รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบ ติดตั้งและปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ
INSTALLATION OF SEMI-AUTOMATIC MACHINING LINE

นภนต์ โกมลมิศร์

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบ ติดตั้งและปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ

INSTALLATION OF SEMI-AUTOMATIC MACHINING LINE

นภนต์ โกมลมิศร์

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงงาน	การออกแบบ ติดตั้งและปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ
นักศึกษา	นายนภนต์ โกมลมิศร์
ภาควิชา	วิศวกรรมการวัดและควบคุม
อาจารย์นิเทศ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร นพดล มณีรัตณ์
ผู้นิเทศงาน	นายวัชรพงศ์ ศกุนตานุรัตน์
สถานประกอบการ	บริษัท ทีบีเค เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการวางแผน การออกแบบ การประกอบเครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งสวม (Wear indicator grinding machine) ของบริษัท ทีบีเค เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด การออกแบบจำเป็นต้องปรับและเป็นไปตามกำหนดและกำหนดเวลา โดยในข้อกำหนด เครื่องจักรดังกล่าวจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนแม่พิมพ์หมุนได้ หัวเจียร และกระบอกสูบ ซึ่งแท่นแม่พิมพ์หมุนนั้นจำเป็นต้องควบคุมความเร็วการหมุนและทิศทางได้ รวมถึงการหยุดที่แม่นยำ โดยต้องหยุดเมื่อแม่พิมพ์หมุนกลับมาตรงมาที่ช่องบรรจุชิ้นงาน หัวเจียร หัวเจียรดังกล่าวจะต้องหมุนในแนวระนาบด้วยความเร็วสูง ความเร็วสม่ำเสมอในทุกช่วงเวลาใช้งาน ส่วนสุดท้าย กระบอกสูบจะต้องทำงานก็ต่อเมื่อแม่พิมพ์หันมาทางช่องบรรจุชิ้นงานแล้วเท่านั้น โดยสั่งทำงานด้วยปุ่มกดเท่านั้น โดยข้อกำหนดทั้งหมดที่กล่าวมา จะต้องใช้องค์ความรู้และอุปกรณ์ที่มีมาดัดแปลง ออกแบบ และทำขึ้นมาใหม่ตามความต้องการของบริษัท โดยเครื่องจักรดังกล่าวจะถูกควบคุมโดยโปรแกรม พีแอลซี ที่ดัดแปลงมาจากกระบวนการผลิตเก่า ผู้ติดตั้งต้องวางแผนติดตั้งปรับปรุง แก้ไขด้วยตัวเอง รวมถึงการติดตามการทำงานและทำคู่มือตามหลักวิศวกรรมศาสตร์เพื่อเกิดผลลัพธ์ที่ดียิ่งยวด

คำสำคัญ : เครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งสวม

Project Title:	Installation of Semi-Automatic Machining Line
Student:	Mr. Naphon Komolmis
Department:	Instrumentation and Control Engineering
Advisor:	Assistant Professor Dr.Noppadol Maneerat
Mentor:	Mr. Whatcharapong Sakultanurat
Company:	TBK Technology (Thailand) Co.,ltd

ABSTRACT

This thysis is presentation of planning and design of wear indicator grinding machine of TBKT limited company. Which have to plan and design in limited time as planned. In the regulation, The machines componented with three main section for in stance, the rotating jig, grinding wheel, pneumatics cylinder. In regulation, The rotating jig must be controlled with precisely rotating, can be rotated in reverse or forward direction, The pneumatic cylinder must be operate with push botton only when the jig is rotate to insert area. For all of the presented regulation, the task must uses advantage of preserve knowledge and equipment to design, adapt to reach the company's requirement. Also, machine will be controlled by PLC which is adaptation from automatic machining lines. The operator must planned schedule and improve it by himself, remoted the machine condition and write manual which reach standard for the great benefit of operator and company.

Keyword : Wear Indicator Grinding Machine

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำรายงานและโครงการสหกิจศึกษา สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีและทันเวลาตามกำหนด อาจจะไม่สามารถทำสำเร็จได้หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์ ที่มอบโอกาสอันมีค่าให้เข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา รวมถึงการสนับสนุนเพิ่มเติม ให้คำปรึกษาตลอดหลักสูตรเรื่อยมากระทั่งตรวจสอบความถูกต้องของรายงาน จนทำให้รายงานเล่มนี้เสร็จลงอย่างสมบูรณ์ ผู้จัดทำมีความซาบซึ้งใจในการเสียสละของผู้เป็นอาจารย์ยิ่งนัก

ทั้งนี้ทางผู้จัดทำต้องกล่าวขอบคุณถึงทางบริษัท ทีบีเค เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด คุณวรดา ชำนาญพืช ประธานบริษัท คุณอัตศักดิ์ และรุ่นพี่ที่ทำงานที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือมาตลอดมาตลอด งานอาจไม่ลุล่วงตามเวลาที่กำหนดได้หากไม่มีบุคคลเหล่านี้ และขอขอบคุณทางบริษัทอีกครั้งที่ได้ให้โอกาสสี่เดือนอันล้ำค่าสำหรับตัวผู้จัดทำเอง จึงซาบซึ้งยิ่งที่ได้รับโอกาสนี้ และจะใช้ประสบการณ์ที่ได้รับที่นี่ไปเพื่อประกอบการตัดสินใจทางที่จะก้าวเดินต่อไปในอนาคต

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ สหายและครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดโครงการ หากมีข้อผิดพลาดประการใดในโครงงานของผู้จัดทำก็ได้โปรดให้อภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นภนต์ โกมลมิศร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูป VI

สารบัญตาราง IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 วิธีดำเนินโครงงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 หลักการเขียนวงจรควบคุม 3

2.2 การคำนวณสายป้อนมอเตอร์ 3

2.3 การคำนวณขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร 4

2.4 พิกัดกระแสเครื่องปลดวงจร 5

2.5 การคำนวณขนาดสายดิน 6

2.6 เซนเซอร์ (Sensor) 7

2.7 อุปกรณ์นิวแมตริกส์ (Pneumatic Device) 15

2.8 พีแอลซี (Programable Logic Control) 22

2.9 เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (inverter) 25

2.10 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 เฟส (Induction Motor) 27

2.11 สวิตช์ (Switch) 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12 รีเลย์ (Relay) 40

2.13 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) 42

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 45

3.1 การวางแผนการดำเนินโครงงาน 45

3.2 การวางตำแหน่งกระบวนการผลิตใหม่ 45

3.3 การศึกษาลำดับการทำงานของเครื่องจักร 46

3.4 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้า 47

3.5 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส 48

3.6 การวางอุปกรณ์ในตู้วงจรไฟฟ้าควบคุม 50

3.7 ส่วนประกอบของเครื่องเจียร 51

3.8 ตัวอย่างวงจรควบคุม 52

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 55

4.1 โครงสร้างของเครื่องจักร 55

4.2 การทำงานของเครื่องจักร 55

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงงานและข้อเสนอแนะ 57

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 57

5.2 ข้อเสนอแนะ 58

เอกสารอ้างอิง 60

ประวัติผู้เขียน 62

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงจากวัสดุที่เป็นของแข็งและของเหลว 8
2.2 หลักการทำงานเกจวัดความดันของบูร์ดอง 9
2.3 โครงสร้างเกจวัดความดันของเบลโลว์ 10
2.4 โครงสร้างภายในของสวิตช์ความดันแบบกระบอกสูบ 11
2.5 โครงสร้างภายในของสวิตช์ความดันแบบไดอะเฟรม 11
2.6 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทตัวรับ-ตัวส่งแยกกัน 13
2.7 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทสะท้อนกับแผ่นสะท้อน 13
2.8 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทสะท้อนกับวัตถุ 14
2.9 มอเตอร์ลม 18
2.10 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทลูกสูบ 19
2.11 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทไดอะเฟรม 19
2.12 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทสกรู 20
2.13 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทใบพัดเลื่อน 21
2.14 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทใบพัดหมุน 21
2.15 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทกังหัน 22
2.16 ตัวอย่างคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรมพีแอลซี 22
2.17 ตัวอย่างลำดับการทำงานของระบบพีแอลซี 23
2.18 แผนผังการทำงานของหน่วยประมวลผลของพีแอลซี 24
2.19 กราฟแสดงอัตราแรงบิดต่อแรงดันไฟฟ้า 26
2.20 การเกิดแรงบิดและขั้วสนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 28
2.21 กราฟคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอก 28
2.22 การต่อมอเตอร์ใช้งานแบบสตาร์และแบบเดลตา 29
2.23 สัญลักษณ์ของสวิตช์ 31
2.24 ตัวอย่างการใช้สวิตช์เลื่อนในชีวิตประจำวัน 33
2.25 ตัวอย่างสวิตช์กระดก 33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.26 ตัวอย่างสวิตช์กด 33

2.27 ตัวอย่างสวิตช์ปุ่มกด 34

2.28 ตัวอย่างสวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน 34

2.29 ตัวอย่างสวิตช์ปุ่มกดแบบมีหลอดไฟสัญญาณ 34

2.30 สวิตช์ปุ่มกดเท้าเหยียบ 35

2.31 ตัวอย่างสวิตช์แบบก้านยาว 35

2.32 ตัวอย่างสวิตช์แบบหมุน 36

2.33 ตัวอย่างสวิตช์ไมโคร 36

2.34 ตัวอย่างสวิตช์แบบดิพ 37

2.35 ฟิวส์ลวดตะกั่ว ฟิวส์กระบอก ฟิวส์ใบมีด 37

2.36 เบรกเกอร์และภาพตัดแสดงอุปกรณ์ภายใน 38

2.37 ตัวอย่างสวิตช์จำกัดระยะ 38

2.38 ตัวอย่างสวิตช์ความดัน 38

2.39 ภาพสวิตช์ควบคุมการไหล 39

2.40 ตัวอย่างสวิตช์โยก 39

2.41 ตัวอย่างโซลีนอยด์วาล์ว 39

2.42 การต่อใช้หน้าสัมผัสปกติปิดของรีเลย์ 40

2.43 การต่อใช้หน้าสัมผัสปกติเปิดของรีเลย์ 41

2.44 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ 42

2.45 แกนเหล็กของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ 43

2.46 ส่วนประกอบของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ 43

3.1 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าควบคุมภายในตู้ควบคุม 47

3.2 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าที่ต่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสแบบควบคุมความเร็วในเครื่องจักร 48

3.3 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าที่ต่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสแบบไม่ควบคุมความเร็วในเครื่องจักร ... 49

3.4 การวางตำแหน่งอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม 50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.5 ตำแหน่งและส่วนประกอบของเครื่องจักร 51
3.6 ตัวอย่างโปรแกรมขั้นบันไดควบคุมเครื่องจักรและตัวแปรขาเข้า-ขาออก 53
3.7 แผนผังการทำงานของเครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งแบบกึ่งอัตโนมัติ 54
4.1 เครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งสวมแบบเสร็จสมบูรณ์ 55

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี 4

2.2 ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดเล็ก สำหรับวงจรย่อย 5

2.3 ขนาดสายดิน 6

2.4 ประเภทและลักษณะการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสง 14

3.1 Installation of Semi-Automatic Machining Line Timeline 45

4.1 สรุปการทำงานและเงื่อนไขของเครื่องจักร 56

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท ทีบีเค เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด นั้นเป็นบริษัทสัญชาติญี่ปุ่นที่มีประวัติยาวนาน โดยทีบีเคนั้นมีตัวย่อมาจากภาษาญี่ปุ่นที่สะกดด้วยตัวอักษรอังกฤษว่า โตเกียว บุฮิน โคเกียว แปลได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมชิ้นส่วนของโตเกียว ปัจจุบันนับเป็นโฮลดิ้งกรุ๊ปที่ทำเกี่ยวกับชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ข้อเหวี่ยง อุปกรณ์ส่งกำลังในยานพาหนะ ปั้มน้ำหล่อเย็น เป็นต้น ซึ่งบริษัทย่อยที่ดำเนินกิจกรรมสหกิจอยู่นั้นคือ บริษัท ทีบีเค เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด เป็นโรงงานทำผ้าเบรคที่เพิ่งก่อตั้งมาได้เพียง 2 ปีเศษ จึงยังจำเป็นที่ต้องการการติดตั้งและขยายการผลิตอยู่

กระบวนการผลิตในบริษัทนั้นถูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ กระบวนการชั่งน้ำหนักวัสดุ กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการขึ้นรูปร้อน กระบวนการอบ กระบวนการเจียร กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ และกระบวนการจัดเก็บ ซึ่งการทำผ้าเบรคนั้นมีหลากหลายขนาดขึ้นอยู่กับงานและยานพาหนะที่ใช้ หากจำเป็นต้องทำชิ้นงานรุ่นใดมากๆ อาจทำให้เสียโอกาสในการทำงานชิ้นงานที่มีความต้องการน้อยแต่จำเป็นต้องทำได้ ท้าวความก่อนว่าสองในสามของกระบวนการผลิตทั้งหมดนั้นเป็นระบบอัตโนมัติสามารถทำงานได้ต่อเนื่องยาวนาน ความผิดพลาดต่ำ แต่ก็มีข้อด้อยที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนไปทำชิ้นงานในแบบอื่นๆ ได้อย่างรวดเร็วนัก จำเป็นต้องมีการตั้งค่าใหม่ในทุกกระบวนการผลิตก่อนที่จะเริ่มตั้งการผลิตตั้งแต่กระบวนการที่หนึ่งใหม่ ทำให้โรงงานมีความจำเป็นต้องตั้งกระบวนการผลิตกึ่งอัตโนมัติขึ้นมา ซึ่งจะเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีความต้องการน้อยสามารถปรับเปลี่ยนสร้างชิ้นงานได้หลายรูปแบบในเวลาอันสั้น

จากความจำเป็นที่ผ่านมา เนื่องจากกระบวนการผลิตก่อนหน้านี้ได้ทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว งานที่ได้รับจึงเป็น การขยายกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ กระบวนการเจียรชิ้นงาน โดยจำเป็นต้องนำเครื่องจักรอัตโนมัติที่มีอยู่แล้วมาติดตั้งดัดแปลงให้เป็นกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติที่จำเป็นต้องมีรูปแบบและพื้นที่การทำงานที่ถูกจริตและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติการเป็นอย่างยิ่งด้วยข้อกำหนดข้างต้น จึงต้องทำตามกำหนดให้เครื่องจักรนั้นอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งานภายในเวลาอันจำกัด

1.2 วัตถุประสงค์ของงาน

1. ศึกษาความต้องการของหัวหน้างานและผู้ใช้งาน
2. ศึกษาระบบต่างๆ ที่เครื่องจักรในกระบวนการผลิตนั้นใช้งาน
3. ศึกษาผังและการออกแบบแผงวงจรควบคุม
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุม PLC เพื่อควบคุมระบบอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบวงจรไฟฟ้าและโปรแกรมควบคุมที่ดัดแปลงสำหรับเครื่องเจียร
2. ประกอบเครื่องเจียรทั้งสองตามแบบและตามวงจรที่ออกแบบ
3. ทำได้เสร็จทันเวลาที่กำหนด
4. การทำงานของเครื่องจักรต้องเป็นไปตามความเหมาะสมและปลอดภัยเป็นสูงสุด

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. วางแผนงาน
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องจักรแบบเดียวกันในกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ
3. ศึกษาโครงสร้างทางกลและองค์ประกอบโดยรวมของเครื่องจักร
4. ศึกษาการใช้งานละมุนภัณฑ์ที่จำเป็นในการสร้างเครื่องจักร
5. ออกแบบวงจรและอุปกรณ์ไฟฟ้า
6. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องจักร
7. ทดสอบและแก้ไขรวมถึงติดตั้งอุปกรณ์เสริม
8. จัดทำคู่มือการทำงานที่ชัดเจน
9. จัดทำรายงานสรุป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ด้านการวางแผนทำงาน
2. ได้รับความรู้ในการออกแบบวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง
3. ได้รับความรู้ในการเขียนโปรแกรม PLC และใช้ในการควบคุมเครื่องจักร
5. ได้รับความรู้ในการเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับวงจรแรงดันไฟฟ้าสูง
6. ได้รับการฝึกให้มีวินัยในการทำงาน
7. ได้รับโอกาสในการฝึกฝนสื่อสารเพื่อประสานงานด้วยภาษาต่างประเทศ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการเขียนแบบวงจรควบคุม

การเขียนวงจรควบคุมนั้น ผู้เขียนนั้นมีความจำเป็นที่ต้องเข้าใจและรู้ถึงรายละเอียดของการเขียนแบบ เพื่อที่จะสามารถเขียนแบบที่บ่งบอกรายละเอียดได้ให้ผู้ที่มารับสารเข้าใจได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานการเขียนนั้นๆ

การติดตั้งระบบไฟฟ้าหรืองานที่เกี่ยวข้อง หากเขียนแผนผังโดยใช้รูปหรืออุปกรณ์จริงนั้นทำให้ดูยุ่งยากแล้วยังกินเวลานาน ไม่เป็นสากล ทุกคนไม่สามารถทำความเข้าใจได้ ฉะนั้นในการเขียนแบบทางไฟฟ้าหรือแม้กระทั่งการเขียนแบบด้านอื่นๆ นั้นต้องมีการกำหนดสัญลักษณ์ขึ้นมาทดแทนอุปกรณ์จริง เพื่อความสะดวกและรวดเร็วนการเขียน และได้เปรียบทางการสื่อสาร คือสามารถสื่อสารได้รวดเร็วและเข้าใจกันได้อย่างทั่วถึงนั่นเอง ซึ่งสัญลักษณ์ในการออกแบบและติดตั้งทางไฟฟ้านั้นถูกกำหนดมาหลายมาตรฐาน [1] ได้แก่

-ANSI (American National Standard Institue)

- IEC (International Electrotechnical Commission)

- JIS (Japanese Industrial Standard)

- DIN (Deutsches Institut Fur Normung

2.2 การคำนวณขนาดสายป้อนมอเตอร์

วงจรมอเตอร์อาจประกอบด้วยวงจรที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว หลายเครื่อง และวงจรที่มีมอเตอร์รวมอยู่กับโหลดอื่นที่ไม่ใช่มอเตอร์ ในที่นี้จะกล่าวเพียงในหัวข้อวงจรที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้

วงจรที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว กรณีมอเตอร์ทั่วไป สามารถคำนวณหาค่าขนาดกระแสของสายไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (2.1) และหาขนาดสายไฟฟ้าจากตารางที่ 2.1

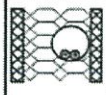
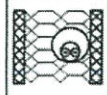
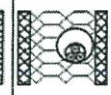
$$I_C \geq 1.25 \times I_M \tag{2.1}$$

โดยที่

I_C คือ ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า (A)

I_M คือ กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ (A)

ตารางที่ 2.1 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวนพีวีซี [1]

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2			
จำนวนตัวนำกระแส	2		3		2		3	
ลักษณะตัวนำกระแส	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, NYY-G, VCT, VCT-G, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควันน้อย เป็นต้น							
ขนาดสาย(ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)							
1	10	10	9	9	12	11	10	10
1.5	13	12	12	11	15	14	13	13
2.5	17	16	16	15	21	20	18	17
4	23	22	21	20	28	26	24	23
6	30	28	27	25	36	33	31	30
10	40	37	37	34	50	45	44	40
16	53	50	49	45	66	60	59	54
25	70	65	64	59	88	78	77	70
35	86	80	77	72	109	97	96	86
50	104	96	94	86	131	116	117	103
70	131	121	118	109	167	146	149	130
95	158	145	143	131	202	175	180	156
120	183	167	164	150	234	202	208	179
150	209	191	188	171	261	224	228	196
185	238	216	213	194	297	256	258	222
240	279	253	249	227	348	299	301	258
300	319	291	285	259	398	343	343	295
400	-	-	-	-	475	-	406	-
500	-	-	-	-	545	-	464	-

2.3 การคำนวณขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร

เครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อยที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว สามารถคำนวณดังสมการที่ (2.2)

$$I_{CM} = \frac{K_2 \times I_M}{100} \tag{2.2}$$

โดยที่

I_{CM} คือ พิกัดกระแสหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (A)

I_M คือ พิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ (A)

K_2 คือ ตัวคูณประกอบของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร

2.4 พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร

เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ระบบแรงต่ำต้องมีพิกัดกระแสไม่น้อยกว่า 115 % ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เป็นดังสมการที่ (2.3) (ขนาดมาตรฐานดังตารางที่ 2.2)

$$I_{DS} \geq 1.15 \times I_M \tag{2.3}$$

โดยที่

I_{DS} คือ พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจร (A)

I_M คือ พิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ (A)

ตารางที่ 2.2 ขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดเล็ก สำหรับวงจรย่อย [1]

พิกัดกระแสโครง (Ampere Frame) (AF)	พิกัดกระแสตัดวงจร (Ampere Trip) (AT)
63	10
	16
	20
	25
	32
	40
	50
	63
100	70
	80
	100

2.5 การคำนวณขนาดสายดิน (Ground Conductor)

ขนาดสายดินให้ใช้ตัวนำทองแดงหุ้มฉนวน [1] ซึ่งสามารถเลือกขนาดของสายดินตามขนาดของเครื่องปลดวงจร ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขนาดสายดิน [1]

พิกัดกระแสไฟฟ้าของเครื่องปลดวงจร (A)	ขนาดต่ำสุดของสายดิน (ตัวนำทองแดง) (mm^2)
16	1.5
20	2.5
40	4
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

2.6 เซนเซอร์ (Sensor)

เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีจุดประสงค์เพื่อการตรวจจับเหตุการณ์ต่างๆ หรือความเปลี่ยนแปลงในธรรมชาติและส่งข้อมูลให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เป็นส่วนใหญ่ การแบ่งหมวดหมู่ของเซนเซอร์นั้นหากแบ่งจากการผลิตเซนเซอร์ทั่วโลกแล้วจะแบ่งได้ดังนี้

Sound, Vibration

Automotive

Chemical

Electric Current, Magnetic, Radio

Environment, Humidity

Fluid Velocity

Ionizing Radiation

Navigation Instrument

Position, Angle, Displacement, Speed, Acceleration

Optical

Pressure

Force, Density

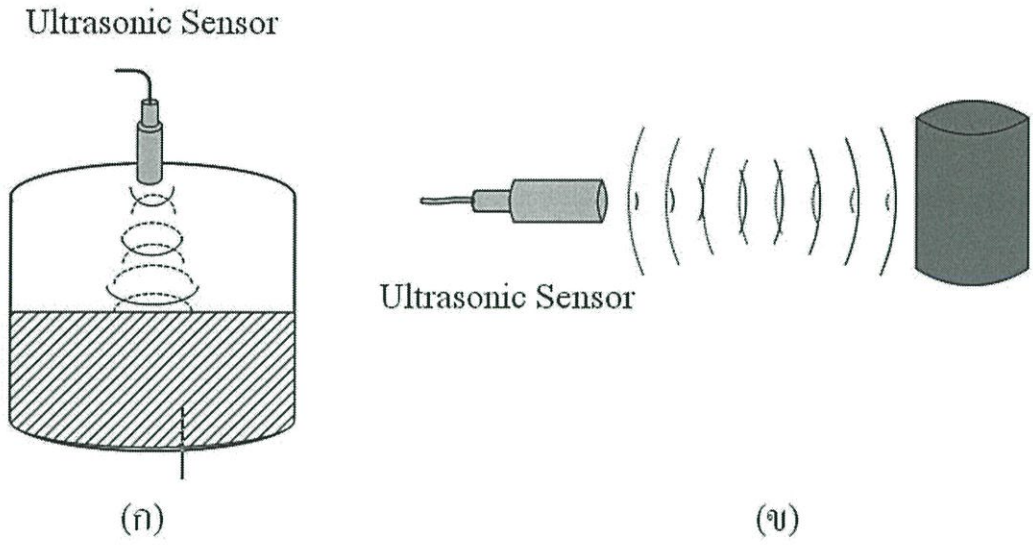
Thermal

Proximity

ซึ่งในงานนี้เซนเซอร์ที่ใช้เป็นหลักนั้นคือ ออปติคอลเซนเซอร์ หรือเซนเซอร์แสง ใช้เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจจับตำแหน่งของวัตถุในตำแหน่งตายตัว

