บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องในการวิจัยเรื่องการสร้างและพัฒนาชุดสาธิตการวางจุดบกพร่องอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ ผู้วิจัยได้ศึกษาทั้งด้านทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยเสนอหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 การเรียนรู้ลักษณะการสาธิต
2.2 การสร้างชุดสาธิต
2.3 การทดสอบประสิทธิภาพและพัฒนาชุดสาธิต
2.4 ส่วนประกอบและการเขียนคู่มือการใช้งาน
2.5 ประโยชน์ของชุดสาธิต
2.6 อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์
2.7 แบบที่ใช้เขียนวงจรการควบคุมมอเตอร์
2.8 ชนิดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
2.9 วงจรควบคุมและวงจรกำลัง
2.10 โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเรียนรู้ลักษณะการสาธิต

การสาธิตด้วยตนเอง หมายถึงการสอนเนื้อหาวิชาโดยให้นักศึกษาทำการสาธิตด้วยตนเอง เป็นวิธีการสอนทำให้เกิดการเรียนรู้จากการค้นพบจากผลการสาธิต นักศึกษาได้รับความรู้จากประสบการณ์ตรงซึ่งเป็นรูปธรรมมากที่สุด การเรียนรู้เป็นจุดหมายปลายทางของการ ศึกษาควรจะส่งเสริมให้มีการเรียนการสอนแบบสาธิตมาก ๆ

2.1.1 ประโยชน์ของการสอนโดยให้นักศึกษาทำการสาธิตด้วยตนเองมีดังนี้

1) ทำให้เกิดความสนใจในบทเรียน
2) ทำให้มองเห็นว่าเป็นสิ่งแปลกใหม่
3) ทำให้มองเห็นและจับต้องได้
4) ทำให้ค้นหาคำตอบได้เอง

5) ทำให้สนุกสนานกับการเรียน

6) ทำให้ความคิดรวบยอดชัดเจนยิ่งขึ้น

2.1.2 การสาธิตด้วยตนเองสอดคล้องกับหลักการเรียนที่ดีคือ

1) บอกจุดมุ่งหมายที่ชัดเจน นักศึกษาทราบว่าตนเองจะทำการสาธิต เพื่อพิสูจน์หรือ ค้นหาคำตอบอะไร

2) บอกความคาดหมายผลสุดท้ายที่ตนทำการสาธิต ได้แม้การสาธิตนั้นจะล้มเหลว

3) การสาธิตด้วยตนเองจะต้องทำไปทีละน้อยตามลำดับขั้น

4) นักศึกษาเป็นผู้สาธิตเอง

5) บอกวิธีเรียนคือการสาธิตด้วยตนเอง

6) เป็นการทำซึ่งจำได้แม่นยำ เพราะหากการสาธิตไม่ตรงตามความคาดหมายจะต้องกลับไปทำใหม่

7) เนื้อหาตรงจุดมุ่งหมาย หมายถึง กระบวนการปฏิบัติจะต้องสอดคล้องกับสิ่งที่ตนต้อง การสาธิตหรือพิสูจน์เพื่อให้ได้คำตอบ

8) การสาธิตขั้นที่ 1 ไปสู่ขั้นที่ 2 จนถึงขั้นสุดท้ายเป็นการปฏิบัติแบบต่อเนื่อง

9) การสาธิตเป็นการล่อใจ

10) เป็นการเรียนด้วยการปฏิบัติจริง ซึ่งจะก่อให้เกิดความเข้าใจและจำได้แม่นยำ

2.1.3 จุดมุ่งหมายของการทำการสาธิตด้วยตนเอง

ผู้สอนจะต้องตระหนักถึงนิสัยในการเรียนของนักศึกษา โดยระลึกอยู่เสมอว่าเมื่อสอนด้วยการให้นักศึกษาสาธิตด้วยตนเองนั้น จะก่อให้เกิดวิธีการทางวิทยาศาสตร์กับนักศึกษา กล่าวคือ นักศึกษาจะต้องมีนิสัยที่สามารถแก้ปัญหาในชีวิตโดยคิดอย่างมีเหตุผลตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เมื่อมีปัญหาข้อสงสัยหรือเกิดการอยากรู้ จะต้องทำความเข้าใจได้แจ่มแจ้งว่าปัญหาข้อ สงสัยความอยากรู้นั้นเรื่องอะไร ถ้าไม่ทำเสียก่อนย่อมทำให้การดำเนินหาคำตอบทำได้ยาก

2) ต้องค้นหาคำตอบ สาเหตุของปัญหาอาจเป็นคำตอบเดียวหรือหลายคำตอบก็ได้ คำตอบนั้นๆ จะต้องเข้าได้กับความจริงซึ่งทราบกันอยู่แล้ว ขั้นนี้เรียกว่า ขั้นตั้งสมมติฐาน

3) เมื่อทราบปัญหาสมมติฐานแล้ว ต้องพยายามหาความรู้ให้มากที่สุดโดยการอ่าน ถามครู ถามผู้ใหญ่ และรวบรวมความรู้ที่ได้นำไปลองทำดู เรียกว่าขั้นสาธิต

4) วิเคราะห์ผลการสาธิต คือการตรวจดูผลการสาธิตที่ได้ทำแล้ว เมื่อสมมติฐานได้ไม่เข้ากับความเป็นจริงก็ตัดสมมติฐานนั้นทิ้งไป คงไว้แต่สมมติฐานที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์การสาธิต

5) บันทึกสมมติฐานที่ได้พิสูจน์แล้ว เป็นกฎเกณฑ์เพื่อจะได้นำเอากฎเกณฑ์ไปใช้อธิบายเรื่องอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกัน

2.1.4 หลักการสอนโดยให้นักศึกษาทำการสาธิตด้วยตนเอง

1) ต้องเป็นการสาธิตที่เร้าใจเกิดความคิด และประหลาดใจจนถึงนำไปสู่การแก้ปัญหา

2) นักศึกษาจะต้องรู้จุดมุ่งหมายของการสาธิตแต่ละครั้งเสมอ

3) ครูต้องเตรียมแผนการสาธิตด้วยความละเอียดถี่ถ้วน

4) ให้นักศึกษามีส่วนร่วมในการสาธิตมากที่สุด

5) ครูต้องให้นักศึกษาปฏิบัติโดยเป็นตัวของตัวเองมากที่สุด

6) ครูต้องทำการสาธิตก่อนเพื่อความแน่ใจ

7) ครูต้องสร้างให้นักศึกษาเกิดความสังเกต ควบคู่ไปกับการสาธิตเสมอ ๆ โดยกำหนดไว้ตามขั้นตอนต่าง ๆ

8) ใช้อุปกรณ์ง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน

9) การสาธิตทุกครั้งต้องสรุปผล และถ้าเป็นไปได้ควรเขียนรายงานสรุปด้วยตนเอง

2.1.5 ประเภทของงานสาธิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) งานสาธิตตามแบบแผน หมายถึงงานสาธิตที่ต้องปฏิบัติตามแบบแผน หรือฟอร์มที่กำหนดโดยอาจารย์ผู้สอน นักศึกษามีหน้าที่เพียงแต่ปฏิบัติตามขั้นตอนและสรุปผลตามคำสั่งที่กำหนด งานสาธิตตามแบบแผนโดยปกติใช้สำหรับงานที่เป็นพื้นฐาน เช่น เมื่อนักศึกษากำลังเริ่มเข้าเรียนวิชาการสาธิต ในการวางแผนการสอนอาจารย์ผู้สอนจะต้องจัดเตรียมใบสาธิต ใบความรู้ ใบทดสอบ ไว้ให้นักศึกษาเพื่อจะได้ปฏิบัติงานตามนั้น

2) งานสาธิตที่ไม่มีแบบแผน หมายถึงงานสาธิตที่ไม่ต้องมีแบบแผน หรือ ฟอร์มใด ๆ สิ่งที่กำหนดจากอาจารย์ผู้สอนคือ จุดประสงค์ของงานปฏิบัตินั้น ๆ เท่านั้น ส่วนการกำหนดอุปกรณ์ที่จะใช้วิธีและลำดับขั้นการปฏิบัติงานนักศึกษาจะมีหน้าที่ค้นคว้าขึ้นมาโดยคำแนะนำของอาจารย์ผู้สอน การเตรียมงานสำหรับอาจารย์ผู้สอนในเรื่องของเอกสารจะมีไม่มาก และอาจารย์ผู้สอนจะต้องมีความรู้พื้นฐานและประสบการณ์ในงานนั้น ๆ เป็นอย่างดี

การสอนแบบสาธิตนักศึกษาทุกคนจะได้มีโอกาสทำการสาธิตทั่วถึงกัน เพื่อที่จะได้ศึกษาข้อเท็จจริงด้วยตนเอง ซึ่งการสอนแบบให้นักศึกษาเป็นผู้สาธิตไม่ได้เน้นว่านักศึกษาจะทราบผลการประลองล่วงหน้าหรือไม่ เท่าที่ทำกันอยู่ส่วนใหญ่ ครูมักจะให้กฎเกณฑ์ไว้ก่อนแล้ว นักศึกษาทำการสาธิตเพื่อพิสูจน์กฎเกณฑ์นั้น ๆ ถึงแม้วิธีการสอนที่สิ้นเปลืองใช้เวลาการสอนมากกว่าการบรรยายเครื่องมือและอุปกรณ์มีราคาแพงอาจจะไม่คุ้มกับผลลัพธ์ที่ได้ นักศึกษาอาจจะสนุกกับเครื่องมือจนลืมหลักการที่ต้องเรียนรู้ เป็นต้น

