รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ตรวจสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความดัน

Real time check solenoid valve with pressure sensor

นางสาวดลฤดี บุญชู

นางสาวนฤมล จงประสิทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T148503

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ตรวจสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความดัน

Real time check solenoid valve with pressure sensor

นางสาวดลฤดี บุญชู
นางสาวนฤมล จงประสิทธิ์

ส.ม. ว148 ด 2559
b2687
หมู่ เลขทะเบียน 148503 วัน.เดือน.ปี 30 ต.ค. 2560
b 12871059
i

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานสหกิจศึกษานี้จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีไม่ได้ หากไม่ได้รับคำแนะนำที่ดีจากอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงการสหกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาของทางภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และทีมวิศวกรของทางบริษัท ยูแทค ไทย จำกัด แผนก Equipment Engineer ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงงาน นอกจากนี้ทางบริษัทยังให้การดูแลนักศึกษาอย่างดี คอยแนะนำ แนวทางการทำงานจริงในสายงานที่ตรงกับสาขาวิชาที่เรียน เพื่อประยุกต์ใช้ในชีวิตการทำงานในอนาคต โดยเป็นระยะเวลาในการปฏิบัติงานสหกิจทั้งหมด 4 เดือน ซึ่งถ้าขาดบุคคลเหล่านี้โครงงานนี้อาจไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ดี จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

นางสาว ตลฤดี บุญชู
นางสาว นฤมล จงประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา ตรวจสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วโดยใช้เซนเซอร์วัดความดัน
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาว ดลฤดี บุญชู
นางสาว นฤมล จงประสิทธิ์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ อาจารย์ เฉลิมพันธ์ หวังวิวัฒนา และ อาจารย์ ชินภัทร นันทจิวากรชัย
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นาย วรายุทธ ติระวัฒนศักดิ์
ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ยูแทคไทย จำกัด

บทคัดย่อ

บริษัท ยูแทคไทย จำกัด เป็นบริษัทรับจ้างประกอบและทดสอบแผงวงจรไอซีแบบต่างๆ โดยมีนโยบายของบริษัท คือ ส่งออกไอซีที่มีคุณภาพ และมีมาตรฐาน ให้กับลูกค้าภายในเวลาอันรวดเร็ว และตรงตามกำหนดการสั่งซื้อ ดังนั้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตจึงต้องพิถีพิถัน ถูกต้องตามความต้องการของลูกค้า และต้องลดต้นทุนในการผลิต โซลินอยด์วาล์ว เป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่มีในเครื่องจักร แล้วต้องเปลี่ยนใหม่บ่อยๆ เนื่องจากยังไม่สามารถเช็คได้ว่า เสื่อมสภาพ หรือต้องเปลี่ยนเมื่อไหร่

ดังนั้นจึงจัดทำโครงงานนี้ขึ้นมา เพื่อลดจำนวนความเสียหายของชิ้นงานที่เกิดจากโซลินอยด์วาล์ว โดยการตรวจสอบการทำงาน และประสิทธิภาพของโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งใช้ Pressure Sensor เป็นตัววัดความดันที่ท่อลมขาเข้า และขาออกของโซลินอยด์วาล์ว แล้วใช้คอนโทรเลอร์ในการตรวจสอบเงื่อนไข เปรียบเทียบค่าความดันขาเข้า - ขาออกของโซลินอยด์วาล์ว

คำสำคัญ : โซลินอยด์วาล์ว, Pressure Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Real time check solenoid valve with pressure sensor
Student intern name: Miss Donrudee Bunchoo
Miss Narumol Jongprasit
Faculty: Engineering **Department:** Electronics engineering
Advisor name: Mr. Chaloemphan Wangwiwattana
and Mr. Chinnapat Nantajiwakornchai
Mentor name: Mr. Warayut Tirawattanasuk
Company: UTAC Thai Limited

ABSTRACT

UTAC Thai Limited is a testing and assembly service company for a wide range of semiconductor devices. The company's policy is to export a series of quality standard devices to its customers within a short time and on schedule orders. So at each stage of production must be meticulous, conforms to customer requirements, and reducing of production costs. Solenoid valves equipped with many equipment must be replaced often because they cannot check the solenoid valves deterioration

Therefore, the project was designed to reduce the number of damage by the solenoid valve. By monitoring function and the performance of the solenoid valve, we use a pressure sensor to measures the pressure of incoming and outgoing air duct of the solenoid valve side. A controllers is used to detect the condition, comparing the pressure inbound - outbound solenoid valve.

Keywords : solenoid valve, Pressure Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ I
บทคัดย่อ II
ABSTRACT III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญภาพ VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตการวิจัย 1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 Arduino 3
2.2 Arduino Due Duo 7
2.3 Arduino UNO R3 8
2.4 โซลินอยด์วาล์ว 9
2.5 Pressure Sensor 16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ 19
3.1 วิธีดำเนินการทำโครงงาน 19
3.2 บอร์ดจำลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว 19
3.3 บอร์ด Control 21
3.3.1 ออกแบบวงจร 21
3.3.2 การเก็บค่าจาก โซลินอยด์วาล์ว 22
3.3.3 ตรวจสอบการทำงานของ โซลินอยด์วาล์ว 24
3.4 ทดสอบการทำงาน และเก็บข้อมูลผลการทดลอง 25
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลการทดสอบโซลินอยด์วาล์ว 27
4.2 ผลการทดสอบเมื่อโซลินอยด์วาล์วเปิดค้าง 33
4.3 ผลการทดสอบเมื่อโซลินอยด์มีค่า Leak 33
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ 34
5.1 สรุป 34
5.2 อุปสรรค และปัญหา 34
5.3 ข้อเสนอแนะ 34
เอกสารอ้างอิง 35
ภาคผนวก 36
ประวัติผู้เขียน 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของบอร์ด Arduino Due....7
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของบอร์ด Arduino Due....8
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตำแหน่งการทำงานของวาล์ว....11
ตารางที่ 2.4 ตารางการกำหนดรหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทาง....12
ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงเส้นและหัวลูกศรที่เขียนเป็นสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง....12
ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงตัวเลื่อนลิ้นของวาล์วควบคุมทิศทาง (Pneumatic Valve) 13
ตารางที่ 2.7 ตารางแสดงสัญลักษณ์บอกความหมายของการเลื่อนลิ้นวาล์วควบคุมทิศทาง....14
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1....28
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2....29
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 3....31
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของการทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วทั้ง 3 ตัว....32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 บอร์ด Arduino ต่อกับ LED....3
ภาพที่ 2.2 บอร์ด Arduino ต่อกับบอร์ด XBee Shield....3
ภาพที่ 2.3 เลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload....3
ภาพที่ 2.4 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด....4
ภาพที่ 2.5 กดปุ่ม Vrify เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง....4
ภาพที่ 2.6 Upload โค้ดโปรแกรม....4
ภาพที่ 2.7 บอร์ด Arduino Due....7
ภาพที่ 2.8 บอร์ด Arduino UNO R3....8
ภาพที่ 2.9 วาล์วควบคุม 3 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิด....9
ภาพที่ 2.10 วาล์วควบคุม 3 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิด....9
ภาพที่ 2.11 วาล์วควบคุม 5 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง....10
ภาพที่ 2.12 วาล์วควบคุม 5 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง เลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์ทั้ง 2 ข้าง....10
ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างการกำหนดรหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทาง....11
ภาพที่ 2.14 NC NO....13
ภาพที่ 2.15 หลักการทำงานของบูร์ดอง....16
ภาพที่ 2.16 โครงสร้างของเบลโลว์....17
ภาพที่ 2.17 Piston Pressure Switch....17
ภาพที่ 2.18 Diaphragm Pressure Switch....18
ภาพที่ 3.1 บอร์ดจำลองการทำงาน โซลินอยด์วาล์ว....20
ภาพที่ 3.2 โค้ดควบคุมการเปิด/ปิดของโซลินอยด์วาล์ว....20
ภาพที่ 3.3 บอร์ด Control....21
ภาพที่ 3.4 Flow Chart การทำงานของบอร์ด Control....22
ภาพที่ 3.5 โค้ดอ่านค่าเซนเซอร์....23
ภาพที่ 3.6 โค้ดหาค่า Maxvalue....23
ภาพที่ 3.7 โค้ดหาค่า Maxvalue ที่ 10% และ 90%....24
ภาพที่ 3.8 กราฟแสดง Rising time และ time to peak....24
ภาพที่ 3.9 เปรียบเทียบความดันของโซลินอยด์วาล์ว....25
ภาพที่ 3.10 แผนภาพการต่อบอร์ดทดสอบ....25
ภาพที่ 3.11 การต่อบอร์ดเพื่อทดสอบ....26
ภาพที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทำงานของโปรแกรม....27
ภาพที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้เมื่อโซลินอยด์วาล์วเปิดค้าง....33
ภาพที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้เมื่อมีค่า Leak....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท ยูแทคไทย จำกัด (UTAC Thai Limited) เป็นบริษัทรับจ้างประกอบและทดสอบแผงวงจรไอซีแบบต่างๆ โดยในขั้นตอนการประกอบไอซีนั้น มีขั้นตอนต่างๆ เช่น การตรวจสอบแผ่นเวเฟอร์ (IQC WAFER) ติดฟิล์ม (WAFER MOUNT) ตัดแผ่นเวเฟอร์ (AUTO SAW) ติด Die บน Lead frame (Die Attach) และในส่วนของ Die Attach นั้น จะเป็นการติด Die ลงบน Lead frame โดยในการทำงานของเครื่องจักรนี้จะมีส่วนที่ประกอบด้วย เครื่องมือที่ชื่อว่า “โซลินอยด์วาล์ว” ทำหน้าที่เปิดปิดความดัน เพื่อความคุมการทำงานต่างๆ เช่น Clamp ทำหน้าที่ในการกด Lead frame เพื่อให้แผ่น Lead frame เคลื่อนที่, Paper port ช่วยในการจับ Die ได้ง่ายขึ้น คือ จะเปิดปิดลมเพื่อดูดจับแผ่นฟิล์ม เป็นต้น

ซึ่งปัจจุบันยังไม่สามารถเช็คได้ว่า โซลินอยด์วาล์วจะมีการเสื่อมสภาพ หรือจะต้องเปลี่ยนเมื่อไหร่ กลายเป็นว่า ถ้าไม่เปลี่ยนก่อนที่โซลินอยด์วาล์ว จะทำงานผิดปกติ ก็จะส่งผลกระทบต่อชิ้นงานหลายอย่าง อาทิเช่น การติด Die ซ้อน, Clamp ไม่สามารถจับ Lead frameได้ และกรณีอื่นๆ ตามมาอีกมาก ส่งผลให้ชิ้นงานที่ผลิตเกิดความเสียหาย หรือถ้าเปลี่ยนเร็วไป เช่น 1 ปี ผ่านไปก็เปลี่ยนตัวใหม่ อาจทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากร หรือเพิ่มต้นทุนการผลิต เพราะโซลินอยด์วาล์ว ตัวที่เปลี่ยนไปนั้นอาจใช้งานได้อีก 3 - 6 เดือน หรือมากกว่าก็ได้ ดังนั้นจึงคิดหาวิธีที่สามารถตรวจสอบได้ว่า ประสิทธิภาพของโซลินอยด์วาล์ว แต่ละตัวยังสภาพดีอยู่

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อตรวจสอบการทำงาน และประสิทธิภาพของโซลินอยด์วาล์ว

1.2.2 เพื่อสามารถแยกโซลินอยด์วาล์วได้ว่าเป็นตัวดี หรือเสีย

1.2.3 เพื่อลดจำนวนความเสียหายของชิ้นงานที่เกิดจากโซลินอยด์วาล์ว

1.2.4 เพื่อลดต้นทุนในการผลิต

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของโซลินอยด์วาล์ว ขณะเครื่องจักรกำลังทำงาน

1.3.2 มีการแจ้งเตือนทันทีเมื่อการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว ผิดปกติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 จะสามารถลดจำนวนความเสียหายของชิ้นงานที่เกิดจากโซลินอยด์วาล์ว

1.4.2 รู้จักการสังเกต ข้อมูลผลการทดสอบ เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ในแต่ละกรณี และแก้ไขปัญหานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3 ได้ความรู้เกี่ยวกับการประกอบไอซีต่างๆ ตั้งแต่ตอนเป็นแผ่นเวเฟอร์จนถึงเป็นตัวIC และเข้าใจในแต่ละขั้นตอนในการผลิต

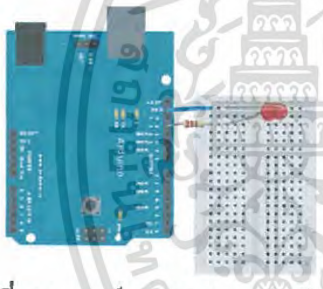
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

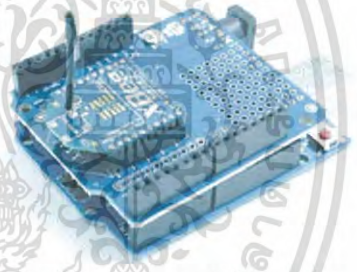
2.1 Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างภาพที่ 2.1) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างภาพที่ 2.2) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย



ภาพที่ 2.1 บอร์ด Arduino ต่อกับ LED

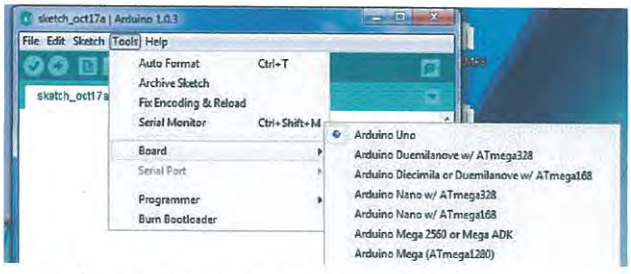


ภาพที่ 2.2 บอร์ด Arduino ต่อกับบอร์ด XBee Shield

2.1.1 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

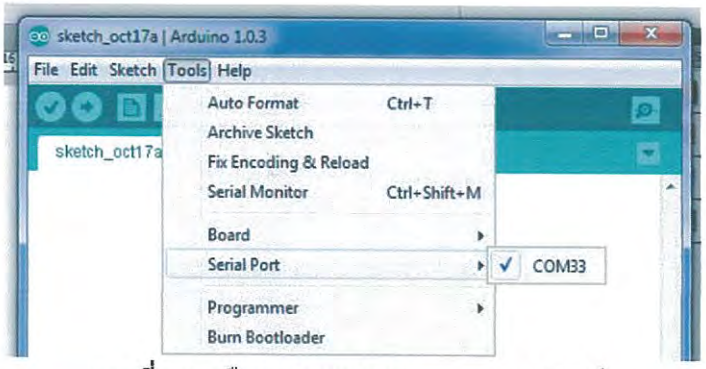
2.1.1.1 เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE สามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software

2.1.1.2 หลังจากที่เขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port



ภาพที่ 2.3 เลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload

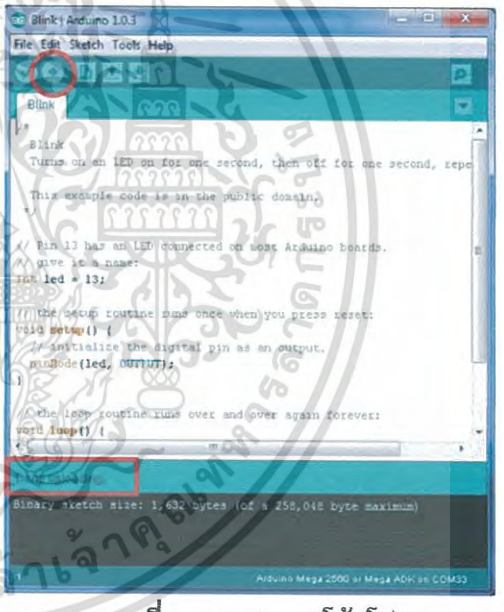
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด

2.1.1.3 กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduinoผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที

ภาพที่ 2.5 กดปุ่ม Vrify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม



ภาพที่ 2.6 Upload โค้ดโปรแกรม

โครงสร้างโปรแกรมภาษา C บน Arduino จะมีลักษณะแบบเดียวกับ C ทั่วๆไป แต่สำหรับคนที่ยังไม่เคยเรียนรู้การเขียนโปรแกรมภาษาใดๆมาก่อน ต้องทำความเข้าใจในเรื่องต่างๆดังนี้

1. ปรีโปรเซสเซอร์ไดเร็กทีฟ (Preprocessor directives)
2. ส่วนของการกำหนดค่า (Global declarations)
3. ฟังก์ชั่น setup() และ ฟังก์ชั่น loop()
4. การสร้างฟังก์ชั่น และการใช้งานฟังก์ชั่น (Users-defined function)
5. ส่วนอธิบายโปรแกรม (Progarm comments)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ส่วนอธิบายโปรแกรมประกอบด้วย

2.1.2.1 ปรีโปรเซสเซอร์ไดเร็กทีฟ (Preprocessor directives)

โดยปกติแล้วเกือบทุกโปรแกรมจะมี โดยส่วนนี้จะเป็นส่วนที่คอมไพลเลอร์จะมีการประมวลผลและทำตามคำสั่งก่อนที่จะมีการคอมไพล์โปรแกรม ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยเครื่องหมายไดเร็กทีฟ (directive) หรือเครื่องหมายสี่เหลี่ยม (#) แล้วจึงตามด้วยชื่อคำสั่งที่ต้องการเรียกใช้ หรือกำหนด โดยปกติแล้วส่วนนี้จะอยู่ในส่วนบนสุด หรือส่วนหัวของโปรแกรม และต้องอยู่นอกฟังก์ชั่นหลักใดๆ ก็ตาม

#include เป็นคำสั่งที่ใช้อ้างอิงไฟล์ภายนอก เพื่อเรียกใช้ฟังก์ชั่น หรือตัวแปรที่มีการสร้างหรือกำหนดไว้ในไฟล์นั้น รูปแบบการใช้งานคือ #include <ชื่อไฟล์.h>

2.1.2.2 ส่วนของการกำหนดค่า (Global declarations)