2.6.1 เซนเซอร์อัลตราโซนิก

เป็นเซนเซอร์ (Sensor) ที่ทำงานโดยอาศัยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ต (kHz) ซึ่งเป็นคลื่นในย่านที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียง เซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิกทำงานโดยอาศัยการกระจายหรือการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงไปกระทบกับพื้นผิวของตัวกลาง ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลว บางส่วนของคลื่นเสียงจะแทรกผ่านเข้าไปในตัวกลางนั้น และส่วนใหญ่ของคลื่นความถี่สูงนี้จะสะท้อนกลับเรียกว่า "Echo" โดยช่วงเวลาของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับเซนเซอร์ ดังรูปที่ 2.1



(ก) การตรวจจับระดับความสูงของของเหลว (ข) การตรวจจับระยะห่างของวัตถุ

รูปที่ 2.1 การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงจากวัสดุที่เป็นของแข็งและของเหลว

โดยทั่วไปนิยมใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์สำหรับการวัดระยะทาง (Distance Measurement) ของวัตถุหรือการวัดระดับ (Level Measurement) ของเหลว สามารถใช้งานกับวัตถุทั้งชนิดโลหะและอโลหะทุกเฉดสี โปร่งใส โปร่งแสงหรือทึบแสง ตรวจจับวัตถุได้หลายขนาด ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีคุณสมบัติการยืดหยุ่นหรือคุณสมบัติการดูดซับเสียง เช่น ผ้า ฝุ่นผง โฟมหรือฟองน้ำ ซึ่งจะดูดซับคลื่นเสียงไม่ให้สะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ และเนื่องจากลักษณะการสะท้อนกลับของเสียงขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบที่ทำให้เสียงกระจายไปในทิศทางต่างๆ จึงไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะเป็นก้อนไม่สม่ำเสมอ ผลที่ได้จากการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้กับวัตถุลักษณะนี้จะมีความเที่ยงตรง (Precision) ต่ำ สำหรับวัตถุที่มีผิวเรียบคลื่นเสียงที่มาตกกระทบส่วนใหญ่จะสะท้อนออกจากพื้นผิวนั้นอย่างมีระเบียบ ค่าความเที่ยงตรงที่ได้จากการวัดจะมีค่าสูงมากกว่า โดยตำแหน่งของเซนเซอร์ที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุจะให้ประสิทธิภาพในการสะท้อนคลื่นกลับมายังตัวรับมากที่สุด

ในสภาวะแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองหรือมีไอน้ำในอากาศ เสียงอาจถูกดูดซึมไปบางส่วนและสูญเสียพลังงานไปในรูปของพลังงานความร้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ชนิดแสง (optical sensor/photo sensor) เซนเซอร์ชนิดนี้ได้รับผลกระทบจากละอองไอน้ำที่น้อยกว่า เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่พื้นผิวของวัตถุ พบว่าวัตถุที่มีอุณหภูมิ (temperature) สูงจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของการวัดขึ้น โดยทำให้ระยะการตรวจจับสั้นลง ผลที่ได้จะไม่แน่นอน เนื่องจากเสียงที่เดินทางผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิสูงมีความเร็วสูงกว่าเสียงที่เดินทางผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

การติดตั้งเซนเซอร์ชนิดใช้เสียงตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ต้องระวังการสอดแทรกหรือการกวนกันของคลื่นเสียงความถี่สูงที่เกิดขึ้นจากเซนเซอร์แต่ละตัว โดยระยะห่างระหว่างตัวเซนเซอร์พิจารณาจากรัศมีของการแผ่กระจายคลื่นความถี่ที่ส่งออกไป และในการติดตั้งเซนเซอร์ต้องระวังมุมอับที่สัญญาณเสียงไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ หรือเรียกว่า บริเวณ "Blind Zone หรือ Dead Zone"

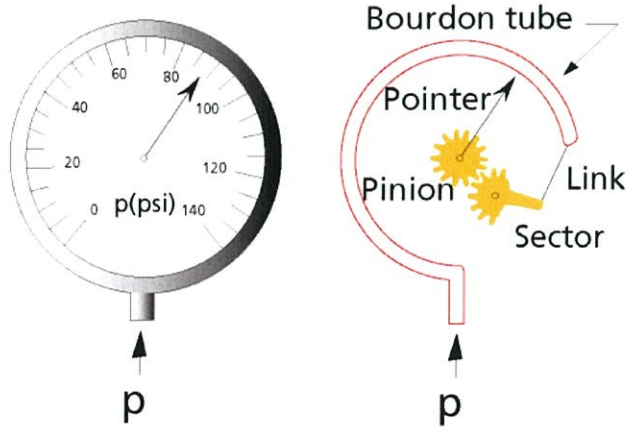
Optical Sensor หรือเซนเซอร์แสงนั้นจะทำงานโดยเปลี่ยนแปลงแสงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเกิดจากการวัดปริมาณแสงแต่ละวิธีการนั้นจะแตกต่างออกไปโดยแต่ละแบบของตัวเซนเซอร์เอง เซนเซอร์แสงนั้นส่วนใหญ่นั้นจะถูกใช้ในงานที่ไม่มีการสัมผัสชิ้นงาน จะทำการนับหรือตรวจจับตำแหน่งวัตถุ

2.6.2 Pressure Sensor

เซนเซอร์แรงดันจะเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์วัดความดันสามแบบ [2] ซึ่งแบ่งอออกเป็นดังนี้

2.6.2.1 Pressure Gauge (เกจวัดความดัน) สามารถวัดความดันได้ทั้งความดันเกจ ความดันสัมบูรณ์ และสุญญากาศโดยจะแสดงผลเป็นแบบอนาล็อคหรือแบบเข็ม ข้อดีคือ มีราคาถูก ติดตั้งง่าย แต่ข้อเสียคือ อ่านค่าได้อย่างเดียว ไม่ละเอียด และไม่สามารถประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นได้ เกจวัดความดันจะอาศัยหลักการยืดตัว/โก่งตัวของวัสดุที่มีสมบัติยืดหยุ่นหรือเรียกว่า เครื่องมือวัดความดันแบบอิลาสติก ทำงานโดยอาศัยการแปลงความดันที่อุปกรณ์ได้รับให้อยู่ในรูปการเคลื่อนที่ ประเภทของเกจวัดความดัน มีดังนี้

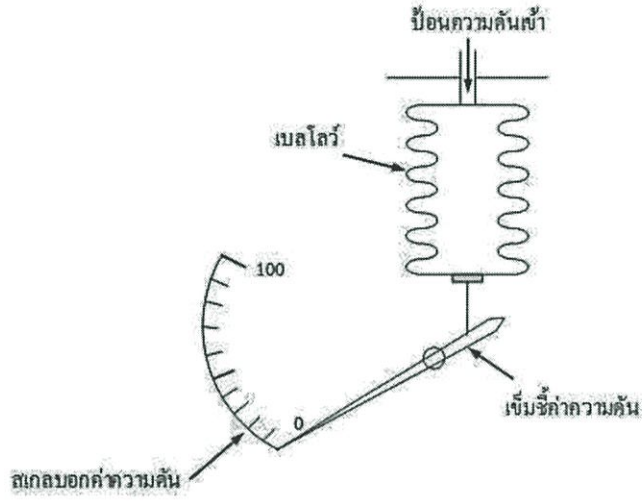
เกจวัดความดันแบบบูร์ดอง (Bourdon Gauge) โดยเกจวัดความดันแบบบูร์ดองจะมีลักษณะเป็นขดทองแดงกลวง มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงรีซึ่งเมื่อมีความดันเข้าไปภายในท่อ ขดบูร์ดองจะพยายามยืดตัวออกเป็นวงกลม จึงทำให้ดึงแขนที่ต่อกับเข็มชี้หมุนเลื่อนขึ้นแสดงความดันที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานเกจวัดความดันของบูร์ดอง

[**ที่มา:** http://teacher.buet.ac.bd/bhyeasin/images/bourdon%20tube1.gif]

เกจวัดความดันแบบเบลโลว์ (Bellow) โครงสร้างของเบลโลว์มีลักษณะคล้ายลูกฟูก [2] ภายในกลวงสามารถยืดหยุ่นตัวได้ ปลายด้านหนึ่งปิดยึดติดกับเข็มชี้วัดระยะ ปลายอีกด้านหนึ่งเปิดเพื่อเป็นช่องทางเข้าของความดัน (Pressure) ที่ต้องการวัด ภายในเบลโลว์อาจติดตั้งสปริงหรือตัวหยุดการเคลื่อนที่ เพื่อป้องกันความเสียหายจากการรับค่าความดันเกินพิกัด เมื่อเบลโลว์ได้รับความดันจากภายนอกทำให้ความดันภายในสูงขึ้น ส่งผลให้เบลโลว์เกิดการยืดตัวออกในทิศทางเดียวกับทิศทางของความดันที่เข้าไปในเบลโลว์ กลไกดังแสดงรูปที่ 2.3



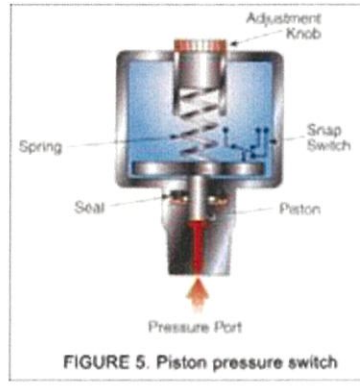
รูปที่ 2.3 โครงสร้างเกจวัดความดันของเบลโลว์

[**ที่มา:** การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (นวภัทรา และทวีพล, 2555)]

2.6.2.2 Pressure Switch คือ สวิตช์ควบคุมความดันโดยใช้การตัดหรือต่อวงจรไฟฟ้าเมื่อความดันถึงจุดที่กำหนดไว้ [2] สวิตช์ควบคุมความดันนี้สามารถใช้งานควบคุมแรงดันทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น การตัดต่อการทำงานของปั๊มน้ำ

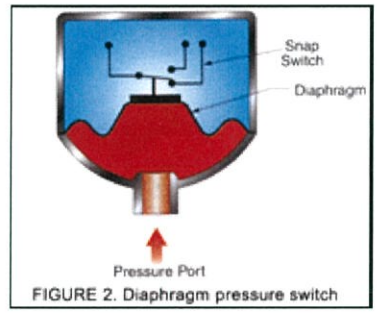
Pressure Switch Sensor ประเภทนี้ไม่ต้องอาศัยแรงดันไฟเลี้ยงเนื่องโดยส่วนใหญ่ใช้ระบบกลไก (Mechanic) ในการทำงานโดยจะมีสัญญาณขาออกเป็นหน้าสัมผัสเปิด-ปิด ใช้เพื่อตัดต่อระบบเพียงเท่านั้น ซึ่งแบ่งหลักการทำงานนี้ได้เป็นสองแบบ

Piston : ทำงานโดยใช้กระบอกสูบขนาดเล็กด้านในซึ่งอีกด้านหนึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับกลไกสวิตช์สามารถปรับตั้งสปริงเลือกช่วงในการทำงานได้ดังรูปที่ 2.4 เหมาะกับงานที่มีแรงดันสูง เช่น วัดแรงดันของระบบไฮดรอลิกในระบบเครื่องอัดโลหะ เป็นต้น



รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของสวิตช์ความดันแบบกระบอกสูบ
[**ที่มา:** http://web.applied.com/base.cfm?page_id=4492]

Diaphragm : ส่วนใหญ่จะเป็นแผ่นยางไดอะแฟรมทำจากวัสดุ NBR เมื่อมีแรงดันมากระทำกับแผ่นไดอะแฟรมซึ่งอีกด้านจะต่อกับกลไกสวิตช์จะทำงานในแรงดันที่ตั้งไว้ กลไกดังรูปที่ 2.5 เหมาะกับงานที่มีแรงดันไม่สูงมาก เช่น แรงดันของลม ในระบบนิวแมติกส์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในของสวิตช์ความดันแบบไดอะเฟรม
[**ที่มา:** http://web.applied.com/base.cfm?page_id=4492]

2.6.2.3 Pressure Transmitter คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันและแปลงสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณมาตรฐานที่มีทั้งสัญญาณ Analog 4-20mA, 0-10VDC เพื่อนำไปควบคุมกระบวนการทำงานต่างๆ ในอุตสาหกรรม

Pressure Transmitter แบ่งประเภทย่อยตามหลักการทำงานได้ดังนี้

Strain Gauge มีหลักการทำงานอาศัยการยืดหดตัวของ Strain Gauge ที่ยึดติดอยู่กับแผ่นไดอะแฟรมและต่อวงจรไปยังวงจร วิทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) เพื่อแปลงความดัน (Pressure) ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

Thin Film เป็นเซ็นเซอร์ลักษณะแผ่นฟิล์มบางๆ ที่จะรับแรงกดแล้วแสดงค่าแรงดันออกมา นิยมใช้กับงานที่มีแรงดันต่ำ

Thick Film ไดอะแฟรมจะผลิตจากวัสดุ เช่น เซรามิก เหมาะกับงานที่แรงดันสูง มีความแข็งแรงมากกว่าประเภท Thin Film นิยมใช้ในงานไฮดรอลิค

2.6.3 เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสง (Photoelectric Sensor)

เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงคือ เซนเซอร์ชนิดหนึ่งซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการส่งและรับแสง มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวส่งแสง (Emitter) และตัวรับแสง (Receiver) [3] ลักษณะการตรวจจับเกิดจากการที่ลำแสงจากตัวส่งสร้างลำแสงออกไปสะท้อนกับวัตถุ แล้วสะท้อนกลับมาที่ตัวรับแสง ส่งผลให้ตัวรับแสงรู้สภาวะที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงสภาวะ และนำสัญญาณทางด้านขาออกไปใช้งานต่อไป โดยทั่วไปใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหว การตรวจจับวัตถุ และการตรวจสอบขนาดรูปร่างของวัตถุ

คุณลักษณะโดยทั่วไปของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงมีดังนี้ [4]

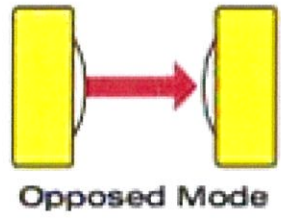
1. สามารถตรวจจับวัตถุแบบไม่ต้องสัมผัส
2. สามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกชนิดขึ้นอยู่กับประเภทของเซนเซอร์
3. สามารถตรวจจับ สี, ขนาด, ความลึก, ตำแหน่ง และพื้นที่ของวัตถุ

อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับแสงส่วนใหญ่นิยมใช้โฟโตไดโอด (Photo Diode) หรือโฟโต-ทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) ส่วนตัวส่งแสงนั้นโดยทั่วไปใช้ Led (Light Emitting Diode) เนื่องจากการต่อใช้งานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำได้ง่าย สะดวกในการบำรุงรักษา ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ และไม่ได้รับผลกระทบจากสภาวะรอบข้าง ไม่ว่าจะเป็นสนามแม่เหล็ก ความถี่ ความร้อน ความชื้น หรือการสั่นสะเทือน

2.6.3.1 เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทตัวรับ-ตัวส่งแยกกัน

เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทนี้ เวลาใช้งานตัวรับและตัวส่งจะวางอยู่ตรงข้ามกัน สามารถตรวจจับวัตถุที่มีขนาดใหญ่ และช่วงระยะในการตรวจจับมากที่สุด ในสภาวะการทำงานปกติ ตัวรับจะรับสัญญาณแสงจากตัวส่งตลอดเวลา เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ตัดผ่านหน้าเซนเซอร์ขวางลำแสงที่ส่งจากตัวส่งไปยังตัวรับ จะทำให้วงจรภายในตัวรับจะรับรู้ได้ว่ามีวัตถุขวางอยู่ ทำให้

สถานะขาออกของตัวรับเปลี่ยนแปลงไป โดยเรียกลักษณะการทำงานแบบนี้ว่า “Dark On” หรือ “Dark Operate” ดังรูปที่ 2.6

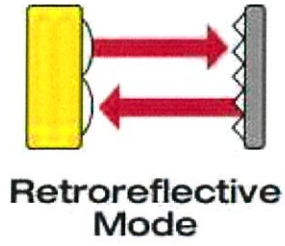


รูปที่ 2.6 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทตัวรับ-ตัวส่งแยกกัน [4]

2.6.3.2 เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทสะท้อนกับแผ่นสะท้อน

เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทนี้ ใช้งานคู่กับแผ่นสะท้อน ติดตั้งทั้งตัวส่งและตัวรับภายในตัวเดียวกัน จึงไม่จำเป็นต้องเดินสายไฟทั้งสองฝั่ง เหมือนประเภทตัวรับ-ตัวส่งแยกกัน ทำให้ใช้งานได้ง่ายกว่าเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทตัวรับ-ตัวส่งแยกกัน แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องติดตั้งตัวแผ่นสะท้อนไว้ตรงข้ามกับตัวเซนเซอร์ เพื่อให้แสงจากตัวส่งสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะทึบแสงไม่เป็นมันวาว เนื่องจากอาจทำให้ตัวรับของเซนเซอร์รับแสงจากวัตถุแทนแสงจากแผ่นสะท้อน ทำให้ทำงานผิดพลาดได้ดังในรูปที่ 2.7

ในสภาวะการทำงานปกติตัวรับจะรับสัญญาณแสง ซึ่งสะท้อนกับแผ่นสะท้อนอยู่ตลอดเวลา เมื่อวัตถุเคลื่อนที่เข้ามาขวางลำแสง ตัวรับจึงไม่สามารถรับลำแสงที่จะสะท้อนกลับมาได้ ซึ่งทำให้วงจรภายในตัวรับจะรับรู้ได้ว่ามีวัตถุขวางอยู่ ทำให้สถานะของขาออกของตัวรับเปลี่ยนแปลงไป โดยเรียกลักษณะการทำงานแบบนี้ว่า “Dark On” หรือ “Dark Operate” เช่นเดียวกัน

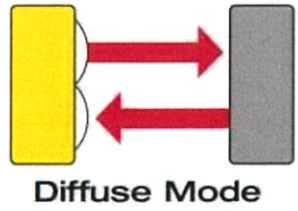


รูปที่ 2.7 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสง ประเภทสะท้อนกับแผ่นสะท้อน [4]

2.6.3.3 เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทสะท้อนกับวัตถุ

เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทนี้ติดตั้งทั้งตัวส่งและตัวรับภายในตัวเดียวกัน ดังรูปที่ 2.8 ทำให้ใช้งานง่ายเหมือนเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทสะท้อนกับแผ่นสะท้อน ใช้

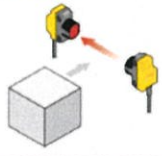
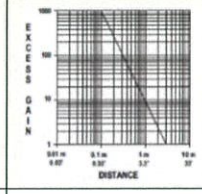
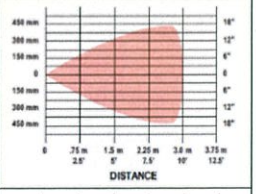
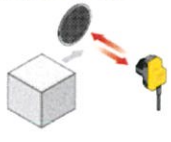
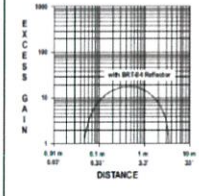
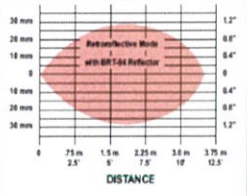
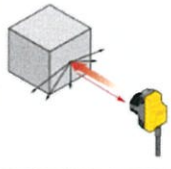
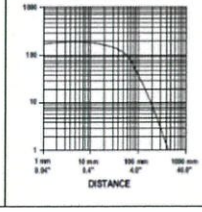
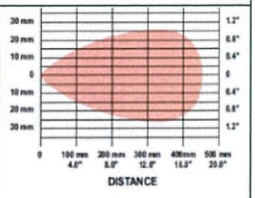
ตรวจจับชิ้นงานที่มีลักษณะทึบแสงและโปร่งแสงได้ ซึ่งในสภาวะการทำงานปกติ ตัวรับจะไม่สามารถรับสัญญาณจากตัวส่งได้ เนื่องจากไม่มีวัตถุที่จะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนลำแสงกลับมายังตัวรับ เมื่อมีวัตถุผ่านหน้าเซนเซอร์ ทำให้ตัวรับสามารถรับลำแสงที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุได้ วงจรภายในตัวรับจึงรับรู้ได้ว่ามีวัตถุขวางอยู่ ทำให้สถานะของขาออกของตัวรับเปลี่ยนแปลงไป โดยเรียกลักษณะการทำงานแบบนี้ว่า “Light On” หรือ “Light Operate”



รูปที่ 2.8 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงประเภทสะท้อนกับวัตถุ [4]

ตารางที่ 2.4 ประเภทและลักษณะการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสง

[**ที่มา :** http://www.compomax.co.th/product/basics-of-photoelectric-sensing/]

Configuration	Features	Excess Gain	Beam Pattern
OPPOSED 	• เชื่อถือได้ที่สุด สำหรับการตรวจจับวัตถุทึบแสง • ค่า excess gain สูง ทำให้ระยะตรวจจับไกล • ประสิทธิภาพดี แม้สภาพแวดล้อมมีสิ่งปนเปื้อน เช่น ฝุ่น ควัน เป็นต้น • ทำงานได้ขณะที่การติดตั้งผิดแนว		
RETROREFLECTIVE 	• สะดวกเมื่อมีพื้นที่ติดตั้งจำกัด • ค่า excess gain สูง ทำให้ระยะตรวจจับไกล		
DIFFUSE 	• สะดวกเมื่อมีพื้นที่ติดตั้งจำกัด • ใช้ในงานที่มีการสะท้อนของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ		

เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสงบางตัว สามารถปรับระยะการตรวจจับได้หลายระยะ ทั้งแบบปรับระยะอัตโนมัติและการปรับตั้งโดยกลไกภายนอก ซึ่งทำให้สะดวกต่อการใช้งานและมีความยืดหยุ่นสูง แต่ความเข้มแสงในการตรวจจับอาจจะมีความคลาดเคลื่อนไปด้วย

