\frac{\text{Watt}}{^\circ\text{C}}$ |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{stg} | -55 to +150 | | | $^\circ\text{C}$ |

THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic | Symbol | Max | Unit |
|---|----------|------|--------------------|
| Thermal Resistance, Junction to Ambient | R_{JA} | 200 | $^\circ\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance, Junction to Case | R_{JC} | 23.3 | $^\circ\text{C/W}$ |

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

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|--|---------------|-------------------|------------------------|--|
| OFF CHARACTERISTICS | | | | | |
| Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1.0 \text{ mA}, I_B = 0$) | BC546 BC547 BC548 | $V_{(BR)CEO}$ | 65 45 30 | — | V |
| Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100 \mu\text{A dc}$) | BC546 BC547 BC548 | $V_{(BR)CBO}$ | 60 50 30 | — | V |
| Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 10 \text{ A}, I_C = 0$) | BC546 BC547 BC548 | $V_{(BR)EBO}$ | 6.0 6.0 6.0 | — | V |
| Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 70 \text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 50 \text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 35 \text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 30 \text{ V}, T_A = 125^\circ\text{C}$) | BC546 BC547 BC548 BC546/547/548 | I_{CES} | — — — — | 0.2 0.2 0.2 — | 15 15 15 4.0 μA |

REV 1

© Motorola, Inc. 1986



MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

| Characteristic | Symbol | Min | Typ. | Max | Unit |
|--|---|--|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| ON CHARACTERISTICS | | | | | |
| DC Current Gain ($I_C = 10\ \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) | BC547A/548A BC548B/547B/548B BC548C | — — — | 90 150 270 | — — — | — |
| ($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) | BC548 BC547 BC548 BC547A/548A BC548B/547B/548B BC547C/BC548C | 110 110 110 110 200 420 | — — — 180 290 520 | — 800 800 220 450 800 | — |
| ($I_C = 100\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) | BC547A/548A BC548B/547B/548B BC548C | — — — | 120 180 300 | — — — | — |
| Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\ \text{mA}$, $I_B = 0.5\ \text{mA}$) ($I_C = 100\ \text{mA}$, $I_B = 5.0\ \text{mA}$) ($I_C = 10\ \text{mA}$, $I_B = \text{See Note 1}$) | $V_{CE(\text{sat})}$ | — — — | 0.09 0.2 0.3 | 0.25 0.6 0.6 | V |
| Base–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\ \text{mA}$, $I_B = 0.5\ \text{mA}$) | $V_{BE(\text{sat})}$ | — | 0.7 | — | V |
| Base–Emitter On Voltage ($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) ($I_C = 10\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) | $V_{BE(\text{on})}$ | 0.55 — | — — | 0.7 0.77 | V |
| SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS | | | | | |
| Current–Gain — Bandwidth Product ($I_C = 10\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $f = 100\ \text{MHz}$) | BC548 BC547 BC548 | — — — | 150 150 150 | 300 300 300 | — — — |
| Output Capacitance ($V_{CB} = 10\ \text{V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\ \text{MHz}$) | C_{ob0} | — | 1.7 | 4.5 | pF |
| Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5\ \text{V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\ \text{MHz}$) | C_{i0} | — | 10 | — | pF |
| Small–Signal Current Gain ($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $f = 1.0\ \text{kHz}$) | BC548 BC547/548 BC547A/548A BC548B/547B/548B BC547C/548C | — — — — — | 125 125 125 240 450 | — — 220 330 600 | 500 900 260 500 900 |
| Noise Figure ($I_C = 0.2\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $R_S = 2\ \text{k}\Omega$, $f = 1.0\ \text{kHz}$, $\Delta f = 200\ \text{Hz}$) | BC548 BC547 BC548 | — — — | 2.0 2.0 2.0 | 10 10 10 | dB |

Note 1: I_B is value for which $I_C = 11\ \text{mA}$ at $V_{CE} = 1.0\ \text{V}$.

