บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการ พัฒนาชุดทดลองการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า เรื่องการสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์ เดลต้า ซึ่งเป็นเนื้อหาส่วนหนึ่งในรายวิชา การควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ปรับปรุง 2546) สำนักงานการอาชีวศึกษา และได้ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการ รวมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเพื่อนำมาพัฒนางานวิจัยนี้ ประกอบด้วย

2.1 ความหมายและวัตถุประสงค์ของการสอนทดลอง
2.2 ประเภทและหลักการที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนแบบทดลอง
2.3 องค์ประกอบของระบบการสอนทดลองและกิจกรรมที่ใช้ในการทดลอง
2.4 การสร้างใบงานทดลอง
2.5 เนื้อหาที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง
2.6 การสร้างเครื่องมือในการวัดและประเมินผล และการหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายและวัตถุประสงค์ของการสอนทดลอง

การสอนภาคปฏิบัติ ในการสอนช่างอุตสาหกรรมนั้นมีความสำคัญมากเพราะเป็นการพัฒนาความสามารถของผู้เรียนจากการจัดประสบการณ์ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียน ได้รับความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา วิชาและการฝึกทักษะที่จำเป็นของการทำงาน เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมของผู้เรียนไปสู่งานอุตสาหกรรม งานปฏิบัติกิจกรรมที่ผสมผสานกันระหว่างความรอบรู้ข้อมูลในศาสตร์ความสามารถทางสมอง (Intellectual Skill and Cognitive Strategics) ความสามารถทางกาย (Manipulative Skills) และการพัฒนาทัศนคติ (Affective) กิจกรรมการเรียนการสอนทดลองเพื่อนำมาใช้ในการสอนช่างอุตสาหกรรมทำให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาความรู้ ทักษะ ความสามารถ และประสบการณ์เป็นอย่างมากโดยมีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของการสอนทดลองไว้ ดังนี้

บุญชม ศรีสะอาด [7] ได้ให้ความหมายของการสอนทดลอง คือ การสอนที่ให้ผู้กระทำกิจกรรมการเรียนภายใต้การแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิด โดยการทำการทดลองปฏิบัติโดยผ่านการสังเกตการทดลองสรุปที่ควบคุมไว้ ทำให้ผู้เรียนมีความฉลาดในการใช้เครื่องมือในการทำงาน รู้จักสังเกตหาข้อมูลจากสถานการณ์จริงและสามารถสรุปผลจากการศึกษาค้นพบได้ถูกต้องจุดมุ่งหมายของ การสอนแบบทดลองปฏิบัติการซึ่ง Chandran [8] ได้กล่าวสรุปไว้ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาทักษะในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ
2. เพื่อให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง

ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่ [3] ได้ให้ความหมายของการสอนทดลอง (Laboratory Instruction) ไว้ว่าการทดลอง (Laboratory) เป็นการให้การศึกษาโดยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสัมผัส และได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ และวัสดุด้วยการลงมือปฏิบัติ เป็นงานที่ฝึกการประสานงานระหว่างข้อมูลทางวิชาการในศาสตร์ ความสามารถทางสมองหรือความคิดกับประสาทสัมผัสต่าง ๆ (Co-ordination between mental and perceptions) เป็นการให้ประสบการณ์หลายมิติที่พัฒนาความสามารถของมนุษย์หลายประการ สามารถกำหนดเป็นวัตถุประสงค์ของการสอนทดลอง ได้ดังต่อไปนี้

1. พัฒนาความสามารถทางทฤษฎี และปฏิบัติ (Cognitive abilities) ที่ได้จากการทดลอง มีดังต่อไปนี้

1.1 ขยายความรู้ที่ได้จากการเรียนในชั้นเรียน (ความรู้ในกฎ สูตร และการทำงานของเครื่องมือและอุปกรณ์)

1.2 เห็นความแตกต่างระหว่างทฤษฎี และปฏิบัติ (Theory Verfication)

1.3 พัฒนาความสามารถในการพยากรณ์ผลลัพธ์

1.4 พัฒนาความสามารถในการประยุกต์หลักการต่าง ๆ

1.5 พัฒนาความสามารถในการอ้างอิง (Inference)

1.6 พัฒนาความสามารถในการสรุปผล (Generalization)

2. พัฒนาความสามารถเฉพาะตัวทางช่าง ประกอบด้วย

2.1 ความสามารถในการวัด และสังเกตปรากฏการณ์

2.2 ความสามารถในการสรุปผลจากการสังเกต จากการวัด และจากการทดลองได้อย่างถูกต้อง

2.3 ความสามารถในการสร้างระบบการแก้ไขปัญหาด้วยตนเอง และพัฒนาความมั่นใจในการแก้ปัญหา

2.4 พัฒนาความสามารถในการจัดระบบการเก็บ และบันทึกข้อมูลที่เหมาะสม

2.5 พัฒนาทักษะทางปฏิบัติ เช่น การติดตั้ง และดำเนินงานเกี่ยวกับเครื่องมือ เครื่องจักร (Setting Handing Equipment)

2.6 ความสามารถในการพัฒนาระบบวิธีการทดสอบ วิธีการวางแผน รวมทั้งความสามารถในการปรับ หรือแก้ไขแผนการทดลองให้เหมาะสมกับสถานการณ์

2.7 ความสามารถในการประมาณขนาดหรือปริมาณต่าง ๆ โดยไม่ต้อง (Judging magnitude without actual measurements)

2.8 สร้างพลังอำนาจในการตัดสินใจ

3. ความสามารถเกี่ยวกับเครื่องมือ และระบบการประสานงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วย

3.1 สร้างความคุ้นเคยเกี่ยวกับ โครงสร้าง การทำงานภายในเครื่องมือวัด วัสดุ และเทคนิคการปฏิบัติงานที่ใช้เครื่องมือในวิชาชีพ

3.2 สร้างความเข้าใจ (Realize) ในข้อจำกัดของเครื่องมือ และวัสดุ รวมทั้งพัฒนาความสามารถ ในการดัดแปลงแก้ไขงาน หรือวิธีการทำงาน การใช้อุปกรณ์เครื่องมือในสถานการณ์อื่นได้อย่างปลอดภัย

3.3 พัฒนาความสามารถในการเลือกเครื่องมืออุปกรณ์ และวิธีการทดลองที่เหมาะสม

3.4 พัฒนาความสามารถในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ ในการค้นหาแหล่งผิดพลาดที่เกิดขึ้น และสามารถจำกัดข้อผิดพลาดเหล่านั้นได้ (Recognize Source of error)

3.5 สร้างจิตสำนึกและความตระหนักในมาตรการของความปลอดภัยในการทำงาน สร้างกลไก และเทคนิควิธีการสังเกต ตลอดจนสร้าง Schemata ของระบบการทำงาน ตลอดจนวิธีการแก้ไขให้ผู้ปฏิบัติงาน อุปกรณ์เครื่องมือ และสิ่งแวดล้อมมีความปลอดภัย

4. พัฒนาความสามารถทางด้านสังคม โดยเฉพาะการเรียนภาคปฏิบัติในห้องทดลอง ความสามารถดังกล่าวประกอบด้วย

4.1 พัฒนาความสามารถในการเขียนรายงาน และความสามารถในการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะชนได้

4.2 พัฒนาความสามารถในการแสดงออกของความต้องการ ความตั้งใจ และความสามารถการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และการแสดงออกซึ่งความรู้ความสามารถที่มีอยู่

4.3 พัฒนาความสามารถในการทำงานเป็นทีมได้ ทั้งในลักษณะของผู้นำและสมาชิกของกลุ่มปฏิบัติกร

4.4 พัฒนาความสามารถในการติดต่อประสานงานกับบุคคลและองค์กรต่าง ๆ ได้

กาญจนา เกียรติประวัติ [2] ได้ให้ความหมายไว้ว่า การสอนทดลองหมายถึง กระบวนการสอนที่ใช้ประสบการตรงของผู้เรียน ทำให้เกิดประสบการณ์ใหม่ๆจากผลผลิตหรือข้อเท็จจริง จากการสังเกตและการปฏิบัติการทดลองเป็นราบบุคคล หรือ กลุ่ม ในบางครั้งจะทดลองเพื่อพิสูจน์กฎเกณฑ์ที่บุคคลอื่นค้นพบแล้ว เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของกฎเกณฑ์นั้น

ทรงชัย จันทร์ประเสริฐ [3] ได้กล่าวไว้ว่า การสอนทดลอง ยังหมายถึง วิธีการสอนที่ทำให้เกิดประสบการณ์ตรงที่เกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติ หรือการศึกษาข้อเท็จจริงจากภาคทฤษฎีที่ได้มีผู้ค้นพบมาแล้ว โดยผู้เรียนทำการทดลองและโดยวิธีการสอบสวนค้นคว้าและปฏิบัติการทดลอง ตามเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียนมา แล้วมาสรุปถึงข้อเท็จจริงตามทฤษฎี

สุพิน บุญชูสงค์ [4] และชูชาติ เชิงฉลาด [5] ได้ให้คำนิยามของการทดลอง (Experiment) ไว้ว่า “การทดลองนั้น ต้องการให้ผู้เรียนมีความฉลาด ในการใช้เครื่องมือทำงาน รู้จักการสังเกตข้อมูลจากสถานการณ์จริงและสามารถสรุปผลจากการศึกษาค้นพบได้อย่างถูกต้อง”

สุวัฒน์ นิยมค้า [6] ได้ให้ความหมายของการสอนทดลองไว้ว่า เป็นการสำรวจค้นหาสิ่งที่เราไม่รู้มาก่อน ด้วยการใช้ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ที่สุด การสำรวจค้นหาข้อมูลนั้น อาจจะเป็นการสำรวจหาโนคติของสิ่งต่างๆ หลักการ กฎ สูตร ทฤษฎี วิธีการค้นหาอาจจะมีการตั้งสมมุติฐานหรือ อาจจะไม่การตั้งสมมุติฐานก็ได้ การค้นหานั้นอาจมีการทดลองแบบแบ่งกลุ่มควบคุมเปรียบเทียบ หรืออาจไม่มีการแบ่งกลุ่มเปรียบเทียบก็ได้ แต่การทดลองทุกประเภทจะประกอบด้วยกิจกรรม2 ขั้นตอน คือ กิจกรรมขั้นออกแบบวงจรกับกิจกรรมขั้นปฏิบัติการทดลอง

ชัชวาล มูลศรี [9] ได้ให้ความหมายของการสอนทดลอง ไว้ว่าการสอนทดลอง (Laboratory Instruction) คือกระบวนการที่ผู้สอนจัดกิจกรรมหรือสร้างสถานการณ์ เพื่อให้ผู้เรียนได้สังเกต สามารถพิสุจน์กฎเกณฑ์ ข้อเท็จจริงจากทฤษฎีที่มีการค้นพบมาแล้ว รวมทั้งสามรถประยุกต์หลักการที่ใช้ในการทดลองแก้ปัญหากับงานจริงในภาคสนามได้ ทั้งนี้โดยใช้วิธีการสอบสวนค้นค้าและปฏิบัติการทดลองเพื่อให้เกิดความรู้ เกิดประสบการณ์ตรงจากการปฏิบัติการทดลอง

สรุป การสอนทดลองเป็นวิธีการสอนที่จัดรูปแบบประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้รับโอกาสฝึกทักษะให้เกิดความสามารถทั้งทางสมองและทางร่างกายจากการนำความรู้ในการเรียนภาคทฤษฎีไปสู่ภาคปฏิบัติเพื่อเป็นการพิสูจน์ข้อเท็จจริงสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องและชัดเจนหรืออาจทำให้เกิดความรู้ใหม่จากประสบการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดลองที่แตกต่างไปจากทฤษฎีที่กล่าวไว้พร้อม ทั้งเป็นการสร้างกิจนิสัยและทัศนคติที่ดีต่อวิชาชีพช่างอุตสาหกรรม

2.2 ประเภทและหลักการที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนแบบทดลอง

การศึกษาเรื่องการสอนแบบทดลองที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย ซึ่งมีระบบของงานแตกต่างไปจากการสอนทฤษฎีในชั้นเรียน ผลการศึกษาถึงรูปแบบการสอนแบบทดลอง โดยพบว่ามีหลักปรัชญาที่ใช้สำหรับการจัดการเรียนการสอนแบบทดลองอยู่ 2 ปรัชญา [9] คือ

1. ปรัชญาที่ให้ความสำคัญของเนื้อหาเป็นหลัก (Subject Based Approach)
2. ปรัชญาที่ให้ความสำคัญของประสบการณ์เป็นหลัก (Unified Approach)