2.7 อุปกรณ์นิวแมติกส์ (Pneumatic Device)

อุปกรณ์นิวแมติกส์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ต้นกำลังจากลมเป็นหลัก แรงดันลมนั้นเป็นอะไรที่ยืดหยุ่นและประหยัดรวมถึงปลอดภัย [5] อุปกรณ์ลมนั้นไม่ก่อให้เกิดประกายไฟในพื้นที่อันตรายจากการระเบิด หรือไม่เกิดไฟฟ้ากระชากเมื่ออยู่ในพื้นที่เปียกชื้น สามารถให้กำลังอย่างเพียงพอในขนาดที่ค่อนข้างเล็ก ในอีกรูปแบบหนึ่งที่สำคัญคือ อุปกรณ์ลมนั้นเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นค่อนข้างง่าย เช่น วาล์ว กระบอกสูบ หรือท่อ แม้กระทั่งท่ออ่อนยืดหยุ่นได้ การควบคุมหรือใช้อุปกรณ์นั้นควบคุมด้วยการเปิดปิดวาล์วเท่านั้น แม้กระทั่งการควบคุมให้กระบอกสูบขยับเข้าออกกระทันหันก็ไม่ได้ทำให้เกิดการช็อคขึ้น ระบบลมนั้นให้การควบคุมความเร็วที่ค่อนข้างยืดหยุ่น วาล์วปล่อยแรงดันเกิดนั้นเป็นอุปกรณ์ที่คอยช่วยให้อุปกรณ์อื่นๆ ไม่เสียหาย การควบคุมอื่นๆ นั้นทำได้ง่ายไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ ระบบลมนั้นทำให้มีชิ้นส่วนขยับน้อยลงเพื่อความมั่นคงที่สูงขึ้นเป็นเหตุไปสู่ค่าบำรุงรักษาที่ลดลงตามไปด้วย จะอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น กระบอกสูบ หรือมอเตอร์ลม เป็นต้น โดยอุปกรณ์นิวแมติกส์นั้นจะแบ่งออกได้ดังนี้

2.7.1 พัฒนาการของอุปกรณ์นิวแมติกส์

ในศตวรรษที่ 17 ออตโต ฟอน กุเอริค ได้ทดลองการพัฒนาเครื่องอัดลม กระทั่งปี 1829 ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างกระบอกสูบอัดขึ้นมาเป็นครั้งแรก เรื่อยมาถึงปี 1872 ได้เริ่มมีการอัดน้ำเข้าไประหว่างการอัดเป็นครั้งแรกเพื่อหล่อเย็น และหลังจากนั้นก็มีการพัฒนาระบบหล่อเย็นได้ดียิ่งขึ้นไปอีก ด้วยการหล่อน้ำที่เสื้อกระบอกสูบแทน

ในศตวรรษที่ 20 มีการใช้การอัดอากาศและอุปกรณ์อัดอากาศอย่างแพร่หลาย อย่างเครื่องยนต์เจ็ทในทางทหารและอากาศยานโดยสารทั่วไป ทำให้มีการพัฒนาเครื่องอัดอากาศเข้าสู่ศูนย์กลางและเครื่องอัดอากาศแบบไหลตามมุม การพัฒนาในอนาคตที่มุ่งเน้นระบบอัตโนมัติ อุปกรณ์ที่ปลอดภัยต่อผู้ใช้นั้นนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุปกรณ์นิวแมติกส์ซึ่งในช่วงปลายทศวรรษที่ 1960 นั้นได้ค่อยๆ เริ่มการพัฒนาเครื่องอัดลมสมัยใหม่ที่ควบคุมด้วยเงื่อนไขทางดิจิตอล ซึ่งสามารถนำไปใช้ในระบบกำลังและระบบควบคุมได้อย่างหลากหลาย

2.7.2 ประเภทของอุปกรณ์นิวแมติกส์

เครื่องอัดลมนั้นเป็นอุปกรณ์ต้นกำลังจากแรงอัดภายในที่มีแรงดันสูง (เช่นเดียวกันกับเครื่องจักรของไหล) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวนั้นสามารถแบ่งออกเป็นสองแบบบโดยขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศหรือของไหล โดยแบบแรกคือ แบบการแทนที่เชิงบวก กับแบบที่สองคือ แบบไดนามิคหรือมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา

ในแบบเครื่องอัดลมแบบแทนที่เชิงบวก การเคลื่อนไหวนั้นจะเป็นการอัดตามปริมาตร หรือการย้ายที่ การอัดอากาศนั้นมักทำในพื้นที่ปิด แรงดันจะเพิ่มขึ้นด้วยการลดปริมาตรของพื้นที่ เช่น การทำงานของเครื่องสูบลมยางที่เพิ่มแรงอัดด้วยการกดลูกสูบในกระบอกสูบ

การแทนที่เชิงบวกนั้นยังสามารถแบ่งได้เป็นอีกสองแบบย่อย อาทิ เครื่องอัดอากาศแบบเคลื่อนไหวไป-กลับ และเครื่องอัดอากาศแบบเคลื่อนไหวแบบเฟือง สำหรับเครื่องอัดอากาศแบบแทนที่นั้น ปริมาตรของเครื่องอัดอากาศนั้นจะคงที่แม้ในการผ่อนแรงอัดลง

เครื่องอัดลมแบบไดนามิคนั้นสามารถแบ่งเป็นแบบส่งกำลังศูนย์กลาง แบบส่งกำลังเชิงมุม และแบบของไหลพุ่ง

อุปกรณ์นิวแมติกส์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ แบบใบพัดและคันชัก ทั้งสองนั้นเป็นรูปแบบของมอเตอร์ลม ส่วนเครื่องอัดอากาศนั้นทำงานกลับกันในส่วนของมอเตอร์ เป็นการอัดอากาศเข้าในพื้นที่ปิดเพื่อผลักใบพัดนำไปสู่การหมุนของเพลา เช่น สว่านหรือหัวเจียร

2.7.2.1 กระบอกลม/กระบอกสูบนิวแมติกส์

กระบอกลม เป็นอุปกรณ์นิวแมติกส์อย่างหนึ่ง ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกล[6] มีลักษณะในการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงและวงกลม ตัวกระบอกลมมักจะทำด้วยท่อชนิดไม่มีตะเข็บ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วกระบอกลมนิวแมติกส์ที่นำมาใช้ในระบบนิวแมติกส์จะทำจาก เหล็ก, อลูมิเนียม, ทองเหลือง และ สแตนเลส โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานแต่ละงานเป็นหลัก ภายในท่อของกระบอกลมนิวแมติกส์จะต้องเรียบ ไม่มีรอย เพื่อไม่ให้มีการเสียดสีกันระหว่างลูกสูบกับท่อ ซึ่งจะทำให้ซีลเกิดการฉีกขาดและรั่ว

ประเภทของกระบอกลมนิวแมติกส์

กระบอกลมนิวแมติกส์แบบทางเดียว (Single-acting Cylinder) ทำงานในลักษณะทางเดียว กล่าวคือ ภายในตัวกระบอกลม จะมีส่วนที่ทำหน้าที่ในการผลิตหรืออัดอากาศให้มีแรงดันสูง จากนั้นก็ค่อยปล่อยอากาศแรงดันสูงนั้น ออกทางปลายท่อที่ทำหน้าที่จ่ายอากาศออกนั่นเอง จากนั้นในรอบการจ่ายอากาศรอบต่อไป กระบอกลมนิวแมติกส์จะต้องรอให้ สปริงที่อยู่ในกระบอกลมดันลูกสูบเคลื่อนที่กลับเข้าที่เดิม เมื่อครั้งตอนเริ่มต้นทำงานในครั้งแรกก่อน จึงจะสามารถสร้างแรงดันอากาศได้อีกครั้ง

ข้อดีของกระบอกลมนิวแมติกส์แบบทางเดียว

1. สามารถเริ่มต้นทำงานได้ทันทีในกรณีที่ไฟฟ้าดับ
2. ลดการใช้อากาศจากภายนอก
3. สามารถนำไปใช้งานได้อย่างง่ายดายผ่านวาล์วแบบ 3/2 ทาง(โซลินอยด์วาล์ว)

ข้อเสียของกระบอกลมนิวแมติกส์แบบทางเดียว

1. ช่วงความยาวของกระบอกลม มีความยาวเกินไป (ในบางรุ่น)
2. ความยาวของสปริงจะขึ้นอยู่กับช่วงความยาวของระยะชักของกระบอกลมเท่านั้น
3. สามารถสร้าง/จ่ายแรงดันอากาศได้เพียงแค่ทางเดียวเท่านั้น
4. แรงดันอากาศที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับแรงของสปริงที่อยู่ในกระบอกลม
5. ไม่สามารถควบคุมแรงดันอากาศให้คงที่ได้

กระบอกลมนิวแมติกส์แบบสองทาง (Double-acting Cylinders)

กระบอกลมนิวแมติกส์แบบทำงานสองทาง จะสามารถสร้างแรงดันอากาศได้แบบสองทาง โดยจะทำงานสลับกันในลักษณะตรงกันข้าม กล่าวคือ หากด้านใดทำหน้าที่เป็นฝ่ายผลิต อีกด้านก็จะเป็นฝ่ายจ่ายแรงดันอากาศ หรืออีกนัยหนึ่งคือ กระบอกลมแบบสองทางนี้จะใช้แรงอัดอากาศได้ทั้ง 2 ทาง ซึ่งจะสามารถดันอากาศออกและดึงอากาศเข้าในเวลาเดียวกัน ส่วนใหญ่จะนิยมนำอากาศมากระตุ้นให้กระบอกลมทำงานโดยการใช้วาล์วแบบ 5/2 ทาง

ข้อดีของกระบอกลมนิวแมติกส์แบบสองทาง

1. สามารถจ่ายแรงดันอากาศแรงดันสูงได้ทั้งสองทาง
2. แรงดันอากาศที่ได้จะมีความคงที่กว่ากระบอกลมแบบทางเดียว
3. ความยาวของช่วงชักของกระบอกลมมีความยาวมากกว่ากระบอกลมแบบทางเดียว

ข้อเสียของกระบอกลมนิวเมติกแบบสองทาง

1. จำเป็นต้องใช้อากาศในการอัดเพื่อกระตุ้นให้ลูกสูบทำงาน
2. ไม่สามารถสำรองแรงดันอากาศได้หากมีการทำงานผิดพลาดของกระบอกลมเอง

2.7.2.2 ชุดควบคุมปรับปรุงคุณภาพลมอัด

หน้าที่ของชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด คือ ทำหน้าที่คอยจัดการ ปรับปรุงคุณภาพของลมอัด ให้มีความสะอาด บริสุทธิ์ และมีความปลอดภัยสูง สามารถที่จะนำไปแจกจ่ายให้กับอุปกรณ์อื่นๆ ที่อยู่ในระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถที่จะช่วยลดความฝืดเคืองการเคลื่อนที่ของลมในอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในระบบ และสามารถป้องกันสนิมที่เกิดจากละออง หรือไอน้ำที่ปนมากับลมอัดได้อีกด้วย

ส่วนประกอบของชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด

ชุดกรองอากาศ (Filter) ทำหน้าที่ กรองเอาสิ่งสกปรกออกจากลมอัด เช่น ฝุ่นละออง, ไอน้ำ, ไอน้ำมัน, เศษโลหะ/สนิม โดยจะมีอุปกรณ์ย่อยที่เรียกว่า ไส้กรอง

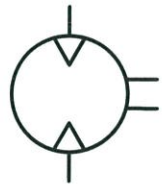
ชุดควบคุมความดัน/ปรับแรงดัน (Pressure Regulator) ทำหน้าที่ปรับ/ควบคุมแรงดันลมให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน

เกจวัดความดัน (Pressure Guage) ทำหน้าที่แสดงระดับแรงดันของลมอัดที่จะนำไปจ่ายให้กับระบบในขั้นตอนต่อไป

อุปกรณ์สำหรับจ่ายน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator) ทำหน้าที่ผสมน้ำมันหล่อลื่น(ที่อยู่ในลูกถ้วย) เข้ากับลมอัด โดยการผสมนี้จะอยู่ในลักษณะของการดูดน้ำมันเข้าไปบริเวณคอคอดแล้วจ่าย/ฉีดน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่ในรูปแบบของฝอยละออง

2.7.2.3 มอเตอร์ลม

มอเตอร์ลมมีลักษณะและสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.9 เป็นเครื่องจักรกลแปลงรูปพลังงานจากความดันอากาศเป็นพลังงานกลขับเคลื่อนเครื่องจักร ทำให้เครื่องจักรหมุนเช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้า



ก. สัญลักษณ์มอเตอร์ลม

ข. มอเตอร์ลม

รูปที่ 2.9 มอเตอร์ลม [6]

มอเตอร์ลมจะมีขนาดเล็กกว่ามอเตอร์ไฟฟ้า มอเตอร์ลมไม่มีความสูญเสียเนื่องจากความร้อน และการรับภาระแรงบิดสูงไม่ทำให้มอเตอร์ลมเสียหายเช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้า การควบคุมความเร็วและการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ลมทำได้ง่าย และราคาถูกกว่ามอเตอร์ไฟฟ้า โดยมอเตอร์ลมต้องการวาล์วควบคุมการไหลสำหรับควบคุมความเร็ว และมอเตอร์ลมต้องการวาล์วควบคุมความดันสำหรับควบคุมแรงบิด มอเตอร์ลมไม่ต้องการวงจรเริ่มหมุนและวงจรป้องกันกระแสเกินเช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้า

2.7.2.4 ปั๊มลม (Air Compressor)

ทำหน้าที่ในการอัดลมให้มีแรงดันสูงตามที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์และประยุกต์ใช้ได้หลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นระบบลมในโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ [7] การใช้งานระบบนิวแมติกส์ในอุตสาหกรรมเล็กๆ ยกตัวอย่างเช่น อู่ซ่อมรถยนต์ ร้านซ่อมรถจักรยานยนต์ ส่วนใหญ่จะใช้เป็นปั๊มลมประเภทลูกสูบ ที่มีการใช้ปริมาณลมน้อยและแรงดันลมไม่สูง ปั๊มลมประเภทลูกสูบจึงเหมาะกับอุตสาหกรรมเล็กๆ ส่วนเครื่องปั๊มลมที่ใช้ใน

โรงงานอุตสาหกรรม ส่วนมากแล้วจะใช้เป็นปั๊มลมประเภทโรตารีสกรู ที่ให้ปริมาณลมที่มากและยังสามารถทำความดันลมได้สูงถึง 13 บาร์

ปั๊มลมแบ่งออกเป็น 6 ประเภทด้วยกัน ได้แก่

1. ปั๊มลมประเภทลูกสูบ (Reciprocating Air Compressor)
2. ปั๊มลมประเภทไดอะเฟรม (Diaphragm Air Compressor)
3. ปั๊มลมประเภทสกรู (Screw Air Compressor)
4. ปั๊มลมประเภทใบพัดเลื่อน (Sliding Vane Rotary Air Compressor)
5. ปั๊มลมประเภทใบพัดหมุน (Roots Air Compressor)
6. ปั๊มลมประเภทกังหัน (Redial and Axial โlow Air Compressor)

1. ปั๊มลมประเภทลูกสูบ (Recipracating Air Compressor)

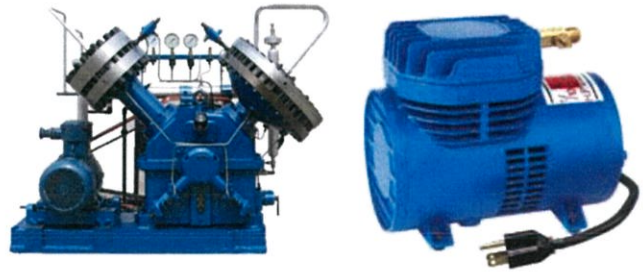
หลักการทำงานปั๊มลมลูกสูบ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังมาขับเคลื่อนลูกสูบให้เคลื่อนที่ขึ้นลง ทำให้เกิดแรงดูดและอัดอากาศภายในกระบอกสูบ ตัวอย่างดังรูปที่ 2.10 โดยมีวาล์วทางด้านดูดเข้าและวาล์วทางออกทำงานสัมพันธ์กัน เป็นปั๊มลมที่นิยมใช้งานมากที่สุดด้วยความเหมาะสมต่อการใช้งาน ราคาไม่สูงมากนักและยังสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกอีกด้วย ปั๊มลมชนิดนี้สามารถสร้างความดันหรือแรงดันลมได้ตั้งแต่ 1 บาร์ - 1,000 บาร์ โดยแรงอัดจะขึ้นอยู่กับจำนวนขั้นของการอัด ยิ่งขั้นในการอัดมากก็จะสามารถสร้างแรงอัดได้สูงขึ้นตามไปด้วย

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทลูกสูบ [7]

สำหรับปั๊มลมหรือเครื่องอัดลมแบบลูกสูบ ยังแบ่งออกเป็นประเภทย่อยๆ ได้อีกอย่างเช่น Booster Air Compressor, High Pressure Air Compressor ปั๊มลมแรงดันสูงแต่ให้เสียงที่เงียบ เพราะโดยปกติแล้วปั๊มลมประเภทลูกสูบนั้นจะมีข้อเสีย คือ เสียงดังขณะเครื่องทำงาน

2. ปั๊มลมประเภทไดอะเฟรม (Diaphragm Air Compressor)

เป็นปั๊มลมที่ใช้หลักการทำงานคล้ายแบบลูกสูบแต่จะมีแผ่นไดอะแฟรมเป็นตัวกั้นไม่ให้อากาศสัมผัสกับลูกสูบ ทำให้ลมที่ถูกดูดเข้าไปในปั๊มหรือเครื่องอัดลมจะไม่โดนหรือสัมผัสกับส่วนที่เป็นโลหะ ส่วนลมที่ได้จะไม่มีการผสมกับน้ำมันหล่อลื่น ตัวอย่างจะเห็นได้ดังรูปที่ 2.11 แรงดันที่สามารถได้สร้างสูงคล้ายปั้มลูกสูบขึ้นอยู่กับการออกแบบขั้นในการอัด ปั๊มลมชนิดนี้ ก็มีข้อดีอยู่เหมือนกันคือ ลมที่ได้ออกมาจะเป็นลมที่สะอาดไม่มีปนเปื้อน จึงมีการนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเฉพาะด้าน เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสารกรรมอาหาร ใช้ปั้มเพื่อสงสารเคมีต่างๆ เป็นต้น ข้อดีอีกอย่างคือ มีเสียงที่เงียบกว่าปั๊มลมแบบลูกสูบ เหมาะกับอุตสาหกรรมที่ต้องการความเงียบและเสียงรบกวนน้อย



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทไดอะเฟรม [7]

3. ปั๊มลมประเภทสกรู (Screw Air Compressor)

เป็นปั๊มลมที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เพราะเครื่องปั๊มลม ประเภทนี้จะให้การผลิตลมที่มีคุณภาพสูง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการหมุนเพลาสกรู 2 ตัวให้หมุนเข้าหากันทำให้เกิดแรงอัดอากาศขึ้นมา เครื่องอัดลมแบบสกรูจะได้ปริมาณลมที่สม่ำเสมอกว่าแบบลูกสูบ ตัวอย่างดังรูปที่ 2.12 ทั้งนี้ปริมาณลมและแรงดันลมขึ้นอยู่กับกำลังของมอเตอร์และการออกแบบชุดสกรู ยิ่งกำลังสูงตัวเครื่องอัดอากาศก็จะสามารถผลิตปริมาณอากาศได้มากและมีขนาดที่ใหญ่ตามด้วย เครื่องปั๊มลมหรือเครื่องอัดอากาศประเภทนี้จะสามารถจ่ายลม 170 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที และยังสามารถทำความดันได้สูงถึง 13 บาร์

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทสกรู [7]

เครื่องอัดลมประเภทนี้ยังถูกแบ่งออกเป็นประเภทย่อยได้อีก อาทิเช่น

– Belt Drive Screw Air Compressor

– Direct Drive Screw Air Compressor

– Gear Drive Screw Air Compressor

– Variable Speed Drive Screw Air Compressor

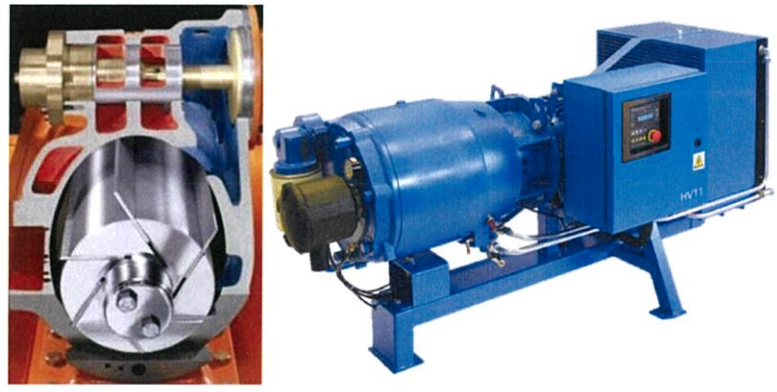
– Vacuum Screw Air Compressor

– Single Stage Screw Air Compressor

– Two Stage Screw Air Compressor

4. ปั๊มลมประเภทใบพัดเลื่อน (Sliding Vane Rotary Air Compressor)

จุดเด่นของปั๊มลมประเภทนี้คือ การที่เครื่องหมุนเรียบให้ความสม่ำเสมอ ทำให้อากาศที่ออกมามีแรงดันที่คงที่ เหมาะกับโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการแรงลมที่สม่ำเสมอและคงที่ เครื่องปั๊มลมประเภทนี้จะไม่มีลิ้นหรือวาล์วในการเปิดปิดในพื้นที่จำกัดทำให้ไวต่อความร้อน สามารถกระจายแรงลมได้ 4 – 100 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ความดันของลมอยู่ที่ 4 – 10 บาร์ ภาพตัวอย่างดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทใบพัดเลื่อน [7]

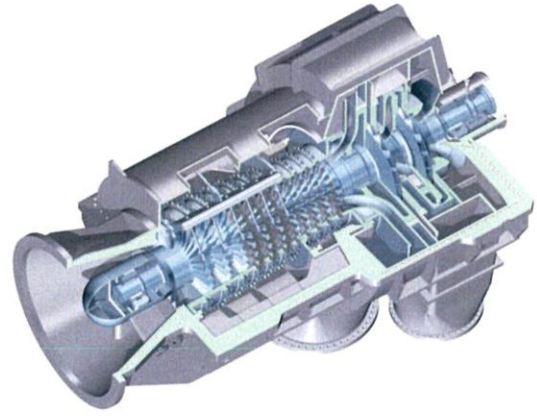
5. ปั๊มลมประเภทใบพัดหมุน (Roots Air Compressor)