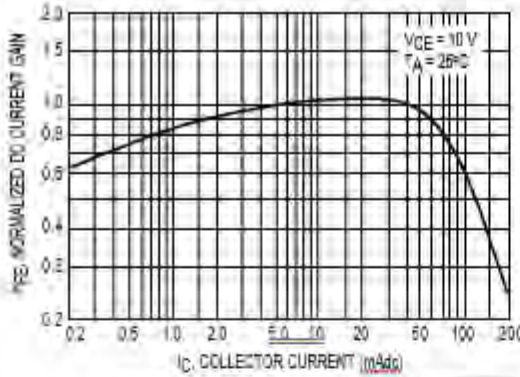


Figure 1. Normalized DC Current Gain

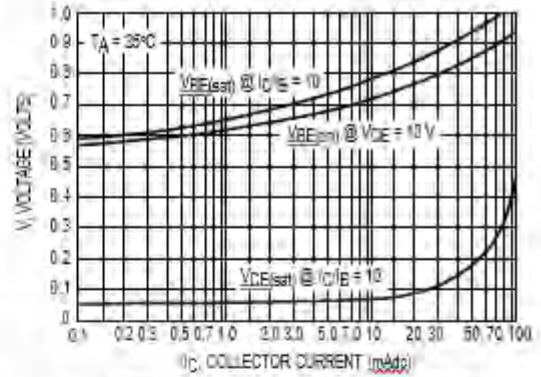


Figure 2. "Saturation" and "On" Voltages

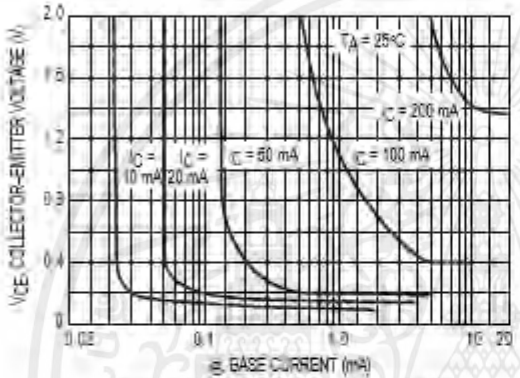


Figure 3. Collector Saturation Region

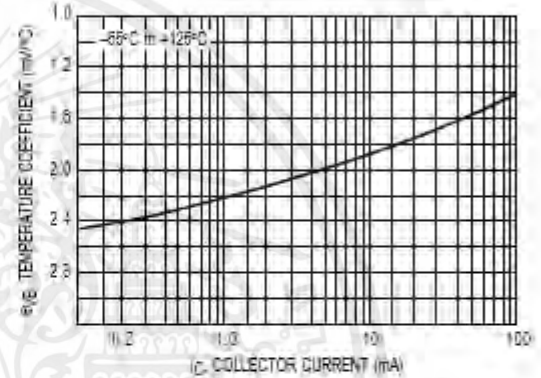


Figure 4. Base-Emitter Temperature Coefficient

BC547/BC548

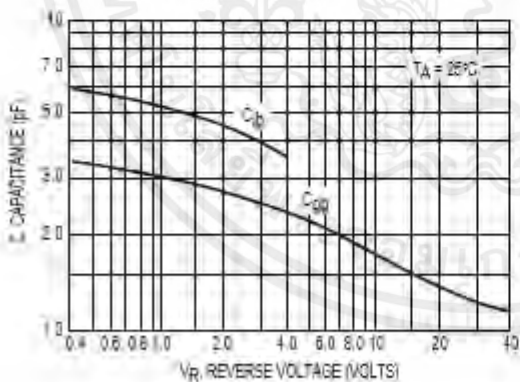


Figure 5. Capacitances

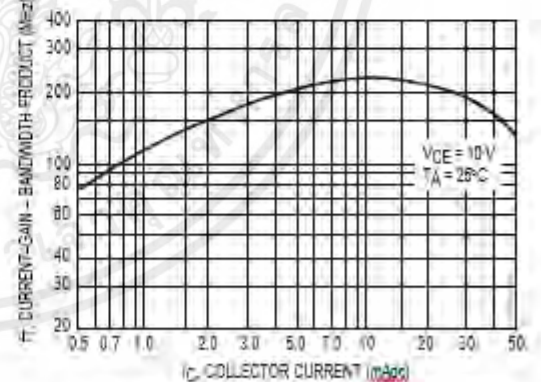


Figure 6. Current-Gain - Bandwidth Product

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BC547/BC548

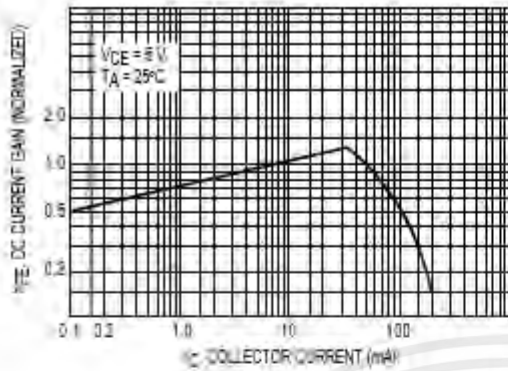


Figure 7. DC Current Gain

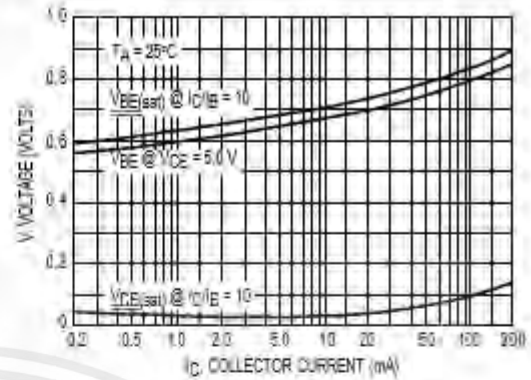


Figure 8. "On" Voltage

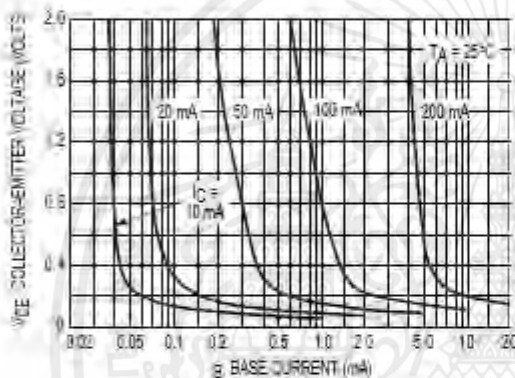


Figure 9. Collector Saturation Region

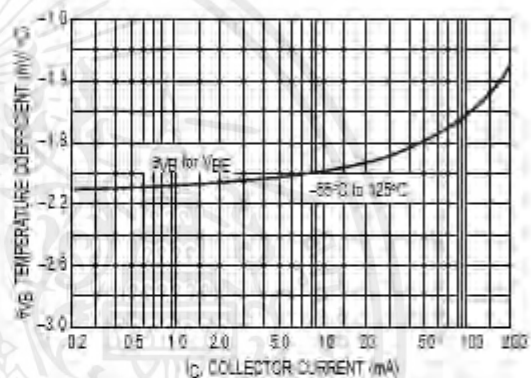


Figure 10. Base-Emitter Temperature Coefficient

BC546

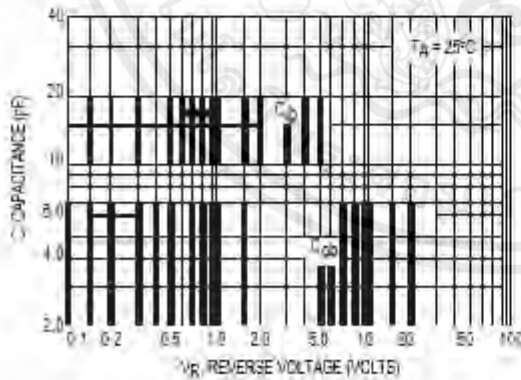


Figure 11. Capacitance

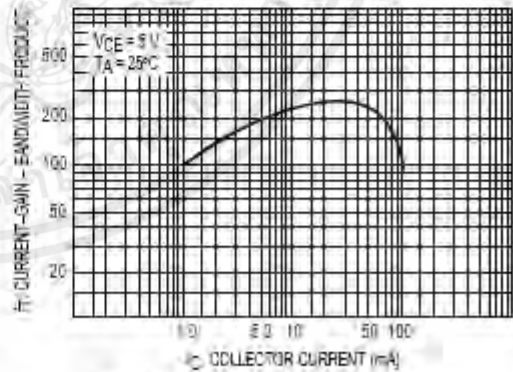
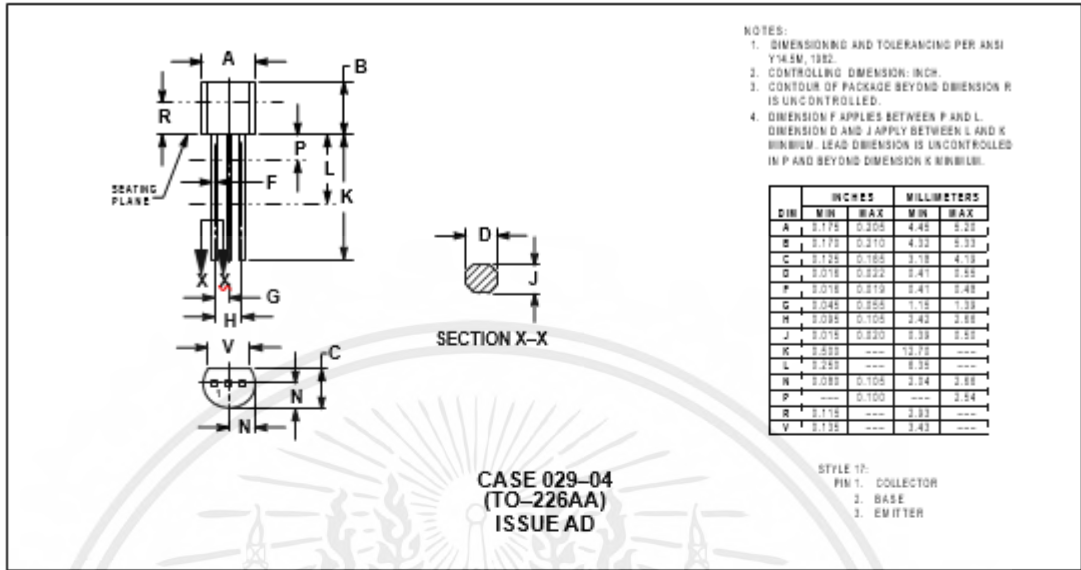


Figure 12. Current-Gain - Bandwidth Product

Source: Onsemi-Signal Transistors, FETs and Diodes Datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International
IR Rectifier

AUTOMOTIVE MOSFET

PD-93906A

IRFP2907

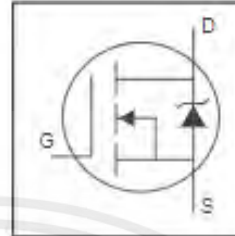
HEXFET® Power MOSFET

Typical Applications

- Integrated Starter Alternator
- 42 Volts Automotive Electrical Systems

Benefits

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Repetitive Avalanche Allowed up to Tjmax



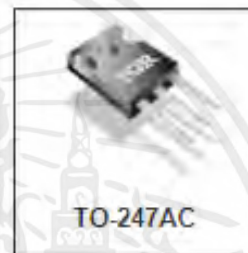