ทั้ง 2 ปรัชญานี้ มีแนวทางในการปฏิบัติที่ต่างกันตรงกันข้าม ปรัชญาแรกเน้นในเรื่องความรู้ในเนื้อหาวิชาเป็นสำคัญ การทดลองเป็นส่วนประกอบที่จะขยายความรู้ ส่วนปรัชญาหลังมีความเชื่อว่า

สาระสำคัญของเนื้อหานั้นมีแหล่งกำเนิดมาจากการปฏิบัติ การเรียนรู้ในชั้นเรียนเป็นเพียงส่วนขยายข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติให้กว้างขึ้น แนวคิดทั้งสองรูปแบบนี้ จึงเป็นต้นกำเนิดวิธีการสอนทดลอง 2 แนวทาง คือ

1. การทดลองแบบดั่งเดิม (Traditional Laboratory หรือ Classroom Centre) เป็นการสอนแบบทดลองหลังการเรียนทฤษฎี เพื่อให้กิจกรรมของการสอนทดลองสนับสนุนหรือขยายการเรียนรู้ทฤษฎีในห้องเรียน

2. การทดลองเป็นศูนย์กลาง (Laboratory Centre) เป็นการสอนทดลอง ก่อนการเรียนภาคทฤษฎีทั้งนี้ก็เพื่อให้กิจกรรมใน ชั้นเรียนเป็นการขยายความรู้ที่ได้จากการทดลองรูปแบบการทดลอง [10] มีการแบ่งประเภทแตกต่างกัน ตามวิธีการทดลองและตามวิธีการสอนแต่ละประเภทนั้นมีเอกลักษณ์ของตนเอง มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันพอจำแนกออกได้เป็น 5 รูปแบบ คือ

1. การทดลองแบบค้นคว้า (Discovery Type) เป็นการทดลองที่ออกแบบให้ผู้เรียนค้นหาข้อมูลบางอย่างด้วยตนเอง โดยที่ข้อมูลเหล่านั้นอาจจะเป็นคำตอบ เป็นวิธีดำเนินงานเพื่อหาผลลัพธ์บางอย่างมีรายละเอียดดังนี้

1.1 คุณลักษณะของการทดลองแบบค้นพบ การทดลองแบบค้นพบนี้มุ่งที่จะให้ผู้เรียนได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองเพื่อกากฎเกณฑ์เกี่ยวกับหลักการของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นหรือศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ โดยอาศัยเครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุทำการทดลองตามขั้นตอนที่เหมาะสม การจัดการทดลองประเภทนี้อาศัยหลักการของการเรียนรู้โดยการค้นพบ (Discovery learning) ตั้งแต่ การค้นพบแบบเต็มรูปแบบ (Full discovery) โดยผู้เรียนอาศัยความสามารถของตนเองอย่างเต็มที่ในการค้นคว้าจนถึง การค้นพบแบบแนวทาง (Guided Discovery) ซึ่งผู้เรียนจะต้องศึกษาค้นคว้าภายใต้การควบคุมของครูอย่างใกล้ชิด โครงสร้างของการค้นพบ (Structured Discovery) จึงเป็นการทดลองประเภทกลาง ๆ ที่อาศัยการแนะนำของครูผู้สอนประกอบกับข้อแนะนำในใบงานการทดลองนำทางสำหรับการปฏิบัติข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดลองประเภทนี้แบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ได้คือ ข้อมูลสำหรับการเริ่มต้นและข้อมูลที่ทำให้นักศึกษาคิดหาคำตอบเองในระหว่างการทดลองศึกษาปฏิบัติในขั้นสูงขึ้นไปอีก

1.2 ลักษณะเนื้อหาที่เหมาะสมในการทำการทดลอง โดยเหตุที่วัตถุประสงค์ของการทดลองประเภทนี้ ต้องส่งเสริมความรู้ทางทฤษฎีในเรื่องเกี่ยวกับข้อเท็จจริง (Facts) ความคิดรวบยอด (Conception) หลักการ (Principle) เพราะฉะนั้นเนื้อหาที่ใช้ในการทำการทดลองประเภทนี้จึงควรมีลักษณะดังต่อไปนี้คือ

1.2.1 เป็นเรื่องเกี่ยวกับกฎเกณฑ์ที่สำคัญ แต่ไม่ควรเป็นเรื่องที่ซับซ้อนเกินไป

1.2.2 เป็นเรื่องที่ต้องอาศัยการประยุกต์ กฎเกณฑ์ค่อนข้างมาก

1.2.3 เป็นเรื่องที่มีความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ทางปฏิบัติและผลลัพธ์ทางทฤษฎี

1.2.4 เป็นเรื่องที่สามารถพัฒนาความคิดได้

1.3 ข้อดีของการสอนทดลองแบบค้นคว้าพบ

1.3.1 ช่วยพัฒนาความสามารถในการค้นคว้าของผู้เรียน (Attitude of enquiry) ในขอบเขตที่กำหนด

1.3.2 ช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในหลักการทฤษฎีได้ลึกซึ้งขึ้น

1.3.3 เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้นำความรู้เดิมออกมาใช้ในการค้นหาข้อเท็จจริง

1.3.4 เป็นการสร้างแรงจูงใจ (Reinforcement) สำหรับผู้ที่มีความรู้ดี

1.3.5 พัฒนาความสามารถในการทำงานตามระบบที่กำหนด

1.4 ข้อจำกัดของการสอนทดลองแบบค้นพบ

1.4.1 ยากในการควบคุมการทำงานของนักเรียน โดยเฉพาะบทบาทของครูในด้านการให้คำแนะนำ (Guidance role)

1.4.2 ค่อนข้างมีปัญหาในการออกแบบที่เหมาะสมกับความรู้ของผู้เรียน

1.4.3 อาจมีปัญหาในการจำกัดขอบเขตความคิดของผู้เรียน โดยเฉพาะนักเรียนที่เก่งซึ่งต้องถูกบังคับให้ทำตามรูปแบบ

1.4.4 อาจมีปัญหาในการจัดกลุ่มผู้เรียนให้เหมาะสม โดยเฉพาะกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถต่างกัน

2. การทดลองแบบสืบสวนสอบสวน (Investigation Type) เป็นการทดลองที่ออกแบบพัฒนาความสามารถในการสอบสวนเรื่องราวต่าง ๆ ความสามารถนี้เป็นความสามารถที่จำเป็นในงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการสืบสวนการเกิดปัญหาต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการชำรุดหรือการ Breakdown ของอุปกรณ์การทดลองดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

2.1 คุณลักษณะของการทดลองแบบสับสวนสอบสวน การทดลองประเภทนี้มุ่งที่จะพัฒนาความสามารถของการใช้เครื่องมือวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีดำเนินงานอย่างสมบูรณ์จะละทิ้งข้อมูลบางอย่างเพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้คิดและวางแผนดำเนินการทดลองเองในกรณีที่การสอบสวนนั้นลึกลับมากเกินที่ผู้เรียนจะค้นหาข้อมูลได้ ใบงานการทดลองก็จะให้ข้อมูลบางอย่างซึ่งอาจจะเป็นส่วนประกอบของปัญหาและคำแนะนำในการดำเนินงานต่อไป ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการสืบสวนข้อเท็จจริงต่อไป

2.2 ลักษณะเนื้อหาที่เหมาะสมในการทำการทดลอง การทดลองประเภทนี้ไม่ได้เน้นเนื้อหาใดเนื้อหาหนึ่งโดยเฉพาะจะมุ่งพัฒนากระบวนการและความสามารถในการสอบสวนข้อมูลโดยอาศัยความรู้ในเนื้อหาต่าง ๆ มาพิจารณาประกอบการทดลองหาข้อมูลเพื่อแก้ปัญหา เนื้อหาที่น่าจะนำมาใช้สร้างการทดลอง ควรมีดังนี้ คือ

2.2.1 เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการหาคุณสมบัติของอุปกรณ์เครื่องมือภายใต้สภาวการณ์ต่าง ๆ

2.2.2 เป็นเรื่องที่ต้องการศึกษาเหตุผลของการเกิดสภาวะผิดปกติ (Fault) หรือการเสียหาย (Break down) ของเครื่องมืออุปกรณ์

2.2.3 เป็นเรื่องของการตรวจค้นหาสิ่งที่ไม่ทราบค่าหรือไม่ทราบว่าเป็นอะไร (Identify Unknown Element) ทั้งนี้โดยการอาศัยพื้นฐานความรู้ที่มีอยู่วินิจฉัยผลที่ได้จากการทดลอง

2.3 ข้อดีของการทดลองแบบสืบสวนสอบสวน

2.3.1 เป็นวิธีการที่ช่วยกระตุ้นความสนใจและพัฒนาความคิดริเริ่มให้กับผู้เรียน

2.3.2 พัฒนาความสามารถในการเลือกใช้เครื่องมือได้อย่างถูกต้อง

2.3.3 พัฒนาความสามารถในการเซ็ตเครื่องมือและวงจรเพื่อการทดลองตลอดจนความสามารถในการใช้เครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.4 พัฒนาความสามารถในการหาข้อมูล ความสามารถในการแปลความหมายและสรุปผลจากข้อมูลที่ได้ในการทดลอง

2.3.5 พัฒนาความสามารถในการค้นหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลองตลอดจนแสวงหาวิธีการที่จะลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้น้อยที่สุด

2.4 ข้อจำกัดของการทดลองแบบสืบสวนสอบสวน

2.4.1 ยากที่จะออกแบบการทดลอง โดยเฉพาะยากต่อการจัดเนื้อหาให้เหมาะสมกับการทดลองประเภทนี้

2.4.2 ยากที่จะควบคุมให้ผู้เรียนที่ไม่สนใจหรือผู้ที่มีความรู้ไม่ดีพอทำการทดลองประเภทนี้ตามประวัตถุประสงค์

2.4.3 ใช้เวลาในการทดลองมากอาจมีปัญหาในการจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ให้กับผู้เรียน

2.4.4 มีความยุ่งยากในการประเมินผล

3. การทดลองแบบแก้ปัญหา (Problem – solving Type) การทดลองประเภทนี้เป็นการฝึกให้ผู้เรียนพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ โดยอาศัยกิจกรรมการทดลองเป็นเครื่องมือในการพัฒนา ปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับการทดลองประเภทนี้ มักจะเกิดขึ้นกระบวนการทำงาน (Working Operation) ของอุปกรณ์

3.1 คุณลักษณะการทดลองแบบการแก้ปัญหา การทดลองประเภทนี้มีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนเกิดความสามารถในการพัฒนาระบบการแก้ปัญหาให้กับตัวเองตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific method) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ คือ

3.1.1 กระบวนการของการวิเคราะห์ปัญหา

3.1.2 กรรมวิธีในการตั้งสมมุติฐานสำหรับปัญหาที่พบ

3.1.3 การค้นหาวิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ

3.1.4 ขบวนการหาข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา

3.1.5 การสรุปปัญหาวิธีการแก้ไขปัญหาและผลลัพธ์ของการแก้ปัญหา ข้อมูลสำหรับการทดลองประเภทนี้จะมีการกำหนดชื่อปัญหาให้โดยมีรายละเอียดของปัญหาที่พอเหมาะ คือ ไม่มากเกินจนเป็นการปิดโอกาสที่ผู้เรียนจะคิดหาทางแก้ปัญหาด้วยตนเอง และไม่น้อยเกินไปจนผู้เรียนขาดแนวทางที่จะปฏิบัติได้ต่อจากปัญหาและองค์ประกอบของปัญหา ก็ควรจะเป็นข้อมูลที่ช่วยในการวางแผนแก้ปัญหา โดยให้ผู้เรียนพยายามสร้างระบบการแก้ปัญหาหลาย ๆ วิธีและพยายามคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมอย่างมีระบบ

3.2 ลักษณะเนื้อหาที่เหมาะสมในการทำการทดลองแบบแก้ปัญหา

3.2.1 เป็นเรื่องที่เกี่ยวกับการหาจุดบกพร่องของวงจรหรืออุปกรณ์

3.2.2 เป็นเรื่องที่เกี่ยวกับปัญหาของวิธีการวัดหรือตรวจสอบคุณภาพของวงจรอุปกรณ์และเครื่องมือที่มีความซับซ้อน

3.2.3 เป็นเรื่องของการหาคำตอบของปัญหาที่กำลังเผชิญอยู่

3.2.4 เป็นเรื่องเกี่ยวกับการค้นหาวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของงานหรืออุปกรณ์

3.2.5 เป็นปัญหาที่มีวิธีการแก้ได้หลายวิธี

3.3 ข้อดีของการทดลองประเภทการแก้ปัญหา

3.3.1 พัฒนาความสามารถในการออกแบบ การวางแผน และการดำเนินงานแก้ปัญหาตามแผนที่ผู้เรียนได้กำหนดขึ้นเอง การทดลองจึงเป็นการพัฒนาความสามารถของผู้เรียนในระดับสูง

3.3.2 พัฒนาทักษะในการดำเนินการแก้ปัญหา

3.3.3 ส่งเสริมการทำงานร่วมกันในด้านความคิดและแรงงานเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

3.3.4 เป็นการสร้างแรงจูงใจให้กับผู้เรียนเมื่อแก้ปัญหาได้สำเร็จ

3.3.5 พัฒนาความสามารถในการเขียนรายงาน

3.3.6 สามารถหาข้อผิดพลาด ขีดจำกัดของการดำเนินงานได้

3.4 ข้อจำกัดของการทดลองประเภทการแก้ปัญหา

3.4.1 ผู้เรียนที่ไม่สนใจจะประสบปัญหาในการทำการทดลองประเภทนี้

3.4.2 ผู้สอนจะต้องมีความสามารถแก้ปัญหาของผู้เรียนได้ เมื่อพบผู้เรียนประสบปัญหาหรือเดินผิดทาง

3.4.3 จะต้องมีอุปกรณ์เครื่องมือและแหล่งข้อมูลที่เพียงพอ

3.4.4 ยากต่อการควบคุมให้ผู้เรียนทำตามวัตถุประสงค์และยากในการควบคุมระเบียบวินัย

4. การทดลองแบบโครงงาน (Project Type) การทดลองประเภทนี้เป็นการพัฒนาความสามารถเบ็ดเสร็จในการทำงานตั้งแต่การวางแผนเริ่มงานครั้งแรก การจัดหาอุปกรณ์การร่างแผนดำเนินงาน การร่วมมือในการทำงานการปฏิบัติตามเงื่อนไขและวัตถุประสงค์ การตรวจสอบการเขียนรายงาน เป็นงานทดลองที่ออกแบบยากที่จะให้ครอบคลุมจุดมุ่งหมายที่สามารถตรวจสอบผลลัพธ์ได้ทั้งหมด การทดลองมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 คุณลักษณะของการทดลองแบบโครงงาน งานของการทดลองประเภทนี้มีลักษณะเปิดกว้างในรูปแบบของสถานการณ์จำลอง ที่ต้องการให้ผู้เรียนสร้างงานตามองค์ประกอบของ ความกว้างของเนื้อหาและขอบเขตของเวลาที่จำกัดภายใต้การควบคุมดูแลของผู้สอนแต่องค์ประกอบภายในยังเป็นงานที่มีขั้นตอนย่อยที่อยู่ในรูปแบบของการทดลองรูปแบบต่าง ๆ หลายรูปแบบ ตั้งแต่การทดลองแบบค้นพบจนถึงการทดลองแบบการแก้ปัญหา การทดลองชนิดนี้จุดมุ่งหมายที่จะให้ประสบการณ์หลายด้านกับผู้เรียน ตั้งแต่การเสาะแสวงหาข้อมูลในลักษณะของการศึกษาและสำรวจสภาวะของงานที่จะทำการออกแบบวงจรและการทดลองเบื้องต้นในรูปแบบต่าง ๆ แล้วนำผลลัพธ์ของการทดลองนั้นมาประยุกต์รวมกันเป็นผลงานรวมที่มีความหมายในตัวเอง การทำการทดลองแบบโครงงาน ลักษณะนี้มีวิธีการดำเนินงานหลายรูปแบบ ตั้งแต่การสร้างดัดแปลงแก้ไขอาศัยเครื่องมือและเครื่องอำนวยความสะดวกที่มีอยู่จากการสอนทักษะและการสอนทดลอง จนถึงปัญหาระดับสูง การทดลองแบบโครงงานนี้ต่างกับงานการเรียนภาคประยุกต์ (Application) หรือ Research Project ตรงที่ว่าการทดลองแบบโครงงานนั้น มีขอบเขตขนาดของงานที่เล็กมีความครอบคลุมเนื้อหาวิชาต่าง ๆ ที่แคบกว่า การทำรายงานของโครงงานใหญ่ การทดลองในรูปแบบของโครงงานลักษณะนี้ก็ไม่ต้องใช้วิธีการเต็มรูปแบบเหมือนโครงงานใหญ่อย่างไรก็ตามการทดลองแบบโครงงานนี้ก็เป็นพื้นฐานนำไปสู่งานโครงงานที่ใหญ่ขึ้น

4.2 เนื้อหาวิชาที่เหมาะสมในการทำการทดลองเนื่องจากการทดลองประเภทนี้เป็นการทดลองที่กว้าง จึงยากที่จะจำกัดลักษณะของเนื้อหาได้อย่างชัดเจนเท่าที่สำรวจพบพอมีหลักเกณฑ์พอสรุปได้คือ

4.2.1 เป็นเนื้อหาที่ประกอบด้วยหลักการและมโนทัศน์หลายรูปแบบรวมกัน

4.2.2 หลักการและมโนทัศน์มีความสัมพันธ์กันใกล้ชิดพอที่จะผลลัพธ์ในงานได้

4.2.3 ลักษณะของการทำงานต้องอาศัยทักษะหลายด้านทั้งทักษะทางร่างกายและทักษะทางสมอง

4.2.4 เป็นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์หลายศาสตร์ด้วยกันแต่ไม่ควรกว้างเกินไป

4.3 ข้อดีของการทดลองแบบโครงงาน

4.3.1 เป็นการพัฒนาทักษะของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน

4.3.2 เปิดโอกาสให้ผู้เรียนทำงานโดยเสรี และพัฒนาความสามารถในการเขียนรายงานจากขั้นตอนการทำงาน

4.3.3 ผู้เรียนจะทราบปัญหาและแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการทำงานด้วยตนเองทำให้เกิดความเข้าใจเนื้อหาวิชาได้ลึกซึ้ง

4.3.4 เป็นการพัฒนาความสามารถในการสร้างสรรค์และความมั่นใจในตนเอง

4.3.5 เป็นการพัฒนาความสามารถได้หลายระดับตั้งแต่ระดับต่ำสุดจนถึงสูงสุด

4.4 ข้อจำกัดของการทดลองแบบโครงงาน

4.4.1 ผู้เรียนจะต้องมีความรู้ความสามารถในเรื่องที่ทำเป็นอย่างดีมิฉะนั้นจะเกิดปัญหามาก

4.4.2 ผู้สอนจะต้องให้ความช่วยเหลือผู้เรียนที่อ่อนค่อนข้างมาก

4.4.3 การประเมินผลทำได้ยากผู้สอนจะต้องมีความใกล้ชิดกับผู้เรียนเพียงพอ

4.4.4 ต้องการแหล่งข้อมูลมากซึ่งยากต่อการจัดหา

4.4.5 ใช้เวลามากซึ่งยากต่อการจัดระบบการเรียนการสอน

4.4.6 ยากต่อการออกแบบการทดลองให้ทำโดยไม่ซ้ำกัน

5. การทดลองแบบปกติทั่วไป (Conventional Type) เป็นการทดลองที่ใช้กันโดยส่วนมาก มีขั้นตอนการทดลองเป็นไปตามขั้นตอนการนำเสนอเนื้อหา (Linear Sequence) มีวัตถุประสงค์ให้ผู้เรียนมีความรู้ในเนื้อหาทฤษฎีที่ลึกซึ้งขึ้น มีรายละเอียดดังนี้

5.1 คุณลักษณะของการทดลองเป็นการทดลองที่ให้ข้อมูลในการปฏิบัติงานของนักศึกษาอย่างสมบูรณ์ ตั้งแต่การบอกให้ทราบวัตถุประสงค์ขั้นตอนการปฏิบัติงาน การติดตั้งอุปกรณ์ กรรมวิธีในการใช้เครื่องมือขั้นตอนการวัดและการสังเกต วิธีแสดงผลการวัด และการบันทึกข้อมูลตลอดจนการสรุปผลที่ได้ การทดลองประเภทนี้มีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนได้รู้จักวิธีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลองศึกษาประกฎการณ์ที่เกิดขึ้น (Theory Verification) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องที่เกี่ยวข้องกับกฎเกณฑ์และหลักการ หรือทฤษฎีบทต่าง ๆ ตลอดจนการสร้างความคุ้นเคยกับวิธีการทดลองต่าง ๆ

5.2 ลักษณะเนื้อหาที่เหมาะสมในการสร้างการทดลอง ในรูปแบบของ (Conventional Type) ได้แก่

5.2.1 เนื้อหาที่เป็นนามธรรม ต้องการการสมมติเหตุการณ์หรือการสร้างจินตนาการที่ซับซ้อนยาก ต่อความเข้าใจ

5.2.2 เป็นเรื่องที่ต้องการแนะนำให้รู้จักระบบแผนกระบวนการทำงานอุตสาหกรรมมาตรฐานของอุปกรณ์ และมาตรฐานของผลผลิตงานอุตสาหกรรม

5.2.3 เป็นการศึกษาที่เกี่ยวกับพิกัดมาตรฐาน อัตราเสี่ยงต่อการเสียหายของอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ

5.3 ข้อดีและการทดลองแบบปกติ

5.3.1 การทดลองแบบการทดลองปกติที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานที่ชัดเจนจะช่วยผู้ที่เรียนอ่อนในการทำการทดลอง ประเภทนี้ได้มาก

5.3.2 สามารถใช้การทดลองประเภทนี้แทนการสอนในชั้นเรียนได้ค่อนข้างมาก

5.3.3 ช่วยพัฒนาความสามารถในการทำงานตามแผนหรือตามระบบได้ดี

5.3.4 ง่ายต่อการวัดและประเมินผลการเรียน

5.3.5 ง่ายต่อการควบคุมการปฏิบัติ และการใช้วัสดุอุปกรณ์ของผู้เรียน

5.4 ข้อจำกัดของการทดลองแบบปกติ

5.4.1 ผู้เรียนขาดอิสระในการทำงานตามความนึกคิดของตนเอง

5.4.2 มีขีดจำกัดสำหรับผู้เรียนในการสรุปผลลัพธ์ของการทดลอง

5.4.3 อาจขาดข้อมูลที่เป็นปัญหาท้าทายสำหรับนักเรียนที่เก่ง

จากการศึกษาการเรียนการสอนทดลองทั้ง 5 รูปแบบ ผู้วิจัยพบว่าการทดลองในแต่ละรูปแบบมีความแตกต่างกันในด้านของจุดมุ่งหมายทางการศึกษา วัตถุประสงค์ของการพัฒนาผู้เรียนกระบวนการปฏิบัติงานของผู้เรียนและลักษณะการควบคุมดูแลของผู้สอน สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกการทดลองแบบปกติเนื่องจากรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการทดลองมีการให้รายละเอียดที่ช่วยในการปฏิบัติการทดลองให้กับผู้เรียนได้มากช่วยลดปัญหาที่เป็นอุปสรรคในการดำเนินงานทำให้ผู้เรียนสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ รวมทั้งเนื้อหาในเรื่องของดิจิตอลประยุกต์มีระดับของความยากอยู่แล้ว ถ้านำไปสร้างเป็นการทดลองในรูปแบบอื่น จะทำให้ผู้ที่เรียนอ่อนเกิดความลำบากในการเรียนไม่มีความเข้าใจในเนื้อหาเกิดความเบื่อหน่ายและไม่สามารถที่จะช่วยพัฒนาความสามารถได้

การออกแบบสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลอง

องค์ประกอบที่สำคัญในการเรียนการสอนคือสิ่งที่ครูมักนำไปประกอบการเรียนการสอนนั่นก็คือ สื่อการสอนนั่นเอง สื่อการสอนนับว่ามีประโยชน์มากเพราะสื่อการสอนเปรียบเป็นกุญแจสำคัญที่จะช่วยให้ผู้เรียนได้เข้าใจในเนื้อหาและได้เห็นภาพได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้นมากกว่าที่ครูผู้สอนจะสอนโดยการมาบรรยายหรือสอนตามเนื้อหา โดยไม่มีอุปกรณ์ช่วยสอนเลย

สื่อการสอน คือ การนำสื่อมาใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งเป็นการนำวัสดุ เครื่องมือ และวิธีการมาประกอบในการถ่ายทอดความรู้และเนื้อหาไปยังผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความรู้ในสิ่งที่ครูได้ถ่ายทอดรวมไปถึงมีความเข้าใจตรงตามเนื้อหา นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้เรียนเรียนรู้ได้ง่ายยิ่งขึ้น และช่วยประหยัดเวลา

วัลลภ จันทร์ตระกูล [9] ได้อธิบายขั้นตอนการสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลองดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ในการนำชุดทดลองไปใช้ในการสอน