ลักษณะของปั๊มลมประเภทนี้จะมีใบพัดหมุน 2 ตัว เมื่อโรเตอร์ 2 ตัวทำการหมุน จะทำให้ลมถูกดูดเข้าไปจากฝั่งหนึ่งไปอีกฝั่งหนึ่งดังรูปที่ 2.14 โดยอากาศที่ถูกดูดเข้าไปนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนปริมาตร ทำให้อากาศที่ไม่ถูกบีบหรืออัดตัว แต่อากาศจะมีการอัดตัวตอนที่เข้าไปเก็บในถังลม ปั๊มลมประเภทนี้ต้องอาศัยการระบายความร้อนและอุณหภูมิที่ดี ไม่มีลิ้น ไม่ต้องการหล่อลื่นขณะทำงาน และมีต้นทุนการผลิตที่สูง ลักษณะการทำงานของปั๊มลมแบบใบพัดหมุน จะใช้ใบพัดหมุน 2 ตัวทำการหมุน ทำให้มีการดูดอากาศจากทางช่องลมเข้าผ่านเข้าใบพัดที่ 1 แล้วส่งต่อไปพัดที่ 2 แล้วผ่านไปฝั่งลมออก โดยไม่ทำให้อากาศถูกบีบตัวหรืออัดตัว

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทใบพัดหมุน [7]

6. ปั๊มลมประเภทกังหัน (Redial and Axial Flow Air Compressor)

ปั๊มลมประเภทกังหันเป็นปั๊มลมอีกประเภทหนึ่งที่มีการจ่ายอัตราลมที่มาก เนื่องจากลักษณะจะเป็นใบพัดกังหันดูดลมเข้าจากอีกด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ตามแกนด้วยการหมุนที่มีความเร็วสูงดังแสดงในรูปที่ 2.15 และลักษณะของใบพัดก็เป็นส่วนสำคัญเรื่องอัตราการจ่ายลม สามารถจ่ายแรงลมได้ตั้งแต่ 170 – 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (m^3/min)



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างปั๊มลมประเภทกังหัน [7]

2.8 พีแอลซี (Programable Logic Controller)

พีแอลซี เป็นชื่อเรียกย่อของคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรมดังรูปที่ 2.16 ที่ควบคุมคำสั่งเข้าและคำสั่งออก แล้วใช้พื้นฐานเงื่อนไขในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบอัตโนมัติหรือเครื่องจักร [8]

พีแอลซีเป็นที่รู้จักครั้งแรกเมื่อปลายทศวรรษ 1960 โดยทำงานตามเงื่อนไขของรีเลย์ รีเลย์ในยุคสมัยนั้นไม่สามารถทำงานค้างไว้หรือดีเลย์ได้ นักเทคนิคจึงต้องทำการแก้ไขทุกอย่างทั้งหมดเพื่อแก้ไขปัญหานี้

รูปที่ 2.16 ตัวอย่างคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรมพีแอลซี [8]

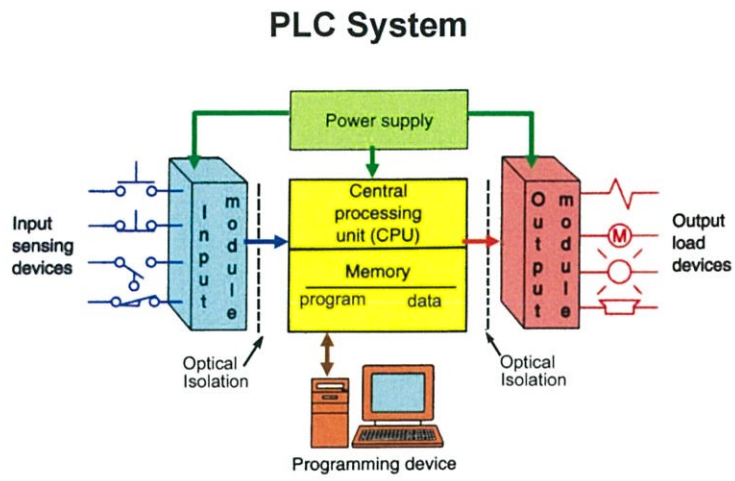
พีแอลซีนั้นทนทานต่อสภาพแวดล้อมกันเลวร้ายได้ เช่น ความร้อนสูง หรือความเย็น ฝุ่นและความชื้นสูง ในตัวโปรแกรมนั้นเป็นภาษาที่เข้าใจง่ายทำให้สามารถเขียนขึ้นมาได้อย่างง่ายดาย พีแอลซีมีลักษณะเป็นชิ้นส่วนที่แยกกัน สามารถติดตั้งได้หลากหลายรูปแบบ การที่รีเลย์เปลี่ยนหน้าสัมผัสภายใต้การรับภาระกระแสไฟฟ้านั้นจะทำให้เกิดประกายไฟที่ไม่ต้องการขึ้น ซึ่งประกายไฟดังกล่าวนั้นทำให้เกิดอุณหภูมิสูงมากพอที่เชื่อมหน้าสัมผัสให้ติดกันได้อันเป็นเหตุทำให้รีเลย์เสื่อมสภาพเป็นผลทำให้อุปกรณ์พังเสียหาย ฉะนั้นการติดตั้งรีเลย์พร้อมกับพีแอลซีนั้นจะช่วยป้องกันเหตุดังกล่าวได้

พีแอลซีนั้นก็มีข้อเสีย ตัวมันเองนั้นไม่สามารถรับข้อมูลที่ซับซ้อนได้ เช่น ข้อมูลที่ต้องการภาษาซีหรือวิชวลเบสิค และตัวพีแอลซีนั้นไม่สามารถแสดงผลข้อมูลได้ดีนัก จึงจำเป็นต้องมีหน้าจอภายนอกแยกต่างหาก

ส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ของพีแอลซี

อุปกรณ์ประมวลผลกลางนั้นทำหน้าที่คล้ายเป็นสมองของพีแอลซี ซึ่งจะมีชิ้นส่วนไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 16 บิทและ 32 บิท ที่ทำหน้าที่ควบคุมเงื่อนไขและสื่อสารเพื่อควบคุมคำสั่งกับอุปกรณ์อื่นๆ และจะคอยตรวจความจำเครื่องตลอดเวลาเพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดข้อผิดพลาดใดๆ ขึ้น

ความจำเครื่องนั้นช่วยให้พื้นที่จัดเก็บสำหรับระบบปฏิบัติการเพื่อกลุ่มข้อมูลที่หน่วยประมวลผลกลางใช้ ส่วนความจำเครื่องแบบอ่านอย่างเดียวนั้นมีไว้จัดเก็บข้อมูลถาวรของระบบปฏิบัติการ ส่วนความจำเครื่องแบบสุ่มเข้าถึงนั้นเก็บข้อมูลสภาวะของข้อมูลขาเข้าและขาออกของอุปกรณ์ ร่วมไปกับการนับเวลา นับจำนวนครั้ง ดังที่แสดงในรูปที่ 2.17 และพีแอลซีเองก็จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เขียนโปรแกรมเพื่อถ่ายโอนข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลกลาง เช่น คณิตกรณ์ เป็นต้น



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างลำดับการทำงานของระบบพีแอลซี [8]

พีแอลซีอ่านค่าสัญญาณจากเซนเซอร์ต่างๆ และจากอุปกรณ์ขาเข้า อุปกรณ์ขาเข้าอาจเป็น คีย์บอร์ด สวิตช์ หรือเซนเซอร์ อาจเป็นทั้งดิจิตอลหรืออนาล็อค ส่วนอุปกรณ์ขาออกคือ พวกมอเตอร์ วาล์วโซลินอยด์ เป็นต้น

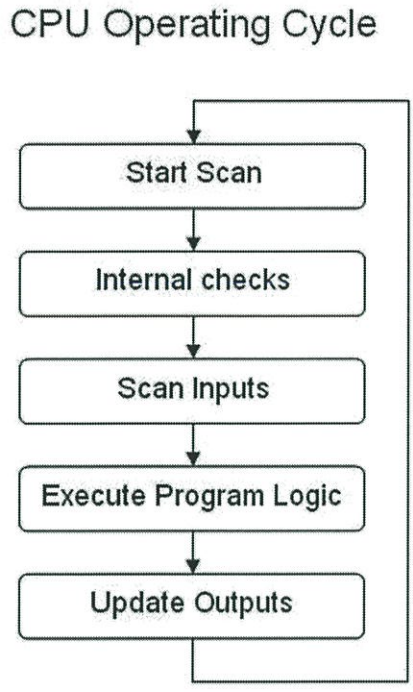
ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมพีแอลซีนั้นมี 5 ภาษา ใช้ภาษามาตรฐาน IEC 61131 การใช้เงื่อนไขแบบขั้นบันไดนั้นใช้กันมากในการเขียนโปรแกรมพีแอลซี สัญลักษณ์นั้นจะใช้รีเลย์เปิด-ปิด นับสัญญาณนาฬิกา นับเวลา และการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ สัญลักษณ์ต่างๆ นั้นถูกเรียงกันให้กลายเป็นการทำงานซ้ำๆ ได้ วงจรการทำงานนั้นแสดงดังรูปที่ 2.18 กฎในการเขียนเงื่อนไขแบบขั้นบันไดนั้นคือ ในบรรทัดหนึ่งๆ นั้นมีได้เพียงคำสั่งขาออกเดียว แต่ในบรรทัดหนึ่งๆ นั้นสามารถมีคำสั่งขาเข้าได้หลายตัว

ภาษาอื่นๆ ที่ใช้การเขียนจะมี Function Block Diagram (FBD) ทำหน้าที่อธิบายฟังก์ชันระหว่างคำสั่งขาเข้าและขาออก โดยฟังก์ชันมีลักษณะเป็นบล็อกเชื่อมต่อเข้ากับตัวแปรขาเข้าและขาออก วิธีการนี้ใช้ได้ดีกับเงื่อนไขและวิธีคำนวณที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุม

กลุ่มข้อความที่เรียงโครงสร้างมาแล้วเป็นภาษาระดับสูงใช้ประโยคคำสั่ง โปรแกรมดังกล่าวสามารถใช้ if, then, else, SQRT, repeat, until ได้ในการเขียน

ชุดคำสั่ง เป็นภาษาระดับต่ำที่พ่วงกับฟังก์ชันและตัวแปรที่กำหนดไว้ในพื้นฐาน โปรแกรมนั้นเขียนโดยคำสั่งกระโดดและคำสั่งชุดต่ำกว่าการทำซ้ำที่สามารถเลือกกำหนดค่าได้

ตารางฟังก์ชันเกี่ยวข้อง นั้นเป็นภาษาที่ออกแบบเพื่อเขียนโปรแกรมที่มีระบบควบคุมซับซ้อนใช้คำสั่งบล็อกพื้นฐานที่สามารถสั่งชุดคำสั่งที่ต่ำกว่าการทำซ้ำเองได้ โปรแกรมดังกล่าวจะเขียนทับภาษาอื่นๆ ตารางฟังก์ชันเกี่ยวข้องนั้นแบ่งคำสั่งที่เป็นชุดใหญ่และซับซ้อนออกเป็นคำสั่งย่อยและสามารถจัดการได้ง่ายกว่า



รูปที่ 2.18 แผนผังการทำงานของหน่วยประมวลผลของพีแอลซี [8]

การสื่อสารของพีแอลซี

RS-232 นั้นเป็นวิธีการสื่อสารที่ธรรมดาที่สุดที่พีแอลซีจะสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอก เป็นวิธีการสื่อสารผ่านชุดตัวเลขต่อเนื่องมาตรฐานที่เลขฐานสองเพื่อส่งข้อมูลในรูปแบบการส่งรหัสข้อมูลตามมาตรฐานอเมริกัน (ASCII) การส่งรหัสข้อมูลตามมาตรฐานอเมริกันนั้นจะแปลงตัวอักษรและตัวเลขเป็นเลขฐานสองที่คอมพิวเตอร์สามารถอ่านได้ โดยที่การเชื่อมต่อแบบชุดตัวเลขนี้จะส่งข้อมูลด้วยแรงดันไฟฟ้า

Data Terminal Equipment (DTE) หรือ Data Communications Equipment (DCE) DTE นั้นอาจเปรียบเหมือนเป็นคณิตกรณ์โดยที่ DCE นั้นคือโมเด็ม ซึ่งสำหรับพีแอลซีแล้วเป็นดั่ง DTE ส่วนอุปกรณ์ภายนอกนั้นคือ DCE นั่นเอง

การเลือกใช้พีแอลซี

สิ่งแวดล้อมนั้นมีผลต่อการทำงานของพีแอลซี โดยส่วนใหญ่จะทำงานในช่วงอุณหภูมิ 0-55 องศาเซลเซียส จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น อุปกรณ์เปิด-ปิดตามเงื่อนไขและอุปกรณ์อนาล็อคอื่นๆ นั้นเทียบได้กับจำนวนการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งขาเข้าและขาออก หรือทั้งลักษณะไฟฟ้าที่อุปกรณ์นั้นๆ ใช้ รวมถึงพีแอลซีสามารถให้สัญญาณคำสั่งกับอุปกรณ์นั้นๆ หรือไม่ ต้องตระหนักว่าความต้องการของหน่วยประมวลผลกลางนั้นสำคัญต่อขนาดของหน่วยความจำแบบสุ่ม การนับสัญญาณนาฬิกาและการ

นับเวลาใช้พื้นที่ของหน่วยความจำแบบสุ่มด้วยเช่นกัน ทั้งการอ่านค่าปัจจุบันหรือข้อมูลที่ต้องใช้นานนั้นมีผลต่อการเลือกขนาดของหน่วยประมวลผลกลาง

ส่วนหน่วยความจำชั่วคราวนั้นใช้บันทึกข้อมูลโปรแกรม อุปกรณ์อนาลอคส่วนใหญ่มักใช้ 25 คำในหน่วยความจำชั่วคราวต่อหนึ่งอุปกรณ์ การใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อนยิ่งต้องการพื้นที่มากขึ้น

การเชื่อมต่อของพีแอลซีนั้นสามารถทำได้แบบระยะไกล การควบคุมระยะไกลนั้นมีความจำเป็นเมื่ออุปกรณ์นั้นอยู่แยกจากกัน การส่งข้อมูลด้วยชุดตัวเลขนั้นสามารถทำได้ไกลสุด 50 ฟุต ส่วนการเชื่อมต่อแบบอีเตอร์เน็ตนั้นสามารถทำได้ไกลถึง 328 ฟุต

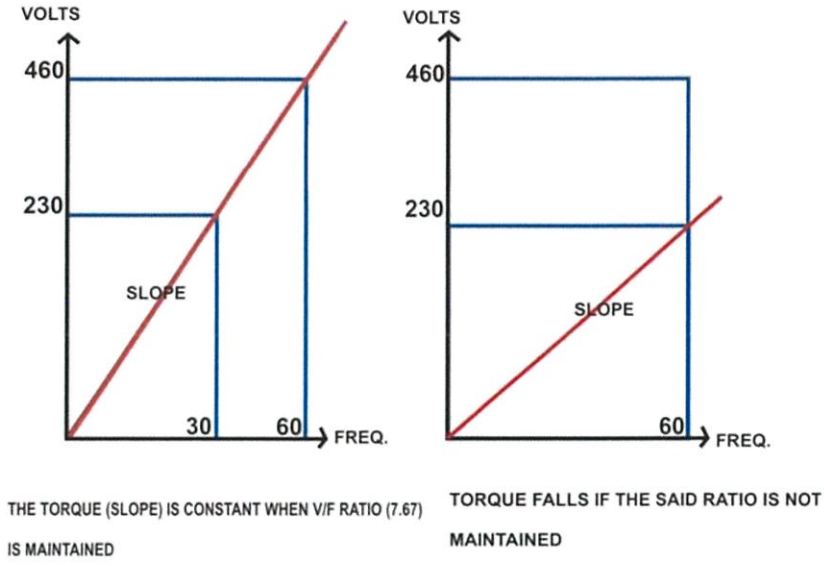
2.9 เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter)

สามารถเรียกได้อีกอย่างว่าเพาเวอร์อินเวอเตอร์ อินเวอเตอร์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยไม่ได้กำเนิดพลังงาน แต่เป็นการเปลี่ยนรูปแบบกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้ามาในอุปกรณ์ดังกล่าว [9]

ซึ่งในโครงงานดังกล่าวใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่ อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ความแม่นยำสูง ถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าโดยไม่มีผลกระทบต่อการสูญเสียทางไฟฟ้า แรงบิด ความต้านทาน ฟลักซ์แม่เหล็กและอื่นๆ ของมอเตอร์ อีกทั้งยังมีส่วนอินเตอร์เฟสจำเป็นที่ใช้ในการรับคำสั่งจากผู้ใช้

สำหรับความเร็วพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วของสเตเตอร์และความถี่ของแรงดันขาเข้า ดังนั้นเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยที่ไม่เปลี่ยนจำนวนของขั้วสเตเตอร์จึงใช้วิธีเปลี่ยนแปลงความถี่แทน ในการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่จะทำให้ความต้านทานภายในมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปทางลดลงเป็นผลทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กสูงขึ้นซึ่งจะทำให้ดึงกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นจนอันตราย เพื่อป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าวจึงต้องมีการควบคุมการจ่ายแรงดันให้ลดลงพร้อมๆ กับความถี่เพื่อการปรับอัตราส่วนขาเข้าดังกล่าว ซึ่งหากทำดังเช่นที่กล่าวมาไม่ได้ ฟลักซ์แม่เหล็กจะกระตุ้นให้มอเตอร์เกิดความเสียหาย ฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่อย่างแม่นยำสามารถควบคุมแรงบิดให้คงที่ เนื่องจากช่องว่างของสนามแม่เหล็กนั้นคงที่สามารถดูความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.19

โดยพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนั้นทำให้จำเป็นต่อการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ให้อยู่ในอัตราส่วนที่คงที่ อ้างอิงถึงกราฟ สมมติให้มอเตอร์ทำงานที่ 460 โวลต์ 60 เฮิรตส์แล้วลดแรงดันลงมาที่ 230 โวลต์ จะเห็นได้ดังรูปที่ 2.19 กราฟทางซ้ายจะลดทั้งแรงดันและความถี่ตามอัตราส่วน ส่วนกราฟทางขวานั้นลดเพียงแรงดัน แต่ความถี่นั้นไม่ได้ลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 2.19 กราฟแสดงอัตราแรงบิดต่อแรงดันไฟฟ้า [9]

ซึ่งกราฟทางซ้ายจะเป็นหน้าที่ที่อินเวอร์เตอร์ถูกออกแบบมาให้คงที่อัตราส่วนของค่าดังกล่าวเช่นนั้น

2.9.1 การทำงานของอินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่

วงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน [10][11]

1. อินพุตคอนเวอร์เตอร์ ในขั้นตอนนี้จะมีวงจรบริดจ์ไดโอดอยู่เพื่อการแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง แต่ยังคงมีลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับอยู่คือยังมีการแกว่งอยู่ ต้องมีการกรองอีกครั้ง

2. ดีซีบัส ขั้นตอนนี้กรองและตัดส่วนแกว่งของไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกแปลงออกมารวมถึงไฟฟ้ากระแสสลับตกค้าง โดยใช้ขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ซึ่งจะให้ผลไปถึงมอเตอร์โดยไม่มีแรงดันริปเปิ้ลอันเป็นอุดมคติของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

3. อินเวอร์เตอร์ กระบวนการนี้แปลงไฟฟ้าจากกระแสตรงกลับเป็นกระแสสลับอีกครั้งด้วยวิธีการที่ซับซ้อนกว่า โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบพิเศษมาเพื่อควบคุมความถี่ขาออกควบคู่ไปกับแรงดันรวมถึงจ่ายไฟฟ้าออกไปสามเฟส ซึ่งทำให้ขั้นตอนนี้ทำให้อินเวอร์เตอร์ค่อนแตกต่างไปจากตัวควบคุมไฟฟ้ากระแสสลับอื่นๆ

เอาต์พุตจากคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งไปยังเอาต์พุตทรานซิสเตอร์สองขั้วเกตไม่นำไฟฟ้าซึ่งสลับแรงดันไฟฟ้าที่รับมาจากดีซีบัสกลายเป็นขั้นลำดับกว้าง ที่จะทำได้เช่นนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพีดับบลิวเอ็มที่สามารถแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นควาซซินูซอยด์เวฟยิ่งสลับนาน แรงดันไฟฟ้าก็จะยิ่งสูงขึ้นไปด้วย ซึ่งวิธีการนี้จะปรับในส่วนหลักๆ เพียงสองส่วนคือเปลี่ยนขนาดแรงดันไฟฟ้าขาออกโดยไม่สูญเสียกระแสไฟฟ้า และควบคุมความถี่ให้อยู่ในระดับที่แรงบิดและฟลักซ์แม่เหล็กคงที่

2.10 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 3 เฟส (Induction Motor)

มอเตอร์แบบกรงกระรอกเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าพื้นฐานกลุ่มมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นมอเตอร์ที่แบ่งได้เป็นสองประเภท ขึ้นอยู่กับวิธีการจ่ายไฟฟ้า [13]

เฟสของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ไม่จำเป็นต้องมีขดลวดตรงข้ามกันเพียงสองคู่ การมีจำนวนแท่งขดลวดที่มากขึ้นยิ่งทำให้การหมุนนั้นมีความต่อเนื่องมากขึ้น การทำให้กระตุ้นแต่ละขดลวดแยกกัน ซึ่งมอเตอร์สามเฟสจะมีขดลวดอยู่สามคู่ การสลับกันกระตุ้นไปทีละคู่จะทำให้เกิดแรงผลักต่อเนื่อง

อินดักชันมอเตอร์แบบเฟสเดียว

เป็นอินดักชันมอเตอร์แบบแบ่งเฟส

เริ่มทำงานด้วยประจุจากตัวเก็บประจุ

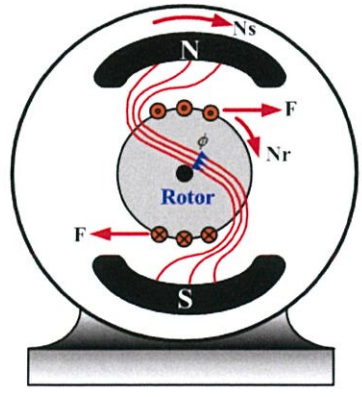
อินดักชันมอเตอร์แบบสามเฟส

เป็นมอเตอร์โครงข่ายกรงกระรอก

เป็นมอเตอร์แบบสลิปริง

2.10.1 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอก

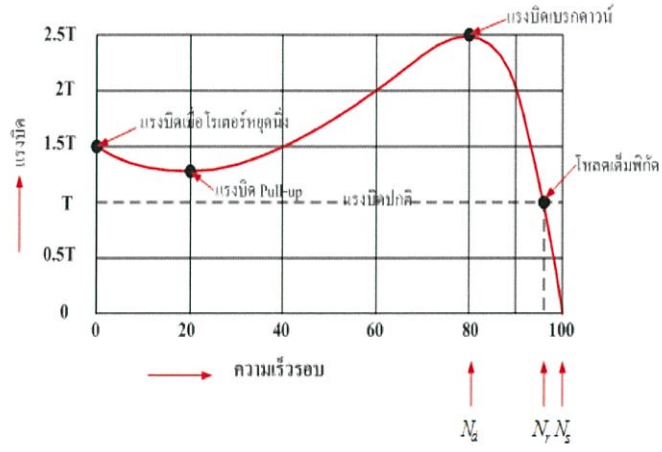
เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์ด้วยความเร็วซิงโครนัส (N_S) สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะเคลื่อนที่ตัดขดลวดที่โรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำบนโรเตอร์ แต่ตัวนำบนโรเตอร์นี้ได้ถูกลัดวงจรไว้ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลที่ตัวนำนี้ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ เกิดสนามแม่เหล็กขั้วเหนือและขั้วใต้ขึ้นที่โรเตอร์เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ [12] โดยผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำที่โรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่โรเตอร์ และทำให้โรเตอร์หมุนไปได้และมีทิศทางตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การเกิดแรงบิดและขั้วสนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส [12]