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้ในการกำหนดชนิดตัวแปรแบบนอกฟังก์ชั่น หรือประกาศฟังก์ชั่น เพื่อให้ฟังก์ชั่นที่ประกาศสามารถกำหนด หรือเรียกใช้ได้จากทุกส่วนของโปรแกรม เช่น int pin = 13; void blink(void) ;

2.1.2.3 ฟังก์ชั่น setup() และฟังก์ชั่น loop()

ฟังก์ชั่น setup() และฟังก์ชั่น loop() เป็นคำสั่งที่ถูกบังคับให้ต้องมีในทุกโปรแกรม โดยฟังก์ชั่น setup() จะเป็นฟังก์ชั่นแรกที่ถูกเรียกใช้ นิยมใช้กำหนดค่า หรือเริ่มต้นใช้งานไลบารี่ต่างๆ เช่น ในฟังก์ชั่น setup() จะมีคำสั่ง pinMode() เพื่อกำหนดให้ขาใดๆ ก็ตามเป็นดิจิตอลอินพุต หรือเอาต์พุต ส่วนฟังก์ชั่น loop() จะเป็นฟังก์ชั่นที่ทำงานหลังจากฟังก์ชั่น setup() ได้ทำงานเสร็จสิ้นไปแล้ว และมีการวนรอบแบบไม่รู้จบ เมื่อฟังก์ชั่น loop() งานครบตามคำสั่งแล้ว ฟังก์ชั่น loop() ก็จะถูกเรียกขึ้นมาใช้อีก

ในทุกๆ การทำงานของฟังก์ชั่น จะต้องเริ่มด้วยการกำหนดค่าที่ส่งกลับ ตามด้วยชื่อฟังก์ชั่น แล้วตามด้วยเครื่องหมายปีกกาเปิด { และจบด้วยเครื่องหมายปีกกาปิด ภายในฟังก์ชั่น หากจะเรียกฟังก์ชั่นใช้งานย่อยใดๆ จะต้องมีเครื่องหมาเซมิโคล่อน ; ต่อท้ายเสมอ การกำหนดชนิดค่าที่ส่งกลับเป็น void หมายถึงไม่มีการส่งค่ากลับ แต่สามารถใช้คำสั่ง return; ตรงๆได้ เพื่อให้จบการทำงานของฟังก์ชั่นก่อนจะไปถึงบรรทัดสุดท้ายของฟังก์ชั่น

2.1.2.4 การสร้างฟังก์ชั่น และการใช้งานฟังก์ชั่น (Users-defined function)

ในการสร้างฟังก์ชั่นขึ้นมา คำสั่งต่างๆที่อยู่ภายในฟังก์ชั่น ต้องอยู่ภายใต้เครื่องหมายปีกกาเปิด { และปีกกาปิด } เท่านั้น ภายใต้เครื่องหมาย {} เราสามารถนำฟังก์ชั่นหรือคำสั่งใดๆก็ได้มาใส่ไว้ แต่จะต้องคั่นแต่ละคำสั่งด้วยเครื่องหมายเซมิโคล่อน ; โดยจะนำคำสั่งทั้งหมดไว้บรรทัดเดียวกันเลย หรือแยกบรรทัดกันก็ได้เพื่อความสวยงามของโค้ด (ไม่มีผลกับขนาดของโปรแกรมหลังคอมไพล์)

2.1.2.5 ส่วนอธิบายโปรแกรม (Program comments)

ส่วนอธิบายโปรแกรม หรือการคอมเม้นโปรแกรมเป็นส่วนที่สำคัญอย่างมากที่จะช่วยให้ผู้ที่ไม่ได้เขียนโปรแกรม หรือเป็นผู้เขียนโปรแกรมเข้าใจโปรแกรมได้ง่ายขึ้นโดยอ่านจากคอมเม้น แทนการทำความเข้าใจโปรแกรมโดยอ่านแต่ละฟังก์ชั่น ส่วนอธิบายโปรแกรม หรือส่วนคอมเม้นนี้ จะไม่มีผลใดๆ กับขนาดของโปรแกรมหลังคอมไพล์ เนื่องจากส่วนนี้จะถูกตัดทิ้งทั้งหมดเนื่องจากไม่ได้ถูกนำไปใช้งาน มีผลเพียงแค่ว่าไฟล์โค้ดโปรแกรมจะใหญ่ขึ้นมา หากมีการคอมเม้นโค้ดเยอะๆ แต่ขนาดก็จะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามตัวอักษร ดังนั้นการคอมเม้นโค้ดจึงไม่คิดพื้นที่มากนัก แต่ผู้เขียนแนะนำให้คอมเม้นโค้ดให้สั้น และกระชับ เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการทำความเข้าใจ และไม่ยาวจนต้องเลื่อนสกอร์บาร์ไปทางขวาเพื่ออ่านคอมเม้นเพิ่มเติมอีก

การคอมเม้นโค้ดมีอยู่ 2 รูปแบบ คือเปิดด้วย /* และปิดด้วย */ เป็นการคอมเม้นโค้ดแบบข้ามบรรทัด คือตราบใดที่ยังไม่มี */ตรงส่วนนั้นจะเป็นคอมเม้นทั้งหมด เช่น

```
/*
This code by IOXhop.com
17/5/2558
*/
```