การนำชุดทดลองไปใช้ในการสอน ควรกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการเรียน ซึ่งการออกแบบสร้างจะสำเร็จผลตามเป้าหมาย และใช้ได้จริงจะต้องศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ประกอบ ได้แก่ สภาพการณ์ในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการ และกลุ่มผู้เรียน จากนั้นก็นำไปใช้เขียนวัตถุประสงค์เป็นข้อ ๆ และกำหนดขอบเขตคุณลักษณะของชุดทดลองที่จะออกแบบสร้าง สุดท้ายจะต้องตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียนอีกครั้ง

2. กำหนดหน้าที่ (Function) ของชุดทดลอง

จากคำบรรยายคุณลักษณะของชุดทดลองที่กำหนดขึ้นในข้อที่ 2.5.1 นำมาวิเคราะห์เพื่อค้นหาคำพื้นฐาน (Basic Term) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงรายการหน้าที่ต่าง ๆ ของชุดทดลอง ศึกษาพิจารณาปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามรายการหน้าที่

3. การศึกษาปัจจัยที่จะทำให้ชุดทดลองทำงานได้ตามรายการหน้าที่

ในขั้นนี้เป็นการคิดค้นสิ่งที่ทำให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามรายการหน้าที่ ที่กำหนดโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของวัสดุ สิ่งที่ต้องกำหนดอาจเขียนเป็นคำสั้น ๆ หรือ ภาพสเกตต่าง ๆ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์มากที่สุด ชิ้นส่วนที่คิดค้นขึ้นมาควรจะพิจารณาถึงการประกอบ ความยากง่ายในการผลิตและค่าใช้จ่าย

4. การวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนของอุปกรณ์

จากการเลือกในข้อที่ 2.5.3 นำมาเลือกหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยพิจารณาเกณฑ์กำหนดเรื่องประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาดรูปร่าง ความคงทน การบำรุงรักษา และราคา

5. การสร้างต้นแบบและตรวจสอบ

เมื่อเลือกชิ้นส่วนได้แล้วจะต้องนำมาร่างเป็นภาพประกอบต้นแบบคร่าวๆหรือเป็นภาพงานชิ้นง่าย ๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบ ในตอนนี้จะต้องมีการทดลองซึ่งต้องทดลองกลไกหน้าที่อุปกรณ์บางอย่าง การทำชุดทดลองต้นแบบจะต้องทำการตรวจสอบทางเทคนิค ค้นหาข้อมูลบางอย่าง เพื่อทำให้แน่ใจว่าอุปกรณ์นั้นมีคุณลักษณะตรงตามความต้องการ

6. การเขียนแบบ

เพื่อประโยชน์ในการผลิตครั้งต่อไปงานเขียนแบบนับว่ามีความสำคัญมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิต ดังนั้นแบบงานของชุดทดลองจะต้องมีแบบทั้งแบบภาพประกอบและการแยกชิ้น

7. การเตรียมเอกสารประกอบ

อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไปควรต้องจัดเอกสารประกอบหรือคู่มือการใช้งาน เพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์

2.3 องค์ประกอบของระบบการสอนทดลอง และกิจกรรมที่ใช้ในการสอนทดลอง

การกำหนดกิจกรรมที่ช่วยพัฒนาความสามารถของผู้เรียนอันเกิดได้จากการเรียนในระบบการสอนทดลองเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและเป็นวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ด้วยความตระหนักถึงสิ่งนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาในเรื่องดังกล่าว ซึ่งสุวัฒน์ นิยมค้า [10] ได้กล่าวสรุปไว้ว่าการสอนเชิงทดลองวิธีใดก็ตามจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นนี้เป็นการสร้างความสนใจในการทดลองใหม่ ขั้นตอนนี้จบลงที่ผู้เรียนทราบว่าจะทำการทดลองเรื่องอะไร เพื่อค้นหาอะไร
2. ขั้นสอน หรือ ขั้นสร้างความรู้ แบ่งย่อยออกเป็น

2.1 ขั้นอภิปรายก่อนการทดลองเป็นขั้นวางแผนการทดลอง หรือออกแบบการทดลอง ซึ่งต้องมีการอภิปรายระหว่างครูกับนักเรียน เพื่อหาแนวทางแก้ปัญหาว่าจะทำอะไร และอย่างไร

2.2 ขั้นปฏิบัติการทดลองเป็นขั้นที่นักเรียนทำการทดลองจริงขณะที่นักเรียนทำการทดลองครูจะเข้าไปสังเกตการทำงานของกลุ่มต่าง ๆ เพื่อให้กำลังใจสอบถามในสิ่งที่เห็นว่าผิดปกติตอบคำถามในสิ่งที่นักเรียนสงสัยอยู่ ดูการติดตั้งเครื่องมือมีการบันทึกข้อบกพร่องระหว่างการทดลองของกลุ่มต่าง ๆ ขั้นตอนนี้จบลงที่นักเรียนได้มีการรวบรวมข้อมูล และบันทึกข้อมูล

2.3 ขั้นอภิปรายหลังการทดลอง เป็นการนำข้อมูลมาพิจารณาหาความหมายเพื่อตอบคำถามของปัญหา ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ที่นำมาใช้ในขั้นนี้คือ ทักษะการจัดกระทำข้อมูล การสื่อความหมายและให้ข้อสรุปเสียเอง ผลที่ได้จะมาจากนักเรียนกับนักเรียน หรือระหว่างนักเรียนกับครู

3. ขั้นเสริมความรู้ความเข้าใจและการนำไปใช้เมื่อนักเรียนค้นพบความรู้ใหม่จากขั้นตอนอภิปรายผลแล้วครูไม่ควรหยุดอยู่เพียงแค่นี้ ควรจะจัดกิจกรรมที่ขยายความเข้าใจในความรู้ที่ได้มาให้

กว้างลึกซึ่งยิ่งขึ้น เช่น ครูให้ความรู้เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้อง อภิปรายซักถามการนำความรู้ไปใช้ และต้องยกตัวอย่างประกอบหรือให้เอกสารเพิ่มเติม

4. ขั้นวัดและประเมินผลการเรียนรู้ เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วมีการสร้างความรู้ความเข้าใจแล้วต่อไปควรจะมีการวัดผล และประเมินผลซึ่งอาจจะทำได้หลายวิธีตั้งแต่ถามตอบข้อเขียนสั้นการทำแบบฝึกหัดเป็นต้นการสอนทดลอง [13] มีธรรมชาติของงานที่แตกต่างจากการสอนในชั้นเรียนโดยเฉพาะอย่างยิ่งบทบาทของผู้สอนและบทบาทของผู้เรียน ในการสอนทดลองนั้น ผู้เรียนเป็นผู้หาข้อมูลเองผู้สอนเป็นเพียงผู้ดูแลให้คำปรึกษา ข้อมูลใด ๆ ที่ผู้สอนต้องการจะให้ผู้เรียนรับรู้นั้น ผู้สอนไม่ควรที่จะใช้การบอกเล่าโดยตรงเหมือนเช่นการสอนในชั้นเรียน แต่ควรให้ผู้เรียนได้ค้นหาข้อมูลดังกล่าวด้วยตนเองทั้งนี้ด้วยการเตรียมการล่วงหน้า ในลักษณะที่จะเอื้ออำนวยให้นักศึกษาเรียนรู้จากคำแนะนำที่แฝงไว้ในใบงานทดลอง หรือเอกสารอย่างอื่นการเรียนการสอนระบบทดลองเป็นการประกอบกิจกรรมที่สร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมองกับสิ่งเร้าเป็นประสบการณ์หลายด้านสำหรับผู้เรียน ผู้สอนต้องควบคุมดูแลให้ผู้เรียนได้รับประโยชน์อย่างเต็มที่ จากกิจกรรมที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด การสอนทดลองทั่วไปมีกิจกรรมหลักพอสรุปได้ดังนี้

1. การวางแผนการทดลอง (Experimental Planning) การวางแผนเป็นกระบวนการทางความคิด ที่ผู้ดำเนินการกำหนดกิจกรรมล่วงหน้าเกี่ยวกับงานที่จะกระทำในอนาคต ตลอดจนกระบวนการที่เป็นกิจกรรมต่อเนื่องที่มีขั้นตอนการปฏิบัติงานในเวลาที่ต่างกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ซึ่งขั้นตอนหลักของการวางแผน ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

1.1 การตั้งสมมติฐานในอนาคต

1.2 การกำหนดวัตถุประสงค์

1.3 การกำหนดวิธีการโดยสังเขปเพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์

1.4 การกำหนดเป้าหมายในการทำงานในแต่ละระยะ

1.5 การกำหนดแผนปฏิบัติ

1.6 การหาวิธีการ และการดำเนินงานตามแผน

1.7 การกำหนดวิธีตรวจสอบ และประเมินผล

2. การวัดและสังเกตข้อมูล (Data Observe and Data Collection) การวัดและการสังเกตเป็นกิจกรรมที่ผู้ปฏิบัติต้องใช้สายตา หรือประสาทสัมผัสในการรับข้อมูลที่เกิดขึ้นในขณะทำการทดลอง การสร้างความไวในการรับรู้ให้สูงขึ้นเป็นความสามารถที่ฝึกฝนได้ในขณะศึกษาประกฎการณ์ของศาสตร์ จากการที่ได้มีโอกาสสัมผัสเครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุ ที่เกี่ยวข้องกับงาน และได้สัมผัสขบวนการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในงานทดลอง นอกจากนั้นยังเป็นการพัฒนาความสามารถในการสังเกต จดจำ และการเลือกรับรู้ในสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่องาน

3. การใช้เครื่องมือ (Instrument Handing) การใช้เครื่องมือเป็นกิจกรรมที่ให้โอกาสผู้เรียนในการทำความรู้จักเครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุอย่างใกล้ชิด ในลักษณะของรูปร่าง การทำงาน และ

คุณสมบัติที่สำคัญ ทำให้ผู้เรียนเห็นคุณค่าของแรงงาน คุณค่าของอุปกรณ์เครื่องมือ ซึ่งจะเป็นการช่วยพัฒนาให้ผู้เรียนมีความสามารถในการติดตั้งเครื่องมือ รู้จักคุณสมบัติที่สำคัญ รู้ขีดจำกัด รู้ข้อดีข้อเสียต่างๆ ของเครื่องมือ สามารถใช้เครื่องมือทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งพัฒนาความสามารถในการเลือกใช้เครื่องมือให้เหมาะสมกับงาน นอกจากนั้นยังเป็นการสร้างกิจนิสัยที่ดีในการทำงาน ความสามารถในการประมาณค่าของสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวอันจะนำไปสู่พัฒนาการความสามารถในการแก้ไขดัดแปลงสิ่งต่าง ๆ ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การบันทึกข้อมูล ในการทดลองมีปรากฏการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย ทั้งที่ปรากฏการณ์คาดหวังและปรากฏการณ์ที่ไม่ได้คาดหวังมาก่อน ผู้เรียนที่ได้รับปรากฏการณ์เหล่านี้เพียงพอจะพัฒนาความสามารถในการเลือกรับรู้ในสิ่งที่เป็นประโยชน์สามารถเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลลัพธ์ตามกระบวนการวิทยาศาสตร์ได้

5. การวิเคราะห์ข้อมูลผิดพลาด ข้อผิดพลาดมักจะเกิดขึ้นเสมอในงานปฏิบัติเกือบทุกประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานทดลองความผิดพลาดเกิดได้ทั้งในลักษณะที่คาดว่าจะเกิด หรือลักษณะที่คิดไม่ถึงผู้เรียนจะต้องฝึกความไวในการเรียนรู้ความผิดปกติของสิ่งที่เกิดขึ้น พัฒนาความสามารถในการรับรู้ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และพัฒนาความสามารถในการแก้ไขสถานการณ์ โดยอาศัยหลักการทางทฤษฎีต่าง ๆ ที่นำมาแก้ไขสถานการณ์เพื่อให้การทดลองดำเนินต่อไป

6. การจัดระบบการทำงาน การสอนทดลองเป็นวิธีการที่ช่วยให้ผู้เรียนขบวนการของงานอุตสาหกรรมในเรื่องของระบบจัดการเกี่ยวกับเครื่องมือ และวัสดุและขบวนการบริหารจัดการเกี่ยวกับบุคคลและสิ่งแวดล้อมในงานอุตสาหกรรม การฝึกให้ผู้เรียนรู้จักการทำงานตามกฎเกณฑ์หรือตามขั้นตอนที่กำหนดเป็นเรื่องสำคัญมากที่สามารถฝึกฝนได้ในกระบวนการสอนภาคปฏิบัติ