2.10.2 คุณลักษณะและการนำไปใช้งาน

จากรูปที่ 2.21 เมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอก ในสภาวะที่ขับโหลดเต็มพิกัด จะพบว่าแรงบิดในสภาวะปกติที่โหลดเต็มพิกัดคือ T และแรงบิดในสภาวะที่โรเตอร์หยุดนิ่งเท่ากับ 1.5 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัด สำหรับแรงบิดเบรกดาวน์จะมีค่าประมาณ 2.5 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัด

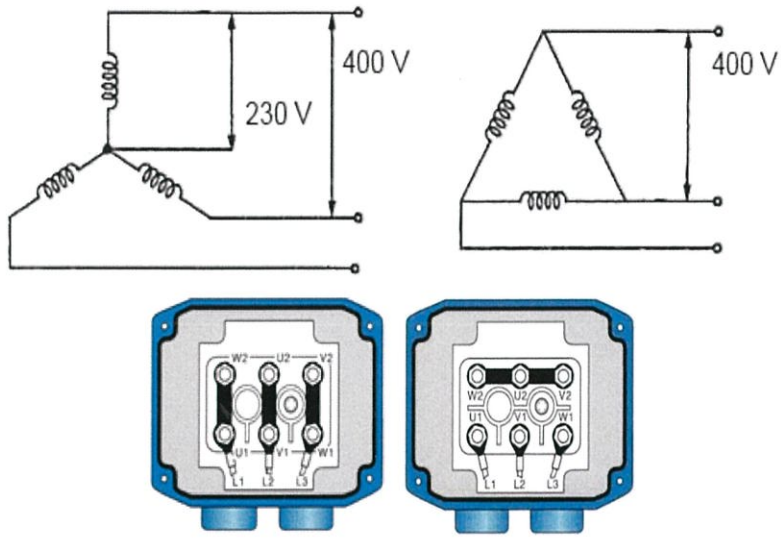


รูปที่ 2.21 กราฟคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอก [12]

ที่โหลดเต็มพิกัดความเร็วรอบของมอเตอร์จะเท่ากับ Nr แต่ถ้าแรงบิดของโหลดเพิ่มขึ้น ความเร็วจะลดลง จนกระทั่งมอเตอร์สร้างแรงบิดได้เท่ากับแรงบิดของโหลด ในสภาวะดังกล่าวมอเตอร์ยังคงหมุนไปได้ แต่เมื่อใดก็ตามที่แรงบิดของโหลดเกินกว่า 2.5 เท่าของแรงบิดของมอเตอร์เต็มพิกัด ซึ่งเรียกว่า “แรงบิดเบรกดาวน์” จะทำให้มอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมอเตอร์ไม่สามารถสร้างแรงบิดขึ้นมาเท่ากับแรงบิดของโหลดได้ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีขนาดเล็กกว่า 10 kW ความเร็วที่แรงบิดเบรกดาวน์จะมีค่าประมาณ 80 % ของความเร็วซิงโครนัส แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีพิกัดมากกว่า 1000 kW ความเร็วที่แรงบิดเบรกดาวน์จะมีค่าประมาณ 98 % ของความเร็วซิงโครนัส

2.10.3 การต่อใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

การต่อใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสนั้น ที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสจะมีขดลวดพันอยู่ 3 ชุด คือ เฟส A, B และ C สามารถนำมาต่อใช้งานได้ 2 แบบคือ การต่อใช้งานแบบสตาร์และแบบเดลตา การจะต่อมอเตอร์ใช้งานแบบใดนั้น จะต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์นั้น และระบบไฟฟ้าของประเทศนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



ก. การต่อขดลวดแบบสตาร์ ข. การต่อขดลวดแบบเดลตา

รูปที่ 2.22 การต่อมอเตอร์ใช้งานแบบสตาร์และแบบเดลตา [12]

2.10.4 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

เมื่อพิจารณาจากสมการของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนจะได้ดังสมการที่ (2.4)

$$N_S = \frac{120f}{P} \text{ (rpm)} \tag{2.4}$$

การควบคุมที่ทำให้ความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุน หรือความเร็วซิงโครนัสเปลี่ยนแปลงได้นั้น มี 2 รูปแบบคือ เปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็ก (P) และเปลี่ยนแปลงความถี่ (f) ของแหล่งจ่ายให้กับมอเตอร์

สำหรับจำนวนขั้วแม่เหล็กจะเป็นปฏิภาคผกผันกับความเร็วซิงโครนัสคือ เมื่อจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก ความเร็วซิงโครนัสจะน้อย แต่เมื่อจำนวนขั้วแม่เหล็กน้อยความเร็วซิงโครนัสจะมาก การปรับความเร็วรอบด้วยวิธีนี้มี 2 แบบคือ แบบคอนซีเควนโพล กับแบบใช้ขดลวดหลายชุด การเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็ก ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นๆ ไม่เรียบสม่ำเสมอ

ส่วนความถี่จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็วซิงโครนัส เมื่อความถี่มากความเร็วซิงโครนัสจะมากตาม ในทางตรงกันข้ามถ้าความถี่ลดลงความเร็วซิงโครนัสก็จะลดลงด้วย การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยวิธีนี้ เป็นการใช้อินเวอร์เตอร์ในการเริ่มเดินมอเตอร์ สามารถปรับความถี่ได้ตามต้องการ ความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ และสามารถปรับเพิ่มหรือลดแรงบิดได้อีกด้วย ซึ่งอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้งานในปัจจุบันจะเป็นแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

2.10.5 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

มอเตอร์แบบเฟสเดียวนั้นไม่สามารถเริ่มทำงานด้วยตัวเองได้ ในขณะที่มอเตอร์สามเฟสสามารถเริ่มต้นทำงานด้วยตัวเองได้ [13] การเริ่มต้นทำงานด้วยตัวเองเป็นการที่อุปกรณ์สามารถเริ่มต้นทำงานอัตโนมัติโดยไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ที่มอเตอร์สามเฟสสามารถเริ่มต้นทำงานด้วยตัวเองได้ เป็นเพราะในระบบสามเฟสนั้นมีไฟฟ้าเฟสเดียวที่ห่างกัน 120 องศาอยู่สามเฟส ซึ่งการกระตุ้นให้แต่ละเฟสทำงานต่างเวลากันทำให้เกิดแรงแม่เหล็กให้ผลักส่วนกังหันของมอเตอร์

ส่วนมอเตอร์เฟสเดียวนั้นมีการกระตุ้นในครั้งแรกเพียงจุดเดียว ซึ่งในการทำให้กังหันมอเตอร์หมุน จำเป็นต้องทำให้เกิดสนามแม่เหล็กตรงข้ามกันตั้งแต่สองจุดเป็นต้นไป ซึ่งในมอเตอร์เฟสเดียวจะไม่เกิดกรณีนี้ในแรกเริ่ม วิธีแก้จึงใช้วิธีสร้างวงจรสองวงจร วงจรแรกเป็นวงจรเสริม และอีกวงจรหนึ่งเป็นวงจรตัวเก็บประจุ ซึ่งวงจรตัวเก็บประจุดังกล่าวจะทำให้เกิดเฟสที่ต่างกันกับไฟฟ้าเฟสเดียวที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทั้งสอง ทำให้เกิดแรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์หมุนต่อไปได้

โรเตอร์หมุนได้ในสนามแม่เหล็กเพราะวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า โดยที่สนามแม่เหล็กค่อยๆ เปลี่ยนไปเรื่อยๆ จากการหมุน ซึ่งจากกฎของฟาราเดย์นั้นได้กล่าวว่า สนามแม่เหล็กได้กำเนิดกระแสไฟฟ้าภายในโรเตอร์ ซึ่งหากตัวนำเป็นแหวนหรือลวด กระแสจะไหลรอบวงของตัวมันเอง ทว่าหากตัวนำเป็นเพียงโลหะธรรมดา กระแสเอ็ดดีจะหมุนรอบตัวมันเอง ซึ่งกระแสดังกล่าวจะสร้างอีกสนามแม่หล็กหนึ่งขึ้นมาที่พยายามหยุดการหมุนของสนามแม่เหล็กที่กำลังหมุนอยู่เอง ฉะนั้นการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นหัวใจหลักของการทำงานของมอเตอร์ชนิดนี้

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ [14]

ในซิงโครนัสมอเตอร์ โรเตอร์จะหมุนดังเช่นความเร็วของสนามแม่เหล็กเอง ซึ่งในมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า โรเตอร์มักจะหมุนที่ความเร็วต่ำสนามแม่เหล็ก มอเตอร์ลักษณะนี้จะถูกเรียกว่าอะซิงโครนัสมอเตอร์ ในทางทฤษฎีความเร็วของการหมุนของโรเตอร์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าความเร็วของโรเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับและจำนวนของขดลวดในสเตเตอร์ ในเวลาที่มอเตอร์หมุนโดยไม่มีการรับภาระ มอเตอร์ดังกล่าวจะมีความเร็วใกล้เคียงสนามแม่เหล็ก ในทางปฏิบัติแล้วเมื่อมอเตอร์ต้องรับภาระใดๆ นั้นมีส่วนที่ทำให้มอเตอร์นั้นหมุนช้าลงยิ่งภาระมาก การเลื่อนระหว่างโรเตอร์กับสนามแม่เหล็กก็จะยิ่งสูงขึ้น เพื่อที่จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ จึงจำเป็นต้องเพิ่มหรือลดความถี่ของของไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่าย ซึ่งวิธีการดังกล่าวเรียกว่าการควบคุมแบบเปลี่ยนแปลงความถี่

ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า

ข้อดี

1. การทำงานที่ไม่ซับซ้อน มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหวเพียงชิ้นเดียว

2. ใช้งานได้ยาวนาน ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปรงถ่าน เช่น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3. เสียงเบา

ข้อเสีย

1. สามารถหมุนได้ที่ความเร็วเดียวหากไม่ได้ควบคุมความถี่

2. มีน้ำหนักมากเนื่องด้วยการพันขดลวด

3. จำเป็นต้องใช้อินเวอเตอร์ในการใช้งาน

2.11 สวิตช์ (Switch)

สวิตช์ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าภายในวงจร หรือกล่าวคือ อุปกรณ์เปิด ปิดกระแสไฟฟ้าภายในวงจรไฟฟ้า [15] โดยใช้สัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.23

รูปที่ 2.23 สัญลักษณ์ของสวิตช์ [15]

2.11.1 การทำงานของสวิตช์

ส่วนประกอบพื้นฐานของสวิตช์จะมีส่วนที่เรียกว่า หน้าสัมผัส อยู่ภายในซึ่งคล้ายกับสะพานเชื่อมให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจรไฟฟ้าได้ สวิตช์ทำหน้าที่เปิด ปิด วงจรไฟฟ้า ทำให้วงจรไฟฟ้าเกิดการทำงานอยู่ 2 ลักษณะคือ วงจรเปิดและวงจรปิด วงจรเปิด คือลักษณะที่หน้าสัมผัสของสวิตช์ไม่เชื่อมต่อกันทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลไปในวงจรได้ และวงจรปิด คือ การที่หน้าสัมผัสของสวิตช์เชื่อมต่อกันทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจรได้

วงจรเปิด หน้าสัมผัสไม่เชื่อมต่อกัน กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลในวงจรได้ ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ทำงาน แต่เรามักจะเรียกกันว่าเป็นการปิดสวิตช์ ซึ่งหมายถึงการปิดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั่นเอง

วงจรปิด หน้าสัมผัสเชื่อมต่อกัน กระแสไฟฟ้าสามารถไหลในวงจรได้ ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงาน แต่เรามักจะเรียกกันว่าเป็นการเปิดสวิตช์ ซึ่งหมายถึงการเปิดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ตัวอย่างการทำงานของสวิตช์ในวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย

โดยทั่วไป เมื่อเลื่อนสวิตช์ไฟฉายไปทางใดทางหนึ่ง จะทำให้สวิตช์ในวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลภายในวงจรได้ เนื่องจากไม่มีสะพานเชื่อมกระแสไฟฟ้าให้ไหลจากถ่านไฟฉายไปสู่หลอดไฟได้ ส่งผลให้หลอดไฟดับ ขณะเดียวกันเมื่อเลื่อนสวิตช์ไฟฉายไปอีกทาง จะทำให้สวิตช์ในวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าจะสามารถไหลจากถ่านไฟฉายไปสู่หลอดไฟได้ ทำให้หลอดไฟสว่าง

สวิตช์มีหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบจะถูกออกแบบและสร้างมาเพื่อการใช้งานในลักษณะที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้แล้วสวิตช์บางประเภทยังบอกคุณลักษณะการทนกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าอีกด้วย ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด จึงควรเลือกใช้สวิตช์ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และควรศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของสวิตช์แต่ละรูปแบบให้เข้าใจก่อนตัดสินใจเลือกใช้

สวิตช์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้า และทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้ไฟฟ้า ถ้าเป็นชนิดที่ออกแบบโดยใช้ความร้อนและแม่เหล็กควบคุม เมื่อเกิดการลัดวงจรหรือการใช้กระแสไฟฟ้ามากเกินไปในวงจรก็สามารถที่จะตัดวงจรไฟฟ้าได้

2.11.2 ประเภทของสวิตช์

2.11.2.1 สวิตช์เลื่อน

เป็นสวิตช์ชนิดหนึ่งที่ใช้เปิด ปิด การทำงานของอุปกรณ์ ใช้งานโดยการเลื่อนการควบคุมตัดต่อสวิตช์ ทำได้โดยผลักเลื่อนสวิตช์ขึ้นบนหรือลงล่าง การเลื่อนสวิตช์ขึ้นบนเป็นการต่อ (ON) การเลื่อนสวิตช์ลงล่างเป็นการตัด (OFF) นิยมใช้เป็นอุปกรณ์เปิด ปิดสิ่งของประเภทของเล่นเด็กและเครื่องใช้ต่างๆ เช่น นาฬิกาปลุก ไฟฉาย ดังรูปที่ 2.24

รูปที่ 2.24 ตัวอย่างการใช้สวิตช์เลื่อนในชีวิตประจำวัน [15]

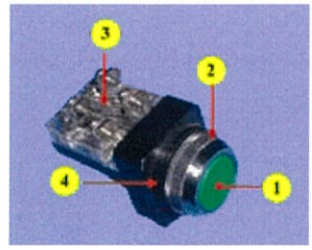
2.12.2.2 สวิตช์กระดก

เป็นสวิตช์ที่ใช้งานโดยการกด เมื่อต้องการเปิดสวิตช์ก็ให้กดด้านที่ระบุว่าเป็นการเปิดสวิตช์ลง ส่วนอีกด้านที่เหลือก็จะกระดกขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีตัวอักษรระบุการทำงานบนตัวสวิตช์ เช่น เปิด ปิด On-OFF จะพบเห็นการใช้สวิตช์กระดกชนิดนี้ดังรูปที่ 2.25 กับหลอดไฟ ปลั๊กราง หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างสวิตช์กระดก [15]

2.11.2.3 สวิตช์กด

ใช้งานโดยการกดเปิด ปิด ในปุ่มเดียวกัน คือ กดปุ่มที่อยู่ส่วนกลางสวิตช์ กดปุ่มสวิตช์หนึ่งครั้งสวิตช์ต่อ (ON) และเมื่อกดปุ่มสวิตช์อีกหนึ่งครั้งสวิตช์ตัด (OFF) การทำงานเป็นเช่นนี้ตลอดเวลา[17] แต่สวิตช์แบบกดบางแบบอาจเป็นชนิดกดติดปล่อยดับดังรูปที่ 2.26 (Momentary) คือขณะกดปุ่มสวิตช์เป็นการต่อ (ON) เมื่อปล่อยมือออกจากปุ่มสวิตช์เป็นการตัด (OFF) ทันที เช่น ปุ่มปิด เปิดโทรทัศน์ รีโมท คอมพิวเตอร์



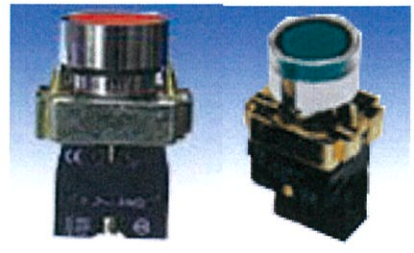
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างสวิตช์กด [17]

โครงสร้างของสวิตช์ปุ่มกด

1. ปุ่มกด ทำด้วยพลาสติก อาจเป็นสีเขียว แดง เหลืองหรืออื่นๆ ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน
2. แหวนล็อค
3. ยางรอง
4. ชุดกลไกหน้าสัมผัส

ชนิดของสวิตช์ปุ่มกด

สวิตช์ปุ่มกดที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น สวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดาใช้ในงานเริ่มเดิน (Start) และหยุด (Stop) ดังรูปที่ 2.27 สวิตช์สีเขียวใช้ในการสตาร์ท หน้าสัมผัส เป็นชนิดปกติเปิด (Normally Open) หรือที่เรียกว่า เอ็น โอ (N.O.) สวิตช์สีแดงใช้ในการหยุดการทำงาน (Stop) หน้าสัมผัสเป็นชนิดปกติปิด (Normally Close) หรือที่เรียกว่าเอ็น ซี (N.C.)



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างสวิตช์ปุ่มกด [16]

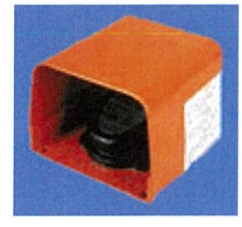
สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency Push Button) สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉินหรือเรียกทั่วไปว่าสวิตช์ดอกเห็ดเป็นสวิตช์หัวใหญ่กว่าสวิตช์ แบบธรรมดาเป็นสวิตช์ที่เหมาะกับงานที่ที่เกิดเหตุฉุกเฉินหรืองานที่ต้องการหยุดทันที ตัวอย่างดังรูปที่ 2.28

รูปที่ 2.28 ตัวอย่างสวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน [16]

สวิตช์ปุ่มกดที่มีหลอดไฟสัญญาณร่วมด้วยดังรูปที่ 2.29 เมื่อกดปุ่มจะมีแสงสว่างอยู่ภายในปุ่มพร้อมกัน สามารถประยุกต์ใช้กับปุ่มคำสั่งที่ต้องการเห็นสถานะคำสั่งอย่างชัดเจน

รูปที่ 2.29 ตัวอย่างสวิตช์ปุ่มกดแบบมีหลอดไฟสัญญาณ [16]

สวิตช์ปุ่มกดที่ใช้เท้าเหยียบ (Foot push button) เป็นสวิตช์ที่ทำงานที่ใช้เท้าเหยียบ เหมาะกับเครื่องจักรที่ต้องทำงานโดยใช้เท้าเหยียบ เช่นเครื่องตัดเหล็ก ตัวอย่างดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างสวิตช์ปุ่มกดเท้าเหยียบ [16]

2.11.2.4 สวิตช์แบบก้านยาว

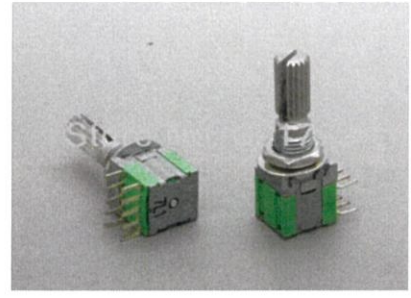
เป็นสวิตช์ที่เวลาใช้งานต้องโยกก้านสวิตช์ไปมาโดยมีก้านสวิตช์โยกยื่นยาวออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.31 จากตัวสวิตช์ การควบคุมตัดต่อสวิตช์ ทำได้โดยโยกก้านสวิตช์ให้ขึ้นบนหรือลงล่าง [15] ในการโยกก้านสวิตช์ขึ้นมักจะเป็นการต่อ (ON) และโยกก้านสวิตช์ลงมักจะเป็นการตัด (OFF)

ส่วนมากจะใช้กับพัดลม หลอดไฟ เครื่องเจาะ หินเจียรไนหรือกับโหลดที่ไม่มากนัก สวิตช์ลักษณะนี้เมื่อเกิดการลัดวงจรหรือใช้กระแสไฟฟ้ามากเกินไปในวงจรจะไม่สามารถตัดวงจรไฟฟ้าได้เอง

รูปที่ 2.31 ตัวอย่างสวิตช์แบบก้านยาว [15]

2.11.2.5 สวิตช์แบบหมุนหรือเรียกว่าสวิตช์แบบเลือกค่า

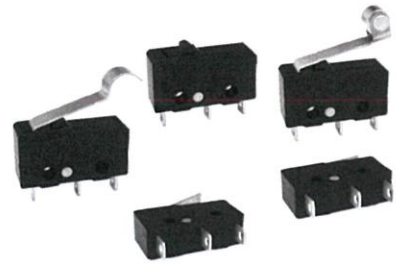
เป็นสวิตช์ที่ต้องหมุนก้านสวิตช์ไปโดยรอบเป็นวงกลม สามารถเลือกตำแหน่งการตัดต่อได้หลายตำแหน่ง มีหน้าสัมผัสสวิตช์ให้เลือกต่อมากหลายตำแหน่ง เช่น 2, 3, 4 หรือ 5 ตำแหน่ง เป็นต้น ตัวอย่างดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 ตัวอย่างสวิตช์แบบหมุน [15]

2.11.2.6 สวิตช์แบบไมโคร

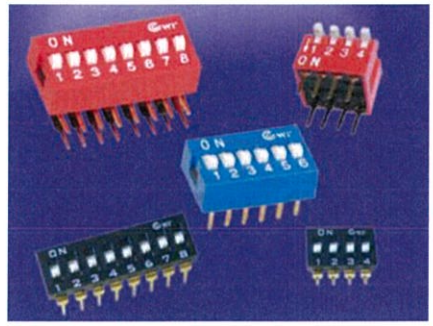
เป็นสวิตช์แบบกดชนิดกดติดปล่อยดับนั่นเอง แต่เป็นสวิตช์ที่สามารถใช้แรงจำนวนน้อยๆ กดปุ่มสวิตช์ ก้านสวิตช์แบบไมโครสวิตช์มีหลายแบบ อาจเป็นปุ่มกดหรืออาจมีก้านแบบโยกได้มากดปุ่มสวิตช์อีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 2.33 การควบคุมตัดต่อสวิตช์ ทำได้โดยกดปุ่มสวิตช์หรือกดก้านคันโยกเป็นการต่อ (ON) และเมื่อปล่อยมือออกจากปุ่มหรือก้านคันโยกเป็นการตัด (OFF)



รูปที่ 2.33 ตัวอย่างสวิตช์ไมโคร [15]