และแบบที่ 2 เป็นการคอมเม้นบรรทัดเดียว คือเปิดด้วยเครื่องหมาย // และปิดด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่ เช่น

```
void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT); // Set pin 13 to output
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Arduino Due Duo

ภาพที่ 2.7 บอร์ด Arduino Due

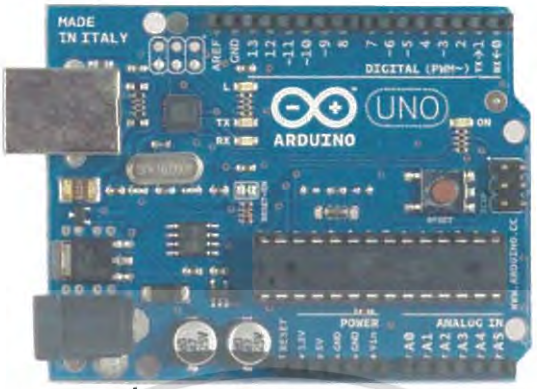
Arduino Due เป็นรุ่นที่เพิ่มพอร์ตให้มีมากขึ้น เพิ่มพื้นที่โปรแกรมเป็น 512 KB สามารถใช้งานพื้นที่ได้เต็มไม่มี Boot loader สามารถใช้ Shields ของ Arduino Uno ได้ แต่บางตัวจำเป็นต้องแก้ขาให้ถูกต้อง จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าบอร์ดได้เปลี่ยนมาใช้ชิปไอซีแบบ SMD จึงไม่นิยมนำมาใช้ในแบบ Standalone แต่นิยมนำมาใช้ในงานที่จำเป็นต้องพื้นที่โปรแกรมมากขึ้น ทำงานที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น บอร์ด Arduino Duo ใช้ชิปไอซีเบอร์ AT91SAM3X8E ซึ่งเป็นชิปไอซีที่ใช้เทคโนโลยี ARM Core สถาปัตยกรรม 32 บิต เร่งความถี่คริสตอลขึ้นไปสูงถึง 84Mhz จึงทำให้สามารถงานด้านการคำนวณ หรือการประมวลผลอัลกอริทึมได้เร็วกว่า Arduino Uno มาก แต่เนื่องจากชิปไอซีทำงานที่แรงดัน 3.3 V ดังนั้นการนำไปใช้งานกับเซนเซอร์ควรระวังไม่ให้แรงดัน 5 V ไหลเข้าบอร์ด ควรใช้วงจรแบ่งแรงดันเพื่อช่วยให้ลอจิกลดแรงดันลงมาให้เหมาะสม

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของบอร์ด Arduino Due

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	AT91SAM3X8E
ใช้แรงดันไฟฟ้า	3.3 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 16 V
พอร์ต Digital I/O	54 พอร์ต (มี 12 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	2 พอร์ต
กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต	130 mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3 V	800 mA
กระแสไปที่จ่ายได้ในพอร์ต 5 V	800 mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	512 KB พื้นที่โปรแกรม
พื้นที่แรม	2 KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	96 KB
ความถี่คริสตัล	84 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Arduino UNO R3



ภาพที่ 2.8 บอร์ด Arduino UNO R3

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจคและ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย

ข้อมูลจำเพาะ

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของบอร์ด Arduino Due

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Booloader
พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz

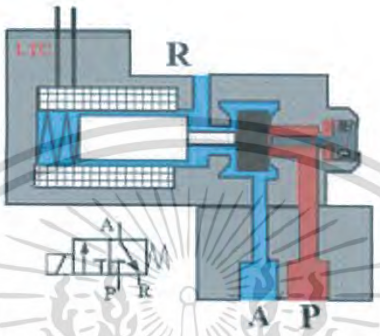
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โซลินอยด์วาล์ว

โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) คืออุปกรณ์สวิตช์ที่อาศัยหลักการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานร่วมกับกลไกโดยใช้การป้อนไฟเป็นตัวกำหนด การทำงานควบคุมให้ลิ้นกลไกปิดหรือเปิดได้

2.4.1 ประเภทของโซลินอยด์วาล์วลมที่ใช้กันทั่วไป

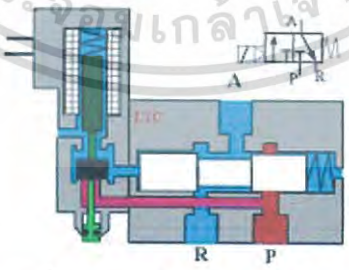
2.4.1.1. วาล์วควบคุม 3 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิด เลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์วาล์ว เลื่อนกลับโดยสปริง



ภาพที่ 2.9 วาล์วควบคุม 3 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิด เลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์วาล์วเลื่อนกลับโดยสปริง

- ปกติ สปริงจะดันให้วาล์วปิดลมจากรู P ไม่สามรถผ่านไปรู A ได้
- เมื่อป้อนไฟให้โซลินอยด์ แกนจะถูกดึงให้เลื่อนไปทางซ้ายมือด้วยอำนาจของแม่เหล็กไฟฟ้า วาล์วจะเปิดให้ลมผ่านจากรู P ไปรู A
- เมื่อตัดไฟออกจากโซลินอยด์ อำนาจแม่เหล็กของโซลินอยด์หมดไป สปริงจะดันแกนให้เลื่อนไปทางขวามือดันวาล์วให้ปิดรู P ไว้ ลมจากรู A จะระบายออกที่รู R

2.4.1.2 วาล์วควบคุม 3 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิด เลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์ และลมดันช่วย วาล์วเลื่อนกลับโดยสปริง



ภาพที่ 2.10 วาล์วควบคุม 3 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิด เลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์ และลมดันช่วย วาล์วเลื่อนกลับโดยสปริง

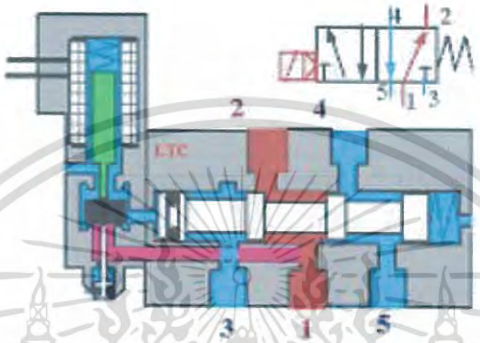
- ปกติ สปริงจะดันให้วาล์วไพลอตปิด สปริงจะดันให้ลูกสูบเลื่อนไปทางซ้ายมือ ลมจากรูPไม่สามรถผ่านไปรู A ได้ รู A จะต่อกับรู R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อป้อนไฟให้โซลินอยด์ แกนจะถูกดึงให้เปิดวาล์วไพลอต วาล์วไพลอตจะเปิดให้ลมไปดันลูกสูบให้เลื่อนไปด้านขวามือ เปิดให้ลมผ่านจากรู P ไปยังรู A

- เมื่อตัดไฟออกจากโซลินอยด์ อำนาจแม่เหล็กของโซลินอยด์หมดไป สปริงจะดันให้แกนเลื่อนลงดันให้วาล์วไพลอตปิด สปริงจะดันให้ลูกสูบกลับตำแหน่งปกติ

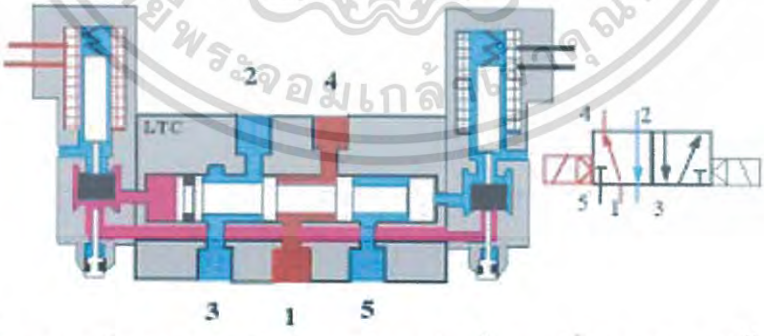
2.4.1.3 วาล์วควบคุม 5 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง เลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์ และลมดันช่วย วาล์วเลื่อนกลับโดยสปริง



ภาพที่ 2.11 วาล์วควบคุม 5 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง
เลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์ และลมดันช่วย วาล์วเลื่อนกลับโดยสปริง

- ปกติ ลมจากรู 1 ต่อไปยังรู 2 ลมจากรู 4 ต่อไปยังรู 5 ส่วนรู 3 อุดตัน
- เมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับโซลินอยด์วาล์วไพลอตจะเปิดให้ลมไปดันลูกสูบให้เลื่อนไปทางขวามือ ลมจากรู 1 จะต่อไปยังรู 4 ส่วนลมจากรู 2 จะไหลไปยังรู 3 ส่วนรู 5 อุดตัน
- เมื่อตัดไฟฟ้าออกจากโซลินอยด์ สปริงจะดันลูกสูบกลับตำแหน่งปกติ

2.4.1.4 วาล์วควบคุม 5 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง เลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์ทั้ง 2 ข้าง



ภาพที่ 2.12 วาล์วควบคุม 5 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง เลื่อนวาล์วโดยโซลินอยด์ทั้ง 2 ข้าง

การควบคุมวาล์วนี้ทำได้โดยการป้อนไฟฟ้าให้กับขดลวดโซลินอยด์ ดังภาพแสดงการทำงานขณะป้อนไฟฟ้าให้กับโซลินอยด์ด้านซ้ายมือ ถ้าป้อนไฟฟ้าให้กับโซลินอยด์ด้านขวามือ จะทำให้ลูกสูบเลื่อนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การเขียนสัญลักษณ์

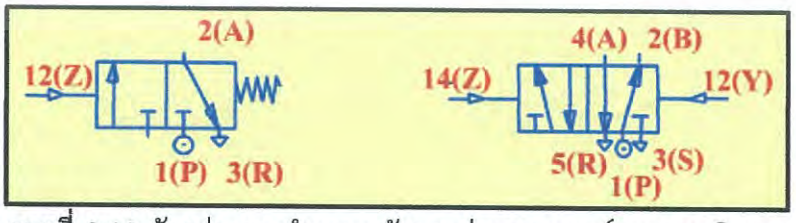
ในงานอุตสาหกรรมนิยมใช้สัญลักษณ์เพื่อความสะดวก รวดเร็วและง่ายต่อการทำความเข้าใจ การทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ระบบนิวแมติกส์ก็เช่นเดียวกันมีสัญลักษณ์ที่ใช้อยู่หลายระบบด้วยกัน เช่น ASA (American Standard Association) ISO (International Standard Organization) JIS (Janpanese Industrical Standard) JIC (Joint Industry Conference) DIN (Deutsche Industrie Norm) ซึ่งแต่ละระบบจะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก หากเข้าใจถึงสัญลักษณ์ของระบบใดระบบหนึ่งแล้วในระบบอื่นก็สามารถกระทำได้ไม่ยากนัก

ตำแหน่งการทำงานของวาล์ว : สัญลักษณ์ที่ใช้แทนตำแหน่งการทำงานของวาล์วจะแทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตำแหน่งการทำงานของวาล์ว

สัญลักษณ์	ความหมาย
	วาล์ว 1 ตำแหน่ง
1	วาล์ว 2 ตำแหน่ง
1 1 2	วาล์ว 3 ตำแหน่ง
1 0 3 2	วาล์ว 4 ตำแหน่ง

การเขียนสัญลักษณ์ จะใช้รูปสี่เหลี่ยมหนึ่งรูปแทนตำแหน่งของวาล์ว 1 ตำแหน่ง ถ้าวาล์วควบคุมมีตำแหน่งการทำงานหลายตำแหน่งก็จะมีรูปสี่เหลี่ยมหลายรูปต่อกัน เช่น วาล์วควบคุม 2 ตำแหน่งก็จะมีรูปสี่เหลี่ยม 2 รูปติดต่อกัน ในลักษณะสี่เหลี่ยมที่แสดงตำแหน่งของวาล์วนี้จะประกอบด้วยตำแหน่งปกติ หรือตำแหน่งที่วาล์วยังไม่ถูกเลื่อนและตำแหน่งการทำงานของวาล์ว ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นด้วยตัวเลขที่กำหนดภายในช่องสี่เหลี่ยม โดยเลข 0 หมายถึงตำแหน่งปกติ หมายเลขอื่น หมายถึงตำแหน่งทำงาน ซึ่งอาจเป็นตำแหน่งที่ 1,2 หรือ 3 เรียงลำดับกันไปแล้วแต่ว่าวาล์วจะมีกี่ตำแหน่ง



ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างการกำหนดรหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทาง

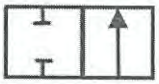
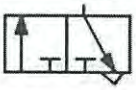
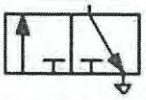
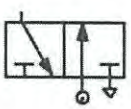
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทางในระบบนิวเมติกส์จะมีการกำหนดรหัสทางต่อลม เพื่อให้เกิดความสะดวก และเข้าใจตรงกันในการออกแบบ และต่อวงจร การกำหนดรหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทางโดยทั่วๆ ไปสามารถกระทำได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 ตารางการกำหนดรหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทาง

ตัวเลข	ตัวอักษร	ตัวอักษรต่อ	หน้าที่
1	P	Sub	รูระบายลมอัดเข้าวาล์ว
2,4	A,B	Out	รูต่อลมอัดไปใช้งาน
3,5	R,S	Ex	รูระบายลมทิ้ง
12,14	X,Y,Z	Signal In	รูต่อเข้าวาล์วควบคุมเพื่อผลในการบังคับให้วาล์วทำงาน

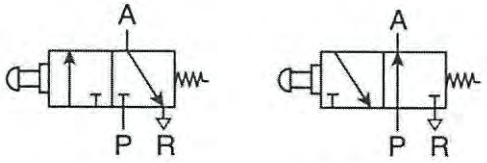
ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงเส้นและหัวลูกศรที่เขียนเป็นสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทาง

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ท่อลมภายในวาล์วมีรูต่อ 2 รู ให้ลมผ่านตลอดตามทิศทางหัวลูกศร
	ท่อลมภายในวาล์วมีรูต่อ 3 รู ให้ลมผ่านตลอดตามทิศทางหัวลูกศร ส่วนอีกรูหนึ่งถูกกั้นอยู่ แสดงด้วยเส้นขีดตัดสั้นๆ
	ท่อลมของวาล์วที่ถูกปิดกั้นไม่ให้ลมผ่านไปได้
	ท่อภายในของวาล์วต่อร่วมกันตามทิศทางของหัวลูกศร
	ท่อลมของวาล์วต่อถึงกันแสดงด้วยจุดต่อจุดใหญ่
	แสดงถึงจุดต่อลม จะเขียนเฉพาะตำแหน่งพักหรือตำแหน่งปกติของวาล์วเท่านั้น โดยการขีดเส้นตล้ำออกมานอกรอบ
	สัญลักษณ์ Ñ แสดงว่าการระบายลมอัดภายในตัวของวาล์วเอง
	สัญลักษณ์รูป Ñ แสดงว่าการระบายลมอัดสามารถต่อท่อหรือติดตัวเก็บเสียงได้
	สัญลักษณ์ คือแหล่งจ่ายลมที่ต่อเข้ากับวาล์วควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ปกติปิด (NC) กับปกติเปิด (NO)

ตำแหน่งภาวะปกติเปิด หรือภาวะปกติปิดของวาล์วได้จากขาวมือ

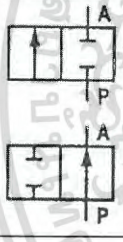
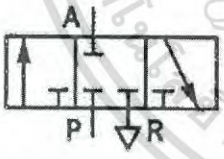
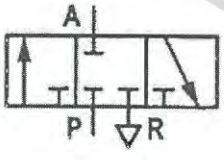
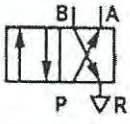
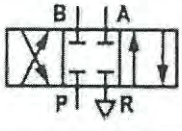


ปกติปิด (NC) ปกติเปิด (NO)

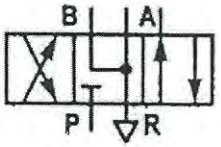
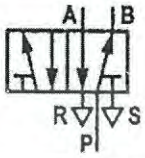
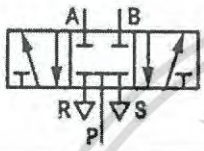
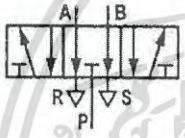
ภาพที่ 2.14 NC NO

ตัวเลื่อนลิ้นของวาล์วควบคุมทิศทาง (Pneumatic Valve) ซึ่งแบ่งออกตามชนิดของตัวเลื่อนลิ้นวาล์ว (Spool) ได้เป็น 5 ชนิด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงตัวเลื่อนลิ้นของวาล์วควบคุมทิศทาง (Pneumatic Valve)

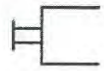
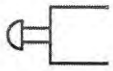
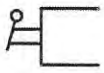
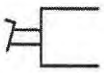
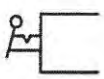
ลำดับ	สัญลักษณ์	ความหมาย
1.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 2/2 ปกติปิด (2/2 Valve Normally Closed) วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 2/2 ปกติเปิด (2/2 Valve Normally Open)
2.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/2 ปกติปิด (3/2 Valve Normally Closed) วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/2 ปกติเปิด (3/2 Valve Normally Open)
3.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 3/3 ตำแหน่งกลางปิด (3/3 Valve Mid-Position Closed)
4.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/2 (4/2 Valve)
5.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางปิด (4/3 Valve Mid-Position Closed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	สัญลักษณ์	ความหมาย
6.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/3 ตำแหน่งกลางเร่งระบายลม (4/3 Valve Mid-Position Exhausted)
7.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 (5/3 Valve)
8.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 ตำแหน่งกลางปิด (5/3 Valve Mid-Position Closed)
9.		วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/3 ตำแหน่งกลางเร่งระบายลม (5/3 Valve Mid-Position Exhausted)

สัญลักษณ์บอกความหมายของการเลื่อนลิ้นวาล์ว (Spool) ควบคุมทิศทาง (Pneumatic Directional Control Valve)

ตารางที่ 2.7 ตารางแสดงสัญลักษณ์บอกความหมายของการเลื่อนลิ้นวาล์วควบคุมทิศทาง

สัญลักษณ์	ความหมาย
1. การเลื่อนลิ้นโดยใช้มือหรือเท้า (Manual Actuator)	
ก.  General	• ใช้ก้ามเนื้อในการเลื่อน (ปุ่มกด) แบบทั่วไป
ข.  Push button	• ใช้มือกด (ปุ่มกด)
ค.  Lever	• ใช้คันโยกหรือมือบิด
ง.  Padle	• ใช้เท้าเหยียบ
จ.  Detent	• ใช้คันโยกหรือมือบิดแบบล็อกตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	ความหมาย
2. การเลื่อนลิ้นโดยใช้ระบบไก (Mechanical Actuator) ก. Plunger ข. Spring ค. Roller lever ง. Roller lever with idle return (Roller Trip)	• ใช้กลไกภายนอกเป็นตัวกด ทำงานสองทาง • ใช้สปริงดันวาล์วให้กลับตำแหน่งปกติ • ใช้ล้อลูกกลิ้งเป็นตัวกด ทำงานได้สองทาง • ใช้ล้อลูกกลิ้งเป็นตัวกด ทำงานได้ทางเดียว
3. การเลื่อนลิ้นโดยใช้ลม (Pneumatic Actuator) ก. Direct by Pressure (Pilot) ข. Direct by Pressure Relief ค. Differential Pressure ง. Indirect by Pressure (Pilot) จ. Indirect by Pressure Relief	• ใช้ลมในการเลื่อนวาล์วโดยตรง • ระบายลมให้วาล์วเลื่อนโดยตรง • เลื่อนลิ้นด้วยความดันที่แตกต่าง • ใช้ลมไปเลื่อนวาล์วทางอ้อม • ระบายจากวาล์วทางอ้อม
4. การเลื่อนลิ้นโดยใช้ไฟฟ้า (Electrical Actuator) Solenoid	• ใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า 1 ขด
5. การเลื่อนลิ้นแบบผสม (combined Actuation) ก. Push botton and Pressure ข. Push botton or Pressure ค. Roller lever and Pressure ง. Solenoid and Pressure จ. Spring Centred	• ใช้ปุ่มกดละใช้ลมช่วย • ใช้ปุ่มกดหรือใช้ลมช่วย • ใช้กลไกลูกกลิ้งและลมช่วย • ใช้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าและลมช่วย • ใช้สปริงดันวาล์วให้อยู่ในตำแหน่งกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

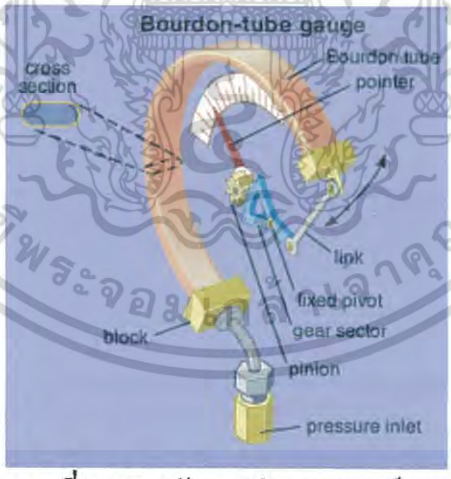
2.5 Pressure Sensor

Pressure Sensor หรือบางทีเรียกกันว่า Pressure Transmitter, Pressure Switch, Pressure Transducer, อุปกรณ์ตรวจวัดความดันหรือเครื่องวัดความดัน มีหน้าที่ในการตรวจวัดความดันของของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อควบคุม แสดงผลค่าของความดันที่ต้องการจะวัด โดยหน่วยในการแสดงผลของค่าความดันที่วัดได้นั้น มี Bar, mbar, kpa, psi, mmHg เป็นต้น ซึ่งหลักการทำงานจะแปลงปริมาณความดันทางกายภาพให้ออกมาเป็นสัญญาณมาตรฐานทางไฟฟ้า (สัญญาณ Output) ซึ่งสัญญาณ Output ที่ออกมานั้นจะมีหลายแบบ เช่น Analog 4-20mA, 0-10VDC, NPN, PNP เป็นต้น

ประเภทของ Pressure Sensor ในงานอุตสาหกรรม แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

2.5.1. Pressure Gauge (เกจวัดความดัน) สามารถวัดความดันได้ทั้งความดันเกจ ความดันสัมบูรณ์ และสุญญากาศ โดยจะแสดงผลเป็นแบบอนาล็อกหรือแบบเข็ม ข้อดีคือ มีราคาถูก ติดตั้งง่าย แต่ข้อเสียคือ อ่านค่าได้อย่างเดียว ไม่ละเอียด และไม่สามารถประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นได้ เกจวัดความดันจะอาศัยหลักการยืดตัว หรือโก่งตัวของวัสดุที่มีสมบัติยืดหยุ่นหรือเรียกว่า “เครื่องมือวัดความดันแบบอิลาสติก” ทำงานโดยอาศัยการแปลงความดันที่อุปกรณ์ได้รับให้อยู่ในรูปการเคลื่อนที่ ประเภทของเกจวัดความดัน มีดังนี้

2.5.1.1. เกจวัดความดันแบบบูร์ดอง (Bourdon Gauge) โดยเกจวัดความดันแบบบูร์ดองจะมีลักษณะเป็นขดทองแดงกลวง มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงรีซึ่งเมื่อมีความดันเข้าไปภายในท่อขดบูร์ดองจะพยายามยืดตัวออกเป็นวงกลม จึงทำให้ดึงแขนที่ต่อกับเข็มชี้หมุนเลื่อนขึ้นแสดงความดันที่เกิดขึ้น



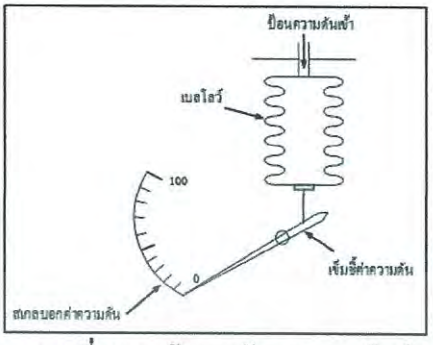
ภาพที่ 2.15 หลักการทำงานของบูร์ดอง

2.5.1.2. เกจวัดความดันแบบเบลโลว์ (bellow) โครงสร้างของเบลโลว์มีลักษณะคล้ายลูกฟูก ภายในกลวงสามารถยืดหยุ่นตัวได้ ปลายด้านหนึ่งปิดยึดติดกับเข็มชี้วัดระยะ ปลายอีกด้านหนึ่งเปิดเพื่อเป็นช่องทางเข้าของความดัน (pressure) ที่ต้องการวัด ภายในเบลโลว์อาจติดตั้งสปริงหรือตัวหยุดการเคลื่อนที่ เพื่อป้องกันความเสียหายจากการรับค่าความดันเกินพิกัด เมื่อเบลโลว์ได้รับความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากภายนอกทำให้ความดันภายในสูงขึ้น ส่งผลให้เบลโลว์เกิดการยืดตัวออกในทิศทางเดียวกับทิศทางของความดันที่เข้าไปในเบลโลว์

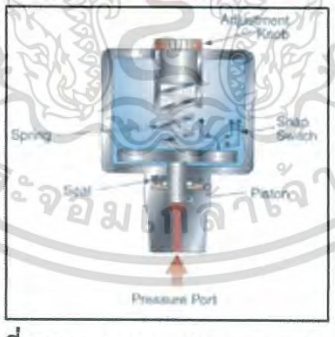


ภาพที่ 2.16 โครงสร้างของเบลโลว์

2.5.2. Pressure Switch คือ สวิตช์ควบคุมความดัน โดยใช้การตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าเมื่อความดันถึงจุดที่เรากำหนดไว้ Pressure switch นี้สามารถใช้งานควบคุมแรงดันทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น การตัดต่อการทำงานของปั๊มน้ำ

Pressure Switch Sensor ประเภทนี้ไม่ต้องอาศัยแรงดันไฟเลี้ยงเนื่องโดยส่วนใหญ่ใช้ระบบกลไก (Mechanic) ในการทำงานโดยจะมีสัญญาณ Output เป็น Contact On/Off ใช้เพื่อตัดต่อระบบเพียงเท่านั้น ซึ่งแบ่งหลักการทำงานนี้ได้เป็นสองแบบ

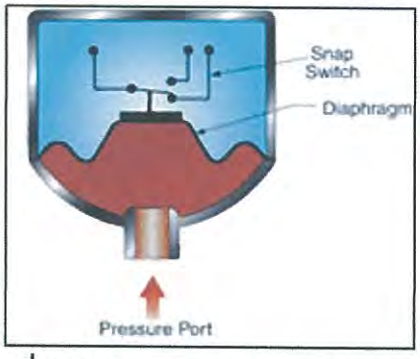
2.5.2.1. Piston ทำงานโดยใช้กระบอกสูบขนาดเล็กด้านในซึ่งอีกด้านหนึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับกลไกสวิตช์สามารถปรับตั้งสปริงเลือกช่วงในการทำงานได้ เหมาะกับงานที่มีแรงดันสูงๆ เช่น วัดแรงดันของระบบไฮดรอลิกในระบบเครื่อง Press โลหะ เป็นต้น



ภาพที่ 2.17 Piston Pressure Switch

2.5.2.2. Diaphragm ส่วนใหญ่จะเป็นแผ่นยางไดอะแฟรมทำจากวัสดุ NBR เมื่อมีแรงดันมากระทำกับแผ่นไดอะแฟรมซึ่งอีกด้านจะต่อกับกลไกสวิตช์จะทำงานในแรงดันที่เราตั้งไว้ เหมาะกับงานที่มีแรงดันไม่สูงมาก เช่นแรงดันของลม ในระบบนิวเมตริค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
148503



ภาพที่ 2.18 Diaphragm Pressure Switch

2.5.3. Pressure Transmitter คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันและแปลงสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณมาตรฐานที่มีทั้งสัญญาณ Analog 4-20mA, 0-10VDC เพื่อนำไปควบคุมขบวนการทำงานต่างๆในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งประเภทย่อย ตามหลักการทำงานได้ดังนี้

2.5.3.1. Strain Gauge: หลักการทำงานคืออาศัยการยืดหดตัวของ Strain gauge ที่ยึดติดอยู่กับแผ่นไดอะแฟรมและต่อวงจรไปยังวงจร วิทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) เพื่อแปลงความดัน (pressure) ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

2.5.3.2. Thin Film: เป็นเซนเซอร์ลักษณะแผ่นฟิล์มบางๆ ที่จะรับแรงกดแล้วแสดงค่าแรงดันออกมา นิยมใช้กับงานที่มีแรงดันต่ำ

2.5.3.3. Thick Film: ไดอะแฟรมจะผลิตจากวัสดุ เช่น เซรามิก เหมาะกับงานที่แรงดันสูง มีความแข็งแรงมากกว่าประเภท Thin Film นิยมใช้ในงานไฮดรอลิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 วิธีดำเนินการทำโครงงาน

3.1.1 กำหนดหัวข้อที่จะทำการศึกษา โดยศึกษาจากการทำงานของบริษัท และนำปัญหาที่พบเจอ หรือสิ่งที่สามารถนำพัฒนาได้มาแก้ไข

3.1.2 ศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.1.2.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องจักร

3.1.2.2 ศึกษาหลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

3.1.2.3 ศึกษาหลักการทำงานของ pressure sensor

3.1.2.4 ศึกษาบอร์ด Arduino ต่างๆ เพื่อเลือกใช้บอร์ดที่เหมาะสม

3.1.3 ออกแบบวงจรการทำงาน

3.1.3.1 บอร์ดจำลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

3.1.3.2 บอร์ด Control

3.1.4 เขียนโปรแกรมการทำงาน โดยใช้โปรแกรม Arduino

3.1.4.1 เขียนโค้ดจำลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

3.1.4.2 เขียนโค้ดเช็ค Rising time

3.1.4.3 เขียนโค้ดวัด time to peak

3.1.4.4 เขียนโค้ดเช็คความดันขาเข้า และความดันขาออกเพื่อเปรียบเทียบกัน

3.1.5 ทดสอบการทำงาน และเก็บข้อมูลผลการทดลอง

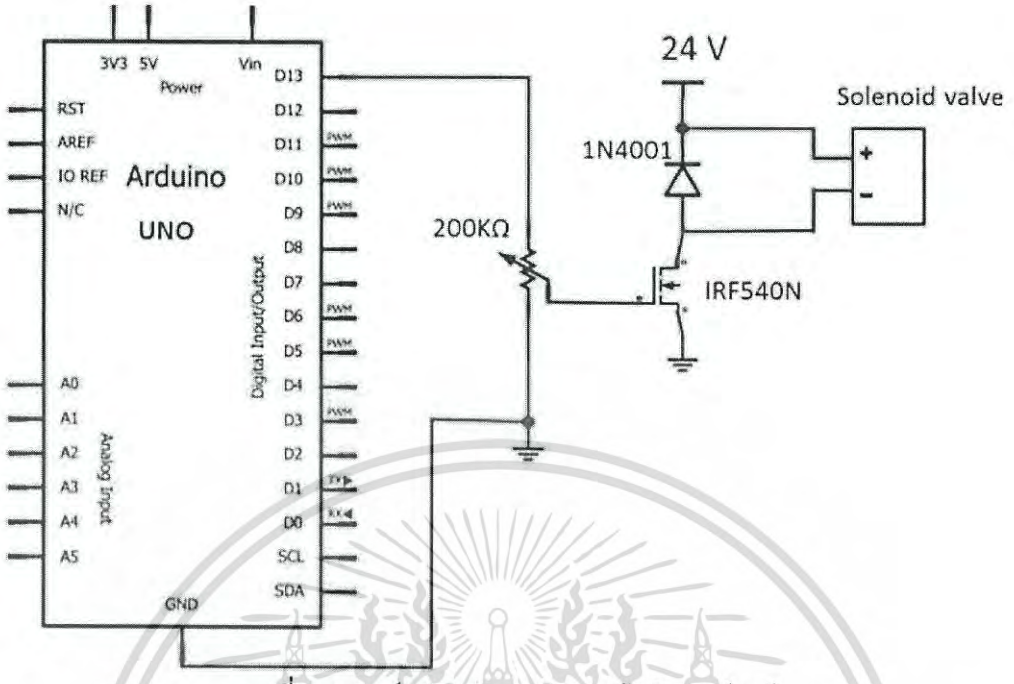
3.1.6 ตรวจสอบ และแก้ไขโค้ด

3.1.7 สรุปผลการทดลอง

3.2 บอร์ดจำลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

3.2.1 ออกแบบวงจรจำลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว เพื่อใช้ในแทนการทดสอบกับเครื่องจักรจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 บอร์ดจำลองการทำงาน โซลินอยด์วาล์ว

3.2.2 เขียนโค้ดควบคุมการเปิด / ปิดของโซลินอยด์วาล์วโดยใช้บอร์ด Arduino UNO