$$V_{DS} = 75V$$

$$R_{DS(on)} = 4.5m\Omega$$

$$I_D = 209A @$$

Description

Specifically designed for Automotive applications, this Stripe Planar design of HEXFET® Power MOSFETs utilizes the latest processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. Additional features of this HEXFET power MOSFET are a 175°C junction operating temperature, fast switching speed and improved repetitive avalanche rating. These benefits combine to make this design an extremely efficient and reliable device for use in Automotive applications and a wide variety of other applications.



Absolute Maximum Ratings

| | Parameter | Max. | Units |
|------------------------------|--|--------------------------|-------|
| $I_D @ T_C = 25^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 209 ^(*) | A |
| $I_D @ T_C = 100^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 148 ^(*) | |
| I_{DM} | Pulsed Drain Current ^(*) | 840 | |
| $P_{tot} @ T_C = 25^\circ C$ | Power Dissipation | 470 | W |
| | Linear Derating Factor | 3.1 | W/°C |
| V_{GS} | Gate-to-Source Voltage | ± 20 | V |
| E_{AS} | Single Pulse Avalanche Energy ^(*) | 1970 | mJ |
| I_{AV} | Avalanche Current | See Fig.12a, 12b, 15, 18 | A |
| E_{AR} | Repetitive Avalanche Energy ^(*) | | mJ |
| dv/dt | Peak Diode Recovery dv/dt ^(*) | 5.0 | V/ns |
| T_J | Operating Junction and | -55 to +175 | °C |
| T_{STG} | Storage Temperature Range | | |
| | Soldering Temperature, for 10 seconds | 300 (1.5mm from case) | |
| | Mounting Torque, 6-32 or M3 screw | 10 lbf-in (1.1N-m) | |