2.11.2.7 สวิตช์แบบดิพ

คำว่าดิพ (DIP) มาจากคำเต็มว่าดูอัลอินไลน์แพกเกจ (Dual Inline Package) เป็นสวิตช์ขนาดเล็กใช้งานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นในรูปชิพ (Chip) ที่มีขนาดเล็กๆ หรือใช้งานกับไอซี (IC = Integrated Circuit) ลักษณะสวิตช์สามารถตัดหรือต่อวงจรได้ การควบคุมตัดต่อสวิตช์แบบดิพจะต้องใช้ปลายปากกาหรือปลายดินสอในการปรับเลื่อนสวิตช์ สวิตช์แบบดิพมักถูกติดตั้งบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Cricuit Board) ใช้กับกระแสไม่เกิน 30mA ที่แรงดัน 30VD ตัวอย่างดังรูปที่ 2.34

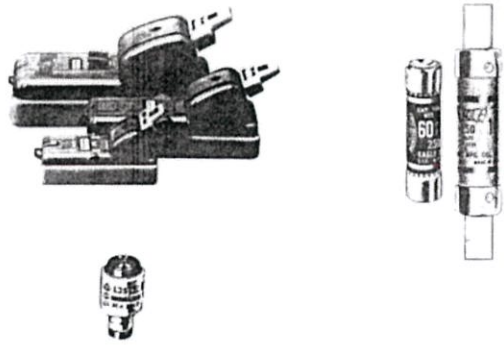


รูปที่ 2.34 ตัวอย่างสวิตช์แบบดิพ [15]

2.11.2.8 ฟิวส์

เป็นอุปกรณ์ป้องกันโดยทำหน้าที่เหมือนตัวนำตัวหนึ่งในวงจรไฟฟ้า เมื่อเกิดกระแสเกินพิกัด (Overload Current) หรือกระแสลัดวงจร (Short Circuit Current) มีค่ามากกว่ากระแสที่ฟิวส์ทนได้ (Fuse's Current Rating) จะทำให้ฟิวส์ขาด ซึ่งจะทำให้วงจรขาดและกระแสไม่ไหล เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์และผู้ใช้อุปกรณ์ [17] ตัวอย่างฟิวส์ต่างๆ ดังรูปที่ 2.35

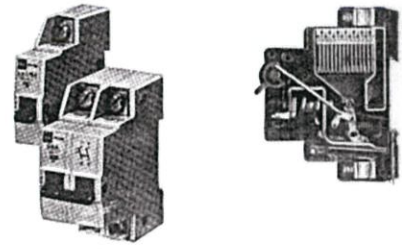
โดยปกติฟิวส์จะเป็นอุปกรณ์ที่อ่อนแอที่สุดในวงจร โดยจะขาดและตัดวงจรก่อนที่อุปกรณ์อื่นๆ เช่น หลอดไฟ สายไฟ หรือหม้อแปลง จะไหม้หรือระเบิด



รูปที่ 2.35 ฟิวส์ลวดตะกั่ว ฟิวส์กระบอก (ขวา) ฟิวส์ใบมีด (ขวาสุด) [17]

2.11.2.9 สะพานไฟ

เป็นสวิตช์เปิด-ปิดที่ใช้ในงานไฟฟ้าทั่วไป แต่มีคุณภาพที่สูงกว่าเพราะนอกจากจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดวงจรไฟฟ้าแล้วยังสามารถควบคุมและป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินในวงจรและการลัดวงจร ทำงานโดยอาศัยความร้อนและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อสะพานไฟตัดวงจรแล้วยังสามารถใช้งานได้อีก ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 เบรกเกอร์และภาพตัดแสดงอุปกรณ์ภายใน [17]

2.11.2.10 สวิตช์จำกัดระยะ สวิตช์จำกัดเป็นสวิตช์ที่จำกัดระยะทางการทำงาน อาศัยแรงกดภายนอกมากระทำ ตัวอย่างสวิตช์ดังรูปที่ 2.37 เช่น วางของทับปุ่มกด ลูกเบี้ยวหมุนมาชนปุ่มกดที่มีหน้าสัมผัสทั้งปกติปิดและปกติเปิด

รูปที่ 2.37 ตัวอย่างสวิตช์จำกัดระยะ [16]

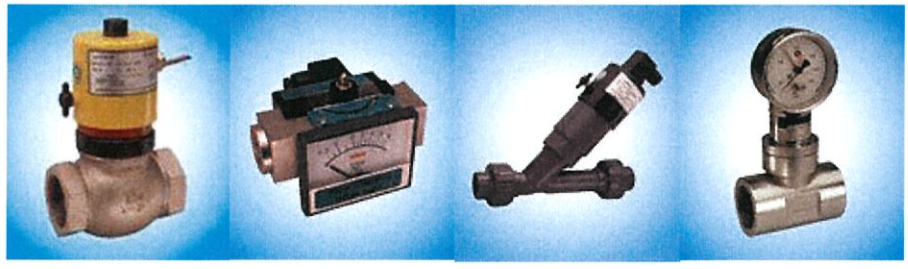
2.11.2.11.สวิตช์ความดัน

สวิตช์ชนิดนี้ใช้ในงานที่ต้องการควบคุมความดันตามต้องการในอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยลมหรือน้ำมันดังรูปที่ 2.38 ได้แก่ เครื่องมืองานช่างเชื่อม ระบบการหล่อลื่นที่ใช้ความดันสูงและมอเตอร์ขับปั๊มน้ำ เช่น ถ้ามีความดันสูงเกินกว่าที่ตั้งไว้สวิตช์จะตัดวงจร ความดันต่ำสวิตช์จะต่อวงจร

รูปที่ 2.38 ตัวอย่างสวิตช์ความดัน [16]

2.11.2.12 สวิตช์ควบคุมการไหล

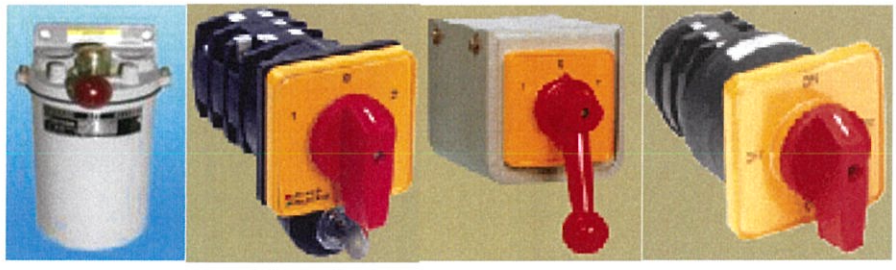
เป็นอุปกรณ์สวิตช์ที่ติดตั้งไว้กับท่อเพื่อว่าเมื่อมีของเหลวหรืออากาศไหลผ่านอุปกรณ์สวิตช์จะทำให้หน้าสัมผัสทำงาน ปกติหน้าสัมผัสที่ใช้ในสวิตช์ควบคุมการไหลจะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบปกติปิดและแบบปกติเปิด ในทางปฏิบัตินิยมต่อสวิตช์ควบคุมการไหลอนุกรมกับขดลวดของแมกเนติกคอนแทคเตอร์หรือหลอดไฟสัญญาณ ดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 ภาพสวิตช์ควบคุมการไหล [16]

2.11.2.13 สวิตช์โยก

สวิตช์โยกหรือโรตารี่แคมสวิตช์ (Rotary Camp Switch) ประกอบด้วย ชุดหน้าสัมผัสที่ติดตั้งบนแกนฉนวนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยเมื่อหมุนแกนไปก็จะทำให้หน้าสัมผัสเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นหน้าสัมผัสเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นหน้าสัมผัสปิดหรือหน้าสัมผัสเปิดได้ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 ตัวอย่างสวิตช์โยก [16]

2.11.2.14 โซลีนอยด์วาล์ว

โซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) ดังรูปที่ 2.41 เป็นอุปกรณ์สวิตช์ที่อาศัยหลักการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานร่วมกับกลไก โดยใช้การป้อนไฟเป็นเพื่อให้ควบคุมลิ้นกลไกปิดหรือเปิดได้ อุปกรณ์ที่ใช้โซลีนอยด์วาล์วควบคุม ได้แก่ วาล์วน้ำ เบรก และคลัชช์ เป็นต้น

2.12 รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนหลัก

1. ส่วนของขดลวด (Coil) เหนี่ยวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แกนโลหะไปกระทุ้งให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวดเหนี่ยวนำนี้ เมื่อขดลวดได้รับแรงดันจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระทุ้งให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน [18]

2. ส่วนของหน้าสัมผัส (Contact) ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการ หน้าสัมผัสประกอบด้วย

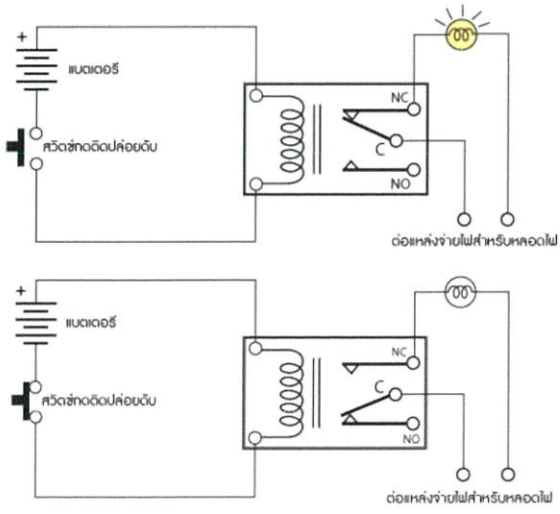
จุดต่อ NC ย่อมาจาก Normal Close หมายความว่าปกติปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปมักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา

จุดต่อ NO ย่อมาจาก Normal Open หมายความว่าปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปมักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิด เช่น โคมไฟสนามหนือหน้าบ้าน

จุดต่อ C ย่อมากจาก Common คือ จุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ

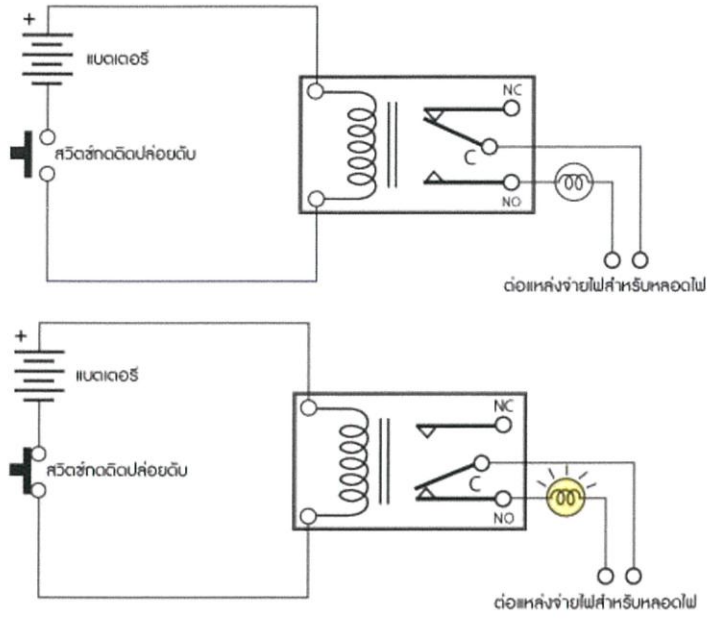
2.12.1 การนำรีเลย์ไปใช้งาน

1. ต่อใช้งานหลอดไฟผ่านขั้ว C และ NC เพื่อให้หลอดไฟยังคงติดสว่างแม้ไม่ได้กดสวิตช์ดังรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 การต่อใช้หน้าสัมผัสปกติปิดของรีเลย์ [18]

2. ต่อใช้งานหลอดไฟผ่านขั้ว C และ NO โดยการต่อผ่านขั้วนี้หลอดไฟจะยังไม่ติดสว่างจนกว่าจะมีการกดสวิตช์ดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 การต่อใช้หน้าสัมผัสปกติเปิดของรีเลย์

2.12.2 ประเภทของรีเลย์

แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภท [19]

1. รีเลย์กำลัง (Power Relay) มักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์หรือแมกเนติคคอนแทคเตอร์ (Contactor or Magnetic Contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

2. รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนัก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทคเตอร์ขนาดใหญ่

แบ่งออกตามชนิดของหน้าสัมผัสได้เป็น 4 ประเภท

1. อาร์เมเจอร์รีเลย์ (Armature Relay) เป็นรีเลย์หน้าสัมผัสทองแดงในกล่องเพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นหรือไอน้ำเข้าไปทำลายหน้าสัมผัส

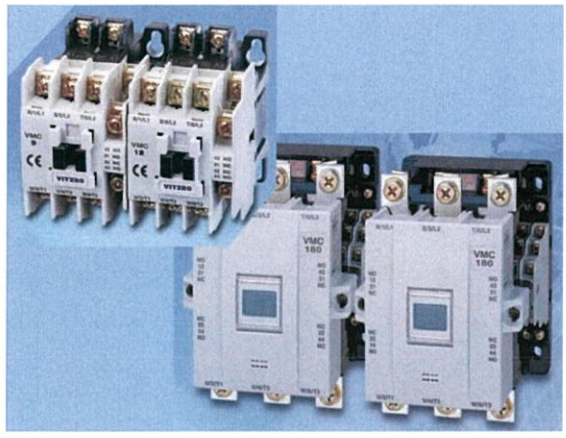
2. รีดรีเลย์ (Reed Relay) เป็นรีเลย์ไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นแคปซูลขนาดเล็ก มีขดลวดพันบนแกนอยู่ภายในกระเปาะที่บรรจุก๊าซเฉื่อย หน้าสัมผัสบางเหมือนลวด เมื่อมีการจ่ายแรงดันให้ขวดลวดหน้าสัมผัสจะขยับมาแตะกัน

3. รีดสวิตช์ (Reed Switch) คล้ายรีดรีเลย์แต่ไม่มีชุดขดลวดสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก จะใช้สนามแม่เหล็กภายนอกมาควบคุมหน้าสัมผัส

4. โซลิทสเตทรีเลย์ (Solid State Relay) เป็นรีเลย์ชนิดไม่มีโครงสร้างทางกลหรือชิ้นส่วนเคลื่อนไหวใดๆ จะใช้ขั้วต่อรับสัญญาณควบคุมจากภายนอก ทำให้สารกึ่งตัวนำภายในจ่ายไฟไปทางใดทางหนึ่ง

2.13 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)

สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในการเปิดและปิดหน้าสัมผัสในการตัดและต่อวงจรกำลัง [20] รูปที่ 2.44 เช่น เปิดและปิดการทำงานของมอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดต่อวงจรไฟฟ้า ในการปิดเปิดของหน้าสัมผัสนั้นอาศัยอำนาจแรงแม่เหล็กสามารถประยุกต์ใช้กับวงจรควบคุมต่างๆ เช่น วงจรควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 2.44 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ [20]

หลักการทำงานของแมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor)

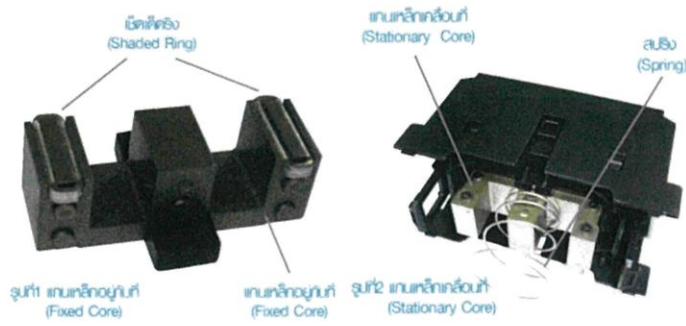
เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กที่ขากลางของแกนเหล็กสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงสนามแม่เหล็กจะสามารถชนะแรงสปริงได้ ดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่ เคลื่อนที่ลงมาพร้อมกับหน้าสัมผัส คอนแทคทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงานคือ คอนแทคปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และคอนแทคปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัส เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวด สนามแม่เหล็กคอนแทคทั้งสองชุดก็จะกลับไปสู่สภาวะเดิม

โครงสร้างหลักของคอนแทคเตอร์ที่สาคัญ

1. แกนเหล็ก (Core) แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

แกนเหล็กอยู่กับที่ (Fixed Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกันเป็นแกนจะมีลักษณะเป็นรูปตัว E ขาทั้งสองข้างของแกนเหล็ก มีลวดทองแดงเส้นใหญ่ต่อลัดวงจรไว้เป็นรูปวงแหวน เรียกวงแหวนนี้ว่าเช็ดเด็ดริง (Shaded Ring) เป็นวงแหวนฝังอยู่ที่ผิวหน้าของแกนเหล็ก เพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือน ของแกนเหล็ก อันเนื่องมาจากไฟฟ้ากระแสสลับ

แกนเหล็กเคลื่อนที่ (Stationary Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกันเป็นแกน และมีชุดหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (Moving Contact) ยึดติดอยู่ ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 แกนเหล็กของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ [20]

2. ขดลวด (Coil) ขดลวดหรือคอยล์ ทำมาจากลวดทองแดงพันอยู่รอบแกนล้อพันขดลวด (Bobbin) สวมที่ขากลางของแกนเหล็กอยู่กับที่ ขดลวดชุดนี้ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาเพื่อให้หน้าคอนแทคทำงาน มีขั้วต่อเพื่อจ่ายไฟเข้า โดยทั่วไปใช้สัญลักษณ์อักษรกำกับ คือ A1- A2 หรือ a-b

3. หน้าสัมผัส (Contact) หน้าสัมผัสจะยึดติดอยู่กับแกนเหล็กเคลื่อนที่ แบ่งออกเป็นสองส่วน

หน้าสัมผัสหลัก (Main Contact) ใช้ในวงจรกำลังทำหน้าที่ตัดต่อระบบไฟฟ้าเข้าสู่โหลด

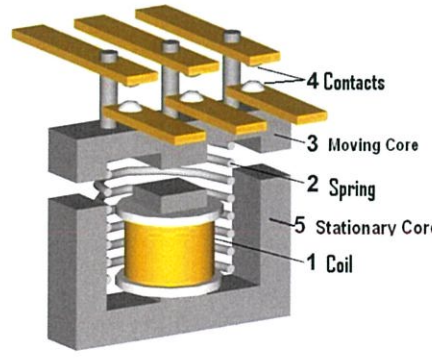
หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contact) ใช้ในวงจรควบคุม หน้าสัมผัสช่วยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

หน้าสัมผัสปกติเปิด (Normally Open : NO)

หน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Close : NC)

หน้าสัมผัสช่วยมีทั้งที่ประกอบมาพร้อมกับหน้าสัมผัสหลัก หรือติดตั้งเพิ่มเติมภายนอกทำงาน โดยอาศัยอำนาจในการเปิด-ปิดหน้าสัมผัสหลัก ต่างกันตรงที่หน้าสัมผัสช่วยจะทนกระแสได้ต่ำกว่า หน้าสัมผัสหลัก จำนวนหน้าสัมผัสและชนิดของหน้าสัมผัสขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตและการนำไปใช้งาน

4. สปริง (Spring) ทำหน้าที่ไม่ให้หน้าคอนแทคสัมผัสกัน ก่อนป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าคอยล์ ดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 ส่วนประกอบของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ [20]

สาเหตุที่เลือกใช้คอนแทคเตอร์

เพราะคอนแทคเตอร์มีความทนทานมากกว่ารีเลย์ทั้งการต้านทานกระแสไฟฟ้าและอายุการใช้งาน อีกทั้งยังมีความถี่ในการเปิดปิดมากกว่าสะพานไฟ รวมถึงการใช้งานที่จำเป็นต้องประยุกต์ใช้ เช่น การเปลี่ยนวิธีการต่อไฟฟ้าสามเฟสทั้งแบบเดลตาและแบบสตาร์สลับไปมา

ข้อดีของการใช้คอนแทคเตอร์เมื่อเทียบกับสวิตช์ทั่วไป

สามารถต่อควบคุมระยะไกลได้แทนการสับสวิตช์ด้วยมือโดยตรง ทำให้ผู้ควบคุมมอเตอร์ปลอดภัยจากอันตรายจากการตัดต่อวงจรกำลัง ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูง

สะดวกในการควบคุม และสามารถต่อร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้ เช่น ลิมิตสวิตช์, เพรสเชอร์สวิตช์ เป็นต้น

ประหยัดกว่าเมื่อเทียบกับการควบคุมด้วยมือ เช่น หากควบคุมด้วยมือต้องทำการเดินสายไฟของวงจรกำลังไปยังจุดควบคุม หลังจากนั้นเดินสายไฟไปยังโหลด แต่หากควบคุมด้วยคอนแทคเตอร์ สายไฟของวงจรกำลังสามารถเดินไปยังโหลดได้โดยตรง ส่วนสายไฟวงจรควบคุมเดินสายจากจุดควบคุมไปยังโหลดใช้สายขนาดเล็กกว่า ทำให้ประหยัดค่าติดตั้งในการเดินสาย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงงาน

การดำเนินการติดตั้งกระบวนการผลิต ในส่วนของเครื่องเจียรนั้นเริ่มดำเนินการตั้งแต่การวางตำแหน่ง ศึกษาการทำงานของเครื่องจักรชนิดเดียวกันในกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ แล้วเริ่มออกแบบดัดแปลงวงจรไฟฟ้า วงจรควบคุมใหม่ จากนั้นจึงติดตั้งวงจรไฟฟ้าที่มาพร้อมกับวงจรควบคุมในตู้แผงวงจรควบคุมที่วางแผนไว้ตั้งแต่แรก ท้ายสุดแล้วจึงเขียนโปรแกรมและทดสอบให้ใช้ได้ตามกำหนดการ

3.1 การวางแผนดำเนินงาน

ในการจัดแผนทำโครงงานจะต้องมีการวางแผนเป็นขั้นตอน และจัดลำดับช่วงเวลาของแต่ละส่วนงาน เพื่อให้สามารถดำเนินงานได้เป็นระบบ โดยแผนงานที่ได้วางแผนไว้เป็นช่วงเวลาที่ดำเนินโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัท ทีบีเคที เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด คือ ช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 7 สิงหาคม 2560 ถึงวันที่ 24 พฤศจิกายน 2560 แสดงแผนการดำเนินงานดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Installation of Semi-Automatic Machining Line Timeline

NO.	DESCRIPTION	AUGUST				SEPTEMBER					OCTOBER					NOVEMBER			
		Week2	Week3	Week4	Week5	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week1	Week2	Week3	Week4
		7-11	14-18	21-25	28-31	1	4-8	11-15	18-22	25-30	2-6	9-12	16-20	23-27	30-31	1-3	6-10	13-17	20-24
1	Planing Process																		
	Study Mechanical Design																		
	Study Eletrical Design																		
	Study Logic and Workflow																		
2	Mechanic																		
	Main Mechanical Installation																		
	Additonal Mechanical Installation																		
3	Electric																		
	Control Board Installation																		
4	Program																		
	Programming and improvement																		
5	Report																		
	Manual Publication																		
	Result Data collecting and Report writing																		
6	Company's work																		
	Routine Works																		