2.1.6 ข้อดี ข้อเสีย ของวิชาการสอนแบบสาธิต

วิธีการสอนแบบการสาธิตมีข้อดีดังนี้

1) ทำให้ความคิดรวบยอดชัดเจนยิ่งขึ้น

2) วัสดุจริงช่วยกระตุ้นให้เกิดความสนใจทำให้การเรียนการสอนจริงจังและมีชีวิตชีวา

3) ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการใช้เครื่องมือ

4) เป็นการเรียนรู้ด้วยการกระทำ

5) สิ่งประทับใจได้จากการสัมผัสหลาย ๆ ทางย่อมทำให้เกิดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพขึ้น

6) การได้มีประสบการณ์จริงย่อมเป็นสิ่งชัดเจนกว่า

วิธีการสอนแบบการสาธิตมีข้อเสียดังนี้

1) ใช้เวลาในการสอนมาก

2) ถ้าไม่รู้จักเลือกประดิษฐ์ เครื่องมือ ทำให้สิ้นเปลือง

3) นักศึกษาอาจจะสนุกกับการเล่นเครื่องมือ จนลืมหลักการที่ต้องเรียนรู้

2.2 การสร้างชุดสาธิต

1) การกำหนดเนื้อหาและวัตถุประสงค์ นอกเหนือจากข้อมูลความรู้ และประสบการณ์ต่าง ๆ ยังมีเครื่องมืออันหนึ่งที่จะช่วยในการกำหนดและตัดสินใจเลือกเนื้อหาก็คือ การวิเคราะห์กิจกรรม (Task Analysis) หัวข้อที่ได้รับการคัดเลือกแล้วจะถูกนำมาเขียนในรูปวัตถุประสงค์และเขียนเป็นเนื้อหา ซึ่งเนื้อหาวิชาดังกล่าวก็นำมาใช้สำหรับการสอนด้านประลอง

2) การออกแบบและสร้างชุดสาธิต องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบแล้วสร้างชุดสาธิต คือ กิจกรรมและเนื้อหาที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ซึ่งวัตถุประสงค์ที่ผ่านการตรวจสอบแล้วจะเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบสร้างชุดสาธิต และคู่มือการใช้งาน ต่อไป

3) การทดลองใช้ชุดสาธิต จะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษา โดยผู้วิจัย เพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่างๆ เช่นความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน และความสะดวกในการลอกเลียนแบบขึ้นมาใหม่

4) การปรับปรุงข้อมูลและประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดสาธิตให้มีคุณภาพ จนเป็นที่ยอมรับได้

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพและพัฒนาชุดสาธิต

1) ทดสอบประสิทธิภาพด้านโครงสร้างชุดสาธิต ได้แก่การวิเคราะห์โดยดูจากโครงสร้างชุดสาธิตในด้านต่าง ๆ เช่น วัสดุที่นำมาสร้างชุดสาธิตมีความแข็งแรงทนทานเพียงใดในด้านความปลอดภัยในการใช้งาน ขนาดของชุดสาธิต มีขนาดพอเหมาะกับจำนวนผู้เรียนขณะทดลอง หรือไม่ เป็นต้น

2) ประสิทธิภาพด้านการนำไปใช้งาน ได้แก่การทดสอบด้วยความสะดวกในการทดลองความเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน มีความคล่องตัวในการติดตั้งเข้ากับระบบอื่น ๆ

3) พัฒนาโดยการนำเอาโปรแกรมเมเบิลลอจิคอนโทรลเลอร์ ติดตั้งเพิ่มเข้าเพื่อให้นักเรียนสามารถเขียนโปรแกรมแลดเดอร์ไดอะแกรมควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า โดยแปลงจากวงจรรีเลย์

2.4 ส่วนประกอบและการเขียนคู่มือการใช้งาน

1) คำนำ เป็นส่วนที่แสดงความรู้สึกและความคิดเห็นของผู้ผลิต เพื่อให้ผู้ใช้ได้เห็นคุณค่าของชุดสาธิต และเป็นการชี้แจงให้ผู้ใช้ทราบถึงคุณปัญหา จุดอ่อนและจุดเด่นต่าง ๆ ในกรณีที่ชุดสาธิต ได้ผ่านการหาประสิทธิภาพมาแล้ว ควรบอกระดับประสิทธิภาพของชุดสาธิตไว้ด้วย

2) ส่วนประกอบของชุดสาธิต เพื่อกระตุ้นให้มีการตรวจตราวัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ ก่อนการนำไปใช้

3) คำชี้แจงสำหรับผู้สอน เป็นการกำหนดสิ่งที่ครูควรปฏิบัติ เพื่อจะได้ดำเนินการสอนแบบศูนย์การเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4) สิ่งที่ผู้สอนและผู้เรียนต้องเตรียม กำหนดสิ่งที่ครู และผู้เรียนจะต้องจัดเตรียมและจัดหาไว้ล่วงหน้าก่อนสอน เช่น การไปยืมอุปกรณ์จากหน่วยงานอื่น เป็นต้น

5) บทบาทของผู้สอนและผู้เรียน เป็นบทบาทที่ครูและผู้เรียนควรปฏิบัติในเวลาเรียน ผู้สอนควรจะต้องเป็นผู้ชี้แจงบทบาทของผู้เรียนให้ทราบก่อนใช้ชุดสาธิตทุกครั้ง

6) การจัดห้องเรียน มีการอธิบายการจัดห้องเรียนพร้อมทั้งทำแผนผังแสดงศูนย์กิจกรรมต่าง ๆ

2.5 ประโยชน์ของชุดสาธิต

1) ส่งเสริมการเรียนแบบรายบุคคล ผู้เรียนเรียนได้ตามความสามารถ ความสนใจ ตามเวลา

2) ช่วยขจัดปัญหาการขาดแคลนครู เพราะชุดสาธิตสามารถช่วยให้ผู้เรียนเรียนรู้ได้ด้วยตนเองจากคู่มือการใช้งาน

3) ช่วยในการศึกษานอกระบบโรงเรียน เพราะผู้เรียนสามารถนำชุดสาธิตไปใช้ได้ทุกสถานที่และทุกเวลา

4) ช่วยลดภาระและช่วยสร้างความพร้อมและความมั่นใจให้แก่ครู เพราะสามารถนำไปใช้ได้ทันที

5) เป็นประโยชน์ในการสอนแบบศูนย์การเรียน

6) ช่วยให้ครูวัดผลผู้เรียนได้ตรงตามความมุ่งหมาย

7) เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นฝึกการตัดสินใจแสวงหาความรู้ด้วยตนเองและมีความรับผิดชอบ

8) ช่วยให้ผู้เรียนจำนวนมากได้รับความรู้แนวเดียวกันอย่างมีประสิทธิภาพ

2.6 อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์

2.6.1 ปลั๊กฟิวส์ (Plug fuse)

ฟิวส์ที่ใช้ในวงจรควบคุมและวงจรกำลัง จะเป็นฟิวส์แรงดันต่ำที่เรียกว่าปลั๊กฟิวส์ ซึ่งมีขนาดและรูปร่างหลายแบบฟิวส์ดังกล่าวเป็น เอช อาร์ ซี ฟิวส์ (High rupture capacity fuse) ซึ่งมีคุณลักษณะพิเศษคือสามารถตัดกระแสลัดวงจรจำนวนมากๆ ได้อย่างปลอดภัย แม้ตัวฟิวส์จะมีพิกัดกระแสต่ำ ๆ ก็ตาม

ภาพที่ 2-1 ปลั๊กฟิวส์และลูกฟิวส์

ตารางที่ 2-1 ขนาดกระแสที่ตัวฟิวส์และสีเครื่องหมาย

ขนาด กระแส (A)	**2 4 6 10**	**16 20 25**	**35**	**50 63 80 100 125 160 200**
สี เครื่องหมาย	ชมพู น้ำตาล เขียว แดง	เทา น้ำเงิน เหลือง	ดำ	ขาว ทองแดง เงิน แดง เหลือง ทองแดง น้ำเงิน

1) ฟิวส์สำหรับป้องกันสายจ่ายไฟย่อยของมอเตอร์

F1 เป็นฟิวส์ที่ต่อไว้ในวงจรกำลังเพื่อทำหน้าที่ป้องกันสาย หากเกิดการลัดวงจรของวงจรกำลัง (ในกรณีที่มอเตอร์มีการป้องกันด้วยโอเวอร์โหลดอยู่แล้ว) ขนาดของ F1 ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และวิธีการสตาร์ตมอเตอร์ ซึ่งกินกระแสสตาร์ตไม่เท่ากัน ขนาดของฟิวส์ F1 นี้จะต้องใหญ่ (มี Time current characteristic) พอที่จะทนกระแสในช่วงสตาร์ตได้ ค่ากระแสสูงสุดของ F1 เมื่อเป็นฟิวส์ชนิดขาดเร็วมีดังนี้

(1) มีค่าอัตรากระแสสูงเป็น 3 เท่าของกระแสของมอเตอร์ขณะรับโหลดเต็มที่ เมื่อมอเตอร์นั้นเป็นมอเตอร์กระแสสลับเฟสเดียวหรือหลายเฟสที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (แบบทั่ว ๆ ไปไม่มีโค้ดอักษรกำกับ) หรือเป็นซิงโครนัสมอเตอร์ และมอเตอร์ดังกล่าวใช้วิธีการสตาร์ตตรงสตาร์ตโดยใช้ตัวต้านทาน หรือใช้รีแอคเตอร์