Thermal Resistance

| | Parameter | Typ. | Max. | Units |
|-----------------|-------------------------------------|------|------|-------|
| $R_{\theta JC}$ | Junction-to-Case | — | 0.32 | °C/W |
| $R_{\theta CS}$ | Case-to-Sink, Flat, Greased Surface | 0.24 | — | |
| $R_{\theta JA}$ | Junction-to-Ambient | — | 40 | |

www.irf.com

1

9/7/00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP2907

International
IR RectifierElectrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions |
|---------------------------------|--------------------------------------|------|-------|------|------------|--|
| $V_{(BR)DSS}$ | Drain-to-Source Breakdown Voltage | 75 | — | — | V | $V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$ |
| $\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$ | Breakdown Voltage Temp. Coefficient | — | 0.085 | — | V/°C | Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1mA$ |
| $R_{DS(on)}$ | Static Drain-to-Source On-Resistance | — | 3.6 | 4.5 | m Ω | $V_{GS} = 10V, I_D = 125A$ Ⓞ |
| $V_{GS(th)}$ | Gate Threshold Voltage | 2.0 | — | 4.0 | V | $V_{DS} = 10V, I_D = 250\mu A$ |
| g_{fs} | Forward Transconductance | 130 | — | — | S | $V_{DS} = 25V, I_D = 125A$ |
| I_{DSS} | Drain-to-Source Leakage Current | — | — | 20 | μA | $V_{DS} = 75V, V_{GS} = 0V$ |
| | | — | — | 250 | μA | $V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$ |
| I_{GSS} | Gate-to-Source Forward Leakage | — | — | 200 | nA | $V_{GS} = 20V$ |
| | Gate-to-Source Reverse Leakage | — | — | -200 | nA | $V_{GS} = -20V$ |
| Q_{gs} | Total Gate Charge | — | 410 | 620 | nC | $I_D = 125A$ |
| Q_{gs} | Gate-to-Source Charge | — | 92 | 140 | nC | $V_{DS} = 80V$ |
| Q_{gd} | Gate-to-Drain ("Miller") Charge | — | 140 | 210 | nC | $V_{GS} = 10V$ Ⓞ |
| $t_{d(on)}$ | Turn-On Delay Time | — | 23 | — | ns | $V_{DD} = 38V$ |
| t_r | Rise Time | — | 190 | — | ns | $I_D = 125A$ |
| $t_{d(off)}$ | Turn-Off Delay Time | — | 130 | — | ns | $R_G = 1.2\Omega$ |
| t_f | Fall Time | — | 130 | — | ns | $V_{GS} = 10V$ Ⓞ |
| L_D | Internal Drain Inductance | — | 5.0 | — | nH | Between lead, 8mm (0.25in.) from package and center of die contact |
| L_S | Internal Source Inductance | — | 13 | — | nH | |
| C_{iss} | Input Capacitance | — | 13000 | — | pF | $V_{DS} = 0V$ |
| C_{oss} | Output Capacitance | — | 2100 | — | pF | $V_{DS} = 25V$ |
| C_{rss} | Reverse Transfer Capacitance | — | 500 | — | pF | $f = 1.0MHz$, See Fig. 5 |
| C_{oss} | Output Capacitance | — | 9780 | — | pF | $V_{GS} = 0V, V_{DS} = 1.0V, f = 1.0MHz$ |
| C_{oss} | Output Capacitance | — | 1360 | — | pF | $V_{GS} = 0V, V_{DS} = 80V, f = 1.0MHz$ |
| $C_{oss\ eff.}$ | Effective Output Capacitance Ⓞ | — | 2320 | — | pF | $V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V$ to $80V$ |

Source-Drain Ratings and Characteristics

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions |
|----------|--|---|------|------|-------|--|
| I_S | Continuous Source Current (Body Diode) | — | — | 209 | A | MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. |
| I_{SM} | Pulsed Source Current (Body Diode) Ⓞ | — | — | 840 | A | |
| V_{SD} | Diode Forward Voltage | — | — | 1.3 | V | $T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 125A, V_{GS} = 0V$ Ⓞ |
| t_{rr} | Reverse Recovery Time | — | 140 | 210 | ns | $T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 125A$ |
| Q_{rr} | Reverse Recovery Charge | — | 880 | 1320 | nC | $di/dt = 100A/\mu s$ Ⓞ |
| t_{on} | Forward Turn-On Time | Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_D + L_S$) | | | | |

Notes:

- Ⓞ Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11).
- Ⓞ Starting $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 0.25mH, R_G = 25\Omega, I_{AS} = 125A$. (See Figure 12).
- Ⓞ $I_{SD} \leq 125A, di/dt \leq 280A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- Ⓞ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- Ⓞ $C_{oss\ eff.}$ is a fixed capacitance that gives the same charging time as C_{oss} while V_{DS} is rising from 0 to 80% V_{DSS} .
- Ⓞ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 90A.
- Ⓞ Limited by T_{Jmax} , see Fig. 12a, 12b, 15, 16 for typical repetitive avalanche performance.