```
void setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(13, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(13, LOW);
  delay(1000);
}
```

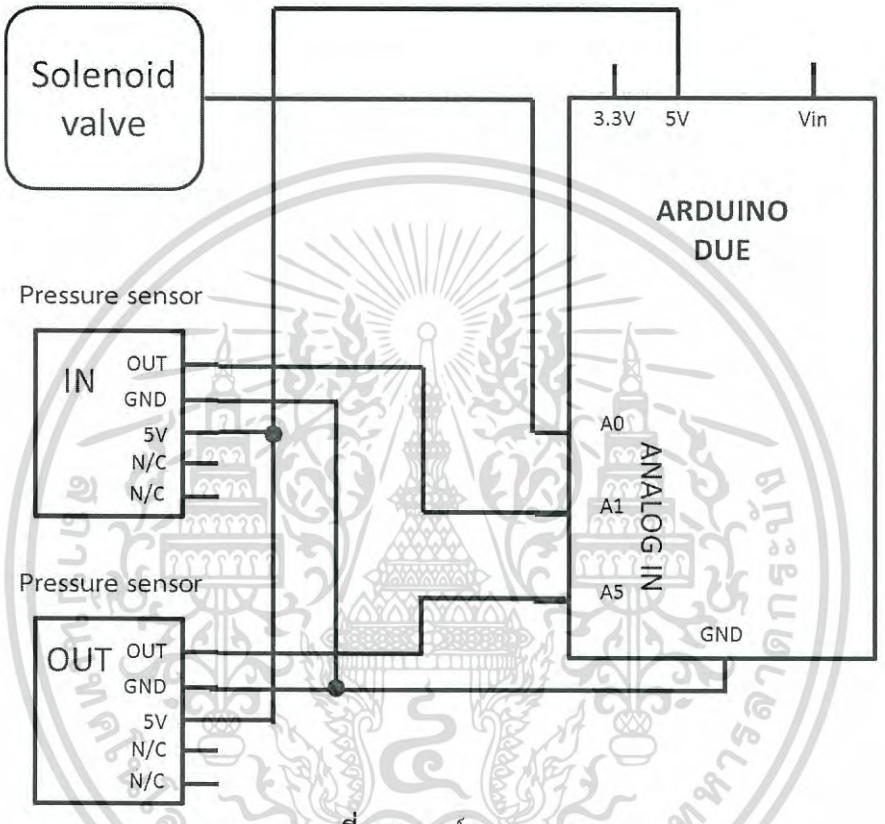
ภาพที่ 3.2 โค้ดควบคุมการเปิด/ปิดของโซลินอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 บอร์ด Control

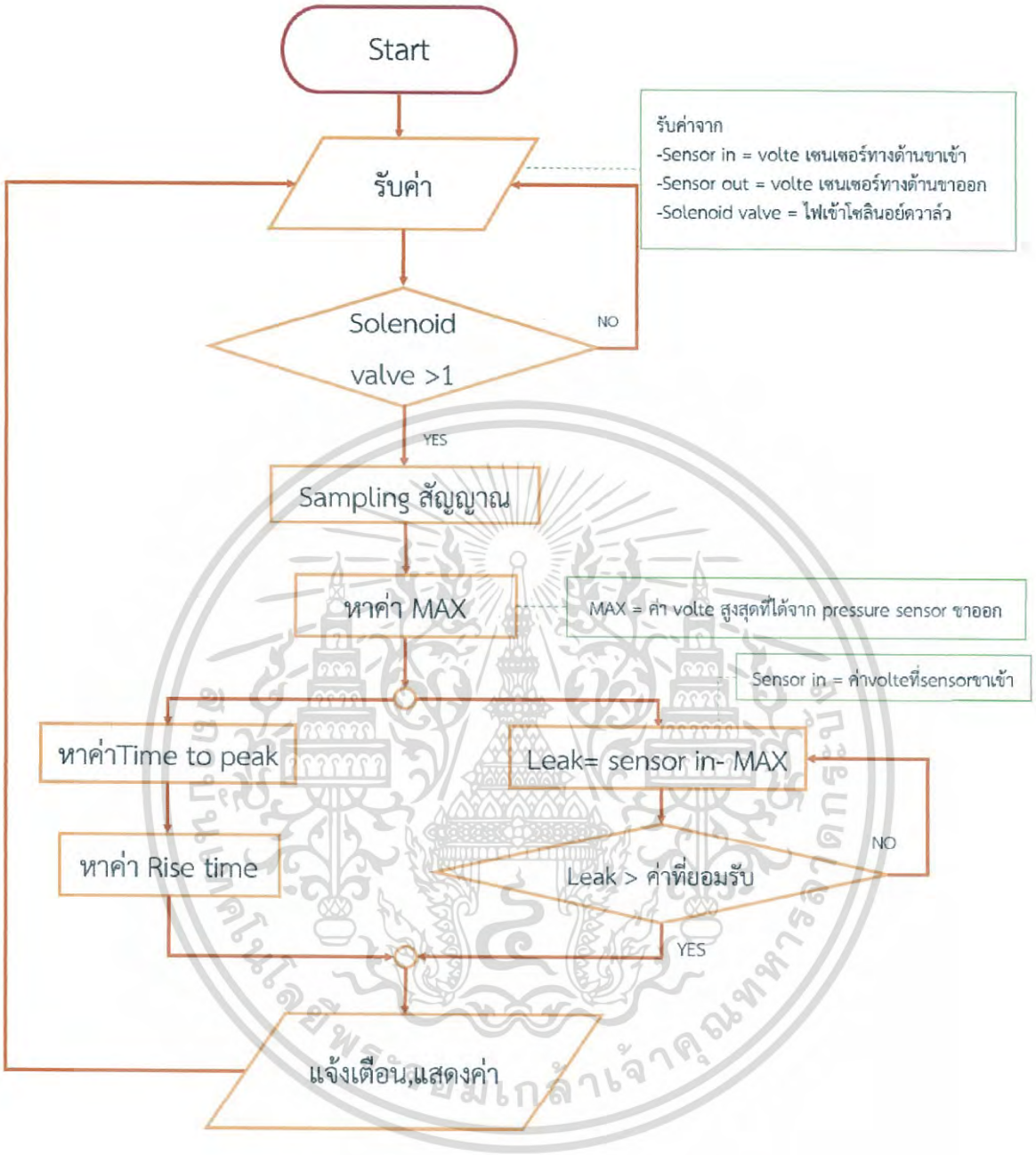
3.3.1 ออกแบบวงจร

ออกแบบวงจร Control เพื่อใช้ในทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว โดยใช้ Arduino DUE ในการเขียนโค้ด และใช้ Pressure Sensor ในการวัดค่าวัดความดันขาเข้าและขาออกของโซลินอยด์วาล์ว



ภาพที่ 3.3 บอร์ด Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 Flow Chart การทำงานของบอร์ด Control

3.3.2 การเก็บค่าจาก โซลินอยด์วาล์ว

3.3.2.1 ติดตัวเซนเซอร์ที่ท่อลมขาเข้า และที่ท่อลมขาออกจากโซลินอยด์วาล์ว

3.3.2.2 เขียนโค้ดการอ่านค่าจากเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void sensor()
{
 sensorout = analogRead(A5)-250.00;                          // Presure Output-230.000;
 if (sensorout<0)
 {
  sensorout = 0;
 }
  pressureout = (((sensorout)*500000.00)/4096.00)/1000.00;
  sensorin = analogRead(A1)-250;                             // Presure Input
 if (sensorin<0)
 {
  sensorin = 0;
 }
  pressurein = (((sensorin)*500000.00)/4096.00)/1000.00;
  sole = ((analogRead(A0)*3.30)/4095.00);                    // Vcc Solenoid
  v = sensorin-sensorout;
  j = pressurein-pressureout;
}
```

ภาพที่ 3.5 โค้ดอ่านค่าเซนเซอร์

3.3.2.3 เขียนโค้ดการ Sampling สัญญาณ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยหาค่า Max ของโวลต์จากเซนเซอร์ที่รับค่าเข้ามา (Maxvalue)

```
delayMicroseconds(20);
w = w+1;
i = i+1;
sensor();
x[i] = sensorout;
t[i] = micros();
if (i>1)                                    //หาค่าmax
{if (maxvalue<x[i-1]&&Time<t[i-1])
  { maxvalue = x[i-1];
    Time=t[i-1];
  }
  if (maxvalue>=x[i-1]&&Time>=t[i-1])
  { maxvalue = maxvalue;                    // maxvalueคือค่าvolteสูงสุดค่าแรก
    Time=Time;                              // Timeคือเวลาที่maxvalue
  }
if(a == 0)                                  // เก็บค่า t ที่ maxvalue ค่าแรก starttime ของ risetime
{ if (x[i]>20)                              // volt ที่เริ่มขึ้นเริ่มนับให้เป็นstartime
  { starttime=t[i];
    a=1;
  }
}
}
  k=1;
```

ภาพที่ 3.6 โค้ดหาค่า Maxvalue

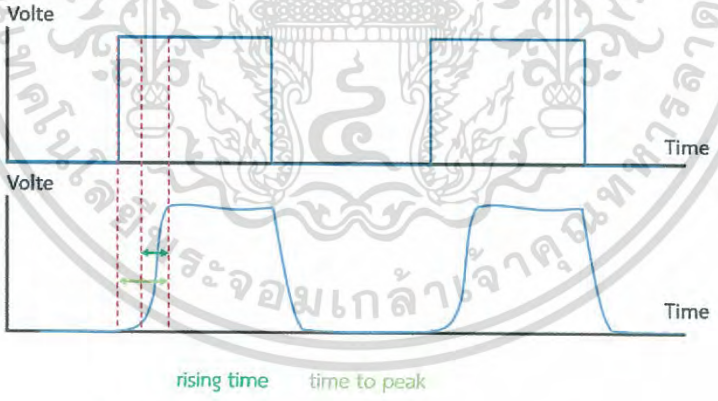
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วคำนวณหาค่า Maxvalue ที่ 10% และ 90% เพื่อใช้ในการหาค่า Rising time, time to peak ต่อไป

```
b = (maxvalue*90.00)/100.00;
e = (maxvalue*10.00)/100.00;
for(i=1; i<w; i++)
{
  if ( x[i] >= b && c == 0 )  // เวลา และ ค่าที่แรงดัน 90% ของ maxvalue  // Risetime
  {
    V90 = x[i];
    T90 = t[i];
    c = 1;
  }
  if ( x[i] >= e && d == 0 )  // เวลา และ ค่าที่แรงดัน 10% ของ maxvalue  // Time To Peak
  {
    V10 = x[i];
    T10 = t[i];
    d = 1;
  }
}
```

ภาพที่ 3.7 โค้ดหาค่า Maxvalue ที่ 10% และ 90%

3.3.3 ตรวจสอบการทำงานของ โซลินอยด์วาล์ว



ภาพที่ 3.8 กราฟแสดง Rising time และ time to peak

3.3.3.1 โค้ดเช็ค Time on

Time on เป็นเวลา ณ ตอนที่มีสัญญาณไฟ 24 volt เข้าโซลินอยด์วาล์ว

3.3.3.2 โค้ดเช็ค Rising time

Rising time เป็นเวลาตั้งแต่ความดันขาออกเริ่มเปลี่ยนแปลงจนถึงค่าสูงสุด โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่ความดันของโซลินอยด์วาล์ว ที่ขาออกเพิ่มขึ้น จนมีความดันเท่ากับความดันขาเข้าของโซลินอยด์วาล์ว หรือมีความดันสูงสุด

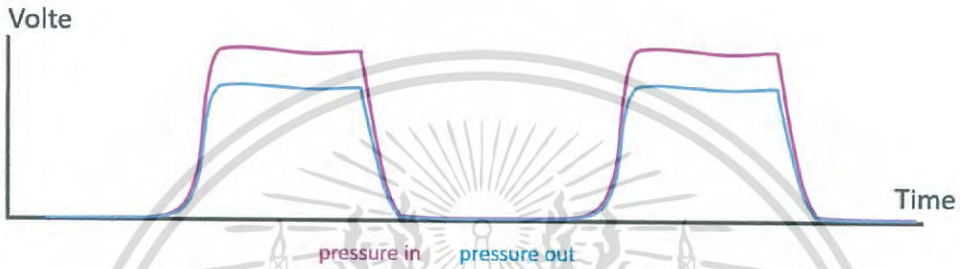
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 โค้ดเช็ค time to peak

time to peak เป็นเวลาตั้งแต่เริ่มใส่พัลส์จนถึงค่าความดันขาออกสูงสุด โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่ จ่ายไฟเข้าโซลินอยด์วาล์ว จนมีความดันเท่ากับความดันขาเข้าของโซลินอยด์วาล์ว หรือมีความดันสูงสุด

3.3.3.4 โค้ดเช็คเปรียบเทียบความดัน

เขียนโค้ดเพื่อวัดค่าความดันที่ขาเข้าโซลินอยด์วาล์ว และความดันที่ขาออกจากโซลินอยด์วาล์ว แล้วเปรียบเทียบความดันขาเข้า - ขาออก

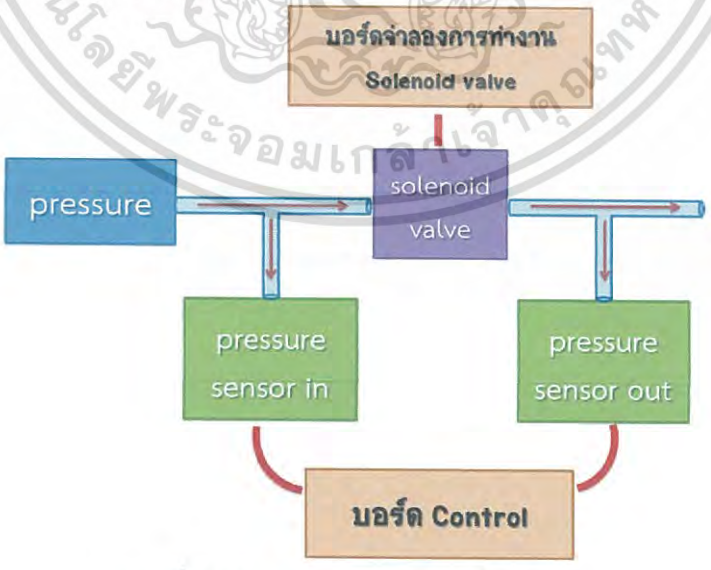


ภาพที่ 3.9 เปรียบเทียบความดันของโซลินอยด์วาล์ว

3.4 ทดสอบการทำงาน และเก็บข้อมูลผลการทดลอง

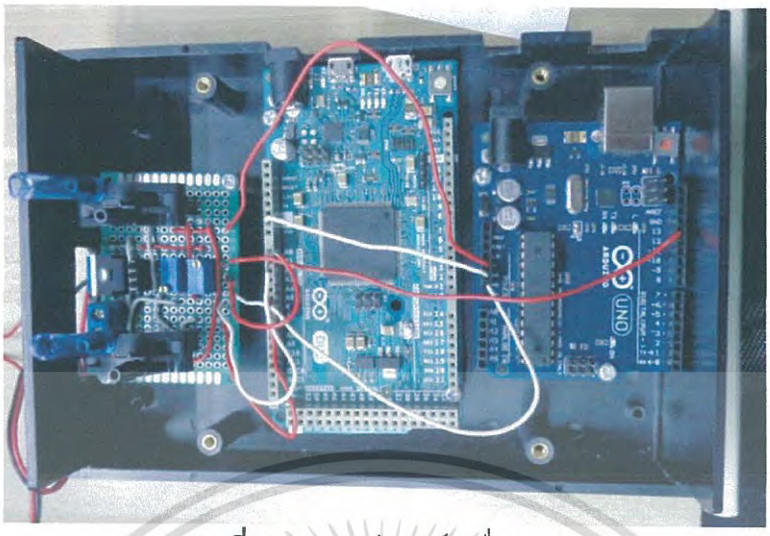
3.4.1 วิธีการทดสอบ

ต่อบอร์ดจำลองการทำงานของโซลินอยด์วาล์วเข้าไปสั่งการให้โซลินอยด์วาล์วทำงาน นำท่อลมต่อเข้าที่โซลินอยด์วาล์ว โดยมี pressure sensor ต่ออยู่ทางขาเข้าและขาออกของโซลินอยด์วาล์วเพื่อวัดpressure in และ pressure out ค่า output ที่ได้ของ pressure sensor ต่อเข้าที่บอร์ด Control เพื่อวัดค่า volt และประมวลผล



ภาพที่ 3.10 แผนภาพการต่อบอร์ดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 การต่อบอร์ดเพื่อทดสอบ