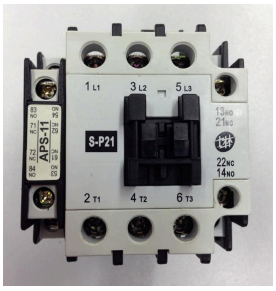
(2) มีอัตรากระแสสูงเป็น 1.5 เท่าของกระแสของมอเตอร์ขณะรับโหลดเต็มที่ เมื่อมอเตอร์นั้นเป็นวาวด์โรเตอร์ หรือมอเตอร์กระแสตรง (แบบทั่ว ๆ ไปไม่มีโค้ดอักษรกำกับ)

2) ฟิวส์ในวงจรควบคุม

F2 เป็นฟิวส์ซึ่งมีไว้สำหรับป้องกันสายของวงจรควบคุม ขนาดของฟิวส์ขึ้นอยู่กับขนาดของสายที่ใช้ในวงจรควบคุม โดยจะต้องมีค่ากระแสต่ำกว่ากระแสสูงสุดที่สายทนได้ เพื่อที่จะให้ควบคุมมีโอกาสหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ เมื่อฟิวส์ในวงจรกำลังเปิดวงจรฟิวส์ของวงจรควบคุมจะต่ออยู่หลัง F1

2.6.2 คอนแทกเตอร์ (Contactor)

เป็นสวิตช์แม่เหล็กที่ใช้ในการตัด-ต่อวงจรกำลัง มีหลายขนาดในตัวของมันเอง นอกจากจะมีคอนแทกสำหรับวงจรกำลังแล้ว จะมีคอนแทกช่วยทั้งปกติปิดและปกติเปิดอีกด้วย ซึ่งอาจจะมีอยู่อย่างละ 1 หรือ 2 คอนแทก ให้เลือกใช้ตามความจำเป็นของวงจรควบคุม



ภาพที่ 2-2 คอนแทกเตอร์แบบต่าง ๆ

1) ความหมายของรีเลย์และคอนแทกเตอร์

รีเลย์หมายถึงสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรควบคุม เช่น คอยล์ของแทกเตอร์รีเลย์ตัวอื่นๆ โซลินอยด์ (Solinoids) แต่ก็ใช้เป็นตัวตัดต่อวงจรกำลังขนาดเล็กบ้างเหมือนกัน เช่นวงจรหลอดสัญญาณ หวูดสัญญาณ หรือมอเตอร์ขนาดเล็กเป็นต้น

คอนแทกเตอร์หมายถึงสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กช่วยให้เกิดการตัดต่อในวงจรกำลังที่ใช้กระแสค่อนข้างสูง (ประมาณ 30 – 300 A) คอนแทกเตอร์มีส่วนประกอบและโครงสร้างเหมือนกับรีเลย์ แต่มีขนาดใหญ่กว่า และอาจมีอุปกรณ์ช่วยดับการอาร์คที่คอนแทกเพิ่มขึ้น

2) ข้อดีของการใช้คอนแทกเตอร์เมื่อเทียบกับสวิตช์กำลังอื่น ๆ

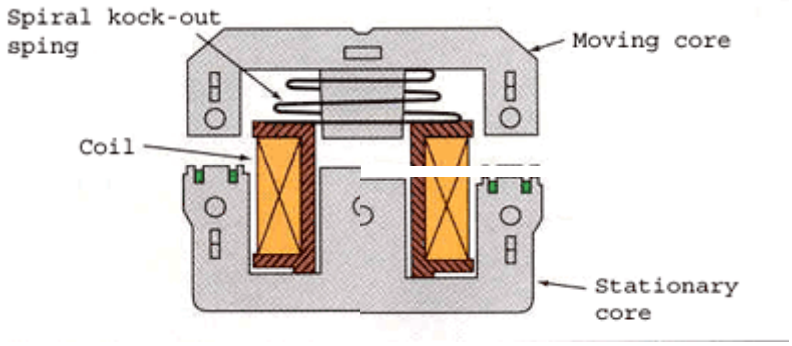
ให้ความปลอดภัยสำหรับผู้ควบคุม อันตรายจากการตัดต่อของวงจรกำลังซึ่งมีกระแสไฟฟ้าไหลค่อนข้างสูง (เช่น การสตาร์ตมอเตอร์ตัวใหญ่ ๆ และจะทำให้เกิดการอาร์คที่หน้าคอนแทกขณะเริ่มสตาร์ต) ทั้งนี้เพราะสามารถใช้กระแส หรือแรงเคลื่อนต่ำ ๆ ไปควบคุมคอยล์ของคอนแทกเตอร์ ทำให้เกิดการตัดต่อในวงจรกำลัง แทนการสับสวิตช์กำลังด้วยมือโดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถย้ายจุดควบคุมไปอยู่ในที่ ๆ ปลอดภัยและห่างจกวงจรกำลังได้

(1) ให้ความสะดวกในการควบคุม เพราะสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น Push button switch Pressure switch, Flow switch, Float switch, Limit switch ฯลฯ ในการควบคุมวงจรต่างๆ เช่น วงจรลิฟต์ ซึ่งสามารถควบคุมให้หยุดได้เองเมื่อลิฟต์วิ่งถึงชั้นที่ต้องการ

(2) ประหยัดเมื่อเทียบกับการควบคุมด้วยมือ (Manual control) ในบางกรณีภาระ (load) ที่ต้องการควบคุม จำเป็นต้องอยู่ห่างจากแหล่งจ่ายไฟ และจุดควบคุม ถ้าใช้การควบคุมด้วยมือ สายของวงจรกำลังจะต้องเดินจากแหล่งจ่ายไฟไปยังจุดควบคุมจากนั้นจึงเดินไปยังภาระ แต่เมื่อ

ใช้การควบคุมด้วยคอนแทกเตอร์ จะช่วยให้ประหยัด เพราะสายของวงจรกำลังสามารถเดินจากแหล่งจ่ายไฟไปยังภาระได้โดยตรง ส่วนสายที่เดินไปยังจุดควบคุมจะเป็นสายของวงจรควบคุม ซึ่งมีขนาดเล็ก

3) โครงสร้างและการทำงานของรีเลย์และคอนแทกเตอร์



ภาพที่ 2-3 ลักษณะโครงสร้างภายในของแมกนีติกคอนแทกเตอร์

รีเลย์และคอนแทกเตอร์จะมีโครงสร้างและการทำงานเหมือนกัน กล่าวคือ จะมีแกนเหล็กรูปตัว E อัดซ้อนกันเป็นแท่งอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งถูกยึดติดอยู่กับที่ ที่ขากลางของแกนเหล็กชุดนี้จะมีขดลวดซึ่งพันอยู่บนบอบปิ้นสวมอยู่ ขดลวดชุดนี้จะเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา ส่วนที่ขาตัว E อีก 2 ข้าง จะมีลวดทองแดงเส้นใหญ่ต่อลัดวงจรไว้เป็นรูปวงแหวน และฝังอยู่ที่ผิวหน้าของแกนเพื่อช่วยลดการสั่นของแกนอันเนื่องมาจากกระแสสลับ เรียกวงแหวนนี้ว่า Shaded ring สำหรับแกนเหล็กอีกชุดหนึ่งจะเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ โดยมีตัวคอนแทกยึดติดอยู่ แกนเหล็กทั้ง 2 ชุดนี้ทำมาจากเหล็กแผ่นบาง ๆ ที่ผิดเคลือบด้วยฉนวน (laminated sheet steel)

ในสภาวะปกติ (Off) แกนเหล็กทั้ง 2 ชุดนี้จะถูกดันให้ห่างออกจากกันด้วยสปริงที่ขาทั้ง 2 ข้างของแกน ทำให้ตัวคอนแทกบางตัวต่อวงจรของจุดสัมผัสให้ถึงกันจะเรียกคอนแทกชุดนี้ว่า “คอนแทกปกติปิด” ในขณะเดียวกัน ก็จะมีคอนแทกบางตัวที่ไม่ได้ต่ออยู่กับจุดสัมผัสจะเรียกคอนแทกชุดนี้ว่า “คอนแทกปกติเปิด”

ขดลวดที่ขากลางของแกนเหล็กจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา เมื่อมันได้รับพลังงานไฟฟ้า แรงจากอำนาจแม่เหล็กจะชนะแรงสปริงดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่เคลื่อนที่ลงมา ในสภาวะนี้ (on) คอนแทกทั้ง 2 ชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงาน คือ คอนแทกปกติปิด จะเปิดวงจรของจุดสัมผัสออก และคอนแทกแบบปกติเปิด จะต่อวงจรของจุดสัมผัส คอนแทกทั้ง 2 ชุดนี้จะกลับไปอยู่ในสภาวะเดิมอีกครั้งเมื่อหยุดการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวด

โดยปกติคอนแทกแบบปิดจะใช้ตัด-ต่อวงจรควบคุมเท่านั้น ส่วนคอนแทกแบบปกติเปิดบางชุดจะทำหน้าที่ตัด-ต่อวงจรควบคุม และบางชุดจะทำหน้าที่ตัด-ต่อวงจรกำลังเราเรียกคอนแทกที่ทำหน้าที่ตัด-ต่อควบคุมว่า คอนแทกช่วย (Auxiliary contact) และเรียกคอนแทกที่ทำหน้าที่ตัด-ต่อวงจรกำลังว่า คอนแทกเมน (Main contact)

คอนแทกเมนของคอนแทกเตอร์ จะมีขนาดใหญ่กว่าคอนแทกช่วย แต่สำหรับรีเลย์คอนแทกที่ทำหน้าที่คอนแทกเมนจะมีขนาดพอ ๆ กับคอนแทกช่วย เนื่องจากจ่ายกระแสให้กับภาระขนาดเล็กเท่านั้น