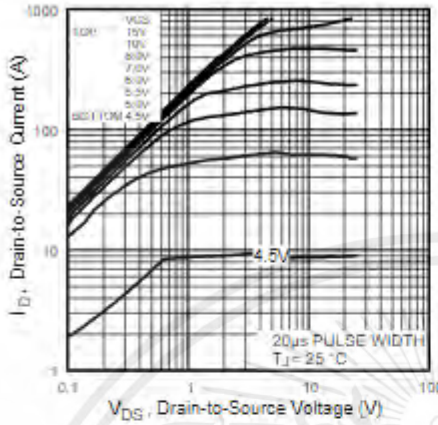


Fig 1. Typical Output Characteristics

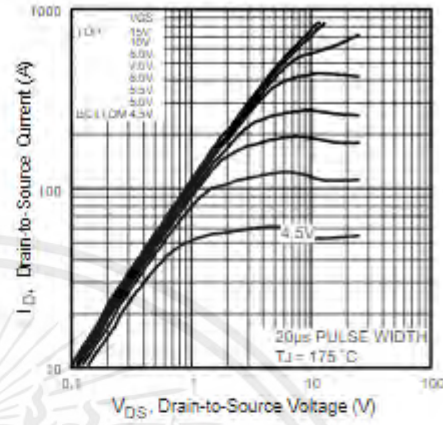


Fig 2. Typical Output Characteristics

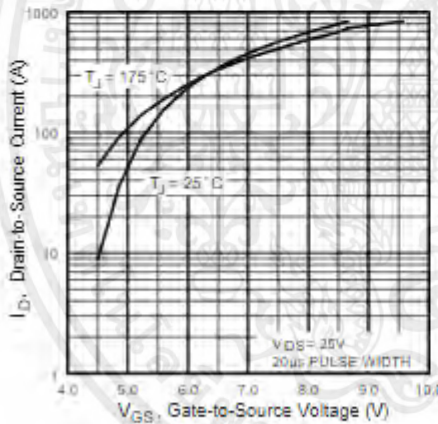


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

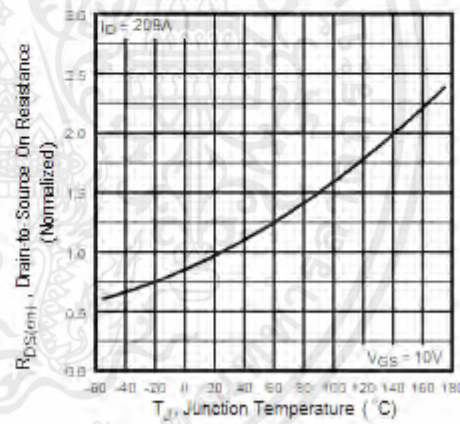


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

IRFP2907

International
IGBT Rectifier

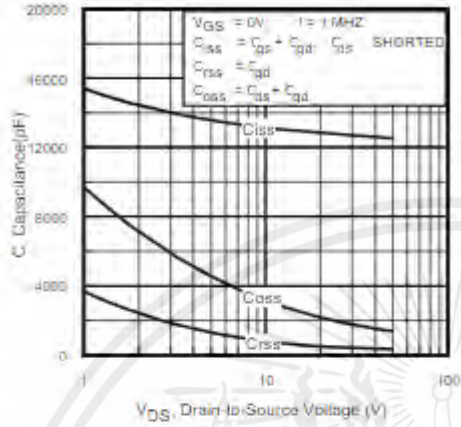


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

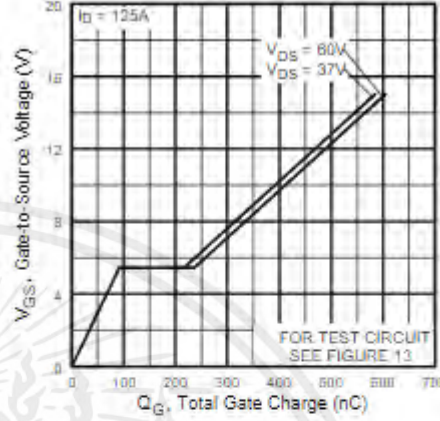


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

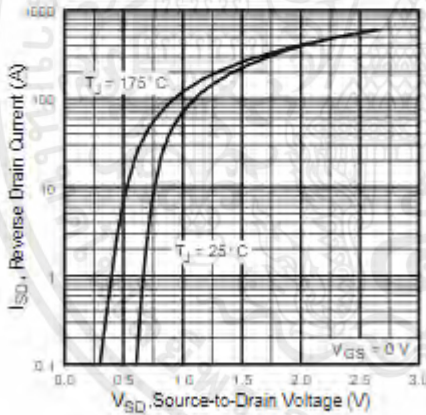


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

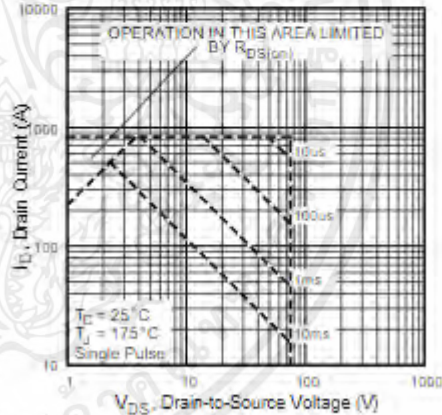


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

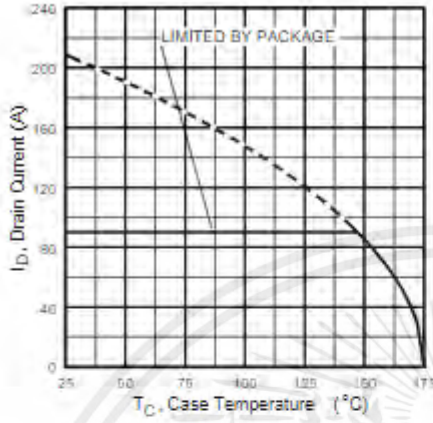


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

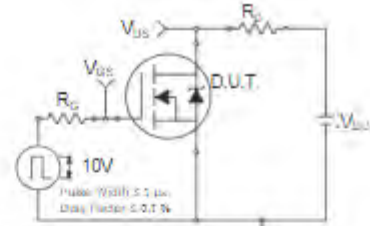