7. การทำงานเป็นกลุ่ม ธรรมชาติของงานศึกษาทดลองนั้นไม่อยู่ที่การให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ของการทดลองอย่างเดียวแต่อยู่ที่การฝึกให้ผู้เรียนรู้จักหน้าที่ตามบทบาทของการร่วมมือกันทั้งในลักษณะผู้นำและผู้ตามการได้ทำงานกันเป็นกลุ่มร่วมกันแสดงความคิดเห็นในการพิจารณาผลลัพธ์ที่ปรากฏจากการทดลองได้ถูกต้องซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของกิจกรรมนี้

8. การเสนอรายงานเป็นการฝึกให้ผู้เรียนพัฒนาความสามารถในการติดต่อสื่อสารในสังคมได้ด้วยการแสดงให้ผู้อื่นทราบผลของการดำเนินงานของตนให้เป็นที่เข้าใจของผู้อื่นอย่างมีระบบและมีลักษณะเป็นวิชาการ ทั้งในรูปแบบของวาจา และลายลักษณ์อักษร

9. การประเมินการทดลอง เป็นกิจกรรมที่ผู้เรียนและผู้สอนต้องสำรวจด้วยตัวเองภายใต้หัวข้อที่กำหนดให้มีความรู้สึกในเรื่องประโยชน์ที่ควรได้รับจากการเรียน และการสอนด้วยการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้รับกับการลงทุน โดยสามารถจำแนกการประเมินดังนี้

9.1 การประเมินสำหรับผู้เรียน

9.1.1 ความรู้ในเนื้อหาวิชา เป็นการสำรวจข้อมูลหรือความรู้ที่ได้รับเพิ่มเติม

9.1.2 ทักษะในการทดลอง สำรวจจำนวนขั้นตอนของการทดลองและผลที่ได้

9.1.3 เวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละขั้นตอน

9.2 การประเมินสำหรับผู้สอน

9.2.1 ความรู้ที่ผู้เรียนที่ได้รับจากการรายงานการทดลอง จากการควบคุมการทดลอง การเปรียบเทียบ เนื้อหาวิชา วัตถุประสงค์ และใบงานทดลอง

9.2.2 เวลาที่ใช้กับผลที่ได้รับ การลงทุนค่าใช้จ่ายในการทำการทดลองแต่ละครั้ง

2.4 การสร้างใบงานการทดลอง

2.4.1 ความหมายของใบงานการทดลอง

ใบงานที่ใช้สำหรับการเรียนทดลองร่วมกับชุดทดลองเรื่องเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหลักการพัฒนาและการสร้างใบงานเพื่อทำการสร้างใบงานมาใช้เป็นเอกสารให้ผู้เรียนเป็นผู้ปฏิบัติงานตามลำดับขั้นตอนที่กำหนดตามการอธิบายความหมายของชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่ [13] ที่กล่าวว่าใบงานการทดลอง (Laboratory Sheet) หมายถึงเอกสารที่ใช้เป็นคำสั่งให้ปฏิบัติงานหรือเป็นคำแนะนำให้ผู้เรียนสามารถดำเนินการทดลองให้เป็นไปตามจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้ ใบงานที่ใช้กันอยู่ในสถานศึกษาจะมีทั้งใบงานที่ผู้สอนสร้างขึ้นมาใช้เอง และประเภทใบงานที่ผลิตโดยบริษัทผู้สร้างอุปกรณ์สำหรับการทดลองโดยเฉพาะ หรือจากผู้ผลิตตำราเอกสารสอนเป็นอาชีพ

2.4.2 การใช้ใบงานการทดลองในการศึกษา

ใบงานที่ใช้สำหรับการฝึกทดลองนั้นเป็นเอกสารที่ผู้เรียนเป็นผู้ปฏิบัติงานตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด อย่างไรก็ตามใบงานทดลองนั้นไม่สามารถจะใช้แทนครูได้ตลอด การสอนทดลองนั้นนอกจากมีใบงานแล้วยังต้องอาศัยตัวครูเป็นผู้ดูแลอย่างทั่วถึงเพราะฉะนั้นปฏิสัมพันธ์ที่ใกล้ชิด (Active Interaction) ระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนจึงยังคงเป็นกระบวนการการสำคัญ ที่จะทำให้การทดลองนั้นสำเร็จหรือล้มเหลวได้

2.4.3 องค์ประกอบภายในของใบงานทดลอง

ใบงานทดลองมีรูปแบบแตกต่างกันไปตามแบบแผนของสถานบันแต่ละแห่ง โดยทั่วไปแล้วลักษณะรูปแบบของใบงานนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการพัฒนาพฤติกรรมผู้เรียน ประสบการณ์เดิมผู้เรียนและธรรมชาติการทดลองแต่ละชนิด วัตถุประสงค์ของการสร้างใบงานทดลองนั้น อาจจะสร้างขึ้นเพื่อสอนให้รู้จักวิธีการทำงานของเครื่องมืออุปกรณ์ หรือกระบวนการทำงานของงานอุตสาหกรรม (Operation and Process) อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะ ในบางครั้งผู้สอนอาจจะใช้ใบงานเพื่อการขยาย

ความรู้ในในลักษณะของการพัฒนาความคิดรวบยอด และหลักการ (Concept and Principle Formation) ตามกระบวนการของ (Knowledge Constructed) ผู้สอนบางคนต้องการพัฒนาความสามารถของการแก้ปัญหา (Problem–solving) โดยอาศัยการสอนทดลองร่วมกับการเรียนภาคทฤษฎีก็ได้

รูปแบบของใบงานทดลองนี้มีอยู่ 3 รูปแบบ คือ [13]

1. แบบให้ข้อมูลในการดำเนินงานทดลองด้วย (Experimental Format)
2. แบบมอบหมายให้ทดลองตามคำสั่ง (Assignment Format)
3. แบบโครงงานอิสระ (Project Format)

ข้อมูลที่ใช้ในใบงานทดลองนั้นมีหลายลักษณะ ตั้งแต่ข้อมูลที่อยู่ในลักษณะที่เป็นคำสั่งให้ปฏิบัติงานโดยตรง ข้อมูลในลักษณะที่เป็นคำถามให้คิดเพื่อหาคำตอบเอง จนถึงข้อมูลในลักษณะของการบอกเล่าที่ให้แง่คิดบางประการ การนำข้อมูลลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้มาใช้ในใบงานขึ้นอยู่กับชนิดของการทดลองตามธรรมชาติของเนื้อหาวิชา และตามวัตถุประสงค์ของการวางแผนสร้างใบงานทดลอง โดยทั่วไปแล้วข้อมูลดังกล่าวจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

2.4.3.1 ข้อมูลนำการทดลอง (Introduction Information)

ข้อมูลที่แจ้งให้ผู้เรียนได้ทราบเรื่องทั่ว ๆ ไปในการปฏิบัติงานของการทดลองแต่ละเรื่อง ข้อมูลเหล่านั้นได้แก่

1. วัตถุประสงค์ของการทดลองควรจะครอบคลุมความสามารถตามพิสัย (Domains) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ประกอบด้วยวัตถุประสงค์ทั่วไปและวัตถุประสงค์จำเพาะที่สนับสนุนกัน

2. ความจำเป็นและขอบเขตของการทดลอง (Need and scope of the experiment) เป็นข้อมูลที่แสดงเหตุผลและประโยชน์ของการฝึกหัดทดลอง ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนมองเห็นความสำคัญของงานที่กำลังปฏิบัติ และเกิดแรงจูงใจในการทำงาน

3. การวางแผน (Planning and Organize) คือข้อมูลที่ช่วยให้ผู้เรียนได้อาศัยเป็นหลักในการวางแผน ดำเนินงาน ข้อมูลเหล่านี้อาจจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทดลองเกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน (Entry behavior) ควรระบุให้ชัดเจนว่าผู้ที่จะปฏิบัติงานที่กำหนดได้นั้น จะต้องมีความรู้ความสามารถหรือประสบการณ์อย่างใดมาก่อน และความรู้ในเนื้อหาวิชา (Theoretical Information) เป็นข้อมูลที่อ้างถึงหลักการหรือทฤษฎีที่ผู้เรียนได้ผ่านการเรียนมาแล้ว ในลักษณะของการสรุปประเด็นสำคัญ และการชี้ประเด็นของปัญหาทางทฤษฎีในเชิงวิเคราะห์ให้เห็นจุดสำคัญที่จะทำการทดลอง

2.4.3.2 ข้อมูลสำหรับการดำเนินการ (Procedural Information)

ข้อมูลที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถดำเนินงานตามขั้นตอนที่เหมาะสม หรือตามที่กำหนดให้ในงานแต่ละเรื่องได้ง่ายขึ้น และมีประสิทธิภาพข้อมูลดังกล่าวสามารถแยกออกได้ดังนี้คือ

1. คำแนะนำเกี่ยวกับการปฏิบัติงาน (Manipulative Process) เป็นคำสั่ง หรือคำแนะนำในการลงมือปฏิบัติจริง ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับการวางแผนการทดลอง (Experimental Planning) การเลือกใช้เครื่องมือข้อมูลในขั้นนี้อาจเป็นในรูปของคำสั่งให้ปฏิบัติ หรือให้แนวคิดในการทดลอง

2. คำแนะนำในการเก็บรวมรวมข้อมูล (Data Collection Process) ช่วยให้ผู้เรียนพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวมผลลัพธ์ที่ได้ (Data Collection) ด้วยวิธีการสังเกต (Observation) การปรับแต่งเครื่องมืออุปกรณ์ หรือตั้งย่านการวัดเพื่อกาผลลัพธ์ของการทดลองที่เหมาะสมและบันทึกข้อมูลที่ได้อย่างมีระบบ

2.4.3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับการสรุปผลลัพธ์และรายงาน (Conclusion and Report Guiding Information)

ข้อมูลในลักษณะที่เป็นคำสั่ง หรือคำแนะนำให้ผู้เรียนแสดงผลลัพธ์ได้อย่างมีระบบ และสามารถสรุปผลของการทดลองได้ตามรูปแบบที่เหมาะสม ข้อมูลดังกล่าวควรประกอบด้วย

1. ข้อมูลที่ช่วยในการเสนอข้อมูล (Presentation of Data) เป็นขั้นเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองในรูปลักษณะของเอกสารรายงาน โดยการจัดทำข้อมูลเป็นกลุ่มของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันกาจจะทำในลักษณะตารางตัวเลข หรือในรูปแบบของกราฟต่าง ๆ

2. ข้อมูลที่ช่วยในการแปลความหมายข้อมูล (Interpretation of Data) ใบงานควรให้ข้อมูลนำผู้ปฏิบัติในการจัดประเด็นสำคัญของข้อมูล วิธีการสรุปผลจากกลุ่มของข้อมูลที่มีอยู่ การเลือกตัวแปรและการคำนวณหาผลลัพธ์จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3. ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงหลักการ (Reference of Data) เป็นขั้นของการเขียนรายงานโดยอาศัยทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ อ้างอิงในลักษณะของการสรุปผลของการค้นพบ (Generalization of finding) การนำเอาผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้งาน (Implication of finding) การพยากรณ์ผลที่อาจจะเกิดขึ้นจากสิ่งอื่น (Prediction behavior of other Material) การประเมินผลการทดลอง (Critical appraisal of experimental procedure and finding) ใบงานที่ดีควรจะให้ข้อมูลด้วยการเสนอแนะหรือการตั้งคำถามเพื่อนำทางให้ผู้ปฏิบัติสามารถหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาสนับสนุนผลลัพธ์ ในการเขียนรายงานที่ถูก

2.4.3.4 ข้อมูลสำหรับการประเมินผล (Evaluating Information)

ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ความสามารถ และความเข้าใจในเรื่องที่ผู้เรียนได้ปฏิบัติงานเป็นลักษณะของคำถามที่แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. คำถามในเนื้อหาการทดลอง (Assessment Question) คือข้อมูลที่เป็นคำถามในเรื่องเกี่ยวกับงานที่ได้ปฏิบัติ โดยเฉพาะเรื่องของเหตุผลในการทำงานแต่ละขั้นตอน

2. คำถามสรุป (Critical question) เป็นคำถามที่ถามในเรื่องที่ไกลออกไปจากงานที่ได้ปฏิบัติ เป็นการประเมินความสามารถในการมองเห็นภาพรวมของเรื่อง (Generalize) ที่ทำทั้งหมดและสามารถนำความรู้ ความสามารถที่ได้จากการทดลองนั้นไปใช้งานอื่นได้