4) ชนิดและขนาดของคอนแทกเตอร์ไฟสลับ

คอนแทกเตอร์ที่ใช้กับไฟกระแสสลับ แบ่งออกเป็น 4 ชนิดตามลักษณะของโหลดและการใช้งาน คือ AC1, AC2, AC3 และ AC4

(1) AC1 : คอนแทกเตอร์ที่เหมาะสำหรับโหลดเป็นความต้านทาน หรือในวงจรที่มีค่าอินดักทีฟน้อย ๆ

(2) AC2 : คอนแทกเตอร์ที่เหมาะสำหรับใช้กับโหลดที่เป็นสลิปริงมอเตอร์

(3) AC3 : คอนแทกเตอร์ที่เหมาะสำหรับใช้สตาร์ต และหยุดโหลดที่เป็นมอเตอร์กรงกระรอก

(4) AC4 : คอนแทกเตอร์ที่เหมาะสำหรับการสตาร์ต - หยุดมอเตอร์ วงจร jogging และกลับทางหมุนของมอเตอร์แบบโรเตอร์กรงกระรอก

ขนาดของคอนแทกเตอร์นิยมเรียกเป็น Size 0, size 1, size 2, เป็นต้น Size ซึ่งตามด้วยตัวเลขที่มีค่ามากกว่าจะแสดงถึงขนาดของคอนแทกเตอร์ที่ใหญ่กว่า

สำหรับการพิจารณาเลือกขนาดของคอนแทกเตอร์ให้เหมาะสมกับมอเตอร์จะพิจารณาที่ rated current และแรงดันของมอเตอร์กับ rated operating current และแรงดันของคอนแทกเตอร์กับ rated current ของมอเตอร์จะต่ำกว่าของ rated operating ของคอนแทกเตอร์ที่แรงดันเท่ากัน ซึ่งคอนแทกเตอร์ขนาดหนึ่งอาจใช้ได้กับมอเตอร์ที่มี KW ต่างกันได้ เช่น คอนแทกเตอร์ size 0 คอนแทกเตอร์มี rated current 9 A ที่ 380 V หรือน้อยกว่า และ 5 A ที่ 500 A จะสามารถใช้ได้กับมอเตอร์ที่มีขนาดถึง 2.2 KW 220 V ซึ่งมี่ rated current ประมาณ 8.7 A หรือใช้ได้กับมอเตอร์ที่มีขนาดถึง 4 KW 380 V ซึ่งมี rated current ประมาณ 8.5 A และใช้ได้กับมอเตอร์ 3 KW 500 V ซึ่งมี rated current ประมาณ 5 A

ในการพิจารณาเลือกคอนแทกเตอร์ นอกจากลักษณะและขนาดของโหลดที่ใช้แล้วยังจะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นอีกเช่น ถ้าความถี่ของการทำงานต่ำมากเพียงครั้งหรือ 2 ครั้งในหนึ่งวัน เราอาจเลือกใช้คอนแทกเตอร์แบบ AC 3 แทน AC 4 ได้

การเลือกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสมกับงานจะต้องดู Technical data ของคอนแทกเตอร์จากบริษัทผู้ผลิตให้เหมาะสมกับงานซึ่งพิจารณาคือ

(1) ลักษณะของโหลดและการใช้งาน

(2) แรงดันและความถี่

(3) สถานที่ใช้งาน

(4) ความบ่อยครั้งในการใช้งาน

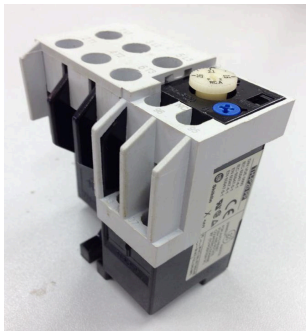
(5) การป้องกันจากการสัมผัส และการป้องกันน้ำ

(6) ความคงทนทางกลและทางไฟฟ้า

2.6.3 โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Over load relay)

ทั่ว ๆ ไปแล้วโอเวอร์โหลดรีเลย์นิยมทำเป็นแบบไบมีทัล โดยใช้กระแสที่ไหลผ่านโหลดเป็นตัวควบคุมอีกที่หนึ่งการตัดวงจรอาศัยการงอของไบมีทัล ขณะร้อนเนื่องจากกระแสไหลมาก และจะกลับมาต่อวงจรอีกครั้งเมื่อไบมีทัลเย็นตัวลง

Overload relay หรือ Protective motor relay แบ่งโดยทั่วไปแล้ว มีแบบธรรมดา คือ เมื่องอไปแล้วจะกลับมาอยู่ตำแหน่งเดิมเมื่อเย็นตัวเหมือนในเตารีด กับแบบที่มี RESET คือ เมื่อตัดวงจรไปแล้ว คอนแทกจะถูกล็อคเอาไว้ ถ้าต้องการจะให้วงจรทำงานอีกครั้ง ทำได้โดยกดที่ปุ่ม RESET ให้คอนแทกกลับมาต่อวงจรเหมือนเดิม

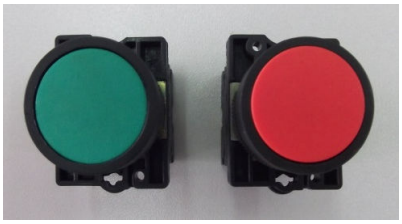


ภาพที่ 2-4 โอเวอร์โหลดรีเลย์

2.6.4 สวิตช์ปุ่มกด (Push button switch)

โดยทั่วไปตัวสวิตช์จะมีคอนแทกปกติปิดและเปิด อย่างละหนึ่งคอนแทกในตัวเดียวกัน แต่สามารถนำคอนแทกมาต่อเพิ่มเติมได้ตามต้องการ ตัวปุ่มกดมีหลายแบบให้เลือกใช้

รายละเอียดเทคนิคเวลาเลือกใช้ก็คือ กระแสของคอนแทก จำนวน และชนิดของคอนแทก แรงดันใช้งาน ขนาดและรูปแบบที่ต้องการใช้



ภาพที่ 2-5 สวิตช์ปุ่มกด

2.6.5 หลอดไฟสัญญาณ (Signal lamp, Pilot lamp)

เป็นหลอดไฟที่ใช้แสดงสถานะในการทำงานมีหลายสีหลายแบบ บางชนิดเป็นแบบรวมอยู่กับสวิตช์ปุ่มกดหรือหม้อแปลงเล็ก สำหรับจ่ายไฟให้หลอดที่ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ รายละเอียดและเทคนิคเวลาเลือกใช้ก็คือ แรงดันใช้งาน รูปแบบ และสีของเลนซ์

การต่อหลอดสัญญาณจะไม่ต่อขนานกับขดลวดของรีเลย์เนื่องจากขดลวดของรีเลย์จะเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าสูงขณะ ON - OFF ทำให้หลอดมีอายุการใช้งานสั้นลง และในกรณีที่ขดลวดของรีเลย์ขาด อาจทำให้การตรวจพบลำบาก เนื่องจากไปวัดความต้านทานของหลอดไฟเข้า

ภาพที่ 2-6 หลอดไฟสัญญาณ

2.6.6 รีเลย์ตั้งเวลา (Timer relay)

เป็นรีเลย์ที่สามารถตั้งเวลาการทำงานของคอนแทกได้มีหลายชนิด แบ่งตามชนิดการทำงานของคอนแทก มี 2 แบบคือ

1) หน่วงเวลาหลังจากเอาไฟเข้า

เมื่อจ่ายไฟให้กับรีเลย์ตั้งเวลา คอนแทกจะอยู่ใตตำแหน่งเดิมก่อน เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้แล้วคอนแทกจึงเปลี่ยนไปที่สภาวะตรงข้าม และจะค้างอยู่ในตำแหน่งนั้นจนกว่าจะหยุดการจ่ายไฟให้กับรีเลย์

2) หน่วงเวลาหลังจากเอาไฟออก

เมื่อจ่ายไฟให้กับรีเลย์ตั้งเวลาคอนแทกจะเปลี่ยนสภาวะทันที หลังจากที่เอาไฟออกจากขดลวดแล้วและถึงเวลาที่ตั้งไว้ คอนแทกจึงกลับมาอยู่สภาวะเดิม รีเลย์ตั้งเวลาแบบอิเล็กทรอนิกส์ และแบบใช้มอเตอร์ขับไม่สามารถทำงานแบบนี้ได้

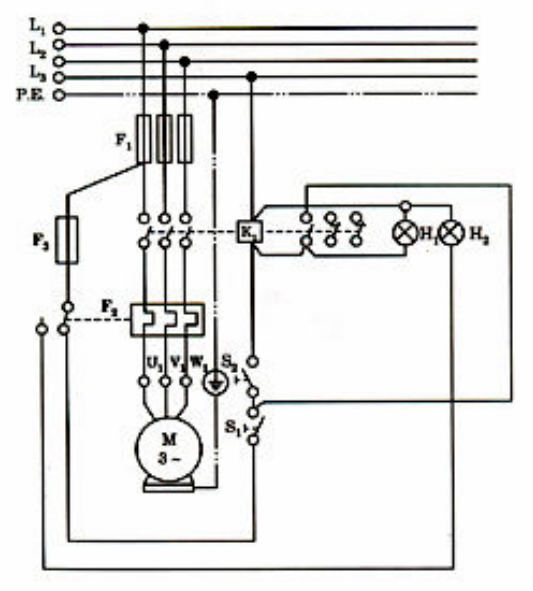
ภาพที่ 2-7 รีเลย์ตั้งเวลา

2.7 แบบที่ใช้เขียนวงจรการควบคุมมอเตอร์

แบบที่ใช้เขียนวงจรที่เกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์ แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