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

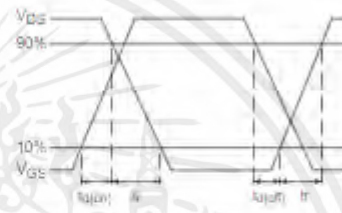


Fig 10b. Switching Time Waveforms

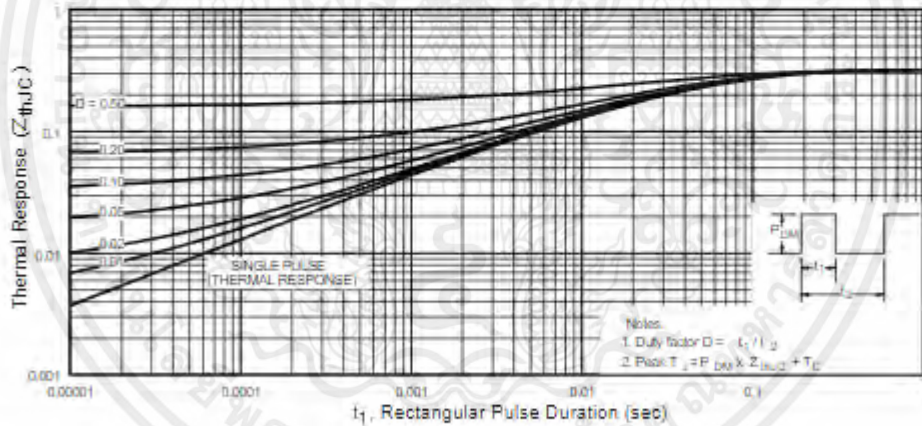


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP2907

International
IGR Rectifier

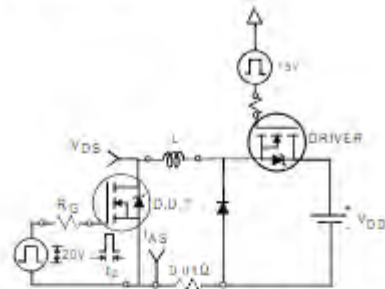


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit



Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

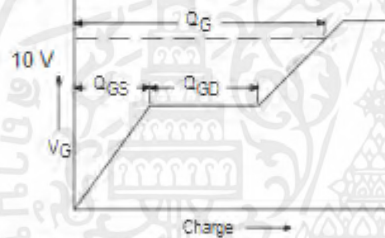


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

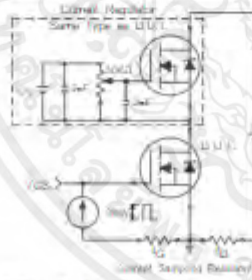


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

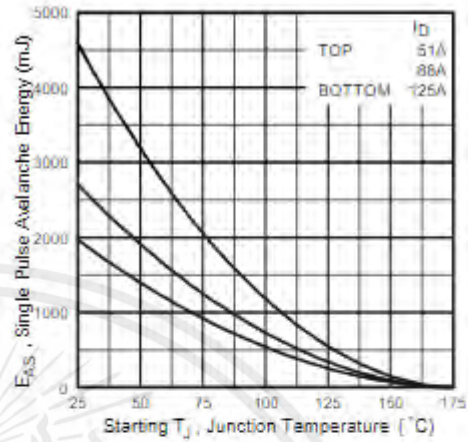


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

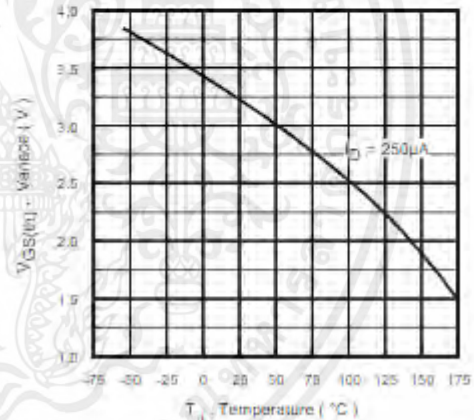


Fig 14. Threshold Voltage Vs. Temperature
www.irf.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

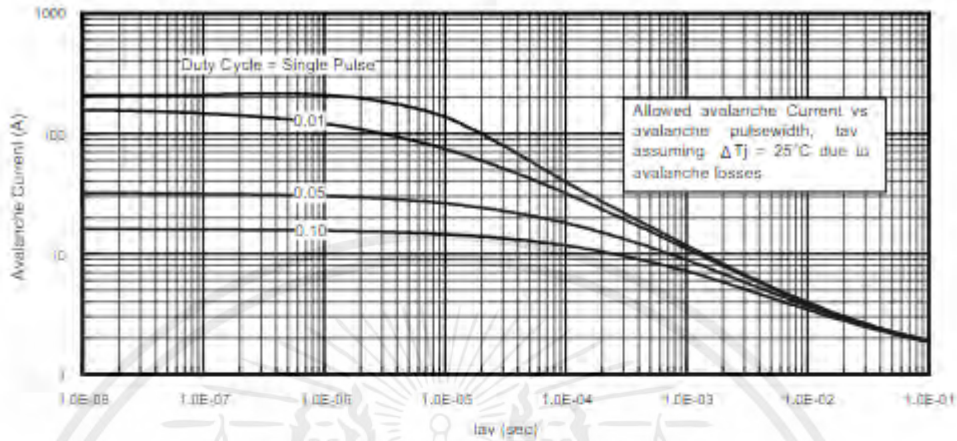
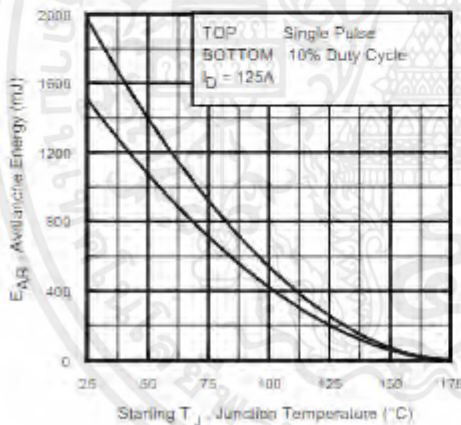