3.4.1.1 ทดสอบโซลินอยด์วาล์ว 3 ตัว

3.4.1.2 ทดสอบเมื่อโซลินอยด์วาล์วเปิดค้าง

3.4.1.3 ทดสอบเมื่อโซลินอยด์มีค่า Leak

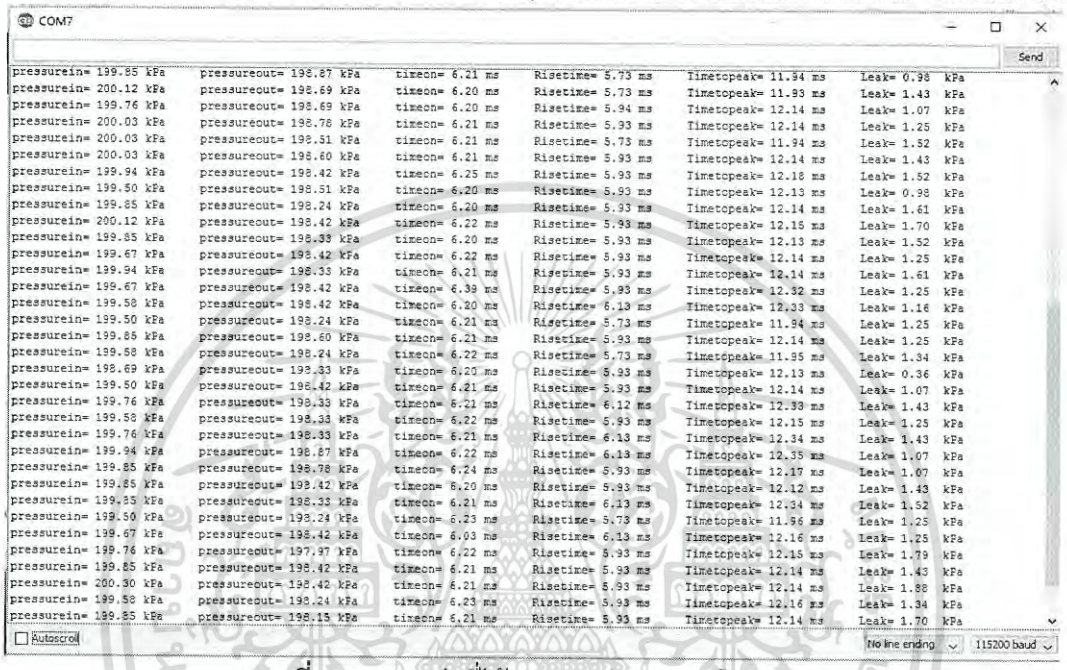
3.4.2 บันทึกผลการทดสอบที่ได้ลงในตาราง เพื่อวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการทดสอบโซลินอยด์วาล์ว

ทดลองโซลินอยด์วาล์ว 3 ตัว โดยตัวที่ 1, 2 ผ่านการใช้งานมาแล้ว ส่วนตัวที่ 3 ยังไม่ได้ใช้งาน



ภาพที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทำงานของโปรแกรม

จากภาพที่ 4.1 แสดงค่าPressure in , Pressure out, Time on, Rise Time ,Time to peakและ Leak ของแต่ละครั้งของการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1

Pressure (kPa)	Timeon (ms)	Rising time (ms)	Leak (kPa)
50	6.40	3.17	2.24
	6.38	3.15	1.25
	6.40	3.15	1.25
	6.38	3.17	1.43
	6.37	3.17	1.79
	6.38	3.17	1.43
	6.38	3.17	1.61
	6.59	2.96	1.07
	6.40	3.17	1.07
	6.42	3.17	0.90
100	6.40	5.36	1.79
	6.40	5.32	1.25
	6.43	5.36	0.45
	6.40	5.34	1.16
	6.40	5.34	1.07
	6.40	5.36	1.25
	6.43	5.36	1.07
	6.40	5.34	1.07
	6.40	5.36	1.25
	6.40	5.36	2.51
150	6.40	5.31	1.16
	6.40	5.54	1.25
	6.40	5.34	1.34
	6.40	5.34	1.43
	6.40	5.54	1.79
	6.40	5.31	1.34
	6.40	5.54	0.90
	6.40	5.31	1.16
	6.40	5.54	1.25
	6.40	5.31	1.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pressure (kPa)	Timeon (ms)	Rising time (ms)	Leak (kPa)
200	6.21	5.70	1.25
	6.21	5.76	1.70
	6.21	5.50	1.43
	6.21	5.76	0.98
	6.21	5.57	1.34
	6.21	5.57	1.52
	6.21	5.76	1.07
	6.21	5.57	0.98
	6.21	5.50	1.43
	6.21	5.70	1.16

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2

Pressure (kPa)	Timeon (ms)	Rising time (ms)	Leak (kPa)
50	6.77	3.37	0.90
	6.79	3.36	0.81
	6.78	3.36	1.07
	6.78	3.36	0.98
	6.80	3.36	1.25
	6.64	3.55	1.43
	6.78	3.36	1.07
	6.78	3.36	1.16
	6.78	3.36	0.98
	6.77	3.38	1.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pressure (kPa)	Timeon (ms)	Rising time (ms)	Leak (kPa)
100	6.62	5.73	1.16
	6.59	5.73	1.70
	6.59	5.73	0.90
	6.59	5.73	1.70
	6.59	5.73	1.07
	6.56	5.73	1.16
	6.59	5.73	1.07
	6.59	5.73	1.52
	6.59	5.73	0.98
	6.62	5.73	1.16
150	6.40	5.92	1.16
	6.37	5.95	1.25
	6.40	6.14	1.43
	6.40	6.11	1.79
	6.40	5.92	1.31
	6.40	5.92	1.43
	6.40	5.92	1.79
	6.40	6.11	1.52
	6.40	5.92	1.25
	6.40	5.92	0.81
200	6.40	6.34	1.52
	6.34	6.14	1.34
	6.40	6.34	0.63
	6.40	6.08	1.61
	6.40	6.14	1.25
	6.40	6.14	1.70
	6.40	6.14	1.25
	6.40	6.27	1.79
	6.40	6.34	1.34
	6.40	6.14	1.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 3

Pressure (kPa)	Timeon (ms)	Rising time (ms)	Leak (kPa)
50	6.22	3.17	1.07
	6.20	3.36	0.72
	6.39	3.36	1.25
	6.22	3.36	1.07
	6.22	3.36	0.98
	6.39	3.76	1.34
	6.41	3.36	1.34
	6.42	3.36	0.90
	6.40	3.16	1.52
	6.39	3.56	1.07
100	6.19	5.74	0.90
	6.21	5.73	1.25
	6.40	5.73	1.25
	6.38	5.54	1.25
	6.19	5.54	1.52
	6.38	5.54	1.07
	6.40	5.54	1.07
	6.38	5.73	1.07
	6.37	5.74	1.25
	6.42	5.52	1.25
150	6.38	5.93	0.81
	6.40	5.73	1.25
	6.40	5.93	1.52
	6.39	5.73	1.97
	6.39	5.93	1.25
	6.22	5.93	1.79
	6.38	5.93	1.43
	6.39	5.93	1.07
	6.42	5.93	1.34
	6.38	5.93	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pressure (kPa)	Timeon (ms)	Rising time (ms)	Leak (kPa)
200	6.22	5.93	1.34
	6.22	5.93	1.07
	6.22	5.93	1.07
	6.21	5.93	1.16
	6.21	5.93	1.52
	6.21	5.93	1.79
	6.21	5.73	0.98
	6.20	5.73	1.43
	6.20	5.94	1.07
	6.21	5.93	1.25

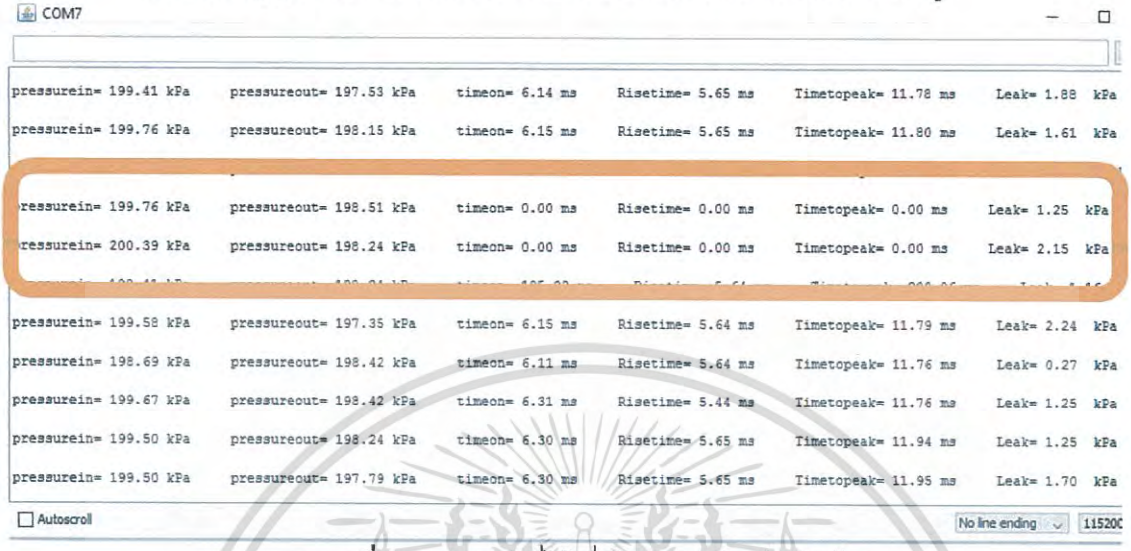
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของการทดสอบการทำงานของโซลินอยด์วาล์วทั้ง 3 ตัว

Pressure (kPa)	โซลินอยด์วาล์ว ตัวที่	Timeon (ms)	Rising time (ms)	Leak (kPa)
50	1	6.410	3.145	1.404
	2	6.767	3.382	1.081
	3	6.326	3.381	1.126
100	1	6.406	5.350	1.287
	2	6.593	5.730	1.242
	3	6.332	5.635	1.188
150	1	6.400	5.408	1.314
	2	6.397	5.983	1.374
	3	6.375	5.890	1.350
200	1	6.210	5.639	1.286
	2	6.394	6.207	1.422
	3	6.211	5.891	1.268

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบเมื่อโซลินอยด์วาล์วเปิดค้าง

เมื่อไม่มีสัญญาณไฟเข้าโซลินอยด์วาล์ว แต่โซลินอยด์วาล์วกลับเปิดค้างอยู่



ภาพที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้เมื่อโซลินอยด์วาล์วเปิดค้าง

4.3 ผลการทดสอบเมื่อโซลินอยด์มีค่า Leak

เมื่อมีผลต่างระหว่าง pressure in กับ pressure out มากกว่าค่าที่จะยอมรับได้ หรือที่กำหนดไว้

ภาพที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้เมื่อมีค่า Leak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลการทดลอง 4.1 ผลการทดสอบโซลินอยด์วาล์วทั้ง 3 ตัว พบว่าโซลินอยด์วาล์วทุกตัวได้ค่า ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า Time on ประมาณ 6 ms Rising time ประมาณ 6 ms ยกเว้นที่ Pressure 50 kPa ใช้เวลาประมาณ 3 ms และ Leak หรือผลต่างของ pressure ที่ประมาณ 1 kPa หรือไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้และค่านี่อาจเกิดจากค่าความคลาดเคลื่อนของpressure sensor

จากผลการทดลอง 4.2 ผลการทดสอบเมื่อโซลินอยด์วาล์วเปิดค้าง พบว่าเมื่อโซลินอยด์วาล์วทำงานผิดปกติคือ เมื่อไม่มีสัญญาณไฟเข้าโซลินอยด์วาล์ว แต่โซลินอยด์วาล์วกลับเปิดค้างอยู่ จะทำให้ Time on, Rising time เป็น 0 ms

จากผลการทดลอง 4.3 ผลการทดสอบเมื่อโซลินอยด์มีค่า Leak พบว่าเมื่อจ่ายลมเข้าโซลินอยด์วาล์ว แล้วได้ผลต่างระหว่าง pressure in กับ pressure out มากกว่าค่าที่จะยอมรับได้หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ ของ Pressure in จะแจ้งเตือน Leak ทันที

5.2 อุปสรรค และปัญหา

5.2.1 Arduino Uno R3 มี Clock Speed ต่ำไปจึงจับสัญญาณที่เวลาในหน่วย ms ไม่ทัน

5.2.2 การอ่านค่าจากPressure Sensor ให้ค่าที่ไม่คงที่

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เปลี่ยนมาใช้ Arduino Due Duo มี Clock Speed มากขึ้น

5.3.2 บัดกรี Pressure Sensor และอุปกรณ์ต่างๆ ลงในบอร์ด เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ต่างๆขยับไปมา และเพื่อทำให้ค่าคงที่มากขึ้น

5.3.3 ดึงสัญญาณจากค่าผิดพลาดต่างๆ มาตั้งแจ้งเตือนในเครื่องจักร เพื่อให้เครื่องหยุดทำงานโดยทันที เมื่อเกิดความผิดปกติ

5.3.4 ปรับวงจร และอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้จริงในเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. บทความ Arduino คืออะไร? ตอนที่1 แนะนำเพื่อนใหม่ที่ชื่อ Arduino8777
แหล่งที่มา: http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/บทความ-arduino-คืออะไร-เริ่มต้นใช้งาน-arduino.html (วันที่ค้นข้อมูล: 8 สิงหาคม 2559)

2. บทความ MY Arduino
แหล่งที่มา: http://www.myarduino.net/article/4/บทความ-arduino-คืออะไร-ตอนที่2-แนะนำ-arduino-รุ่นต่างๆกัน (วันที่ค้นข้อมูล: 8 สิงหาคม 2559)

3. ประเภทและหลักการ Pressure Sensor
แหล่งที่มา: https://www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-pressure-sensor/ (วันที่ค้นข้อมูล: 15 สิงหาคม 2559)

4. วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve)
แหล่งที่มา: http://www.pneu-hyd.co.th/บทความ-นิวเมติกส์-ไฮดรอลิก/410-directional-control-valve_วาล์วควบคุมทิศทาง.html (วันที่ค้นข้อมูล: 15 สิงหาคม 2559)

5. Arduino ตอนที่ 5.5 โครงสร้างภาษา C Arduino เบื้องต้น
แหล่งที่มา: http://www.ioxhop.com/article/6/arduino-ตอนที่-5-5-โครงสร้างภาษา-c-arduino-เบื้องต้น (วันที่ค้นข้อมูล: 8 สิงหาคม 2559)

6. Solenoid Valve คืออะไร
แหล่งที่มา: http://www.a-recyclegroup.com/pages/Solenoid-Valve-คืออะไร.html (วันที่ค้นข้อมูล: 14 สิงหาคม 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

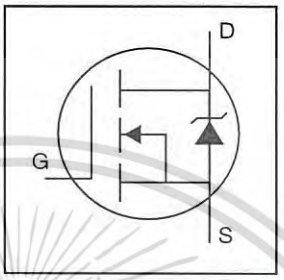
International
IOR Rectifier

PD - 91341B

IRF540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



V_{DSS} = 100V

$R_{DS(on)}$ = 44mΩ

I_D = 33A

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

TO-220AB

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	33	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	23	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	110	
P_D @T_C = 25°C	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.87	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current①	16	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy①	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	7.0	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 175	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 srew	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.15	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V_{GS} = 0V, I_D = 250μA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D = 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	44	mΩ	V_{GS} = 10V, I_D = 16A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250μA
g_{fs}	Forward Transconductance	21	—	—	S	V_{DS} = 50V, I_D = 16A④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V
		—	—	250		V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS} = -20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	71	nC	I_D = 16A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	14		V_{DS} = 80V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	21		V_{GS} = 10V, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	11	—	ns	V_{DD} = 50V
t_r	Rise Time	—	35	—		I_D = 16A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	39	—		R_G = 5.1Ω
t_f	Fall Time	—	35	—		V_{GS} = 10V, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	1960	—	pF	V_{GS} = 0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	250	—		V_{DS} = 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	40	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②	—	700⑤	185⑥	mJ	I_{AS} = 16A, L = 1.5mH

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	33	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode)①	—	—	110		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	T_J = 25°C, I_S = 16A, V_{GS} = 0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	115	170	ns	T_J = 25°C, I_F = 16A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	505	760	nC	di/dt = 100A/μs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② Starting T_J = 25°C, L =1.5mH R_G = 25Ω, I_{AS} = 16A. (See Figure 12)

③ I_{SD} ≤ 16A, di/dt ≤ 340A/μs, V_{DD} ≤ $V_{(BR)DSS}$, T_J ≤ 175°C

④ Pulse width ≤ 400μs; duty cycle ≤ 2%.

⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.