2.7.1 แบบงานจริง (Working diagram)

แบบชนิดนี้จะเขียนคล้ายลักษณะงานจริง คือ ส่วนประกอบของอุปกรณ์ใด ๆ จะเขียนเป็นชิ้นเดียวไม่แยกออกจากกัน และสายต่าง ๆ จะต่อกันที่จุดเข้าสายของอุปกรณ์เท่านั้น ซึ่งเหมือนกับลักษณะของงานจริง ๆ



ภาพที่ 2-8 แบบงานจริง

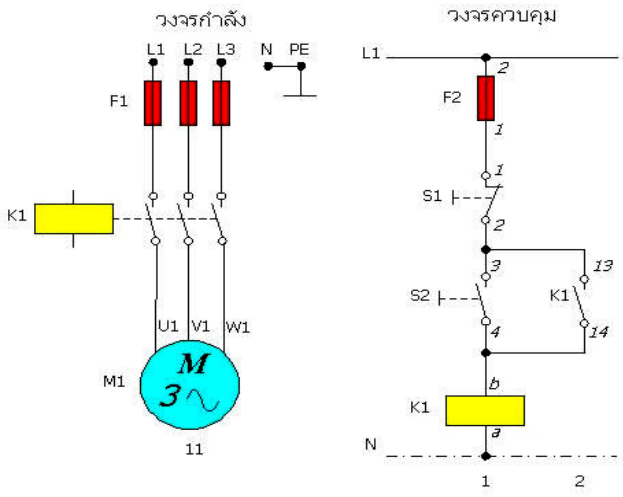
2.7.2 แบบแสดงการใช้งาน (Schematic diagram) แบบแสดงการใช้งาน แบ่งตามลักษณะวงจรได้ 2 แบบ คือ

1) แบบแสดงการทำงานของวงจรกำลัง (Power circuit)

แบบชนิดนี้เป็นการนำเอาเฉพาะส่วนของวงจรกำลังมาเขียนเท่านั้น ดังนั้นอุปกรณ์บางชิ้นจึงตัดส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออก เช่น โอเวอร์โหลดรีเลย์ จะไม่เขียนส่วนที่เป็นคอนแทก ซึ่งใช้สำหรับวงจรควบคุมส่วนสายต่าง ๆ ที่ต่อถึงกันจะแสดงด้วยจุดต่อทึบและจากจุดต่อแต่ละจุดจะลากเพียงสายเดียวไปเข้าจุดต่อสายของอุปกรณ์

2) แบบแสดงการทำงานของวงจรควบคุม (Control circuit)

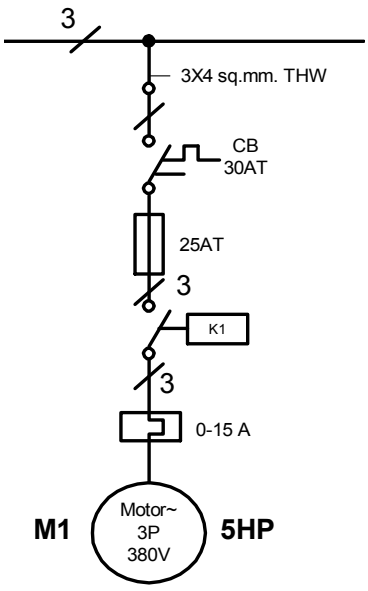
แบบนี้ได้จากการจับต้นและปลายของวงจรควบคุมในแบบงานจริงยืดออกเป็นเส้นตรง สายแยกต่าง ๆ จะเขียนในแนวดิ่งและแนวระนาบเท่านั้น ส่วนประกอบของอุปกรณ์จะนำมาเขียนเฉพาะส่วนที่ใช้ในวงจรควบคุมเท่านั้น คอนแทกของรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์สามารถเขียนแยกกันอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของวงจรได้ โดยจะเขียนกำกับด้วยอักษรและตัวเลข ให้รู้ว่าเป็นของคอนแทกเตอร์ตัวใด



ภาพที่ 2-9 วงจรกำลังและวงจรควบคุม

2.7.3 วงจรสายเดียว (One line diagram)

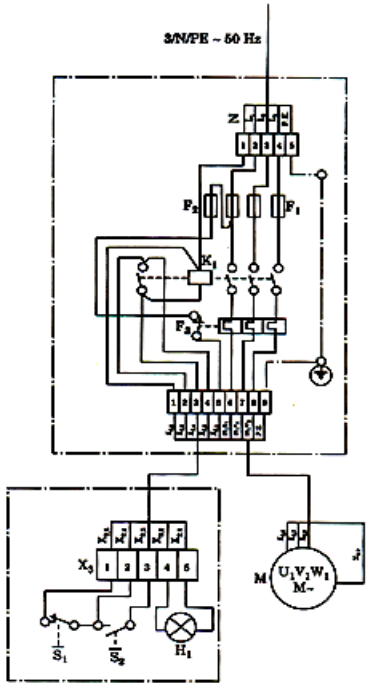
เป็นแบบแสดงการทำงานของวงจรกำลังอีกแบบหนึ่ง แต่เขียนวงจรด้วยสายเส้นเดียว และมีตัวเลขแสดงจำนวนสายกำกับไว้ (สำหรับวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสที่มีจำนวนสายแต่ละจุดของวงจรเท่า ๆ กันคือ 3 เส้น อาจจะไม่เขียนเส้นกำกับไว้เลย)



ภาพที่ 2-10 แบบวงจรเส้นเดียว

2.7.4 วงจรประกอบการติดตั้ง (Constructional Wiring Diagram)

ในระบบควบคุม จะประกอบด้วยแผงควบคุม ตู้สวิตช์บอร์ด และโหลดที่ต้องการควบคุม ซึ่งมักจะแยกกันอยู่ในที่ต่างกัน ในส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จะเขียนแสดงรายละเอียดด้วยวงจรงานจริง และจะประกอบเข้าด้วยกันที่แผงต่อสาย โดยใช้วงจรสายเดียว สายที่ออกจากจุดต่อสายแต่ละอันจะมีโค๊ตกำกับให้รู้ว่าสายนั้นจะไปต่อเข้ากับจุดใด

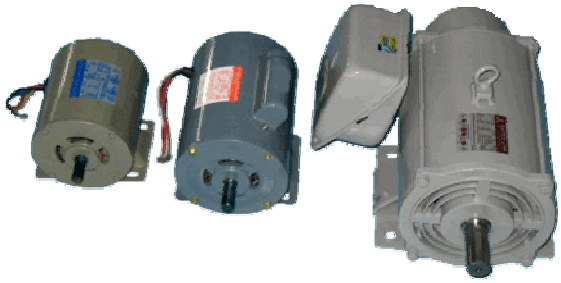


ภาพที่ 2-11 แบบวงจรประกอบการติดตั้ง

2.8 ชนิดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.8.1 มอเตอร์ไฟฟ้าหนึ่งเฟส (Single phase motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสลับชนิดเฟสเดียวแบบสปลิทเฟสมอเตอร์มีขนาดแรงม้าขนาดตั้งแต่ 1/4 แรงม้า , 1/3 แรงม้า, 1/2 แรงม้าจะมีขนาดไม่เกิน 1 แรงม้า บางทีนิยมเรียกว่าสปลิทเฟสมอเตอร์นี้ว่าอินดักชั่นมอเตอร์ (Induction motor) มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้งานมากในตู้เย็น เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก เครื่องซักผ้า เป็นต้น



ภาพที่ 2-12 มอเตอร์ไฟฟ้าหนึ่งเฟสแบบสปลิทเฟส

2.8.2 มอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส (Three phase motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบ่งออกตามโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

2.8.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชั่น (3 Phase Induction Motor)

มอเตอร์ไฟสลับ 3 ที่มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงทีเนื่องจากความเร็วรอบอินดักชั่นมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์นิยมใช้กันมาก เป็นต้น กำลังในโรงงานอุตสาหกรรม ขับเคลื่อนลิฟต์ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึงไฟฟ้า

ภาพที่ 2-13 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชั่น

2.8.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

ซิงโครนัสมอเตอร์เป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่สุด ทีขนาดพิกัดของกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 150 KW (200 Hp) จนถึง 15 MW (20,000 Hp) มีความเร็วตั้งแต่ 150 ถึง 1,800 RPM

ภาพที่ 2-14 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบซิงโครนัส

2.9 วงจรควบคุมและวงจรกำลัง

2.9.1 การควบคุมการสตาร์ตมอเตอร์โดยตรง (DIRECT START MOTOR)

เป็นการควบคุมการเริ่มเดินและหยุดเดินมอเตอร์โดยใช้แมกนีติกคอนแทกเตอร์ในการตัดต่อในการการควบคุมการทำงานและมีอุปกรณ์ป้องการมอเตอร์ไม่ให้เกิดการเสียหายและสามารถเริ่มเดินเครื่อง โดยกดปุ่มทีสวิตช์ปุ่มกดให้มอเตอร์ทำงานได้ โดยตรง และเมื่อต้องการหยุดก็กดที่สวิตช์ปุ่มกดอีกตัวได้ ดังนั้นต้องใช้อุปกรณ์มาประกอบเป็นวงจรในการควบคุมเพื่อให้เกิดการควบคุมได้ตามที่ต้องการและเกิดความปลอดภัย