2.4.4 ขั้นตอนในการสร้างใบงานทดลอง

การสร้างใบงานทดลองมีขั้นตอนใหญ่ ๆ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นการศึกษาสำรวจข้อมูล และขั้นสร้างใบงานการทดลอง ซึ่งแต่ละขั้นมีรายละเอียดดังนี้

1. การกำหนดชื่อเรื่องของการทดลอง ชื่อของการทดลองควรจะสื่อความหมายเร้าความสนใจสามารถบอกขอบเขตความกว้าง และความลึกของเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับงานทดลองได้ และมีความรัดกุมพอสมควร

2. การศึกษารายละเอียดของเนื้อหาในการทดลองเกี่ยวกับเรื่องใดก็ตามผู้สร้างใบงานทดลองควรทราบรายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหาเป็นอย่างดี การศึกษารายละเอียดของเนื้อหาในเชิงวิเคราะห์และเขียนออกมาเป็นภาษาเขียนจะทำให้ผู้สร้างมองเห็นความสัมพันธ์ของความคิดรวบยอด (Concept) และหลักการ (Principle) ภายในเนื้อหาเหล่านั้นได้เป็นอย่างดี และมองเห็นขั้นตอนของการทดลองที่ควรจะเป็นได้อย่างชัดเจน จนสามารถกำหนดจุดสำคัญของการสอน (Teaching Point) ที่เหมาะสมได้

3. การกำหนดวัตถุประสงค์จากการศึกษาวิเคราะห์เนื้อหาการทดลองจะช่วยให้ผู้สร้างใบงานทดลองสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลองได้อย่างเหมาะสม ซึ่งวัตถุประสงค์การทดลองนั้นควรได้พิจารณาในเรื่องต่อไปนี้

4. การกำหนดขั้นตอนของการทดลอง ผู้สร้างใบงานทดลองจะต้องพิจารณาวิธีการทดลองที่เหมาะสมกับเนื้อหาวิชาโดยพิจารณาจากประสบการณ์ของผู้สร้างใบงานเอง การทดลองใบงานหนึ่งนั้นอาจจะได้รับการเรียนรู้ และพัฒนาความสามารถได้ดี และรวดเร็วที่สุด และกำหนดขั้นตอนของวิธีนั้นให้ชัดลงในใบงานทดลอง

5. การวิเคราะห์งาน (Task Analysis) [14] หมายถึงการนำเอารายละเอียดของงานมาพิจารณาเพื่อหาองค์ประกอบด้านคุณสมบัติผู้เรียน ชนิดของการเรียน เงื่อนไขหรืออุปสรรคของการทำงานเพื่อช่วยให้การทำงานได้ผลในการนำเอาขั้นตอนของการดำเนินงานมาพิจารณาองค์ประกอบของความสามารถ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ สามารถจัดตารางในการวิเคราะห์ได้ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างตารางการวิเคราะห์งาน (Task Analysis)

ชื่อเรื่อง (Topic).....

ขั้นตอนกาปฏิบัติงาน	วัตถุประสงค์	เครื่องมือ อุปกรณ์	ลักษณะงาน	ความรู้	ทักษะ
Operation ที่ 1	1.....	1.....	1.....	1.....	1.....
1.....	2.....	2.....	2.....	2.....	2.....
2.....	3.....	3.....	3.....	3.....	3.....
3.....	1.....	1.....	1.....	1.....	1.....
Operation ที่ 2	2.....	2.....	2.....	2.....	2.....
1.....	3.....	3.....	3.....	3.....	3.....
2.....					
3.....					

จากตารางการวิเคราะห์งานจะสามารถพิจารณาวิเคราะห์รายละเอียดภายในได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เป็นการพิจารณาขั้นตอนที่มีความสำคัญ และจำเป็นจะต้องมีในใบงานทดลองควรจะมีขั้นตอนอย่างไรบ้าง โดยในใบงานหนึ่งอาจจำแนกขั้นตอนออกไปตามกลุ่มงาน (Operation) ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อหาสาระของเรื่องที่ทำใบงานนั้น ๆ

2. วัตถุประสงค์ เป็นการพิจารณากำหนดวัตถุประสงค์ในการปฏิบัติงานแต่ละกลุ่มงาน (Operation) ว่าในการปฏิบัติงานกลุ่มนี้เพื่อวัตถุประสงค์อะไร

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ เป็นการพิจารณารายการของเครื่องมือ และอุปกรณ์ตลอดจนวัสดุจำเป็นต้องในในกลุ่มงาน (Operation)

4. ลักษณะงาน เป็นการจำแนกลักษณะของงานว่าเป็นลักษณะงานที่ต้องใช้ความสามารถทางสมอง (Cognitive task) หรือความสามารถทางกาย (Action task) ซึ่งจะใช้ในการพิจารณาหาความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้องต่อไป

5. ความรู้และทักษะ เป็นการพิจารณาหาความรู้ และทักษะที่เกี่ยวข้องในการปฏิบัติงานทดลอง ทุกขั้นตอน โดยพิจารณาจากลักษณะของงานที่ได้จำแนกไว้แล้วว่าส่วนใดเป็นความรู้และส่วนใดที่เป็นทักษะ

6. ขั้นสร้างใบงานการทดลอง การสร้างใบงานทดลองหรือ Lab-Sheet คือ การนำข้อมูลที่ได้ศึกษาวิเคราะห์มาแล้วมาจัดรวมกันตามหมวดหมู่ ภายใต้หัวเรื่องที่เหมาะสมทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลแนะนำผู้ปฏิบัติงานให้สามารถดำเนินการทดลองได้ตามวิถีทางที่กำหนด

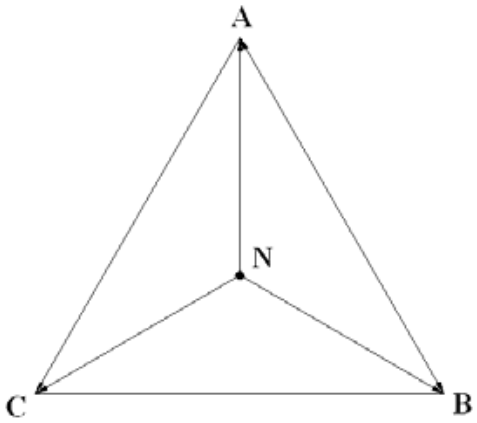
2.5 ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง

2.5.1 ความรู้ทั่ว ไปเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส

ในระบบไฟฟ้า 3 เฟสนั้น การต่อโหลดกับแหล่งจ่ายที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันมี 2 แบบคือ การต่อขดลวดแบบเดลต้า (Delta Connection: Δ) และการต่อแบบวาย หรือสตาร์ (Wye or Star Connection; Y)

2.5.1.1 การพิจารณาแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

ในการพิจารณาแรงดันไฟฟ้าระบบ 3 เฟส เราจะเลือก เฟสเซอร์ (phasor) ของแรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ ในระบบเป็นแกนอ้างอิง ซึ่งเมื่อดูจากเฟสเซอร์ไดอะแกรมที่เขียนเป็นรูปสามเหลี่ยมแล้วเลือก VBC เป็นแกนอ้างอิง จะเห็นว่า ความสัมพันธ์กับการเกิดแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ ABC เป็นดังนี้



รูปที่ 2.1 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของระบบไฟฟ้า 3 เฟส

VAB = Vline $\angle$ 120° Volt

VBC = Vline $\angle$ 0° Volt

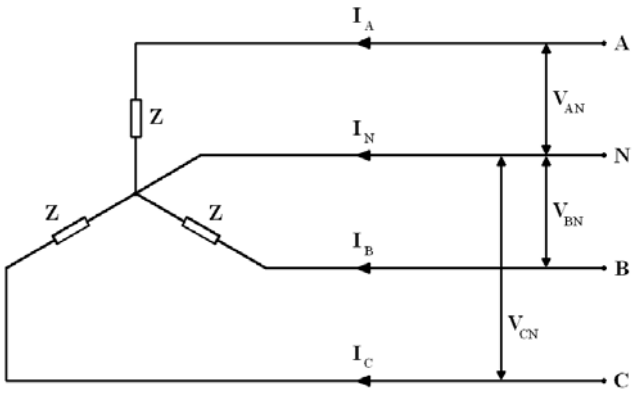
VCA = Vline $\angle$ -120 ° Volt

VAN = Vphase $\angle$ 90° Volt

VBN = Vphase $\angle$ -30° Volt

VCN = Vphase $\angle$ -150° Volt

2.5.1.2 การต่อโหลด 3 เฟส แบบวายชนิดสมดุล



รูปที่ 2.2 การต่อโหลด 3 เฟส แบบวายชนิดสมดุล

การต่อโหลด 3 เฟสแบบวายที่มี่ค่าอิมพีแดนซ์เท่ากัน จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

VAB = VAN - VBN

VBC = VBN - VCN

VCA = VCN - VAN

และ VLine = 3 Vphase

ส่วนกระแสในสาย (IA , IB , IC) จะเท่ากับกระแสเฟสนัน่ คือ ตามลำดับเฟสแบบ ABC จะได้

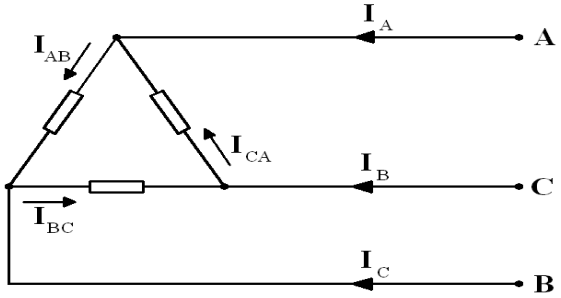
IA = VAN / Z $\angle \theta^\circ$ = V $\angle$ (90° - θ°) / Z A

IB = VBN / Z $\angle \theta^\circ$ = V $\angle$ (-30° - θ°) / Z A

IC = VCN / Z $\angle \theta^\circ$ = V $\angle$ (-150° - θ°) / Z A

2.5.1.3 การต่อโหลดแบบเดลต้าชนิดสมดุล

การต่อโหลดแบบนี้จะใช้กับระบบ 3 เฟส 3 สาย แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเท่ากับ แรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟส ดังนั้นเราสามารถคำนวณหากระแสไฟฟ้าได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 การต่อโหลดแบบเดลต้าชนิดสมดุล

จากรูปจะได้

IAB = VAB / Z

IBC = VBC / Z

ICA = VCA / Z

เมื่อพิจารณากระแสไฟฟ้าที่ไหลจะได้

IA + ICA = IAB

IA = IAB - ICA

ในทำนองเดียวกัน

IB = IBC - IAB

IC = ICA - IBC

จากเฟสเซอร์ไดอะแกรม

$IA^2 = IAB2 + IAC2 + 2IAB\ IACcos\theta$

$IA^2 = IAB2 + IAC2 + 2IAB\ IACcos60°$

แต่ cos60° = 0.5 และ IA = Iline , IAB = IAC = Iphase

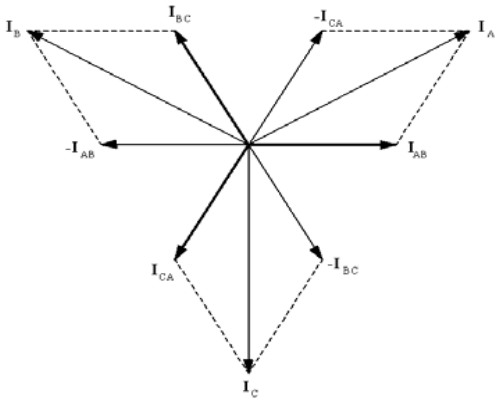
จะได้

$I\ line^2 = Iphase^2 + Iphase^2 + 2Iphase\ Iphase(0.5)$

$Iline^2 = Iphase^2 + Iphase^2 + Iphase^2$

$Iline^2 = 3Iphase^2$

$Iline = \sqrt{3}\ Iphase$



รูปที่ 2.4 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของการต่อแบบเดลต้า

2.5.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three Phase Induction Motor)

นิโคไล เทสลา (Nicolai Tesla) ชาวเซอร์เบีย ได้สร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นตัวแรกในปี 1880 สาเหตุที่เรียนมอเตอร์ชนิดนี้ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำเนื่องจาก การหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กหมุนของขดลวดที่สเตเตอร์มีต่อตัวนำในโรเตอร์ ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสนี้มีข้อดีข้อเสียคือ

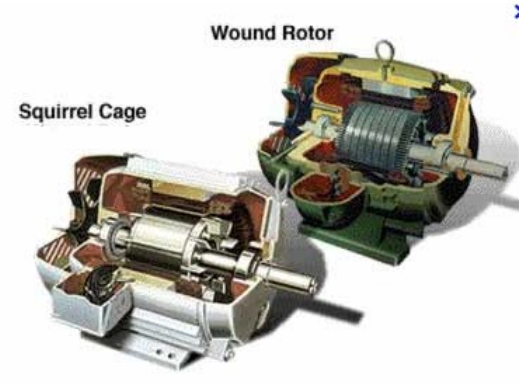
ข้อดี (Advantage)