3.2. การวางตำแหน่งกระบวนการผลิตใหม่

ในการวางตำแหน่งของกระบวนการผลิตใหม่นั้นจะเป็นไปตามแผนการเดิมของบริษัท กล่าวคือ กระบวนการผลิตดังกล่าวนั้นกระบวนการผลิตกึ่งอัตโนมัติ ไม่มีความจำเป็นที่ต้องวางพื้นที่ให้เข้ากับเครื่องจักรหยิบชิ้นงานและสายพาน

การติดตั้งกระบวนการผลิตดังกล่าวนั้นเป็นไปตามแผนผังโรงงานที่ออกแบบไว้แต่เริ่มต้น เป็นการแยกเครื่องจักรออกมาส่วนหนึ่งจากกระบวนการผลิตแบบเดียวกันในแบบอัตโนมัติ เนื่องจากความจำเป็นนั้นต่างกัน ทำให้พื้นที่ที่ติดตั้งนั้นใช้พื้นที่น้อยและกะทัดรัด สะดวกต่อการใช้งาน

3.3 การศึกษาลำดับการทำงานของเครื่องเจียร

เครื่องจักรที่ติดตั้งนั้นเป็นเครื่องจักรที่มีอยู่แล้วในกระบวนการผลิตอัตโนมัติ ซึ่งมีการทำงานคล้ายคลึงกัน เพียงแต่ในกระบวนการผลิตกึ่งอัตโนมัตินั้นจะไม่มีสายพานเสริมเพื่อส่งต่อชิ้นงานระหว่างเครื่องจักร รวมถึงไม่มีการทำงานเข้าจังหวะกันกับเครื่องจักรอื่นๆ

เครื่องจักรดังกล่าวนั้นถูกเรียกว่าเครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งการสวม มีทั้งหมดสองเครื่อง ชิ้นงานแต่ละชิ้นต้องผ่านการเจียรดังกล่าวทั้งสองเครื่อง หากอ้างอิงจากกระบวนการผลิตอัตโนมัติ เครื่องจักรดังกล่าวนั้นมีการทำงานดังนี้

การทำงานของเครื่องเจียรในกระบวนการผลิตอัตโนมัติ

1. ชิ้นงานตกลงในตำแหน่งบรรจุงานจากสายพานซึ่งจะมีกระบอกสูบติดอยู่ตรงท้ายพื้นที่บรรจุงาน

2. เมื่อเซนเซอร์ตรวจพบวัตถุในพื้นที่บรรจุงาน และแท่นวาง (แม่พิมพ์) อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว กระบอกสูบจะดันให้ชิ้นงานไปติดแท่นวาง ในขณะเดียวกันแท่นวางก็จะหมุนรอบตัวเองให้ชิ้นงานถูกเจียรด้วยหินเจียรที่วางในแนวระนาบกินเนื้อส่วนบนของชิ้นงานเข้าไปเล็กน้อย

3. เครื่องทำกระบวนการเจียร

4. เครื่องจักรหมุนเอาชิ้นงานออกมาที่ตำแหน่งนำชิ้นงานออกตกลงไปบนสายพานเพื่อนำไปสู่กระบวนการถัดไป

5. แท่นวางชิ้นงานหมุนกลับมาที่ตำแหน่งบรรจุชิ้นงานอีกครั้งเป็นอันจบกระบวนการ

ในส่วนกระบวนการผลิตกึ่งอัตโนมัติ การออกแบบลำดับการทำงานของเครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งของกระบวนการผลิตใหม่นั้นจะแตกต่างออกไป เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตกึ่งอัตโนมัติที่ทำงานโดดเดี่ยว ไม่ได้ทำงานเข้าจังหวะกับเครื่องจักรอื่น

การทำงานของเครื่องเจียรในกระบวนการผลิตกึ่งอัตโนมัติ

1. บรรจุชิ้นงานใส่พื้นที่บรรจุงานด้วยมือ

2. เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งของแท่นว่าอยู่ในตำแหน่งบรรจุแล้วจึงสามารถเปิดใช้งานกระบอกสูบได้

3. เมื่อกระบอกสูบยืดออกจะดันชิ้นงานให้ไปอยู่บนแท่นพร้อมกับที่แท่นหมุนให้ชิ้นงานเข้าเจียร

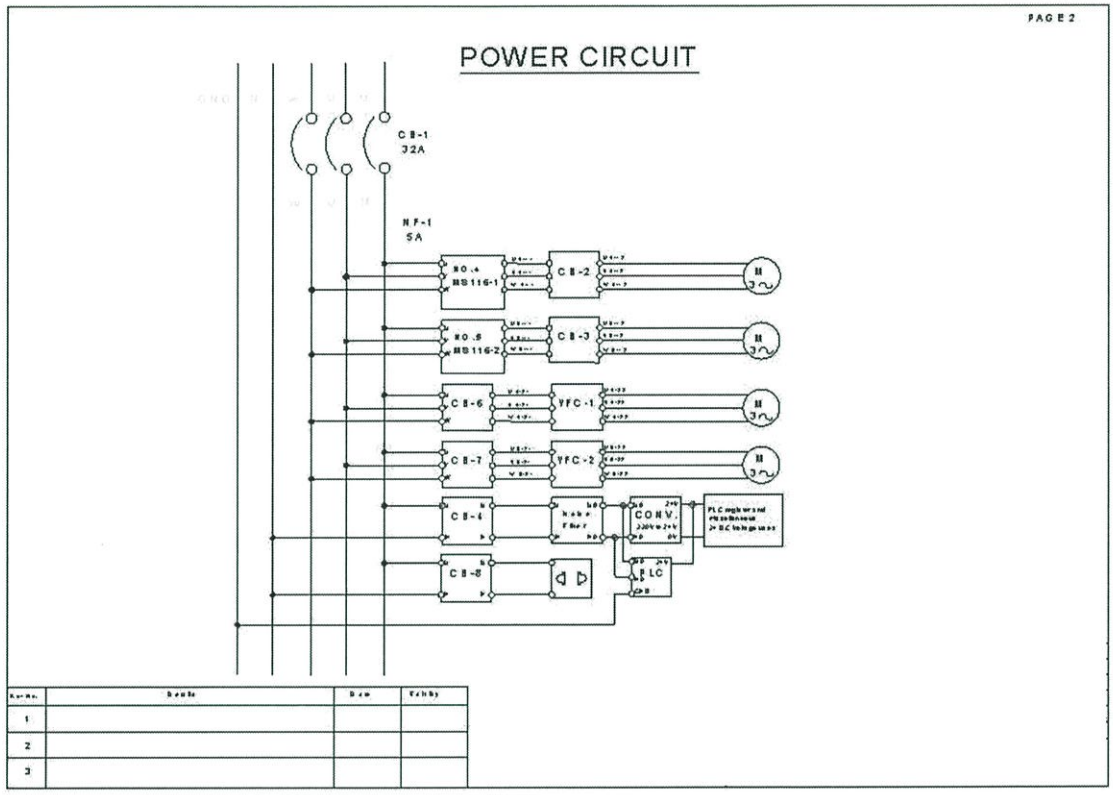
4. เครื่องจักรทำการเจียร

5. เครื่องจักรนำเอาชิ้นงานออกมา

6. ผู้ปฏิบัติงานหยิบชิ้นงานออกมาใส่เครื่องจักรในกระบวนการถัดไป

3.4 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้า

เครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งการสวมดังกล่าวนั้นในกระบวนการผลิตอัตโนมัตินั้นจะใช้แผงรีเลย์สำเร็จรูปในการควบคุมคำสั่งขาเข้าและขาออก และอินเวอร์เตอร์เครื่องหนึ่งต่อเครื่องจักรแต่ละเครื่องเพื่อควบคุมมอเตอร์สามเฟสทั้งหมดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าควบคุมภายในตู้ควบคุม

จากรูปที่ 3.1 วงจรไฟฟ้าควบคุมภายในตู้ควบคุมมีการเชื่อมต่อ ดังนี้

อุปกรณ์ไฟฟ้าหลักจะต่อเข้ากับไฟฟ้าสามเฟสที่ต่อจากสะพานไฟหลัก มอเตอร์สี่ตัวจะต่อเข้ากับไฟฟ้าสามเฟส โดยมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนใบเจียรของแต่ละเครื่องจะต่อผ่านแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพียงอย่างเดียว ส่วนมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนแท่นพิมพ์จะต่อผ่านอุปกรณ์ตัดไฟแบบส่งเอาต์พุตไปที่พีแอลซีและต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่เพื่อใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบปรับละเอียด

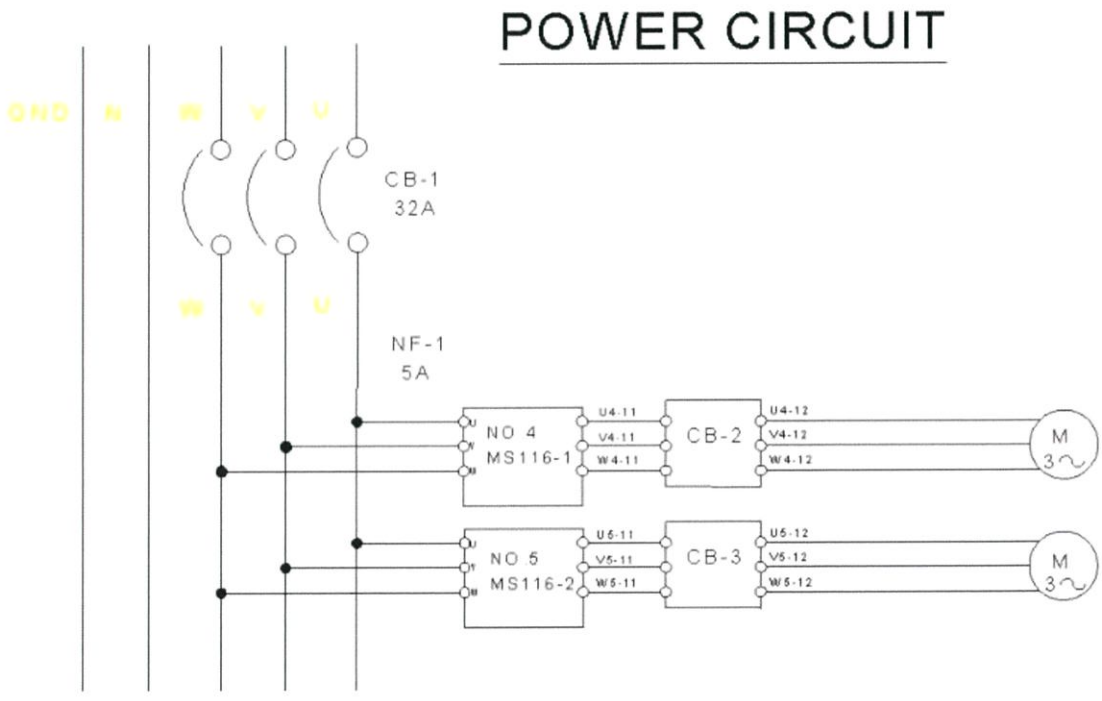
ส่วนพีแอลซีนั้นจะดึงไฟฟ้าเฟสหนึ่งมาใช้ และอีกเฟสหนึ่งต่อเข้ากับหม้อแปลงและเต้าจ่ายไฟ โดยไฟฟ้าก่อนที่จะผ่านเข้าหม้อแปลงนั้นจะผ่านอุปกรณ์กรองสัญญาณรบกวนก่อน เมื่อผ่านหม้อแปลงมาแล้ว จะเหลือไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับรีเลย์

3.5 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส

เครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งนั้นใช้มอเตอร์สามเฟสถึงสองตัวด้วยกัน มอเตอร์ตัวหนึ่งทำหน้าที่หมุนใบเจียรและตัวหนึ่งทำหน้าที่หมุนแท่นวางชิ้นงาน

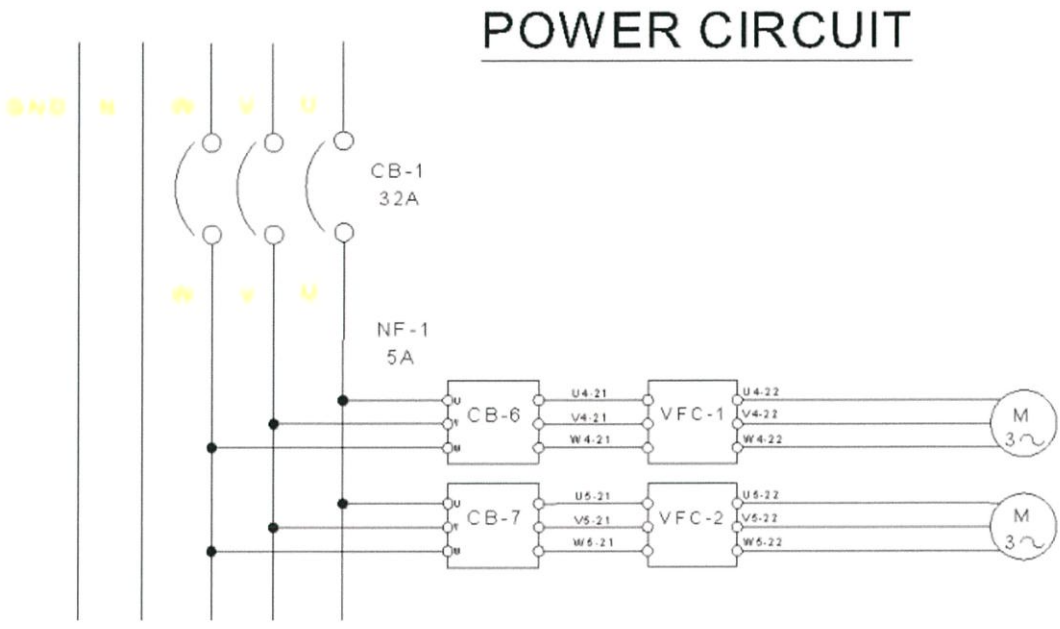
มอเตอร์ต่อแบบเดลตา

มอเตอร์ที่หมุนแท่นวางนั้นจำเป็นต้องมีความเร็วที่พอเหมาะและหมุนได้ถูกทิศทาง มอเตอร์ดังกล่าวจะควบคุมองค์ประกอบทั้งหมดด้วย อินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่ โดยในครั้งนี้จะใช้ VFC REXROTH 3610 ในการควบคุม แผนผังการต่อเป็นไปดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าที่ต่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสแบบควบคุมความเร็วในเครื่องจักร

ส่วนมอเตอร์ที่หมุนใบเจียรนั้นไม่มีความจำเป็นต้องควบคุมความเร็ว ทางบริษัทต้องการให้มอเตอร์ดังกล่าวทำงานดังประสิทธิภาพสูงสุดของตัวมอเตอร์เองภายใต้มาตรฐานความปลอดภัย จึงไม่ได้ต่อเข้ากับตัวควบคุมอินเวอร์เตอร์ แต่จะต่อไปตามรูปที่ 3.3 ดังนี้

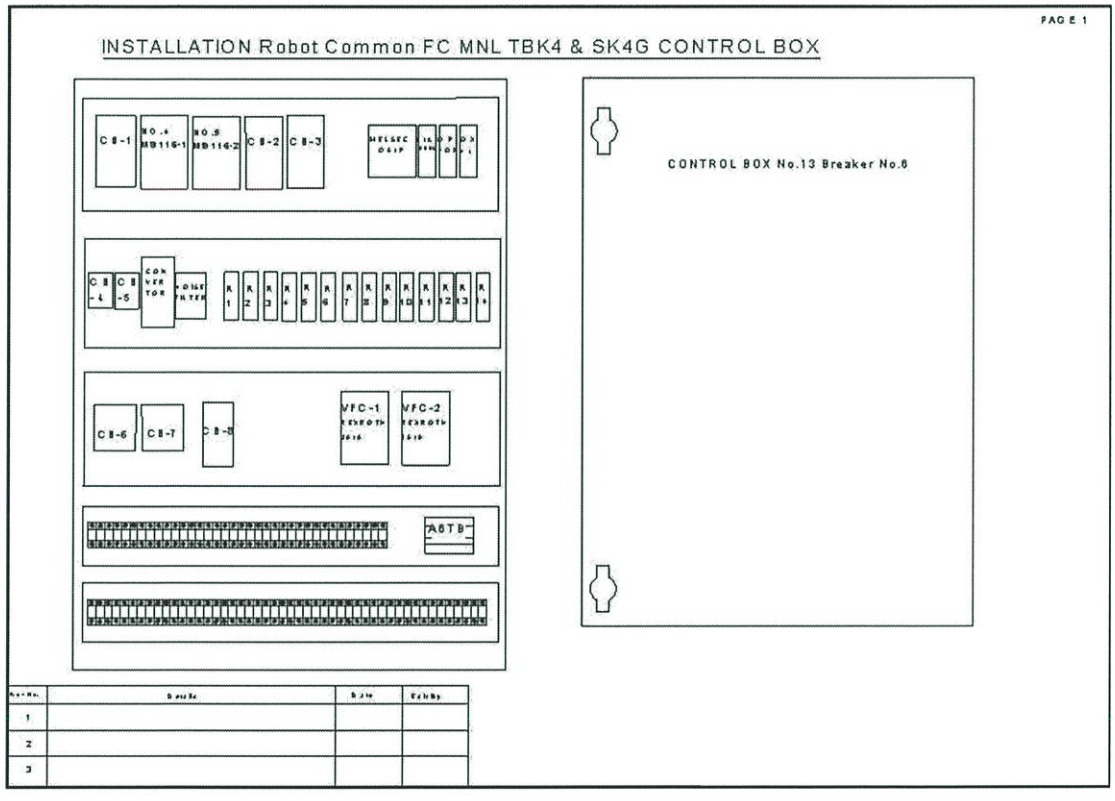


รูปที่ 3.3 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าที่ต่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสแบบไม่ควบคุมความเร็วในเครื่องจักร

3.6 การวางอุปกรณ์ในตู้วงจรไฟฟ้าควบคุม

การจัดวางอุปกรณ์ในตู้ไฟฟ้าวงจรควบคุมนั้นเดิม จากกระบวนการผลิตอัตโนมัติ ตู้วงจรไฟฟ้าควบคุมนั้นมีขนาดใหญ่และกินพื้นที่ถึงสามตู้ที่มีขนาดสูงสองเมตรกว้างหนึ่งเมตร การจัดวางนั้นใช้พื้นที่ค่อนข้างสิ้นเปลือง

สำหรับการจัดวางของอุปกรณ์ในตู้วงจรไฟฟ้าควบคุมของกระบวนการผลิตใหม่ที่ติดตั้งนั้นจะมีความกะทัดรัดยิ่งกว่าเดิม เนื่องจากมีเครื่องจักรเพียงสองเครื่องจากหกเครื่องของกระบวนการผลิตอัตโนมัติ รวมถึงไม่มีการใช้สายพานอีกด้วย การออกแบบการจัดวางเป็นไปดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การวางตำแหน่งอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม

โดยที่หมาย CB คือ สะพานไฟ

โดยที่หมาย MS คือ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับมอเตอร์โดยส่งสัญญาณไปที่พีแอลซีด้วย

โดยที่หมาย VFC คือ คอนเวอร์เตอร์

โดยที่หมาย MELSEC คือ ส่วนประมวลผลของพีแอลซี

โดยที่หมาย CONVERTER คือ อุปกรณ์แปลงไฟจากไฟฟ้า 220 โวลต์กระแสสลับ ไปเป็น 24 โวลต์กระแสตรง

โดยที่หมาย R คือ รีเลย์

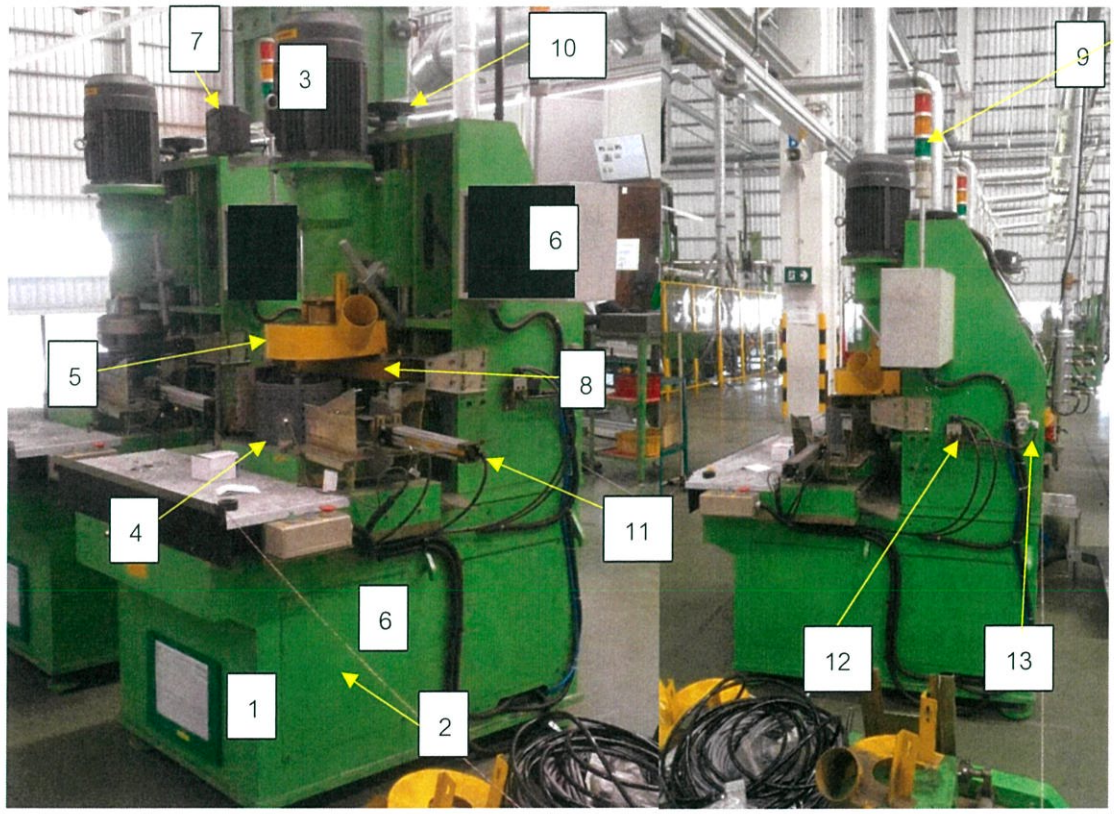
โดยที่หมาย A6TB คือ อุปกรณ์เทอร์มินอลของพีแอลซี

โดยที่หมาย QX คือ ส่วนรับคำสั่งข้อมูลขาเข้า

โดยที่หมาย QY คือ ส่วนส่งข้อมูลขาออก

3.7 ส่วนประกอบของเครื่องเจียร

เครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งนั้นยังคงมีองค์ประกอบเช่นเดิมเดียวกับกระบวนการผลิตอัตโนมัติ เป็นไปดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งและส่วนประกอบของเครื่องจักร

โดยหมายเลขที่ 1 คือ ตัวเครื่องหรือโครงสร้างเครื่อง

โดยหมายเลขที่ 2 คือ มอเตอร์สามเฟสที่หมุนแท่นพิมพ์

โดยหมายเลขที่ 3 คือ มอเตอร์สามเฟสที่หมุนใบเจียร

โดยหมายเลขที่ 4 คือ แท่นวางชิ้นงานหมุนได้

โดยหมายเลขที่ 5 คือ โครงสร้างป้องกันการกระจายของเศษชิ้นงานและโครงสร้างช่วยดูดฝุ่น