1) ขั้นตอนการทำงาน

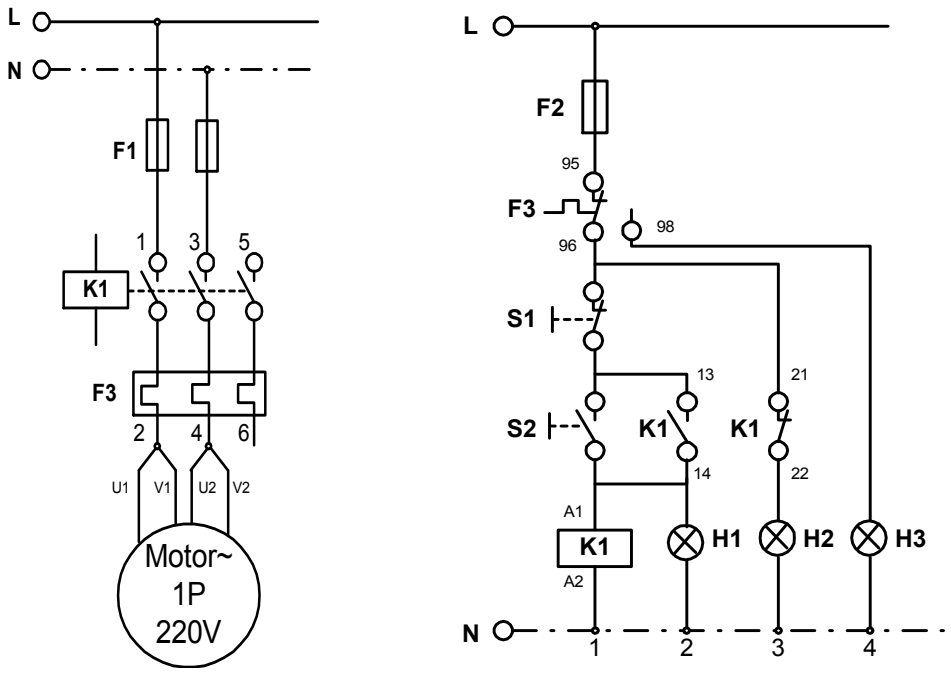
(1) กดสวิตช์ S2 คอนแทกเตอร์ K1ทำงาน ปล่อยสวิตช์ 2 คอนแทกเตอร์ K1 ยังทำงานอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากหน้าสัมผัสช่วยปกติเปิด K1 ในแถวที่ 2 ทำงานหน้าสัมผัสจะปิดกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในขดลวดของแมกนีติกตลอดเวลา

(2) เมื่อเกิดสภาวะโอเวอร์โหลดหน้าสัมผัสของโอเวอร์โหลดปกติปิด (F3) จะตัดวงจรไม่มีกระแส ไหลเข้าขดลวดคอนแทกเตอร์ K1 จะหยุดทำงาน

(3) ในการหยุดการทำงานของวงจรให้กดสวิตช์ S1

(4) ถ้าฟิวส์ F2 ขาดวงจรก็จะหยุดทำงาน

(5) เมื่อเกิดสภาวะโอเวอร์โหลดให้วงจรทำงานใหม่ให้กดปุ่มรีเซ็ต โอเวอร์โหลดหน้าสัมผัสกลับสู่สภาพเดิม แล้วทำการ กด S2ใหม่ มอเตอร์ก็จะกลับมาทำงานตามเดิม



ภาพที่ 2-15 วงจรกำลังและวงจรควบคุมการสตาร์ตมอเตอร์โดยตรง

2.9.2 การควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

หลักการวงจรกำลังการกลับทิศทางหมุนของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ในการกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟสนั้นทำได้โดยการสลับสายเมนคู่ใดคู่หนึ่งเข้ามอเตอร์ ส่วนอีกเส้นหนึ่งต่อไว้ดังเดิมในการกลับทางหมุน ในงานควบคุมจำเป็นต้องเอาคอนแทกเตอร์มาช่วยในการสลับสายให้มอเตอร์กลับทางหมุนดังนี้

กำหนดให้ คอนแทตเตอร์ K1 ต่อให้มอเตอร์หมุนขวา คอนแทกเตอร์ K2 ต่อให้มอเตอร์หมุนซ้าย

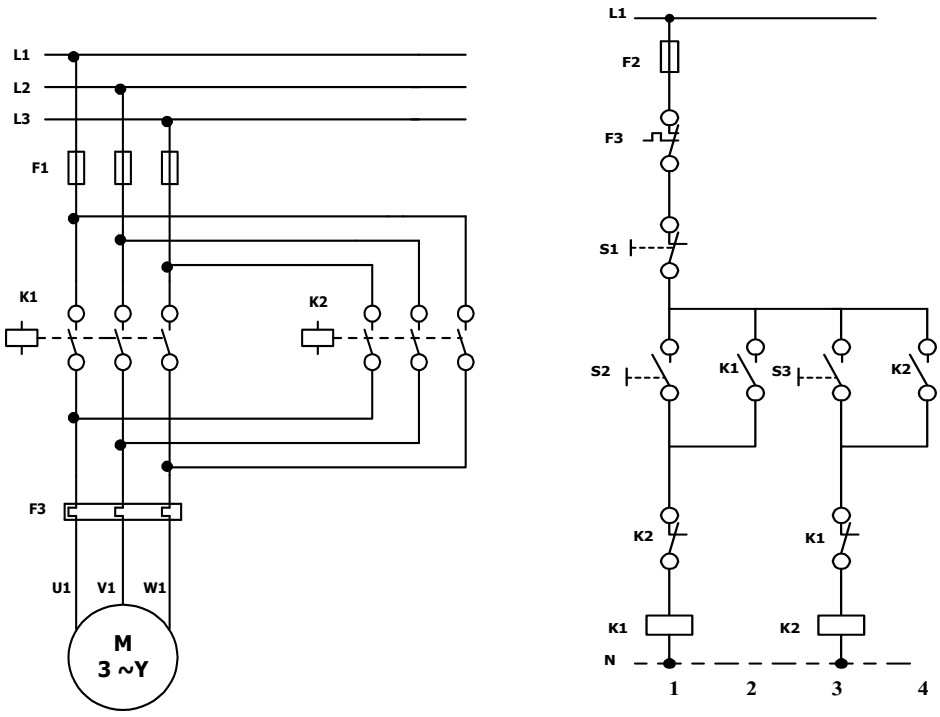
1) ขั้นตอนการทำงาน

(1) กดสวิตช์ S2 คอนแทกเตอร์ K1 ทำงานหมุนขวา คอนแทกปกติปิดของ K1 ในแถวที่ 3 ตัดวงจร ไม่มีกระแสไหลไปยังคอนแทกเตอร์ K2 คอนแทกเตอร์ K2 จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อคอนแทกเตอร์ K1 หยุดทำงาน

(2) การเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์จากหมุนขวาเป็นหมุนซ้ายจะเปลี่ยนเลยไม่ได้ต้องทำการกดสวิตช์ S1 ก่อน

(3) เมื่อทำการกด S1 คอนแทกเตอร์ K1 หยุดการทำงาน จะให้มอเตอร์หมุนซ้ายทำการกด S3 ให้คอนแทกเตอร์ K2 ทำงานคอนแทกปกติปิด K2 ในแถวที่1 ตัดวงจรไม่มีกระแสไหลไปยังคอนแทกเตอร์ K1 จะให้คอนแทกเตอร์ K1 ทำงานต้องให้หยุดคอนแทกเตอร์ K2 ก่อนโดยกดสวิตช์ S1 แล้วทำตามขั้นตอนที่ 1

(4) ถ้าหากกดสวิตช์ S2 และ S3 พร้อมกัน ตัวคอนแทกเตอร์ตัวใดที่ได้รับกระแสก่อนจะทำงานก่อน คอนแทกเตอร์ทั้งสองไม่มีโอกาสทำงานพร้อมกันได้เพราะมีคอนแทกช่วยสลับกันเราเรียกว่ามี Interlock ซึ่งกันและกัน ในวงจรกำลังคอนแทกเตอร์สองตัวจะทำงานพร้อมกันไม่ได้ถ้าทำงานพร้อมกันจนเกิดการลัดวงจรระหว่าง L1 กับ L3 ดังนั้นคอนแทกเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานอยู่อีกตัวต้องหยุดทำงาน การป้องกันไม่ให้คอนแทกเตอร์ K1 และ K2 ทำงานพร้อมกัน ทำได้โดยต่อคอนแทกปกติปิด ไว้ก่อนเข้าขดลวดของคอนแทกเตอร์สลับกัน ซึ่งเรียกว่า Interlocked Contact



ภาพที่ 2-16 วงจรกำลังและวงจรควบคุมการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

2.9.3 การควบคุมการสตาร์ตมอเตอร์แบบสตาร์-เดลตา (STAR-DELTA MOTOR)

การสตาร์ตมอเตอร์ 3 เฟส ที่มีขนาดใหญ่กระแสขณะสตาร์ตมีค่าสูง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายต่อมอเตอร์ได้ ดังนั้นขณะสตาร์ตมอเตอร์จะต้องหาวิธีการในการลดกระแสจำนวนนี้ วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้คือ การสตาร์ตมอเตอร์แบบสตาร์ และรันแบบเดลตา หรือแบบ (Y-Δ) ซึ่งวิธีการต่อแบบสตาร์-เดลตา สำหรับระบบแรงดัน 380/220 โวลต์ สามารถทำการสตาร์ตแบบสตาร์-เดลตาได้ มอเตอร์จะต้องมีพิกัดเท่ากับ 380/660 โวลต์