1. เป็นมอเตอร์ชนิดที่สร้างขึ้นได้ง่าย และทนทาน โดยเฉพาะชนิดกรงกระรอก
2. ราคาไม่แพงมากนัก
3. มีความเร็วเกือบคงที่คือความเร็วขณะโหลดเต็มลดลงจากขณะไม่มีโหลดเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์
4. ต้องการการดูแลและบำรุงรักษาต่ำ
5. สามารถที่จะเริ่ม หมุน (Start) ได้ง่าย

ข้อเสีย (Disadvantage)

1. ควบคุมความเร็วได้ยาก
2. ขณะมีโหลดน้อยจะทำงานที่ Power Factor ต่ำและล้าหลัง
3. กระแสไฟฟ้าเริ่ม หมุนจะมากเป็น 5-7 เท่า ของกระแสไฟฟ้าขณะโหลดเต็ม

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งมอเตอร์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำนี้อาจเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟส (Poly Phase Induction Motor) ก็ได้ มอเตอร์เหนี่ยวนำหลายเฟสนั้นโดยมากแล้วจะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ซึ่งมีข้อดี และข้อด้อยคือ



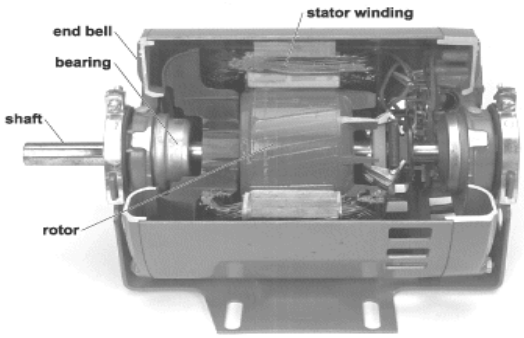
รูปที่ 2.5 มอเตอร์ 3 เฟส

แบ่งออกตามโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชั่น (3 Phase Induction Motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

2.5.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชั่น

มอเตอร์ไฟสลับ 3 ที่มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบอินดักชั่นมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Invertor) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์ นิยมใช้กันมาก เป็นต้น กำลังในโรงงานอุตสาหกรรม ขับเคลื่อนลิฟท์ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึง มอเตอร์อินดักชั่นมี 2 แบบ แบ่งตามลักษณะตัวหมุนคือ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างมอเตอร์ 3 เฟส

1. โรเตอร์
2. ขดลวดสนามแม่เหล็ก
3. ขั้วต่อสาย
4. โครงมอเตอร์
5. ฝาครอบหัว
6. ฝาครอบท้าย

2.5.2.2 อินดักชั่นมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor)

อินดักชั่นมอเตอร์แบบนี้ ตัวโรเตอร์จะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอกเหมือนกับโรเตอร์ของสปลิทเฟสมอเตอร์

รูปที่ 2.7 โรเตอร์แบบกรงกระรอก

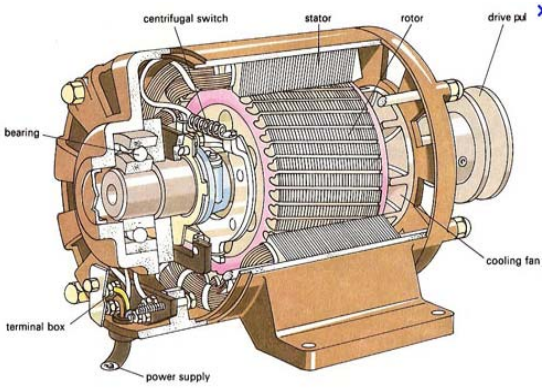
รูปที่ 2.8 สเตเตอร์ ของอินดักชั่นมอเตอร์

2.5.2.3 อินดักชั่นมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor Induction Motors)

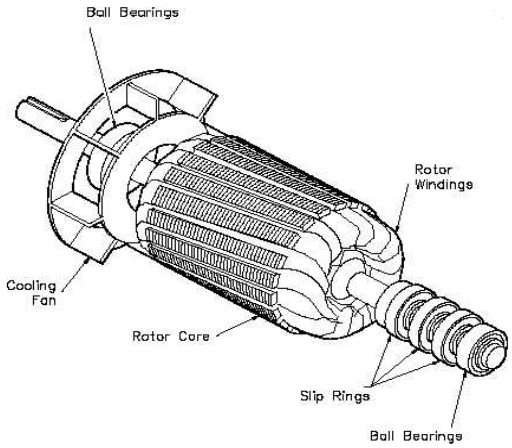
อินดักชั่นมอเตอร์ชนิดนี้ตัวโรเตอร์จะทำจากเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดซ้อนกันเป็นตัวทุ่นคล้าย ๆ อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีร่องสำหรับวางขดลวดของตัวโรเตอร์เป็นขดลวด 3 ชุด สำหรับสร้างขั้วแม่เหล็ก 3 เฟส เช่นกันปลายของขดลวดทั้ง 3 ชุดต่อกับสปริง (Slip Ring) จำนวน 3 อัน สำหรับเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าครบวงจรทั้ง 3 เฟสการทำงานของอินดักชั่นมอเตอร์ เมื่อจ่ายไฟฟ้าสลับ 3 เฟสให้ที่ขดลวดทั้ง 3 ของตัวสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบ ๆ ตัวสเตเตอร์ ทำให้ตัวหมุน (โรเตอร์) ได้รับการเหนี่ยวนำทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์ และขั้วแม่เหล็กนี้จะพยายามดึงดูดกับสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่รอบ ๆ ทำให้มอเตอร์ของอินดักชั่นมอเตอร์หมุนไปได้ ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวสเตเตอร์นี้จะคงที่ตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้น โรเตอร์ของอินดักชั่น ของมอเตอร์ จึงหมุนตามสนามหมุนดังกล่าวไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน

โครงสร้างของซิงโครนัสมอเตอร์ ที่สำคัญมี 2 ส่วนคือ

1. สเตเตอร์ (Stator)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างซิงโครนัสมอเตอร์



รูปที่ 2.10 โรเตอร์ซิงโครนัสมอเตอร์

2. โรเตอร์ (Rotor) ของซิงโครนัสมอเตอร์ เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Poles) และมีขดลวดพันข้าง ๆ ขั้วแม่เหล็กยื่นเหล่านั้นขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันรอบขั้วแม่เหล็กยื่นต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวโรเตอร์ การทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์ จะเกิดนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจากตัวหมุน (โรเตอร์) ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น และมีขดลวดสนามแม่เหล็กพันอยู่รอบ ๆ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสภายนอก เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอรจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ขึ้น ขั้วแม่เหล็กนี้จะเกาะตามการหมุนของสนามหมุนของสเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์

2.5.3 หลักการเหนี่ยวนำของมอเตอร์ 3 เฟส

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3เฟสใช้หลักการเดียวกันกับของซิงโครนัสมอเตอร์ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนเข้าด้วยกัน และทำเป็นช่องสลอตไว้บรรจุขดลวด และจำนวนขั้วแม่เหล็กจะเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเราจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดที่สเตเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่คงที่ค่าหนึ่ง และสนามแม่เหล็กนี้จะหมุน (Revolves or Rotate) ด้วยความเร็วที่เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส และหาได้โดย

$$N_S = \frac{120f}{P} \qquad (2.1)$$

N_S = ความเร็วซิงโครนัส

f = ความถี่หลักมูลของไฟฟ้ากระแสสลับ

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

สนามแม่เหล็กที่หมุนจะเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าขึ้นในโรเตอร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำ

1. โรเตอร์ หรือส่วนที่หมุนโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3เฟส แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

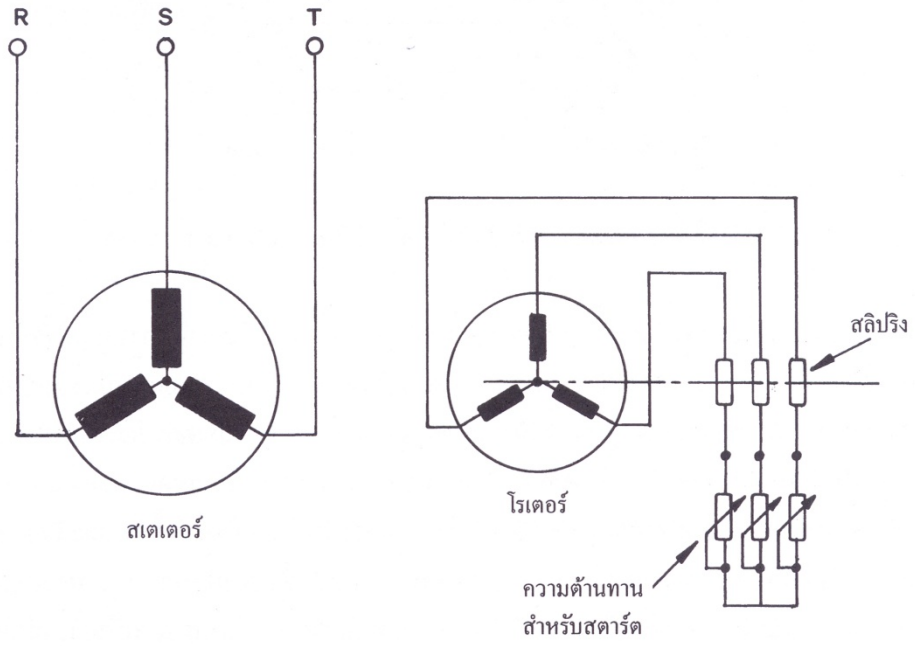
ก. โรเตอร์แบบกรงกระรอก มอเตอร์ที่ใช้โรเตอร์ชนิดนี้เราเรียกว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก โดยประมาณ 90% ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะใช้โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าโรเตอร์ชนิดนี้เป็นชนิดที่ทำได้ง่ายและทนทานที่สุด โรเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก และถูกทำให้เป็นช่องสลอตให้ขนานกันเพื่อสำหรับฝังหรือบรรจุตัวนำโรเตอร์ (Rotor Conductor) ลงในช่องสลอตนั้น ตัวนำที่ฝังนี้จะไม่มีลักษณะเป็นเส้น หรือเป็นสาย แต่จะเป็นแท่งทองแดงหรืออลูมินั่ม หรืออัลลอย (Copper Bar or Aluminum Bar or Alloy) โดยในหนึ่งสลอตจะบรรจุแท่งทองแดง หรือ อลูมิเนียมเพียง 1 แท่งเท่านั้น และที่ปลายสุดของแท่งตัวนำทั้งสองด้านนั้นในแต่ละด้านจะถูกต่อปลายลัดวงจรเข้าด้วยกันโดยการบัดกรี (Brazed) หรือเชื่อมด้วยไฟฟ้าโรเตอร์ของมอเตอร์แบบกรงกระรอกนี้แท่งตัวนำจะถูกลัดวงจรไว้อย่างถาวร ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะนำความต้านทานจากภายนอกมาต่ออนุกรมเข้ากับวงจรโรเตอร์เพื่อช่วยในการเริ่มหมุนได้ สลอตของโรเตอร์จะไม่อยู่ในลักษณะที่ขนานกับเพลา แต่จะวางให้มีลักษณะเฉียงเล็กน้อยเพื่อให้เกิดประโยชน์ได้ 2 ทาง

1) จะช่วยให้มอเตอร์หมุนได้อย่างเรียบ โดยการลดการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กฮัม (Magnetic Hum)

2) จะช่วยในการลดการเกิดยึด หรือล็อกของโรเตอร์อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กที่ตกค้างอยู่ที่ฟัน(Teeth) ของสเตเตอร์กับโรเตอร์ทั้งสอง

ส่วนแบบอื่นๆของโรเตอร์ที่มีลักษณะคล้ายกันกับโรเตอร์แบบกรงกระรอกนั้น ประกอบด้วยโซลิดไซลินเดอร์ (Solid Cylinder) ของแท่งเหล็ก (Steel) ซึ่งปราศจากสลอตสำหรับบรรจุตัวนำทั้งหมด มอเตอร์จะหมุนได้ขึ้นอยู่กับผลของการเกิดกระแสไหลวนในเหล็กของโรเตอร์