Fig 15. Typical Avalanche Current Vs Pulsewidth



Notes on Repetitive Avalanche Curves, Figures 15, 16:
(For further info, see AN-1005 at www.irf.com)

1. Avalanche failures assumption: Purely a thermal phenomenon and failure occurs at a temperature far in excess of T_{jmax} . This is validated for every part type.
2. Safe operation in Avalanche is allowed as long as T_{jmax} is not exceeded.
3. Equation below based on circuit and waveforms shown in Figures 12a, 12b.
4. $P_{U (REP)}$ = Average power dissipation per single avalanche pulse.
5. BV = Rated breakdown voltage (1.3 factor accounts for voltage increase during avalanche).
6. I_{AV} = Allowable avalanche current.
7. ΔT = Allowable rise in junction temperature, not to exceed T_{jmax} (assumed as 25°C in Figure 15, 16).
- t_{AV} = Average time in avalanche.
- D = Duty cycle in avalanche = $t_{AV} \cdot f$
- $Z_{th(j-c)}(D, t_{AV})$ = Transient thermal resistance, see figure 11)

Fig 16. Maximum Avalanche Energy Vs. Temperature

$$P_{U (REP)} = 1/2 (1.3 \cdot BV \cdot I_{AV}) \cdot \Delta T / Z_{th(j-c)}$$

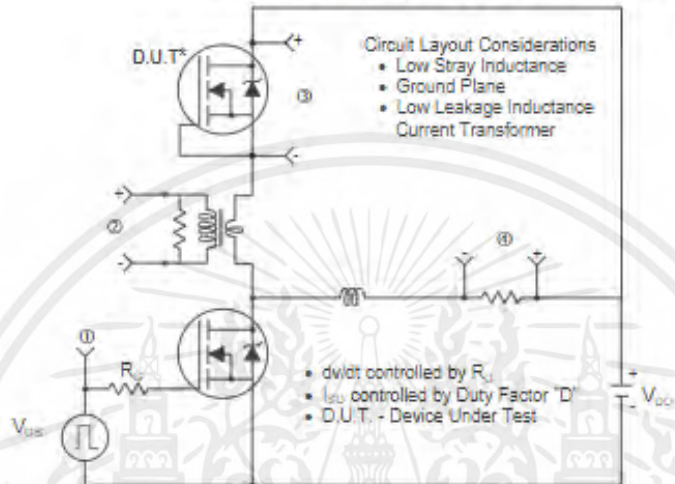
$$I_{AV} = 2 \Delta T / [1.3 \cdot BV \cdot Z_{th}]$$

$$E_{AS (REP)} = P_{U (REP)} \cdot t_{AV}$$

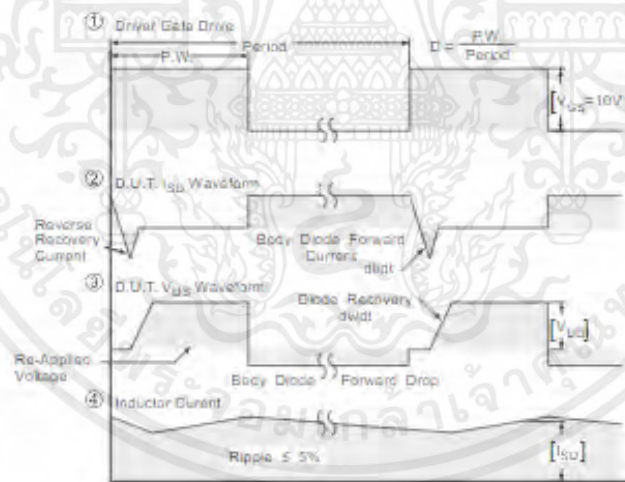
IRFP2907

International
IR Rectifier

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit



* Reverse Polarity of D.U.T for P-Channel



*** $V_{DS} = 5.0V$ for Logic Level and 3V Drive Devices

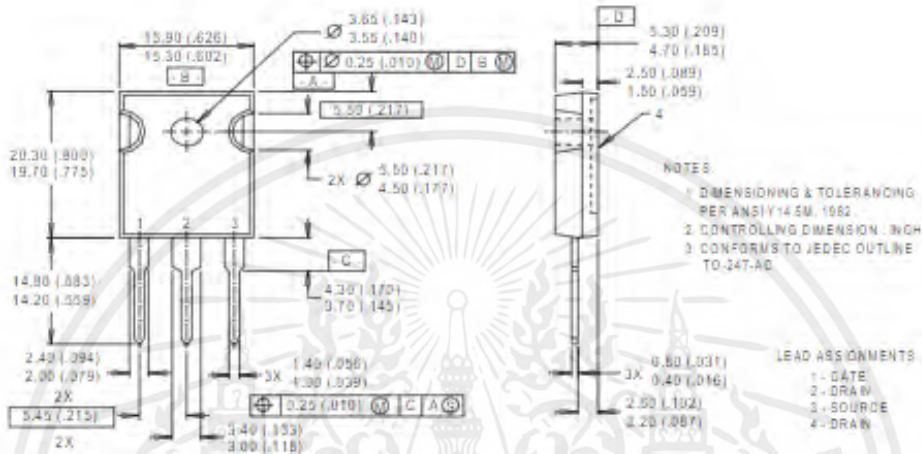
Fig 17. For N-channel HEXFET[®] power MOSFETs

www.irf.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TO - 247 Package Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



FEATURES

- Low forward voltage drop
- High current capability
- High reliability
- High surge current capability
- Exceeds environmental standards of MIL-S-19500/228

MECHANICAL DATA

Case: Molded plastic , DO-41

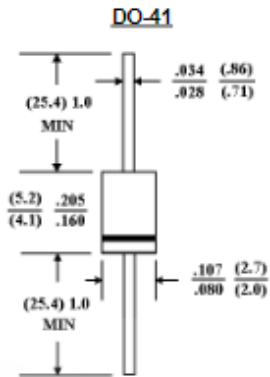
Epoxy: UL 94V-O rate flame retardant

Lead: Axial leads, solderable per MIL-STD-202,
method 208 guaranteed

Polarity: Color band denotes cathode end

Mounting Position: Any

Weight: 0.012 ounce, 0.3 gram



Dimensions in inches and (millimeters)

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.

Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.

For capacitive load, derate current by 20%.

| | 1N4001 | 1N4002 | 1N4003 | 1N4004 | 1N4005 | 1N4006 | 1N4007 | UNITS |
|--|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | V |
| Maximum RMS Voltage | 35 | 75 | 140 | 280 | 420 | 560 | 700 | V |
| Maximum DC Blocking Voltage | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | V |
| Maximum Average Forward Rectified Current .375" (9.5mm) Lead Length at T _A =75 °C | 1.0 | | | | | | | A |
| Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method) | 30 | | | | | | | A |
| Maximum Forward Voltage at 1.0A DC and 25 °C | 1.1 | | | | | | | V |
| Maximum Full Load Reverse Current Full Cycle Average at 75 °C Ambient | 30 | | | | | | | µg A |
| Maximum Reverse Current at T _A =25 °C At Rated DC Blocking Voltage T _A =100 °C | 5.0 | | | | | | | µg A |
| | 500 | | | | | | | µg A |
| Typical Junction capacitance (Note 1) | 15 | | | | | | | pF |
| Typical Thermal Resistance (Note 2) R _{θKJA} | 50 | | | | | | | °C/W |
| Typical Thermal resistance (NOTE 2) R _{θKJL} | 25 | | | | | | | °C/W |
| Operating and Storage Temperature Range T _J , T _{STG} | -55 to +150 | | | | | | | °C |

NOTES:

1. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 VDC.
2. Thermal Resistance Junction to Ambient and from junction to lead at 0.375" (9.5mm) lead length P.C.B mounted.

**RATING AND CHARACTERISTIC CURVES
1N4001 THRU 1N4007**

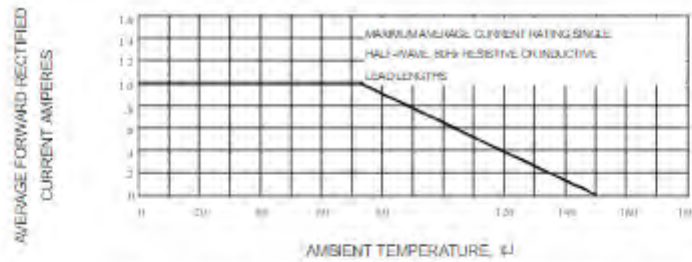


Fig. 1-TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

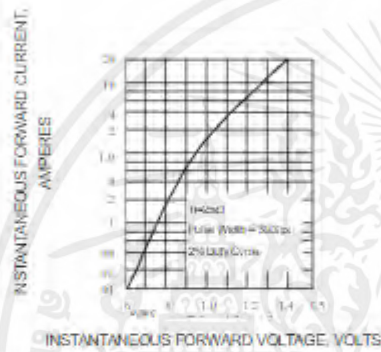


Fig. 2-TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS

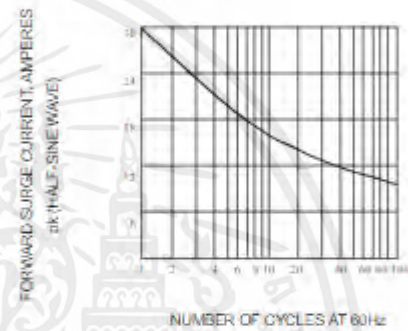


Fig. 3-MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

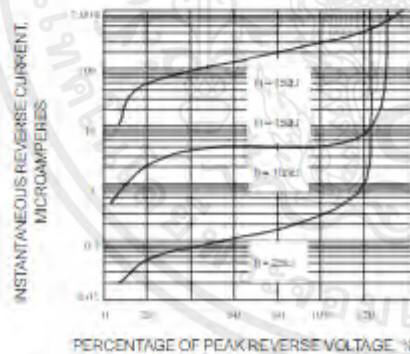


Fig. 4-TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

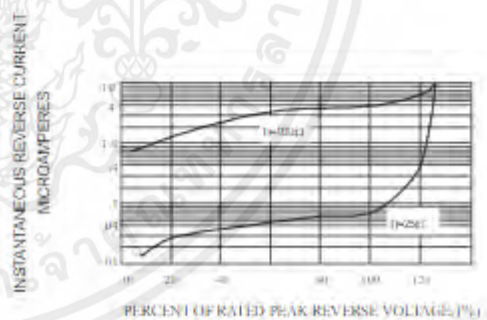


Fig. 5-TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล

นายชนะชัย พันธุ์สถิตย์วงศ์

วัน เดือน ปีเกิด

27 มิถุนายน 2543

ที่อยู่ปัจจุบัน

11/3 หมู่ 2 ตำบลเขาไชยราช อำเภอ ปะทิว
จังหวัดชุมพร 86210

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2561 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนมาบอำมฤตวิทยา จังหวัดชุมพร
Tel. 0657216937
Email: jat12369@gmail.com



ชื่อ-นามสกุล

นายณัฐพงษ์ แสงจันทร์

วัน เดือน ปีเกิด

3 มกราคม 2543

ที่อยู่ปัจจุบัน

72/1 หมู่ที่ 4 ตำบลนาหลวงเสน อำเภอทุ่งสง
จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2561 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนมัธยมเทศบาลวัดท่าแพ จังหวัดนครศรีธรรมราช
Tel. 0936573817
Email: pakphum2000@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้