⑥ This is a calculated value limited to T_J = 175°C .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

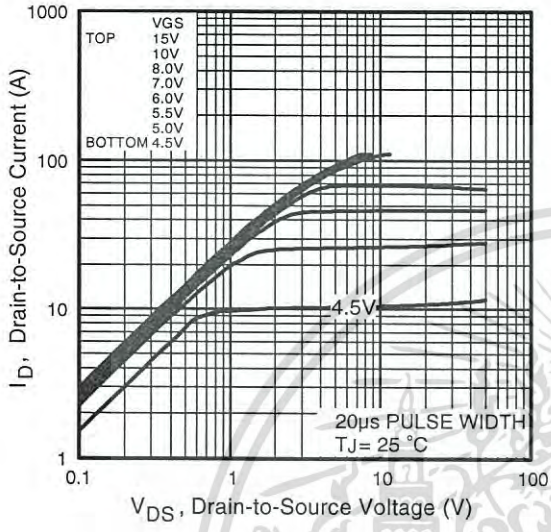


Fig 1. Typical Output Characteristics

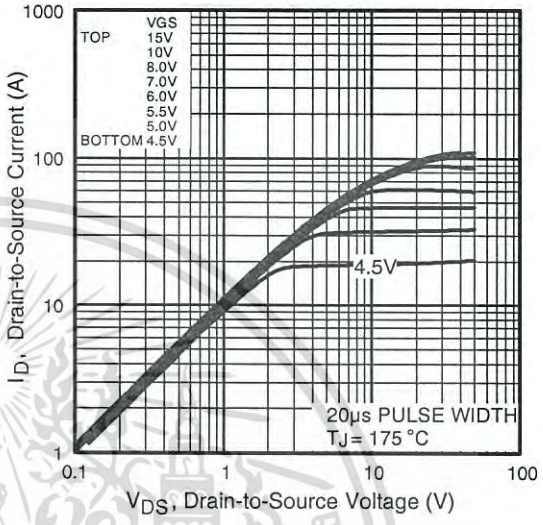


Fig 2. Typical Output Characteristics

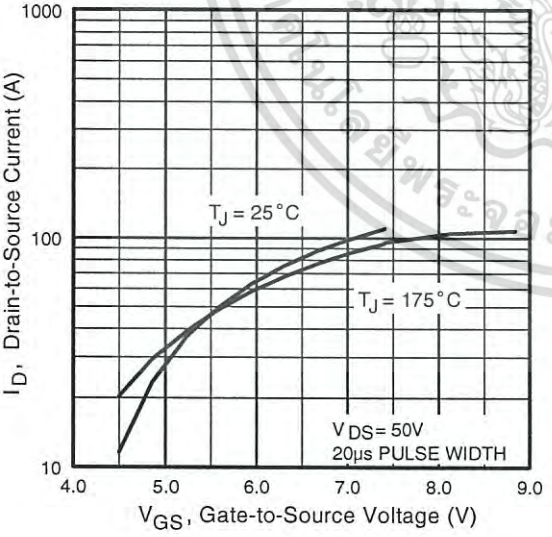


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

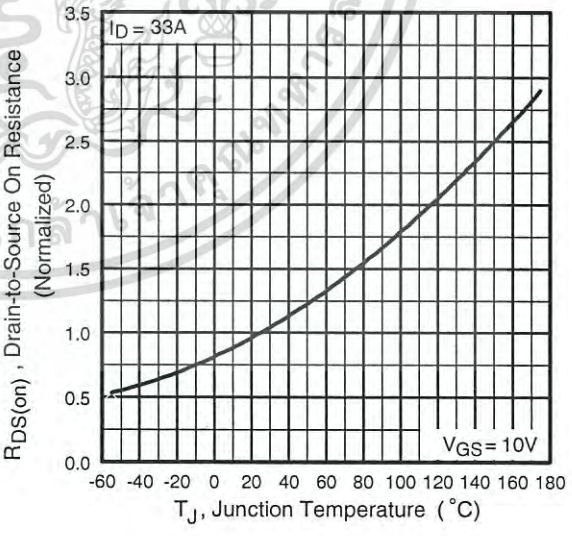


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

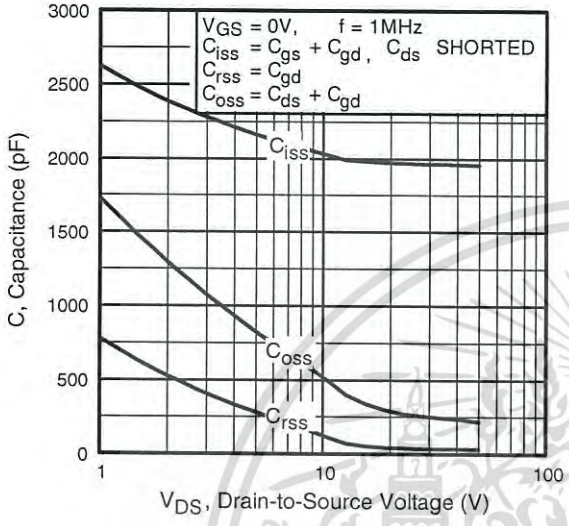


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

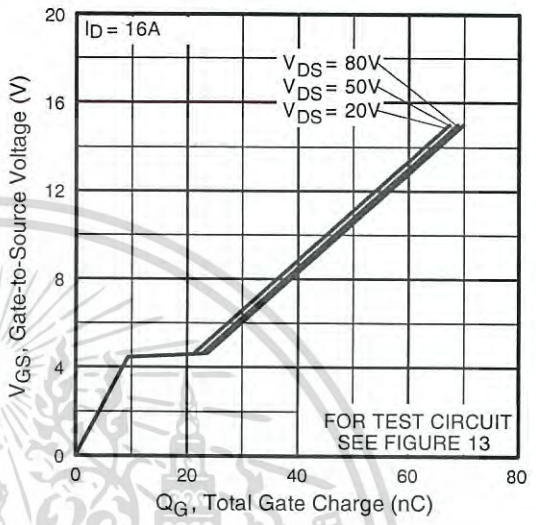


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

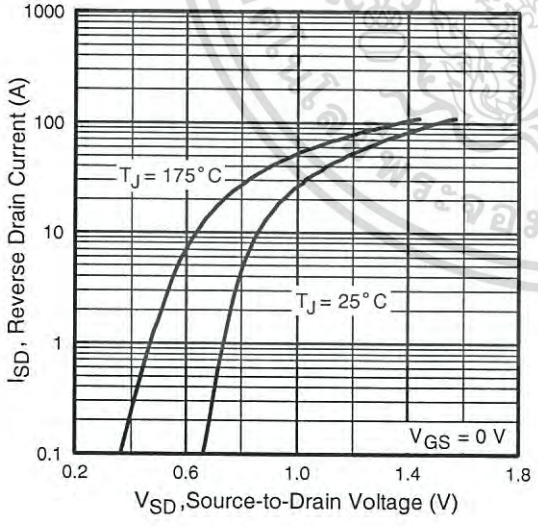


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

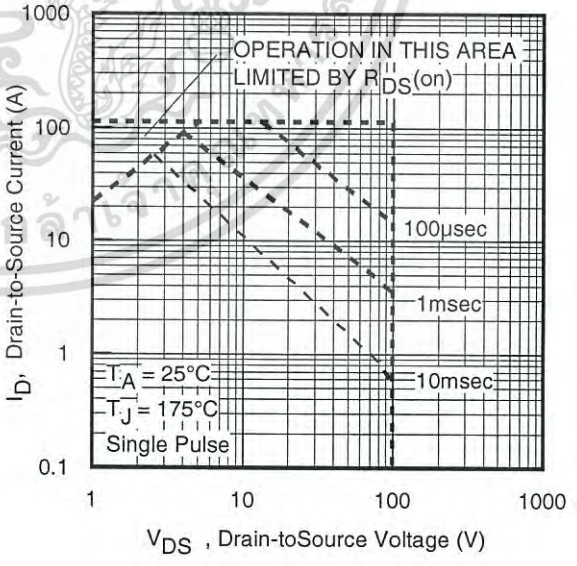


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

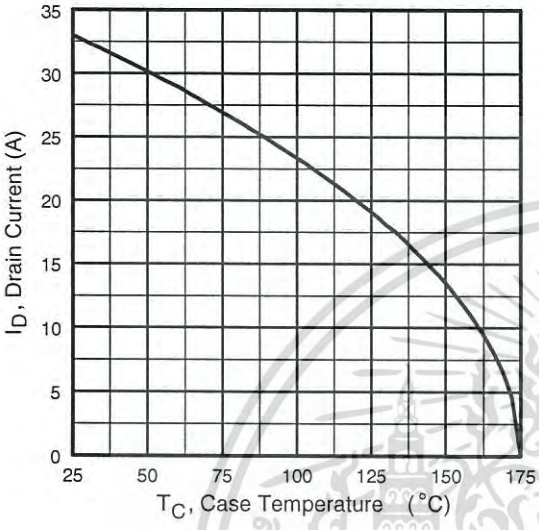


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

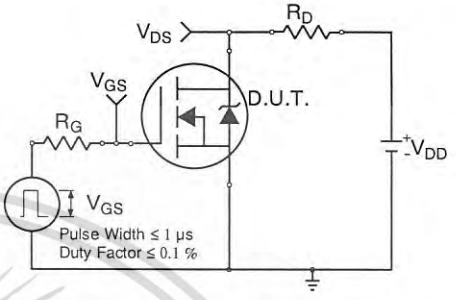


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

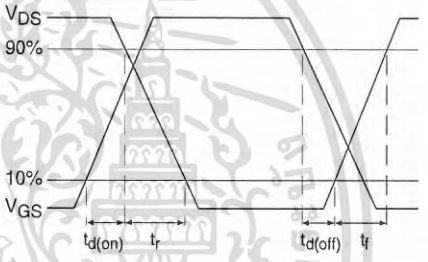


Fig 10b. Switching Time Waveforms

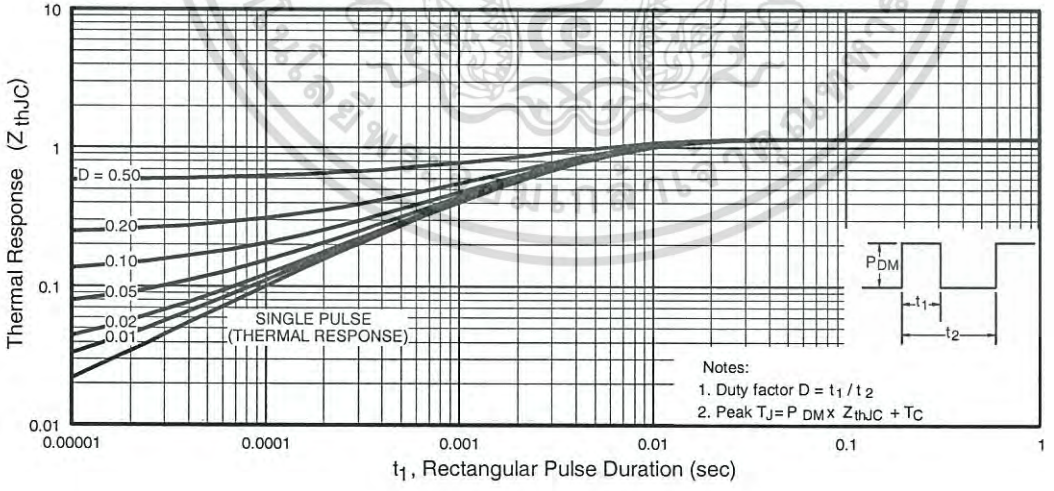


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

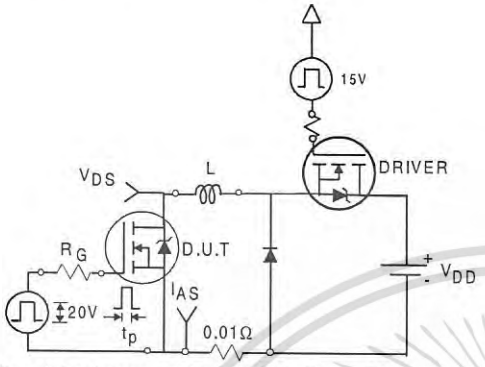


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

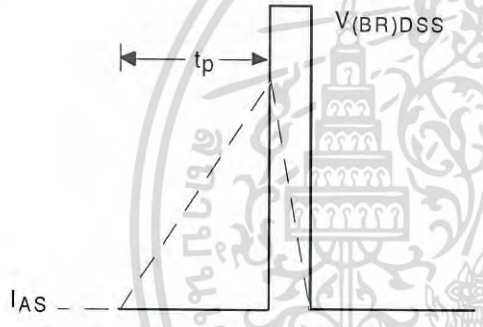


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

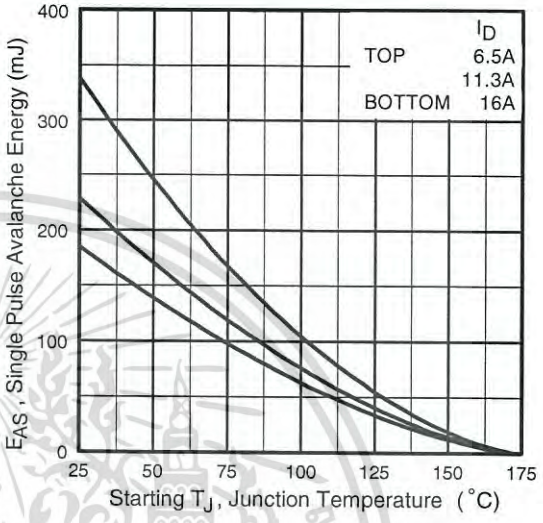


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

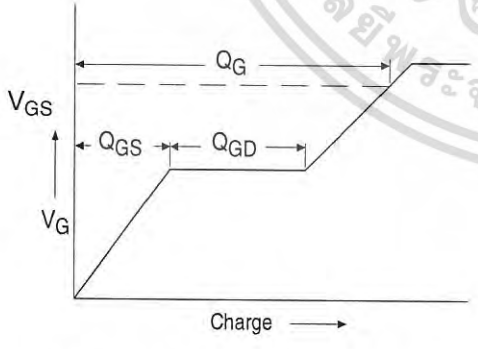


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

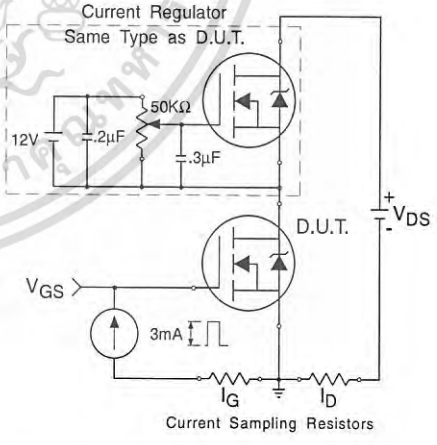
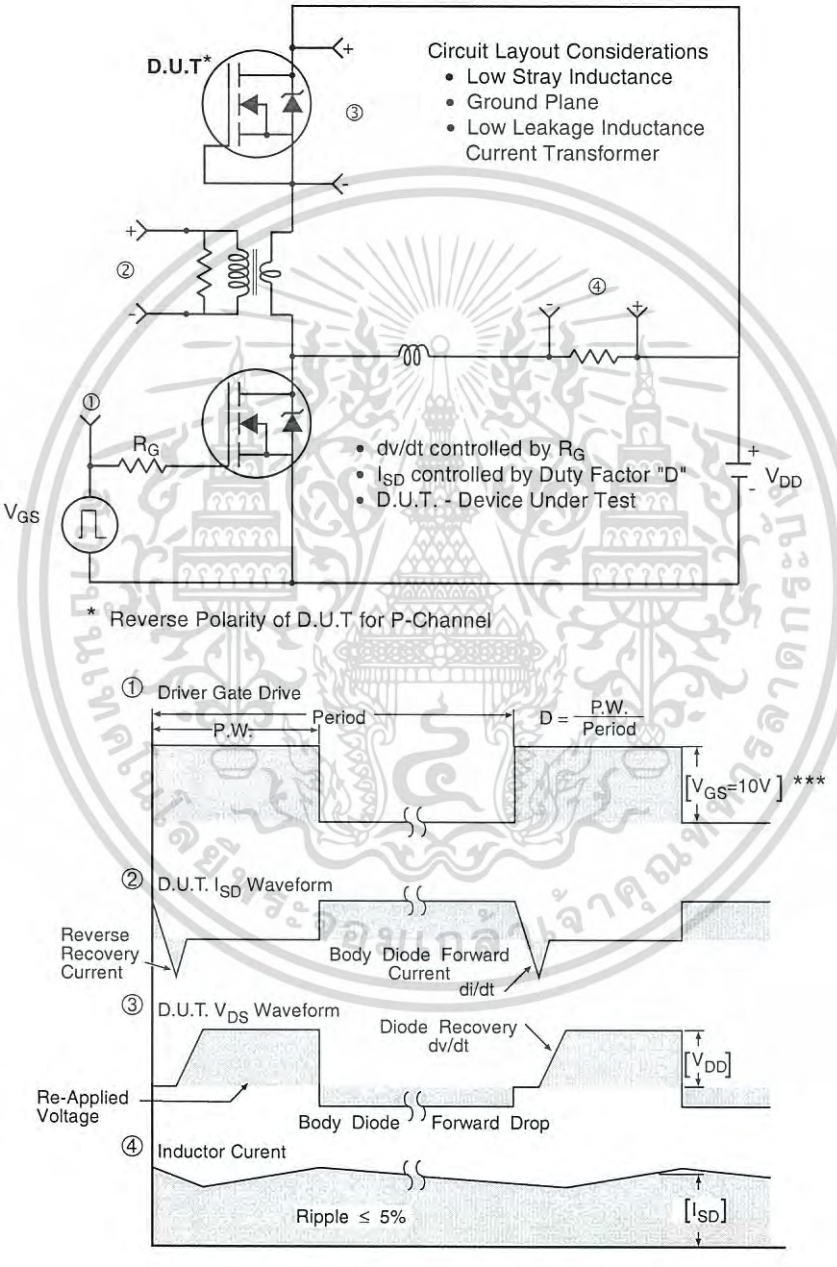


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit



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

Fig 14. For N-channel HEXFET® power MOSFETs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

MPX5500 SERIES

INTEGRATED PRESSURE SENSOR
0 to 500 kPa (0 to 72.5 psi)
0.2 to 4.7 Volts Output

The MPX5500 series piezoresistive transducer is a state–of–the–art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin–film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

Features

- 2.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally suited for Microprocessor or Microcontroller–Based Systems
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Durable Epoxy Unibody Element
- Available in Differential and Gauge Configurations

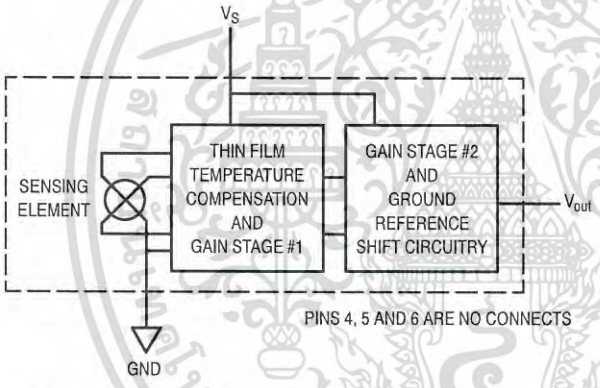
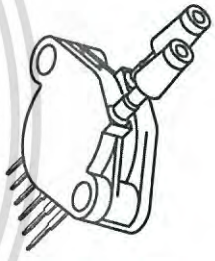


Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

MPX5500D
CASE 867



MPX5500DP
CASE 867C

PIN NUMBER			
1	V_{out}	4	N/C
2	Gnd	5	N/C
3	V_S	6	N/C

NOTE: Pins 4, 5, and 6 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 1 is noted by the notch in the lead.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

© Motorola, Inc. 2001

MAXIMUM RATINGS(1)

Parametrics	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure(2) (P2 ≤ 1 Atmosphere)	$P1_{max}$	2000	kPa
Storage Temperature	T_{stg}	–40° to +125°	°C
Operating Temperature	T_A	–40° to +125°	°C

NOTES:
1. Maximum Ratings apply to Case 867 only. Extended exposure at the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.
2. This sensor is designed for applications where P1 is always greater than, or equal to P2. P2 maximum is 500 kPa.