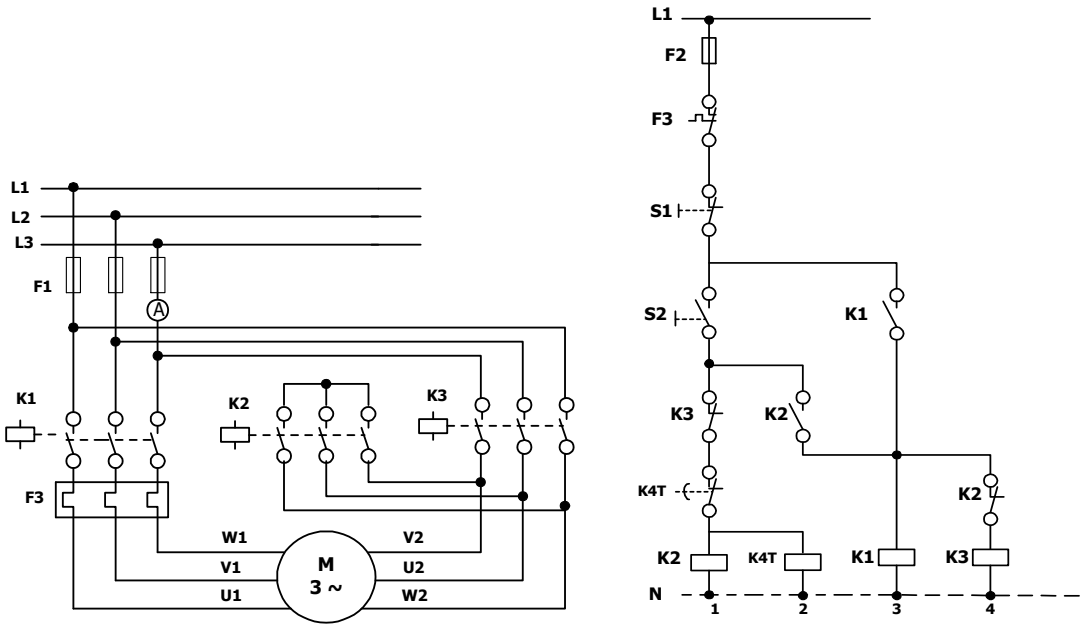
1) ขั้นตอนการทำงาน

(1) กด S2 ทำให้คอนแทกเตอร์สตาร์ (Y) K2 และไทเมอร์รีเลย์ K4T ทำงาน หน้าสัมผัสปกติปิดของ K2 ในแถว 4 ตัดวงจร K3 และหน้าสัมผัสปกติปิดในแถว 2 ต่อวงจรให้เมนคอนแทกเตอร์ K1

(2) มอเตอร์ทำงานแบบสตาร์หลังจากที่ K1 ทำงานและปล่อย S2 ไปแล้ว K2, K4T และ K1 จะทำงานตลอดเวลาด้วย Holding contact ของ K1 ในแถว 3

(3) รีเลย์ตั้งเวลา K4T ทำงานหลังจากเวลาที่ตั้งไว้ K2 และ K4T จะถูกตัดวงจรด้วยหน้าสัมผัสของรีเลย์ตั้งเวลา K4T และหน้าสัมผัสปกติปิดของ K2 ในแถว 4 กำลังกลับตำแหน่งเดิม

(4) ช่วงทำงานแบบเดลตา เมื่อหน้าสัมผัสของ K2 กลับมาที่เดิมเรียบร้อยแล้ว K3 จะทำงานคู่กับ K1 ขณะนี้มอเตอร์หมุนแบบเดลตา และ K2 จะถูก Interlock ด้วยหน้าสัมผัสของ K3



ภาพที่ 2-17 วงจรกำลังและวงจรควบคุมการสตาร์ตมอเตอร์แบบสตาร์-เดลตา

2.10 โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์

จากคำนิยามของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ ซึ่งตามมาตรฐานของ IEC 1131 PART 1 ระบบปฏิบัติการทางด้านดิจิตอลออกแบบมาใช้ในระบบอุตสาหกรรม ซึ่งใช้หน่วยความจำที่สามารถโปรแกรมได้ในการเก็บคำสั่งที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการกำหนดฟังชั่นหรือเงื่อนไขในการทำงานเช่น การทำงานแบบลอจิก การทำงานแบบซีเควนซ์ การใช้ไทม์เมอร์ การใช้เคาน์เตอร์ และฟังชั่นทางคณิตศาสตร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ดิจิตอลอินพุตและเอาต์พุตหรือแอนาลอกอินพุตและเอาต์ของเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตต่างๆนอกจากนั้นทั้งระบบ PLC และอุปกรณ์ภายนอกนอกที่ใช้งานจะต้องสามารถเชื่อมต่อหรือสื่อสารกับระบบควบคุมอุตสาหกรรมเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ และใช้งานร่วมกันได้ง่าย

ในอดีต โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) ถูกเรียกในนามโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ (PC) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตต่างๆ ที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบบลอจิก (Logic Control System) หรือแบบซีเควนซ์ (Sequence Control System) เท่านั้น ซึ่งเซนเซอร์และอุปกรณ์การทำงาน (Actuator) ที่ควบคุมการทำงานภายในเครื่องจักร หรือกระบวนการผลิตต่างๆเหล่านั้นมีลักษณะของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเป็นสัญญาณไบนารี่เท่านั้น ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนระกว่างคำว่า PC : Personal Computer กับโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ (PC) ในปัจจุบันจึงถูกเรียกว่า โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) ซึ่งได้มีการพัฒนาโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถทำการวัดและควบคุมสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่เป็นลักษณะแอนาลอก (Analog Signal) การควบคุมตำแหน่ง (Positioning Control) การควบคุมแบบ PID รวมถึงการติดต่อสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก

ดังนั้นจะเห็นว่าความหมายของชื่อเดิมคือ โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ (PC) ไม่ครอบคลุมความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมที่พัฒนาขึ้นมา จึงได้มีการกำหนดชื่อของอุปกรณ์ควบคุมนี้ว่า โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controller) เพื่อให้ความหมายกว้างขึ้นและครอบคลุมความสามารถในการทำงานมากขึ้น

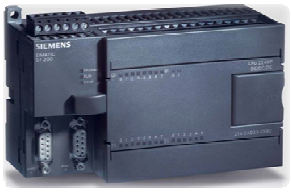
1) การจำแนกขนาดของ PLC

เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์มาใช้งานอย่างกว้างขวาง ซึ่งในการนำเอาโปรมแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ไปใช้งานในแต่ละชนิดนั้นจะพิจารณาจากขนาดของงานที่จะนำไปควบคุมเป็นหลัก ดังนั้นจึงเป็นผลให้ผู้ผลิตโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ทำการผลิตออกมาหลายระดับซึ่งในแต่ละระดับก็มีประสิทธิภาพต่างกันเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละประเภท

โดยทั่วไปการแบ่งขนาดของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์จะพิจารณาจากขนาดของหน่วยความจำโปรมแกรม (Program Memory) และจำนวนของอินพุตและเอาต์พุต (Input/ Output Channels) สูงสุดที่ระบบโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถรับรองได้ ดังในภาพที่ 2-18 (ก), (ข) 2-19 (ก), (ข) และ2-20 (ก), (ข)

ตารางที่ 2-2 แสดงการจำแนก PLC ตามขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมและจำนวนของอินพุตและเอาต์พุต

ขนาดของ PLC	จำนวน Input / Output สูงสุด	หน่วยความจำโปรแกรม
ขนาดเล็ก (Small Size)	ไม่เกิน 128 / 128จุด	4 kbyte (2000 Statement)
ขนาดกลาง (Medium Size)	ไม่เกิน 1024 / 1024จุด	16 kbyte (8000 Statement)
ขนาดใหญ่ (Large Size)	ไม่เกิน 2048 / 2048จุด	64 kbyte (32000 Statement)
ขนาดใหญ่มาก (Very Large Size)	ไม่เกิน 8192 / 8192จุด	256 kbyte (128000 Statement)



(ก) SIEMENS รุ่น SIMATIC S7-200

(ข) OMRON รุ่น SYSMAC CPIE

ที่มา : http://www.kmitl.ac.th/~s2011299/Assignment ที่มา : http://automation.en.alibaba.com

ภาพที่ 2-18 โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก

(ก)

(ข)

ที่มา : http://www.isgautomation.com/Simatic-S7-300 ที่มา : http://www.automation-drive.com

ภาพที่ 2-19 โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ขนาดลาง

(ก)

(ข)

ที่มา : http://www.nce.com.hk/siemens-plc-s7-400 ที่มา : http://www.lakewoodautomation.com

ภาพที่ 2-20 โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ขนาดใหญ่

อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาคุณสมบัติของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะนำไปใช้งานจะต้องพิจารณาองค์ประกอบหรือคุณสมบัติอื่น ๆ ประกอบด้วยเช่นกัน นอกจากนั้นโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ยังถูกแบ่งตามโครงสร้างออกเป็น 2 ลักษณะคือ

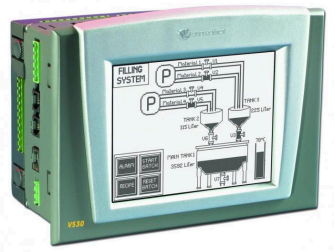
(1) แบบ Computer เป็นโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาดเล็ก กะทัดรัด มีหน่วยอินพุต/เอาต์พุตและหน่วยสำหรับติดต่อสื่อสารข้อมูลประกอบรวมกันอยู่ภายในโครงสร้างเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 2-21 (ก) (ข) (ค) และ(ง) ซึ่งโครงสร้างของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ที่มีลักษณะได้แก่ PLC Simatic S7-200 / Siemens LOGO ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่มีการกำหนดจำนวนอินพุต/เอาต์พุตที่แน่นอนและมีจำนวนไม่มาก เช่น ใช้การควบคุมเครื่องจักร เป็นต้น