โดยหมายเลขที่ 6 คือ แผงควบคุมเครื่องจักร

โดยหมายเลขที่ 7 คือ แผงแสดงพิกัดหัวเจียร

โดยหมายเลขที่ 8 คือ สายพานประคองชิ้นงาน

โดยหมายเลขที่ 9 คือ หลอดไฟแสดงสภาพเครื่องจักร

โดยหมายเลขที่ 10 คือ เฟืองควบคุมพิกัดแกนระนาบ

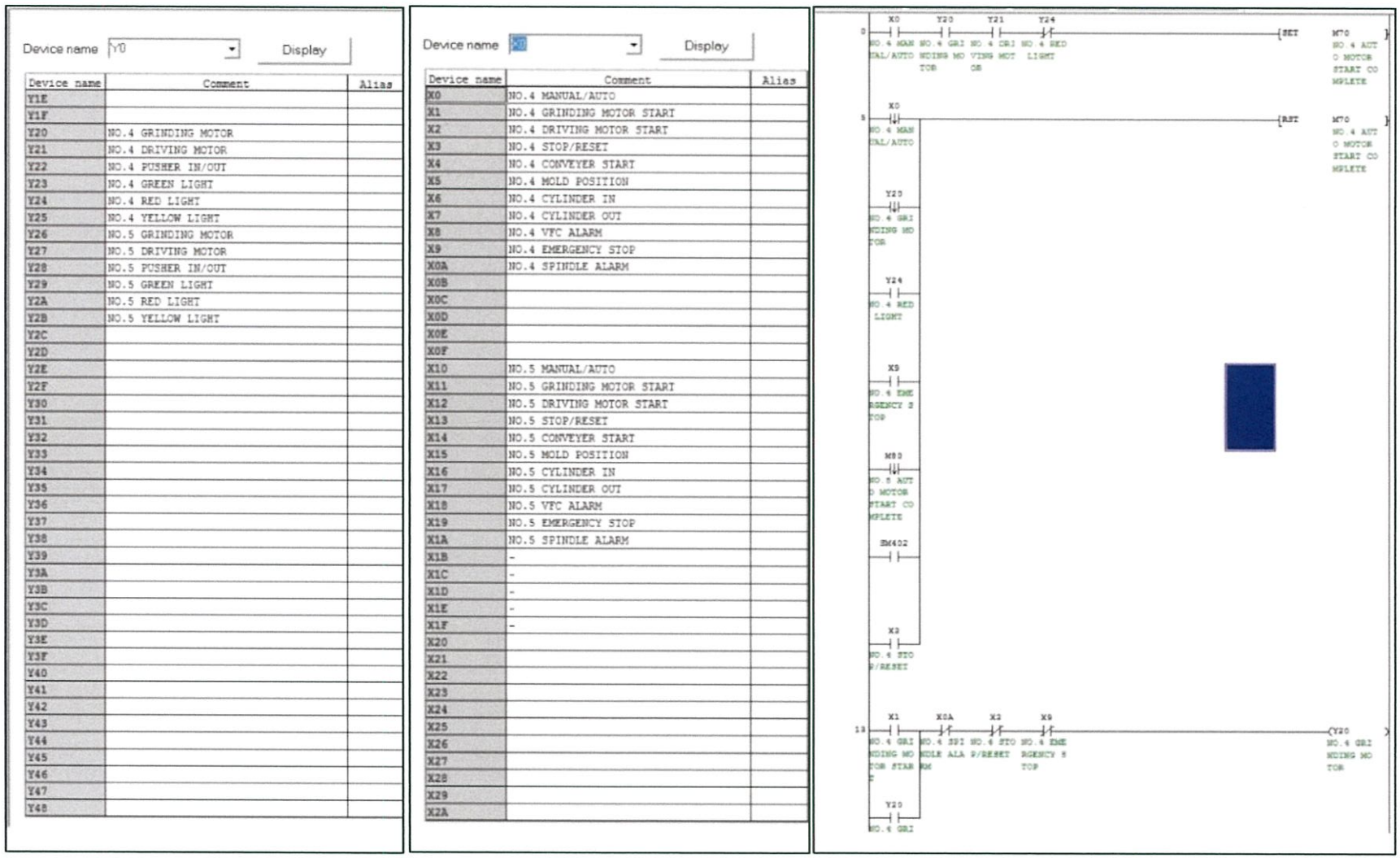
โดยหมายเลขที่ 11 คือ กระบอกสูบ

โดยหมายเลขที่ 12 คือ วาล์วโซลินอยด์

โดยหมายเลขที่ 13 คือ วาล์วป้องกันแรงดันลมเกิน

3.8 ตัวอย่างโปรแกรมควบคุม

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเครื่องจักรดังกล่าวนั้นมีเงื่อนไขการทำงานคือ เครื่องจักรนั้นทำงานเป็นรูปแบบกึ่งอัตโนมัติ จะสามารถกระทำการบรรจุชิ้นงานได้เมื่อตอนที่แท่นวางอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง กล่าวคือ สามารถสั่งกระบอกสูบทำงานได้เฉพาะตอนที่แท่นวางอยู่ถูกตำแหน่ง เมื่อแท่นวางขยับออกไปแล้ว จะไม่สามารถสั่งการได้อีกจนถึงการทำงานรอบต่อไป ตัวอย่างโปรแกรมดังรูปที่ 3.6



Device name Y0 Display

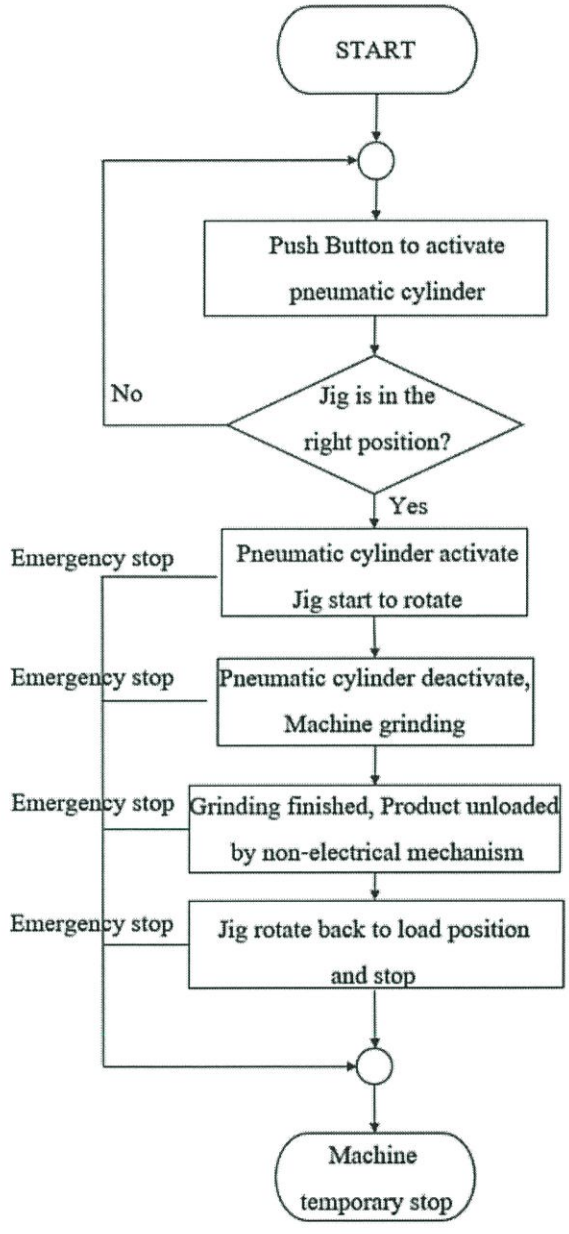
Device name	Comment	Alias
Y1E		
Y1F		
Y20	NO.4 GRINDING MOTOR	
Y21	NO.4 DRIVING MOTOR	
Y22	NO.4 PUSHER IN/OUT	
Y23	NO.4 GREEN LIGHT	
Y24	NO.4 RED LIGHT	
Y25	NO.4 YELLOW LIGHT	
Y26	NO.5 GRINDING MOTOR	
Y27	NO.5 DRIVING MOTOR	
Y28	NO.5 PUSHER IN/OUT	
Y29	NO.5 GREEN LIGHT	
Y2A	NO.5 RED LIGHT	
Y2B	NO.5 YELLOW LIGHT	
Y2C		
Y2D		
Y2E		
Y2F		
Y30		
Y31		
Y32		
Y33		
Y34		
Y35		
Y36		
Y37		
Y38		
Y39		
Y3A		
Y3B		
Y3C		
Y3D		
Y3E		
Y3F		
Y40		
Y41		
Y42		
Y43		
Y44		
Y45		
Y46		
Y47		
Y48		

Device name X0 Display

Device name	Comment	Alias
X0	NO.4 MANUAL/AUTO	
X1	NO.4 GRINDING MOTOR START	
X2	NO.4 DRIVING MOTOR START	
X3	NO.4 STOP/RESET	
X4	NO.4 CONVEYER START	
X5	NO.4 MOLD POSITION	
X6	NO.4 CYLINDER IN	
X7	NO.4 CYLINDER OUT	
X8	NO.4 VFC ALARM	
X9	NO.4 EMERGENCY STOP	
X0A	NO.4 SPINDLE ALARM	
X0B		
X0C		
X0D		
X0E		
X0F		
X10	NO.5 MANUAL/AUTO	
X11	NO.5 GRINDING MOTOR START	
X12	NO.5 DRIVING MOTOR START	
X13	NO.5 STOP/RESET	
X14	NO.5 CONVEYER START	
X15	NO.5 MOLD POSITION	
X16	NO.5 CYLINDER IN	
X17	NO.5 CYLINDER OUT	
X18	NO.5 VFC ALARM	
X19	NO.5 EMERGENCY STOP	
X1A	NO.5 SPINDLE ALARM	
X1B	-	
X1C	-	
X1D	-	
X1E	-	
X1F	-	
X20		
X21		
X22		
X23		
X24		
X25		
X26		
X27		
X28		
X29		
X2A		

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างโปรแกรมขั้นบันไดควบคุมเครื่องจักรและตัวแปรขาเข้า-ขาออก

เมื่อมีการหยุดฉุกเฉินเนื่องจากกรณีต่างๆเช่น กระแสไฟฟ้าเกิน หรือการกดปุ่มหยุดฉุกเฉิน เครื่องจักรต้องหยุดทำงานโดยทันที แต่สามารถควบคุมแท่นวางชิ้นงานให้หมุนย้อนกลับทางเดิมได้ในกรณีชิ้นงานติดขวางอยู่ด้านในเครื่องจักรเป็นไปตามรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของเครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งสวมแบบกึ่งอัตโนมัติ

บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงงาน

4.1 โครงสร้างเครื่องจักร

เครื่องจักรที่ติดตั้งมีโครงสร้างและองค์ประกอบที่สมบูรณ์ดังนี้ เป็นไปดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 เครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งสวมแบบเสร็จสมบูรณ์

จะเห็นได้ว่าเครื่องจักรมีองค์ประกอบดังรูปที่ 4.1 ซึ่งประกอบไปด้วยตัวเครื่อง มอเตอร์ใบเจียร มอเตอร์หมุนแท่น กระบอกสูบ วาล์วโซลินอยด์ วาล์วป้องกันลมเกิน แท่นวางชิ้นงาน แผงควบคุม รีโมตควบคุม แผงแสดงตำแหน่งใบเจียร หลอดไฟแสดงผล โครงสร้างป้องกันเศษชิ้นงานกระเด็น

4.2 การทำงานของเครื่องจักร

หลังการดำเนินการ เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไข

1. เครื่องจักรสามารถเริ่มต้นทำงานอัตโนมัติได้ หลังจากที่สับสวิตซ์ไปทางคำสั่งอัตโมมัติแล้ว กดเริ่มต้นหมุนใบเจียรทำงาน โดยที่เมื่อแท่นวางอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว กระบอกสูบจะยืดออก และหดกลับเองในสี่วินาที และในขณะเดียวกันที่กระบอกสูบยืดออก ไฟสัญญาณเป็นสีเหลือง

2. เมื่อกดปุ่มเริ่มต้นใหม่ ไม่ว่าจะทำงานในรูปแบบอัตโนมัติหรือควบคุมด้วยมือ กระบอกสูบจะหดกลับทันทีโดยไม่สนการหน่วงเวลา แท่นพิมพ์จะกลับสู่ตำแหน่งเริ่มทำงาน ส่วนใบเจียรหยุดทำงาน ไฟสัญญาณเป็นสีเขียว

3. เครื่องจักรสามารถเริ่มต้นทำงานแบบควบคุมด้วยมือได้ หลังจากที่สับสวิตซ์ไปทางคำสั่งควบคุมด้วยมือ กดปุ่มเริ่มต้นหมุนใบเจียรทำงานและเริ่มหมุนแท่นพิมพ์ โดยที่แม่พิมพ์จะเริ่มทำงานเมื่อกดปุ่มที่รีโมตให้กระบอกสูบ ไฟสัญญาณเป็นสีเหลือง

4. เมื่อกดปุ่มหยุดทำงานฉุกเฉิน ไม่ว่าจะทำงานอยู่ในรูปแบบอัตโนมัติหรือควบคุมด้วยมือ กระบอกสูบจะหดกลับทันทีโดยไม่สนการหน่วงเวลา แท่นพิมพ์หยุดหมุน ใบเจียรหยุดหมุน สัญญาณไฟเป็นสีแดงพร้อมเสียงเตือน

5. สามารถควบคุมให้แท่นพิมพ์หมุนแท่นพิมพ์ย้อนกลับได้ในกรณีฉุกเฉินเมื่อมีชิ้นงานติดค้างในเครื่องหรือกรณีจำเป็นใดๆ

การทำงานของกระบวนการผลิตกึ่งอัตโนมัติเป็นไปดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปการทำงานและเงื่อนไขของเครื่องจักร

กรณี/อุปกรณ์	ใบเจียร	แท่นพิมพ์	กระบอกสูบ	ไฟสัญญาณ	เสียงเตือน
ควบคุมด้วยมือ	กดปุ่มเพื่อเริ่มต้นทำงาน	กดปุ่มเพื่อเริ่มต้นทำงาน	กดปุ่มเพื่อเริ่มต้นทำงาน	สีเหลือง	ไม่มี
ควบคุมอัตโนมัติ	กดปุ่มเพื่อเริ่มต้นทำงาน	กดปุ่มเพื่อเริ่มต้นทำงาน	ทำงานเมื่อแท่นพิมพ์อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น	สีเหลือง	ไม่มี
กดปุ่มเริ่มต้นใหม่ (RESET)	ใบเจียรหยุดทำงาน	ทำงานจนกว่าจะกลับเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้น	กลับสู่สภาวะเริ่มต้นทันที	สีเขียว	ไม่มี
กดปุ่มหยุดฉุกเฉิน (EMERGENCY STOP)	ใบเจียรหยุดทำงาน	หยุดทำงานทันที	กลับสู่สภาวะเริ่มต้นทันที	สีแดง	มี

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

โครงงานฉบับนี้ได้นำเสนอการติดตั้งเครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่ง ซึ่งใช้ในการเจียรชิ้นงานผ้าเบรก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการตอบสนองต่อความต้องการของบริษัท โดยการติดตั้งเครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งเพื่อเป็นกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติใหม่ ที่บริษัทต้องการเพิ่มกำลังการผลิตโดยไม่เสียเวลาในการปรับแต่งแท่นวางชิ้นงานในกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติที่จำเป็นต้องปรับแต่งแท่นพิมพ์ใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแบบของชิ้นงาน

จากการทำโครงงานติดตั้งกระบวนการผลิตกึ่งอัตโนมัติใหม่-เครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่ง การออกแบบทางกลของเครื่องจักรนั้นประกอบตามความต้องการแบบเดียวกันในกระบวนการผลิตอัตโนมัติ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงบางส่วนเพื่อให้เข้ากับการทำงานแบบโดดเดี่ยวของเครื่องจักรโดยทาง บริษัท ทีบีเค เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

เครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งนั้นมีการปรับปรุงดังนี้ ในทางโครงสร้าง เครื่องจักรจำเป็นต้องแก้ตำแหน่งติดตั้งวาล์วโซลินอยด์ และวาล์วป้องกันแรงดันเกิน ทว่าโครงสร้างโดยรวมนั้นยังคงเหมือนกับโครงสร้างต้นแบบอยู่

ในทางไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าโดยรวมจำเป็นต้องแก้ไขทั้งหมด เนื่องด้วยในเครื่องจักรต้นแบบนั้นทำงานร่วมกับเครื่องจักรอื่นทั้งหมดในกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ ฉะนั้นในเครื่องจักรที่ติดตั้งใหม่และทำงานแบบโดดเดี่ยว การจัดวางวงจรไฟฟ้าในตู้ไฟฟ้าจึงแตกต่างจากเดิมโดยสิ้นเชิง โดยรวมถึงการเลิกใช้สายพานเพิ่มเติม

ในทางการควบคุม ในกรณีนี้หมายถึงโปรแกรม โปรแกรมที่ควบคุมเครื่องเจียรบ่งบอกตำแหน่งทั้งสองเครื่องนั้นถูกเขียนขึ้นมาใหม่ทั้งหมดโดยอ้างอิงเงื่อนไขจากโปรแกรมเดิมเล็กน้อย แต่จะไม่มีการรับ-ส่งคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอกอย่างเช่นหน้าจอระบบสัมผัส ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวางแผนดำเนินงานและการวางแผนทำกิจกรรมสหกิจล่วงหน้านั้นค่อนข้างสำคัญในการวางแผนการทำงาน และจัดการธุระโดยรวมของกิจกรรมสหกิจ เนื่องจากสามารถทำให้รู้ว่าผู้ทำกิจกรรมสหกิจควรจบโครงงานเมื่อใด และควรให้เวลากับรายงานเท่าไรก่อนที่อาจารย์จะมานิเทศงาน

2. ควรทำการสื่อสารกับผู้มีประสบการณ์แม้จะเป็นผู้ที่มีวุฒิทางการศึกษาต่ำกว่าก็ตามที เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจในแนวคิดและพัฒนาความเข้าใจระบบความคิดของบุคคลกลุ่มดังกล่าว

3. ความรู้ที่อาจารย์ได้สั่งสอนมานั้นสำคัญ หากจำได้และนำไปลองฝึกสังเกตและศึกษาต่อจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งยวด

4. ความรับผิดชอบต่อหน้าที่ในการทำโครงงานและงานประจำที่บริษัทมอบให้ ทุกอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวังและมีการตรวจทานทุกครั้ง

5. ควรสอบถามขอบเขตงานและหน้าที่ที่ได้รับจากผู้นิเทศงานและหัวหน้างานอย่างละเอียดเพื่อจุดหมายอันแน่นอนของผู้ทำกิจกรรมสหกิจเอง

เอกสารอ้างอิง

[1] ลือชัย ทองนิล. (2556). **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน ของการไฟฟ้า.** (ปรับปรุงครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

[2] **ประเภทและหลักการ Pressure sensor** (Online) 22 มกราคม 2561. Available : https://www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-pressure-sensor/

[3] **Optical Sensor Basics and Applications** (Online) 22 มกราคม 2561. Available : https://www.elprocus.com/optical-sensors-types-basics-and-applications/

[4] **เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุชนิดแสง (Photoelectric Sensors).** (Online). 25 ตุลาคม 2560. Available : http://Www.Foodnetworksolution.Com/Wiki/Word/7236/Photo-Sensor-เซนเซอร์ ชนิดใช้แสง

[5] **Pneumatic device** (Online) 22 มกราคม 2561. Available : https://www.britannica.com/technology/pneumatic-device

[6] สุเธียร เกียรติสุนทร. (2556). **ระบบอัตโนมัติทางอุตสากรรม : อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ควบคุมทางอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[7] **ปั๊มลม (Air Compressor) คืออะไร ?** (Online) 24 มกราคม 2561. Available : http://www.kaowna.co.th/ปั๊มลม-air-compressor

[8] **Engineering Essentials: What is a Programmable Logic Controller** (Online) 22 มกราคม 2561. Available : http://www.machinedesign.com/engineering-essentials/engineering-essentials-what-programmable-logic-controller

[9] **What is a frequency inverter** (Online). 22 มกราคม 2561. Available : http://www.inverter.co/what-is-frequency-inverter-769639.html

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[10] **What is a power inverter** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : http://www.oztekcorp.com/blog/bid/100757/What-is-a-Power-Inverter

[11] **What is a frequency inverter** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : http://www.frequencyinverters.org/what-is-a-frequency-inverter-106779.html

[12] **มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Induction motor).** (Online). 22 มกราคม 2561.
Available : https://sites.google.com/site/nattadech5510122526011/home/mxtexr-fifa-khux-xari/hlak-kar-thangan-khxng-mxtexr/mxtexr-chnid-tang/mxtexr-fifakrasae-slab-ac-alternating-current-motor-hrux-xe-si-mxtexr/mxtexr-fifakrasae-slab-3fes

[13] **Induction Motor** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : http://www.explainthatstuff.com/induction-motors.html

[14] **Induction Motor, Working Principle** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : https://www.electrical4u.com/induction-motor-types-of-induction-motor/

[15] **ความรู้เบื้องต้น** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : http://www.psptech.co.th/ความรู้เบื้องต้น-20290.page

[16] **อุปกรณ์ในงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : http://202.129.59.73/tn/motor10-52/motor9.htm

[17] **สวิตซ์ไฟฟ้า** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet7/elec2.htm

[18] **รีเลย์สวิตซ์ไฟฟ้า** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : http://www.inventor.in.th/home/รีเลย์สวิตซ์ไฟฟ้า/

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[19] **รีเลย์-(relay)-คืออะไร** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : http://www.micronsupply.com/article/รีเลย์-relay-คืออะไร

[20] **เลือกแมกเนติกคอนแทคเตอร์อย่างไร** (Online) 22 มกราคม 2561.
Available : https://mall.factomart.com/magnetic-contactor/how-to-select-a-magnetic-contactor-for-motor/

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายนภนต์ โกมลมิศร์

วัน เดือน ปีเกิด 10 กรกฎาคม พุทธศักราช 2539

ที่อยู่ปัจจุบัน 101 หมู่ 11 ตำบล ต้นธง อำเภอ เมืองลำพูน
จังหวัดลำพูน 51000

เบอร์โทรศัพท์ 081-9983148

E-mail kratennk@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พุทธศักราช 2546-2551	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษา จาก โรงเรียนวิชัยวิทยา เชียงใหม่
พุทธศักราช 2552-2554	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่
พุทธศักราช 2555-2557	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายการเรียนคณิตศาสตร์-วิทยาศาสตร์ จาก โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่
พุทธศักราช 2558-2561	ศึกษาระดับอุดมศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

ประวัติการทำงาน

พุทธศักราช 2560	ฝึกงาน บริษัท ทีบีเค เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด (โรงงานทำผ้าเบรกรถยนต์) ฝ่ายวิศวกรรมซ่อมบำรุงและวางแผนการผลิต