OPERATING CHARACTERISTICS (V_S = 5.0 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2. Decoupling circuit shown in Figure 4 required to meet electrical specifications.)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range(1)		P_{OP}	0	—	500	kPa
Supply Voltage(2)		V_S	4.75	5.0	5.25	Vdc
Supply Current		I_o	—	7.0	10.0	mAdc
Zero Pressure Offset(3)	(0 to 85°C)	V_{off}	0.088	0.20	0.313	Vdc
Full Scale Output(4)	(0 to 85°C)	V_{FSO}	4.587	4.70	4.813	Vdc
Full Scale Span(5)	(0 to 85°C)	V_{FSS}	—	4.50	—	Vdc
Accuracy(6)		—	—	—	±2.5	$\%V_{FSS}$
Sensitivity		V/P	—	9.0	—	mV/kPa
Response Time(7)		t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output		I_o+	—	0.1	—	mAdc
Warm–Up Time(8)		—	—	20	—	ms

NOTES:
1. 1.0kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
2. Device is ratiometric within this specified excitation range.
3. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
4. Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at full rated pressure.
5. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
6. Accuracy (error budget) consists of the following:
   - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
   - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
   - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from minimum or maximum rated pressure at 25°C.
   - TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
   - TcOffset: Output deviation with minimum pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
   - Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{FSS} at 25°C.
7. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
8. Warm–up Time is defined as the time required for the device to meet the specified output voltage after the pressure has been stabilized.

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Typ	Unit
Weight, Basic Element (Case 867)	4.0	grams

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3 illustrates the Differential/Gauge basic chip carrier (Case 867). A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the sensor diaphragm. (For use of the MPX5500D in a high pressure, cyclic application, consult the factory.)

The MPX5500 series pressure sensor operating characteristics, and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media, other than dry air, may have adverse effects on sensor performance and long–term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

Figure 2 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum, and maximum output curves are shown for operation over a temperature range of 0° to 85°C using the decoupling circuit shown in Figure 4. The output will saturate outside of the specified pressure range.

Figure 4 shows the recommended decoupling circuit for interfacing the output of the integrated sensor to the A/D input of a microprocessor or microcontroller. Proper decoupling of the power supply is recommended.

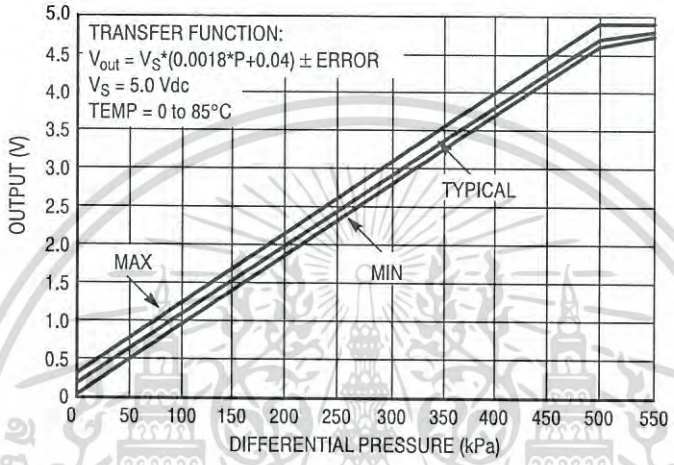


Figure 2. Output versus Pressure Differential

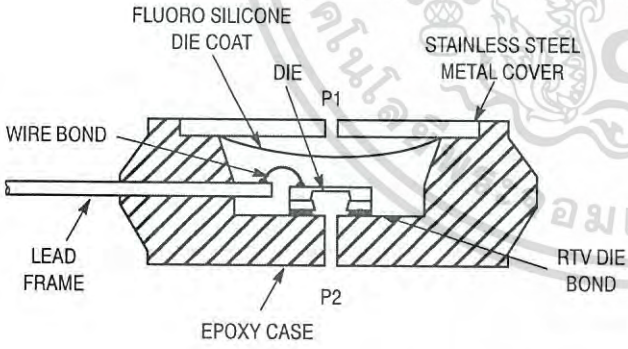


Figure 3. Cross–Sectional Diagram (Not to Scale)

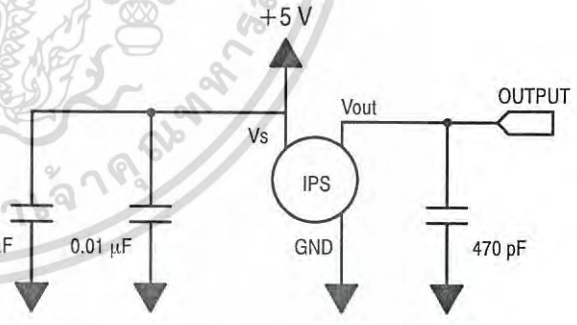


Figure 4. Recommended power supply decoupling and output filtering.
For additional output filtering, please refer to Application Note AN1646.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Motorola designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing fluorosilicone gel which protects the die from the environment. The Motorola MPX pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied, P1 > P2.

The Pressure (P1) side may be identified by using the Table below:

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX5500D	867	Stainless Steel Cap
MPX5500DP	867C	Side with Part Marking

ORDERING INFORMATION

Device Name	Options	Case Type	MPX Series	
			Order Number	Device Marking
Basic Element	Differential	867	MPX5500D	MPX5500D
Ported Elements	Differential Dual Ports	867C	MPX5500DP	MPX5500DP

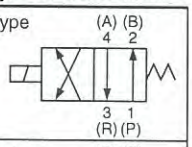
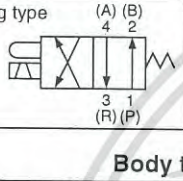
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 Port Solenoid Valve
Direct Operated Poppet Type
Series VQD1000 CE

How to Order Valves

VQD1 1 5 1 □ – 5 L – □ – □

Type of actuation

1	Single type	
2	Latching type	

Body type

2	Body ported (Single unit)
3	Body ported (Manifold)
5	Base mounted

Note) Latching type: Base mounted type only.

Valve option

Nil	Standard
V	Vacuum
U	For large flow(1)
W	For large flow, vacuum(1)

Note 1) Latching type: U and W only
Note 2) Latching type (-COM): NU and NW

Rated voltage

5	24 VDC
6	12 VDC

Note) Latching type: 24 VDC only

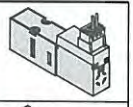
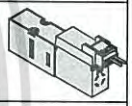
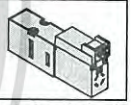
Made to Order

X16	Fluid-contact part: Oil-free

Port size

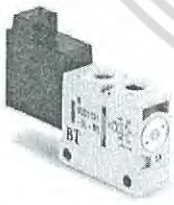
Body ported	M5	M5 thread
Base mounted	Nil	Without sub-plate (Manifold)
	M5	M5 thread

Electrical entry

L: Plug lead type L plug connector, With lead wire With light/surge voltage suppressor	
LO: Plug lead type L plug connector, Without connector With light/surge voltage suppressor	
M: Plug lead type M plug connector, With lead wire With light/ surge voltage suppressor	
MO: Plug lead type M plug connector, Without connector With light/surge voltage suppressor	

Note) When you expect to energize the unit for extended periods of time, refer to page 3 for details.

L plug connector
Base mounted


L plug connector
Body ported

M plug connector
Base mounted

M plug connector
Body ported

Standard Specifications

Item			Standard single type (2W)	Large-flow single type (3.2W·Energy saving type)	Large-flow latching type (2W)
Valve specifications	Valve construction		4 port direct operated poppet valve		
	Fluid		Air/Inert gas		
	Maximum operating pressure		0.7 MPa		
	Minimum operating pressure/Vacuum		0 MPa / –101.2 kPa		
	Response time(1)		ON: 4ms, OFF: 2ms		10ms or less
	Ambient and fluid temperature		–10 to 50°C (2)		
	Lubrication		Not required		
	Manual override		Non-locking push type		Locking type
	Shock/Vibration resistance(3)		150/30 m/s²		
	Mounting position		Unrestricted		
	Enclosure		Dust tight		
	Mass		34 g		37 g
Electricity specifications	Coil rated voltage	DC	24 V, 12 V		24 DC
	Allowable voltage fluctuation		±10% of rated voltage		
	Coil insulation type		Class B or equivalent		
	Power consumption	DC	2 W	3.2 W (Energy saving type) (Inrush: 3.2 W, Holding: 2.4 W)	2 W
	Electrical entry		L plug connector, M plug connector (With indicator light and surge voltage suppressor)		

Note 1) Based on JIS B 8375-1981. Factor: With light/surge voltage suppressor (Use clean air). Dispersion accuracy: ±1 ms
Note 2) Operating the valve at low temperatures may cause condensate to form, therefore dry air must be used.
Note 3) Impact resistance: No malfunction occurred when it is tested with a drop tester in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature in both energized and de-energized states every once for each condition. (Values at the initial period)
Vibration resistance: No malfunction occurred in a one-sweep test between 45 and 2000 Hz. Test was performed at both energized and de-energized states in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature. (Values at the initial period)

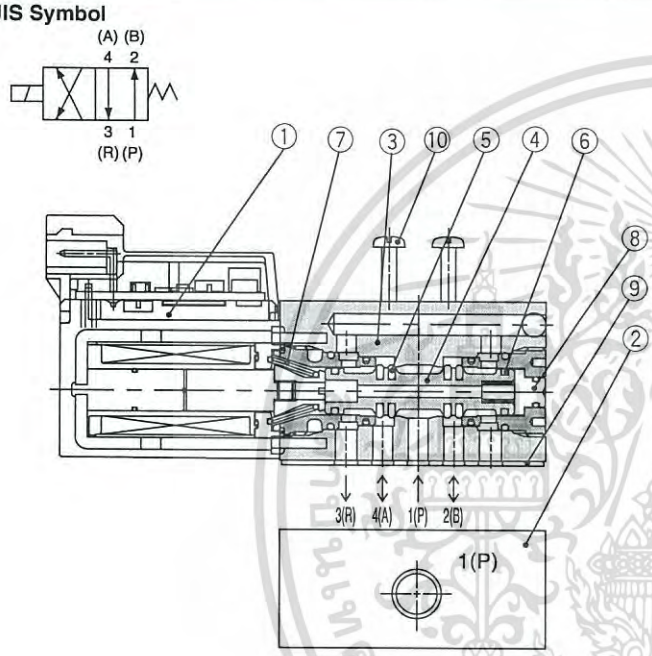
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต

Flow Characteristics

Valve model		Port size	Flow characteristics					
			1 → 4/2 (P → A/B)			4/2 → 5/3 (A/B → EA/EB)		
			C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	C [dm³/(s·bar)]	b	Cv
Body ported	VQD1121-□$^{L}_{M}$-M5	M5 x 0.8	0.22	0.16	0.05	0.19	0.31	0.05
	VQD1121$^{U}_{W}$-□$^{L}_{M}$-M5		0.27	0.24	0.07	0.28	0.28	0.07
Base mounted (With sub-plate)	VQD1151-□$^{L}_{M}$-M5		0.22	0.10	0.05	0.22	0.31	0.06
	VQD1$^{1}_{2}$51$^{U}_{W}$-□$^{L}_{M}$-M5		0.27	0.25	0.07	0.27	0.28	0.07

Construction

JIS Symbol



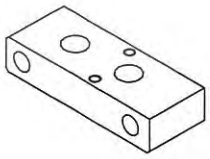
Component Parts (Single Type)

No	Description	Material	Note
1	Solenoid coil assembly	—	
2	Sub-plate	Aluminum	VQD1000-S-M5 (Base mounted only)
3	Body	ZDC	
4	Spool valve	Aluminum	
5	Poppet	HNBR	
6	Guide ring	Resin	
7	Return spring	Stainless steel	
8	Manual override	Aluminum	
9	Gasket	HNBR	VQD1000-9-1H
10	Round head combination screw	Steel	AXT632-7-13 (M1.7 x 18)

Note) Body cannot be disassembled.

Valve Single Unit Option

Piping plate assembly
VQD1000-20A



Manifold type (VQD1131) can be changed to single unit type (VQD1121) by mounting plate assembly.

Note) Plate should be mounted with manifold mounting screws (M1.7 x 20).
Proper tightening torque of thread: 0.18 to 0.25 N·m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

How to Order Manifold

Plug lead unit manifold

VV4QD1 5 – □ □

Manifold

2	Body ported
5	Base mounted

Valve station

02	2 stations
⋮	⋮
20	20 stations (Max.)

Cylinder port (Base mounted only)

M5	M5 thread
C4	One-touch fitting for ø4

1(P), 3(R) port: Rc 1/8

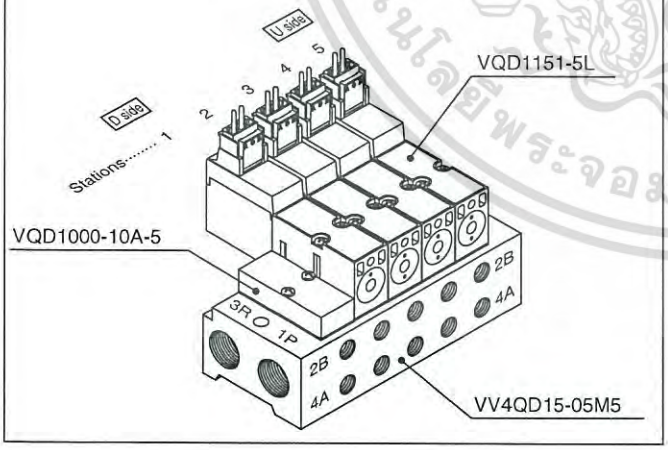
How to Order Manifold Assembly

Specify the part numbers for valves and options together beneath the manifold base part number.

<Example>
Plug lead unit manifold
VV4QD15-05M5····· 1 set —— Manifold base part no.
*VVQD1000-10A-5····1 set —— Blanking plate part no. (1st station)
*VQD1151-5L·····4 sets — Valve part no. (2 to 5th station)

→ Prefix the asterisk to the part nos. of the solenoid valve, etc.

Enter in order starting from the first station on the D side.←



How to Order Valves

VQD1 1 5 1 □ – 5 L – M5

Type of actuation

1	Single type
2	Latching type

Body type

3	Body ported
5	Base mounted

Note) Latching type: Base-mounted type only.

Valve option

Nil	Standard (2W)
V	Vacuum (2 W)
U Note)	For large flow (3.2 W)
W Note)	For large flow, vacuum (3.2 W)

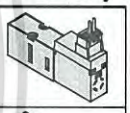
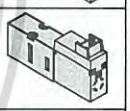
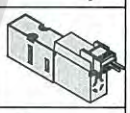
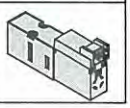
Note 1) Latching type: U and W only
Note 2) Latching type (-COM): NU and NW

Rated voltage

5	24 VDC
6	12 VDC

Note) Latching type: 24 VDC only

Electrical entry

L: Plug lead type L plug connector, With lead wire With light/surge voltage suppressor	
LO: Plug lead type L plug connector, Without connector With light/surge voltage suppressor	
M: Plug lead type M plug connector, With lead wire With light/surge voltage suppressor	
MO: Plug lead type M plug connector, Without connector With light/surge voltage suppressor	

Port size (Body ported only)

M5	M5 thread

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Series VQD1000
Specific Product Precautions 1

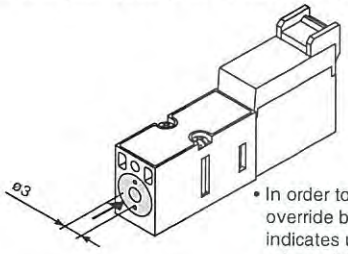
Be sure to read before handling. Refer to front matters 58 and 59 for Safety Instructions and pages 3 to 7 for 3/4/5 Port Solenoid Valve Precautions.

Manual Override Operation

⚠ Warning

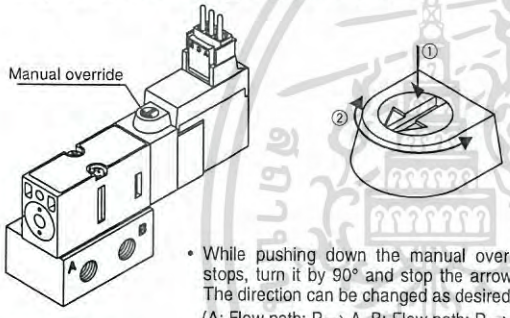
Connected actuator is started by manual operation. Use the manual override after confirming that there is no danger.

■Single type: Non-locking push type (Tool required)



- In order to turn it ON, push down the manual override button in the direction the arrow (→) indicates until it stops (approx. 0.5 mm), and release it to turn it OFF.

■Latching type: Locking type (Tool required)



Manual override-free position

- While pushing down the manual override until it stops, turn it by 90° and stop the arrow at A or B. The direction can be changed as desired.
  (A: Flow path: P → A, B: Flow path: P → B)
- The manual override is in the locked state when it is released.
- The locking will be released and the manual override will return, when it is returned to the free position.

Note) Be sure to release the locking before starting the normal operation.