(ก) SIEMENS รุ่น LOGO

(ข) MITSUBISHI รุ่น Alpha Series

ที่มา : http://th.element14.com/productimages ที่มา : http://keemin.com.au/pictures/userpics/Alpha2

ภาพที่ 2-21 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างแบบ Computer



(ค) Vision530 รุ่น V530 Touch PLC (ง) OMRON รุ่น Zen 10C1AR - A

ที่มา : http://www.visionautomation.co.za/file/product ที่มา : http://www.soselectronic.com/a_info

ภาพที่ 2-21 (ต่อ) โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างแบบ Computer

(2) แบบ Modular เป็นโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ที่มีลักษณะเป็นโมดุลเชื่อมต่ออยู่บน Rack สามารถทำการถอดและเสียบโมดูลที่ต้องการใช้งานบน Rack ได้ภายใต้ข้อกำหนดของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์นั้น ๆ โดยบน Rack จะมีบัสต่าง ๆ ซึ่งโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบันที่จะมีโครงสร้างในลักษณะนี้ เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในเรื่องของจำนวนอินพุต / เอาต์พุต และโมดูลฮาร์ดแวร์ที่ใช้ ซึ่งโครงสร้างของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ที่มีลักษณะนี้ได้แก่ PLC S5 95U , S7 300 , S7 400 เป็นต้น

2) โครงสร้างของ PLC

โครงสร้างโดยทั่วไปของ PLC จะคล้ายกับคอมพิวเตอร์หรือได้เปรียบกว่า PLC เป็นคอมพิวเตอร์เฉพาะ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานดังนี้

(1) ภาคอินพุต (Input Device) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุต ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณจากเซนเซอร์ (Sensors) เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoders) ลิมิตสวิตช์ (Limit Switches) พร็อกซิมิตี้สวิตช์ (Proximity Switch) จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลต่อไปยังประมวลผล (CPU) เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

(2) หน่วยประมวลผล (PCU) ทำหน้าที่คำนวณและควบคุม ซึ่งเปรียบเสมือนสมองของ PLC ภายในประกอบด้วยวงจรลอจิก มีไมโครโปรเซสเซอร์เบสใช้แทนอุปกรณ์จำพวกรีเลย์ เคาน์เตอร์ ไทม์เมอร์ และซีเควนเซอร์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถออกแบบวงจรโดยใช้ Ladder Diagram ได้ CPU จะยอมรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุตต่างๆ จากนั้นจะทำการประมวลผลและเก็บข้อมูลที่เหมาะสมและถูกต้องออกไปยังอุปกรณ์เอาต์พุต

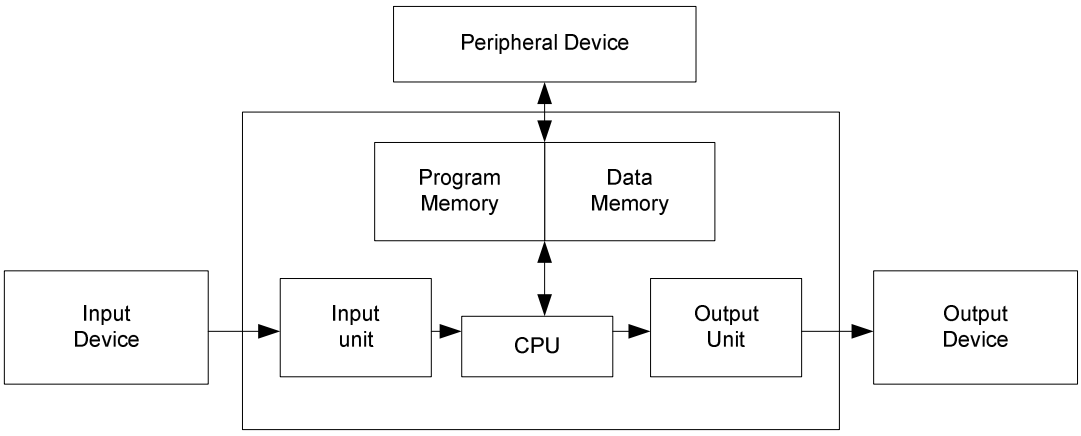
(3) หน่วยความจำ (Memory) ทำหน้าที่รักษาโปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน โดยขนาดของหน่วยความจำจะถูกแบ่งเป็นบิตข้อมูล (Data Bit) ภายในหน่วยความจำ 1 บิตจะมีค่าสภาวะทางลอจิก 0 หรือ 1 แตกต่างกันแล้วแต่คำสั่งซึ่ง PLC ประกอบด้วยหน่วยความจำ 2 ชนิดคือ RAM และ ROM

(4) ภาคเอาต์พุต (Output Device) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกเช่น มอเตอร์ หลอดไฟ และโซลีนอยล์วาล์วเป็นต้น

(5) แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ CPU หน่วยความจำและหน่วยอินพุต / เอาต์พุต

(6) ส่วนเขียนโปรแกรม (Programming Device) ทำหน้าที่ในการเขียนและการป้อนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ PLC อาจจะใช้ Handy Program Computer หรือใช้ PLC อื่นมาควบคุมได้

สรุปได้ว่า PLC มีส่วนประกอบต่าง ๆ เหมือนกับคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งเป็น 6 ส่วนคือ ภาคอินพุต หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ แหล่งจ่ายไฟ และส่วนเขียนโปรแกรมซึ่งอุปกรณ์อินพุตของคอมพิวเตอร์ คือ หน้าจอ ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุตของ PLC เป็นการควบคุมโหลดทางไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ โซลีนอยด์วาล์ว หลอดไฟ เป็นต้น



ภาพที่ 2-22 ลักษณะโครงสร้างของ PLC

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยภายในประเทศ

จรินทร์ (2541 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ผลจากการวิจัยปรากฏว่าชุดการสอน วิชาวงจรไฟฟ้ากระแสตรง มีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.021/84.067 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 80/80 ตามการทดสอบด้วยสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ทนงศักดิ์ (2542 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนฝึกปฏิบัติระบบไฟฟ้าควบคุมเครื่องปรับอากาศ ภายใต้วิเคราะห์ประเด็นการฝึกจากลักษณะงานจริง หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขางานเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผลจากการวิจัยปรากฏว่าชุดการสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 88.38/87.20 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 80/80

กรี (2542 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง วิชาอิเล็กทรอนิกส์ 2 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พุทธศักราช 2535 ผลจากการวิจัยปรากฏว่าชุดทดลองวิชา อิเล็กทรอนิกส์ 2 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.91/80.20 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้ในสมมติฐาน

อดิศร (2543 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 1 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราช-มงคล ผลการวิจัยในครั้งนี้ปรากฏว่าชุดการสอน วิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 1 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการทำแบบฝึกหัดของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้งหมดโดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 81.09 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการทำแบบทดสอบโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 81.40 แสดงว่าประสิทธิภาพของชุดการสอนของวิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 1 มีค่าสูงกว่าสมมติฐานที่กำหนดไว้ 80/80 ตามการทดสอบด้วยสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ทัศนีย (2544 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดฝึกอบรมเรื่องภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ผลการฝึกอบรมปรากฏว่าชุดฝึกอบรมที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.64/81.67 ซึ่งมีค่าสูงกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนดคือ 80/80 มีความก้าวหน้าของการฝึกอบรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และผู้เข้ารับการฝึกอบรมมีความเห็นด้วยมากต่อการฝึกอบรมและชุดฝึกอบรมที่สร้างขึ้น

ยุทธนา (2544 : บทคัดย่อ) ได้ทำการพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ 3 ตามหลักสูตรอนุปริญญาวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏ (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2536) ผลการวิจัยปรากฏว่าชุดการสอนอิเล็กทรอนิกส์ 3 ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.90/84.83 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ระดับ 80/80

สุธน (2545 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาวงจรไฟฟ้า 2 เรื่องวงจรไฟฟ้า 3 เฟส สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง ในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ผลจากการวิจัยปรากฏว่าชุดการสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.87/82.45 ซึ่งสูงกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนดคือ 80/80 และผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .01

อรอนงค์ (2545 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาการวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิตอล หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พุทธศักราช 2543 ผลจากการวิจัยพบว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.60/80.71 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด อีกทั้งชุดการสอนที่สร้างขึ้นนี้ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาการวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิตอลได้

สุรศักดิ์ (2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาปฏิบัติการวงจรไฟฟ้า (111001) หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พุทธศักราช 2541 ผลการวิจัยพบว่าชุดการสอนวิชาปฏิบัติการวงจรไฟฟ้า มีประสิทธิภาพ เท่ากับ 81.33/81.55 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

ชูชาติ (2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 2 เรื่องอนุกรมฟูเรียร์ การแปลงฟูเรียร์ การประยุกต์ใช้งานฟูเรียร์ในวงจรไฟฟ้า และวงจรสองพอร์ต หลักสูตรครุศาสตร์อุสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผลจากการวิจัยปรากฏว่าชุดการสอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 81.66/78.24 แบบฝึกหัดเป็นไปตามเกณฑ์ ส่วนแบบทดสอบต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 ถือได้ว่ายังมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และเมื่อนำคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01