Continuous Energization

⚠ Warning

- **Coil temperature may get high due to ambient temperature or energizing duration. Do not touch the valve by hand directly. When there is such a dangerous case to be touched by hands directly, install a protective cover.**
- **When you expect to energize the single type for extended periods of time, refer to page 3 for details.**
- **The latching type should not be energized over 30 seconds. Be sure to wait more than you energize the unit (both A and B should be turned off.) before you move on to the next operation.**
- **When it is the manifold and the adjacent valve is continuously energized, align them so that they would be energized or de-energized alternately.**

Mounting of Valves

⚠ Caution

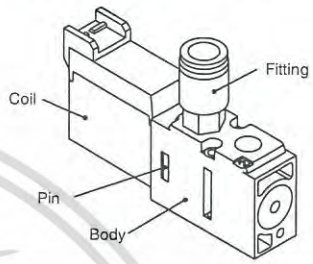
- **After confirming the gasket is correctly placed under the valve, securely tighten the bolts with the proper torque shown in the table below.**

Proper tightening torque (N·m)
0.18 to 0.25

Mounting of Valves

⚠ Caution

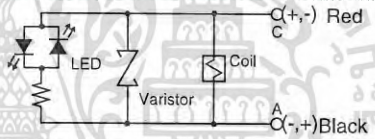
- **When tighten the piping, clamp the body part in order not to apply force to coil. (Latching: 50 N or more) If you apply force over 120 N to coil, connection pins deform, which may cause malfunction.**



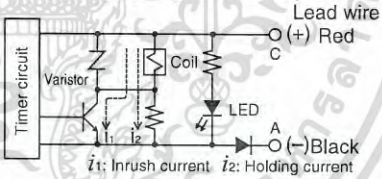
Wiring Specifications

⚠ Caution

- **Single type (Standard: 2 W)**



- **Single type (Large flow: 3.2 W)**



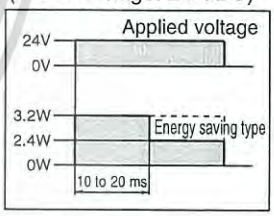
i_1: Inrush current i_2: Holding current

Note) Coil surge voltage generated when OFF is about 60 V. Please consult with SMC when you need to reduce the surge voltage.

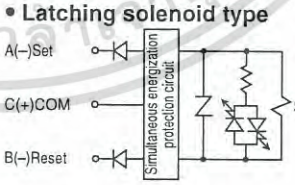
3.2 W type (Energy saving type) reduces current consumption at holding which reduces the overall power consumption using the circuit shown in the left figure. Refer to the energy saving type's electrical power waveform below.

<Energy saving type's electrical power waveform>

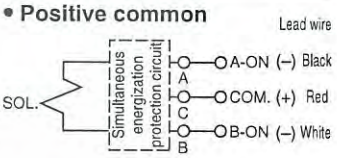
(Rated voltage: 24 VDC)



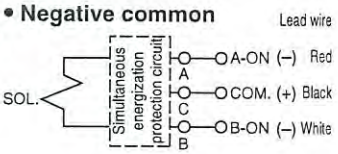
- **Latching solenoid type**



- **Positive common**



- **Negative common**



- **How to order connector assembly**

DC positive common
- Single **AXT661-14A-□**
- Latching **AXT661-13A-□**

DC negative common
- Latching **AXT661-13AN-□**

Connector and socket (3 pcs.) only **AXT661-12A**

- **Lead wire length**

Nil	300 mm
6	600 mm
10	1000 mm
20	2000 mm
30	3000 mm

- **Plug connector lead wire length**

Lead wire length of plug connector valve with lead wire is 300 mm. When ordering a valve with a lead wire of 600 mm or longer, be sure to indicate the model number of the valve without connector and connector assembly.

เอกสารนี้ใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Series VQD1000
Specific Product Precautions 2

Be sure to read before handling. Refer to front matters 58 and 59 for Safety Instructions and pages 3 to 7 for 3/4/5 Port Solenoid Valve Precautions.

Latching

⚠Caution

Latching Type

The latching is equipped with a self-holding mechanism, which permits a movable iron core in the solenoid to hold the set (A-ON) and reset (B-ON) positions during momentary energization (50 ms or longer). Therefore, there is no need to energize continuously.

< Special Cautions for Latching>

1. Use in a circuit that does not have simultaneous energization of A-ON and B-ON signals.
2. The minimum energization time required for self-holding is 50 ms.
3. Although there is no problem for normal operations and environments, please consult SMC when operating in an environment with vibration (10G or more) or strong magnetic fields.
4. When there is the magnetic body at the valve side, it may cause malfunction.
   Allow a space over 10 mm between the valve and magnetic body.
5. Even though this valve is held on to B-ON position (passage: P → B), it may switch to the set position during transportation or due to impact when mounting valves, etc.
   Therefore, check the initial position by means of power supply or manual override prior to use.

Energization			Passage	Light color
A-ON (Set)	A (–) Black	B (+) Red	P → A (B → R)	Orange
B-ON (Reset)	B (–) White	C (+) Red	P → B (A → R)	Green

Note) For positive common

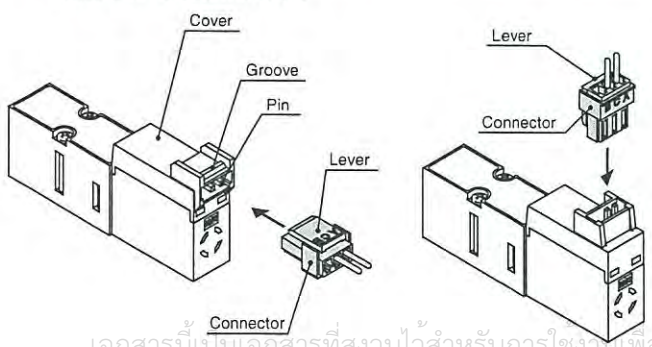
How to Use Plug Connector

⚠Caution

Attaching and detaching connectors

- To attach a connector, hold the lever and connector unit between your fingers and insert straight onto the pins of the solenoid valve so that the lever's pawl is pushed into the groove and locks.
- To detach a connector, remove the pawl from the groove by pushing the lever downward with your thumb, and pull the connector straight out.

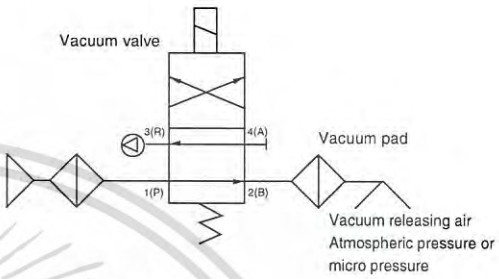
Note) GENTLY pull the lead wire, otherwise it may cause contact failure or disconnection.



How to Use the Valve for Vacuum Applications (When used as a 3 port valve)

⚠Caution

Application example of "VQD1$\frac{1}{2}\frac{2}{5}\frac{3}{}1_W^V$"
(Symbols used are typical examples.)



- Use a VQD1$\frac{1}{2}\frac{2}{5}\frac{3}{}1_W^V$ valve for vacuum applications.
  Connect the vacuum source to the 3(R) port.
  * Air pressure cannot be applied to the 3(R) port.
- When used as a 3 port valve, conversion from N.O. to N.C. and vice versa is possible by plugging either port 4(A) or 2(B).
  * Cannot be used as 2 port valve.

How to Calculate the Flow Rate

For obtaining the flow rate, refer to front matters 44 to 47.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Series 10-VQD1000

4 port direct operated poppet solenoid valve

How to Order Valves

Clean series

Body type
2 — Body ported (Single unit)
5 — Base mounted

Valve option
Nil — Standard (2W)
V — Vacuum (2W)
* **U** — For large flow (3.2W)
* **W** — For large flow, Vacuum (3.2W)
* Power saving style

Rated voltage
5 — 24 VDC
6 — 12 VDC
* Please consult with SMC for other voltages.

10 - VQD11 [5] 1 [U] - [5] [L] - [M5]

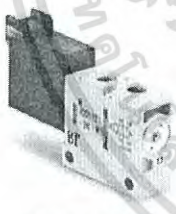
Electrical entry
L — L plug connector, With lead wire
LO — L plug connector, Without lead wire
M — M plug connector, With lead wire
MO — M plug connector, Without lead wire

Port size
Body ported — M5 x 0.8 thread
Base mounted — M5 x 0.8 (with sub-plate)
Note) No "Nil".

L plug connector
Base mounted

L plug connector
Body ported

M plug connector
Base mounted

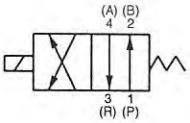

M plug connector
Body ported

Standard specifications

Items		Type	Standard type (2W)	Large flow type (3.2 W / Energy saving type)
Valve specifications	Valve construction		4 port direct operated poppet valve	
	Fluid		Air/Inert gas	
	Maximum operating pressure		0.7MPa	
	Minimum operating pressure / Vacuum		0MPa/10Torr	
	Response time Note 1)		ON:4ms,OFF:2ms	
	Ambient and fluid temperature		−10 to 50°C Note 2)	
	Lubrication		Not required	
	Manual override		Non-locking push type	
	Impact / Vibration resistance Note 3)		150/30m/s²	
	Mounting orientation		Unrestricted	
	Enclosure		Dust tight	
	Weight		34g (without sub-plate)	
Electrical specification	Coil rated voltage	DC	24V,12V	
	Allowable voltage fluctuation		±10% of rated voltage	
	Coil insulation type		Equivalent to class B	
	Power consumption	DC	2W	3.2 W (Energy saving type) (Inrush 3.2 W, Holding 2W)
	Electrical entry		L plug connector, M plug connector With light/surge voltage suppressor	

Note 1) Based on JIS B 8375-1981. With light/surge voltage suppressor (Use clean air). Dispersion accuracy: ±1 ms.
Note 2) Use dry air to prevent condensation when operating at low temperatures.
Note 3) Impact resistance: No malfunction occurred when it is tested with a drop tester in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature in both energized and de-energized states every once for each condition. (Initial value)
Vibration resistance: No malfunction occurred in one sweep between 8.3 and 2000Hz. Test was performed in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature in both energized and de-energized states. (Initial value)

Symbol



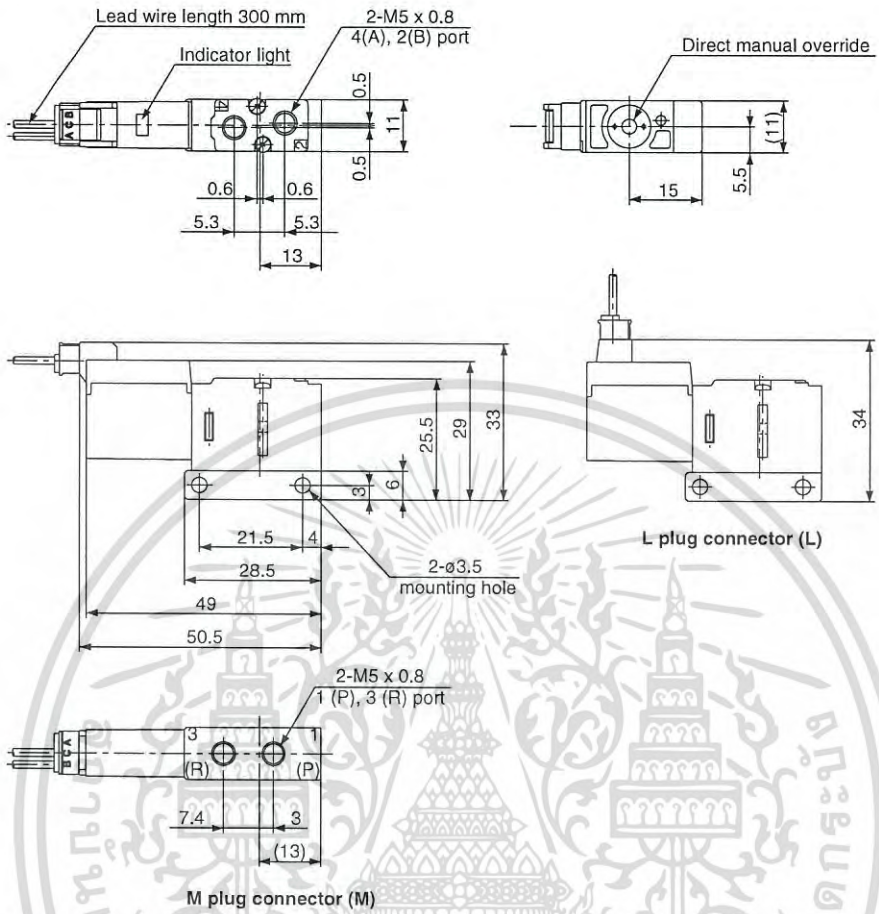
Flow characteristics

Valve model		Port size	Flow characteristics 1→4/2(P→A/B) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	4/2→5/3(A/B→EA/EB) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv
Body ported	10-VQD1121-□$^{L}_{M}$-M5	M5 x 0.8	0.22	0.16	0.05	0.19	0.31	0.05
	10-VQD1121$^{U}_{W}$-□$^{L}_{M}$-M5		0.27	0.24	0.07	0.28	0.28	0.07
Base mounted (With sub-plate)	10-VQD1151-□$^{L}_{M}$-M5		0.22	0.10	0.05	0.22	0.31	0.06
	10-VQD1151$^{U}_{W}$-□$^{L}_{M}$-M5		0.27	0.25	0.07	0.27	0.28	0.07

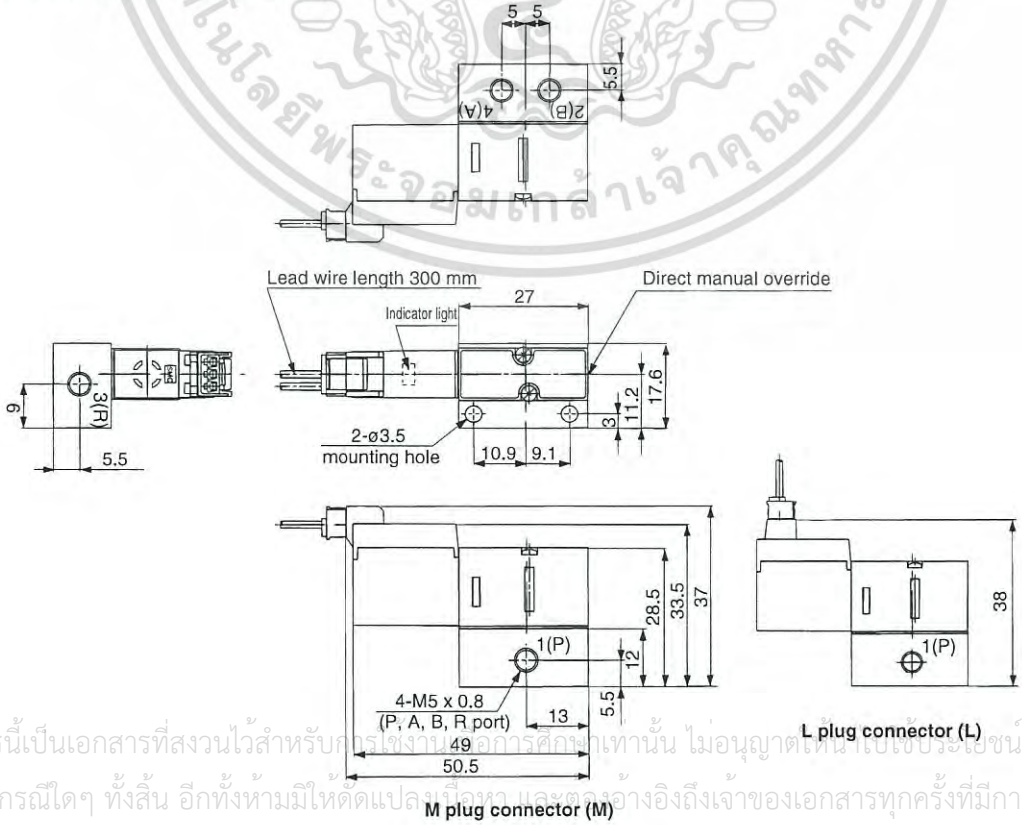
เอกสารนี้ใช้สำหรับการศึกษาเพื่อการใช้งานส่วนบุคคลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การจำหน่าย หรือการแสวงหาผลประโยชน์ในรูปแบบอื่นใด หากมีไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ต้องขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ก่อนทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensions

L plug connector: 10-VQD1121□-□L-M5
M plug connector: 10-VQD1121□-□M-M5



L plug connector: 10-VQD1151□-□L-M5
M plug connector: 10-VQD1151□-□M-M5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Manifold specifications

How to Order

10 - VV4QD1 [5] - [ ] [ ]

Clean series

Manifold type
2 — Body ported
5 — Base mounted

Valve stations
02 — 2 stations
⋮ ⋮
20 — 20 stations (Maximum)

Port size
M5 — M5 x 0.8
C4 — ø4 cassette
Note) 1(P), 3(R) ports: Rc1/8.

How to Order Valves

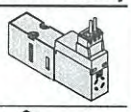
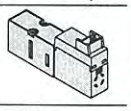
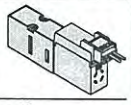
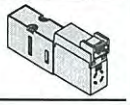
10 - VQD11 [5] 1 [ ] - [5] [L] - M5

Clean series

Body type
3 — Body ported
5 — Base mounted

Valve option
Nil — Standard (2 W)
V Note) — Vacuum (2 W)
U Note) — For large flow (3.2 W)
W — For large flow, Vacuum (3.2 W)
Note) Energy saving type

Rated voltage
5 — 24 VDC
6 — 12 VDC

Electrical entry	
L: Plug lead type L plug connector, With lead wire With light/surge voltage suppresser	
LO: Plug lead type L plug connector, Without connector With light/surge voltage suppresser	
M: Plug lead type M plug connector, With lead wire With light/surge voltage suppresser	
MO: Plug lead type M plug connector, Without connector With light/surge voltage suppresser	

Port size (Body ported only)
M5 — M5 thread

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. ชื่อ – สกุล	นางสาว ดลฤดี บุญชู MISS DONRUDEE BUNCHOO
วัน เดือน ปี เกิด	13 กันยายน พ.ศ.2537
ที่อยู่ปัจจุบัน	140/12 ต.บางขุนกอง อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130
E-mail	donrudee_b@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ.2559 (ฝึกงาน และฝึกงานสหกิจ) บริษัท ยูแทคไทย เลขที่ 237 ถนน ลาซาน แขวง บางนา เขต บางนา จังหวัด กรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 10260

2. ชื่อ – สกุล	นางสาว นฤมล จงประสิทธิ์ MISS NARUMOL JONGPRASIT
วัน เดือน ปี เกิด	10 ตุลาคม พ.ศ. 2537
ที่อยู่ปัจจุบัน	102/90 ต.บางเลน อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี 11140
E-mail	aomaom_19@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ.2559 (ฝึกงาน และฝึกงานสหกิจ) บริษัท ยูแทคไทย เลขที่ 237 ถนน ลาซาน แขวง บางนา เขต บางนา จังหวัด กรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์ 10260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้