ข. โรเตอร์แบบพันขดลวดหรือเฟสวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor or Phase Wound Rotor) มอเตอร์ที่ใช้โรเตอร์ชนิดนี้เรียกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโรเตอร์พันขดลวด หรือ เฟสวาวล์มอเตอร์ หรือสลิปริงมอเตอร์ (Wound Rotor or Phase Wound Rotor or Slip-ring Motor) โรเตอร์ ชนิดนี้จะพบมากในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส และมีการพันแบบชุดขดลวดสองชั้นเหมือนกับขดลวดที่ใช้ ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ในโรเตอร์ชนิดนี้ภายในจะต่อแบบสตาร์ และมีปลายสายออกมา 3 ปลาย ต่อเข้ากับสลิปริงที่ติดกับเพลาของโรเตอร์นั้น และโรเตอร์แบบโรเตอร์พันขดลวดสามารถ ที่จะนำความต้านทานที่ต่อแบบสตาร์ต่อเข้ากับสลิปริงของโรเตอร์ เพื่อช่วยในการเริ่มหมุนของมอเตอร์ เป็นการเพิ่มแรงบิดขณะเริ่มหมุนของมอเตอร์นั้น ความต้านทานที่นำมาต่อเข้าไปนี้ มีลักษณะการต่อดังแสดงในรูปที่ 2.1 แต่เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนไปแล้ว และหมุนด้วยความเร็วปกติแล้วสลิปริงจะถูกลัดวงจรกลายสภาพเป็นโรเตอร์แบบกรงกระรอก



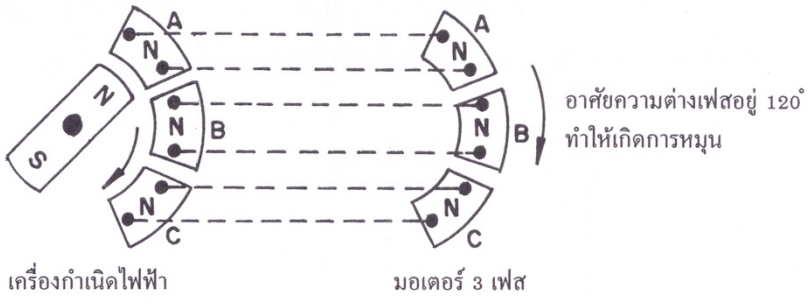
รูปที่ 2.11 แสดงการต่อความต้านทานจากภายนอกเข้ากับโรเตอร์แบบพันขดลวด

2. สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อมีกระแสไฟฟ้าระบบ3เฟสจ่ายให้กับขดลวด 3 เฟส เป็นผลทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์นั้น สนามแม่เหล็กหมุนจะตัดกับตัวนำในโรเตอร์นั้น ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำที่ฝังอยู่ในโรเตอร์ และจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในโรเตอร์ เพราะที่โรเตอร์มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือและ

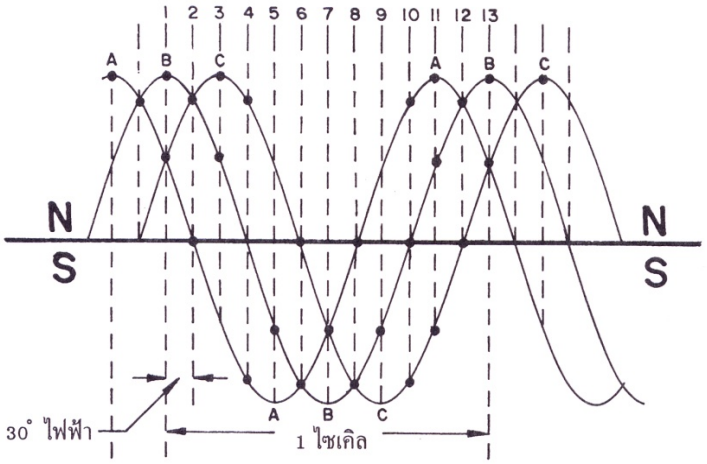
ขั้วใต้เช่นเดียวกับที่สเตเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์นั้นจะเกิดการผลัก และดูดกับขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์ในทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุน ผลที่ได้ของการดูด และผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์และโรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

หลักการหมุนของสนามแม่เหล็กโดยกระแสไฟฟ้า 3เฟสจากรูปที่ 2.2 เป็นการแสดงให้เห็นว่าถ้าเราจ่ายกระแสไฟฟ้าในระบบ 3 เฟสให้กับขดลวดในสเตเตอร์ ในช่วงขณะหนึ่ง สมมติให้เป็นครึ่งไซเคิลบวกดังแสดงในรูปที่ 2.2 ด้านขวามือ โดยการต่อไฟฟ้าเฟส A เข้าการเฟส A ของมอเตอร์ และเฟส B เฟส C เข้ากับมอเตอร์ในเฟสถัดไป เมื่อกระแสไฟฟ้าในครึ่งไซเคิลบวกเฟส A ไหลเข้า

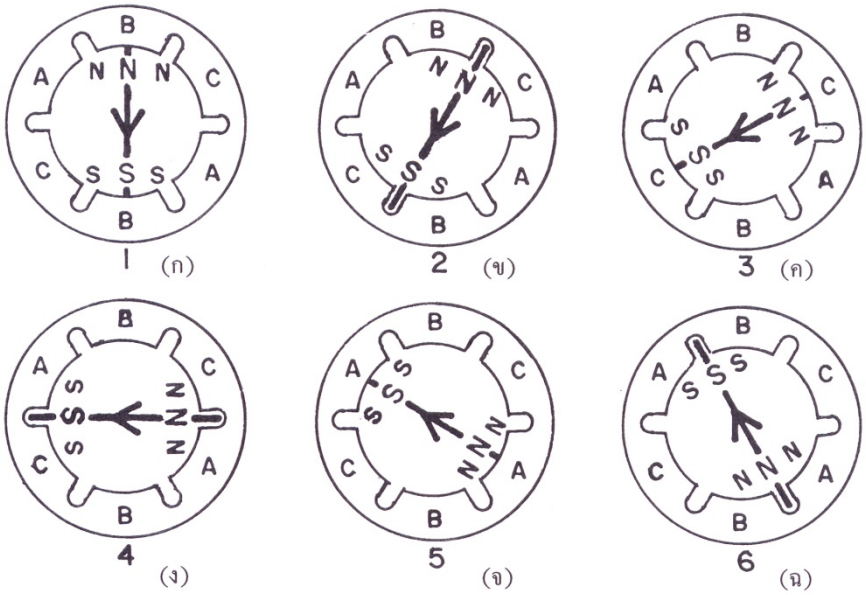


รูปที่ 2.12 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ไปในขดลวดของเฟส A มอเตอร์ จะทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดในเฟส A ของมอเตอร์นั้นทำให้เกิดขั้ว N ขึ้น และเมื่อแรงดันไฟฟ้าในเฟส A ที่จ่ายให้กับเฟส A มอเตอร์ค่อย ๆลดลงอำนาจแม่เหล็กขั้ว N ก็จะค่อยๆลดอำนาจ หรือความเข้มลง และในขณะเดียวกันที่เฟสถัดไปก็จะมีอำนาจแม่เหล็กคล้ายๆกับเฟส A แต่ในเวลาถัดไปจนครบ 3 เฟสในหนึ่งขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ (คือเฟส A เฟส B และเฟส C) และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในครึ่งไซเคิลบวกสิ้นสุดเรียบร้อยแล้ว ในครึ่งไซเคิลลบถัดไปที่ขั้วแม่เหล็กดังกล่าวข้างต้นก็จะเปลี่ยนสภาวะจากขั้ว N ไปเป็นขั้ว S และในอีกหนึ่งขั้วแม่เหล็กถัดไปก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับขั้วแม่เหล็กแรกที่กล่าวถึง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เหมือนกับว่าสนามแม่เหล็กหมุนไปรอบๆสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เหมือนกับหมุนไปรอบๆนี้เรียกสั้นๆว่าสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Magnetic Field)



รูปที่ 2.13 แสดงรูปคลื่นไซน์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส



รูปที่ 2.14 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว

จากรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 เป็นการแสดงถึงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว ที่สามารถพิจารณาทีละขั้นได้คือ

ที่จุดที่ 1 บนรูปไซเคิลไซน์จะเห็นได้ว่าเฟส B อยู่ที่ตำแหน่งความเข้มสูงสุดของขั้วเหนือ เฟส A ก็เป็นขั้วเหนือ แต่ลดลงจากจุดสูงสุดและเฟส C เป็นขั้วเหนือและกำลังเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) ของสเตเตอร์คือเฟส B เป็นขั้วเหนือมาก เฟส A และเฟส C เป็นขั้วเหนือน้อย

ที่จุดที่ 2 บนรูปคลื่นไซน์ เฟส A เป็น 0 (Zero) เฟส B เป็นขั้วเหนือแต่กำลังลดลง ส่วนเฟส C เป็นขั้วเหนือแต่กำลังเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข) ของสเตเตอร์ เฟส A เป็น 0 เฟส B และเฟส C

เป็นขั้วเหนือและมีความเข้มเท่ากัน ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่าง 2เฟสคือ เฟส B กับเฟส C ดังนั้นจากจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 ขั้วเหนือจะเคลื่อนที่ไป 30 องศาไฟฟ้า ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (30 Electrical Degree Clockwise)

ที่จุดที่ 3 บนรูปคลื่นไซน์ เฟส C จะมีความเข้มสูงสุดของขั้วเหนือ เฟส B ลดลงจากสูงสุดและเฟส A เพิ่มขึ้นแต่ เฟส A เป้นขั้วใต้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ค) ของสเตเตอร์เฟส C จะเป็นขั้วเหนือและมีความเข้มมาก ส่วนเฟส B มีความเข้มของขั้วเหนือน้อย และเฟส A เป็นขั้วใต้น้อย ดังนั้นจากจุดที่ 2 ไปจุดที่ 3 ขั้วเหนือจะเคลื่อนที่ไป 30 องศาไฟฟ้า ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

บนรูปคลื่นไซน์ที่จุดต่างๆในไซเคิลก็จะเกิดหมุนเวียนกันไปเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว ตัวอย่างเช่น ที่จุดที่ 6 ในรูปที่ 2.3 บนรูปคลื่นไซน์ เฟส A และ เฟส B จะเป็นขั้วใต้ ส่วนเฟส C จะเป็น 0 ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ฉ) ของสเตเตอร์ขั้วเหนือจะเคลื่อนที่ไป 150องศาไฟฟ้าในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจากจุดที่ 1 เป็นอันว่าครบไซเคิลของขั้วเหนือ หรือหมุนครบ 1 รอบ 360 องศา

3. สลิป (Slip, S)

ในทางปฏิบัตินั้นโรเตอร์ไม่สามารถหมุนได้เท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ โดยปกติแล้วความเร็วของโรเตอร์จะมีความเร็วน้อยกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์ ความแตกต่างของความเร็วนั้นจะขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่กับมอเตอร์นั้น

ความแตกต่างระหว่างความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่ที่สเตเตอร์ หรือความเร็วซิงโครนัส (N_S) และความเร็วรอบของโรเตอร์ขณะใช้งาน (Actual Speed : N) ของโรเตอร์เรียกว่าสลิป สลิปของมอเตอร์โดยปกติเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเปอร์เซ็นต์สลิปสามารถหาได้จากสมการดังนี้คือ

$$S = \frac{N_S - N}{N_S} \qquad (2.2)$$

$$\%Slip = \frac{N_S - N}{N_S} \times 100$$

แต่ในบางครั้ง $N_S - N$ ก็เรียกว่า ความเร็วสลิป (Slip Speed)

จะเห็นได้ว่าความเร็วของโรเตอร์ (มอเตอร์) คือ $N = N_S(1-S)$

4. การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์สามเฟสสามารถเปลี่ยนความเร็วได้โดยเปลี่ยนวงจรของขดลวดที่สเตเตอร์เพื่อให้จำนวนขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนไปเช่นจาก 2 ขั้ว (N – S) เป็น 4 ขั้ว (N – S – N – S) หรือ จาก 4 ขั้ว (N – S – N – S)

เป็น 8 ขั้ว (N – S – N – S – N – S – N – S) มีข้อจำกัดคือการเปลี่ยนจำนวนขั้ว ต้องเป็น 2 เท่าเสมอ ดังที่กล่าวมาแล้วเช่น จาก 2 เป็น 4 หรือ จาก 4 เป็น 8 จะเปลี่ยนจาก 4 เป็น 6 ไม่ได้เพราะวงจรของขดลวดบังคับอยู่ นอกจากว่าที่สเตเตอร์มีขดลวดมากกว่า 1 ชุด สำหรับการคำนวณความเร็วรอบของมอเตอร์อาจคำนวณได้จากสูตร

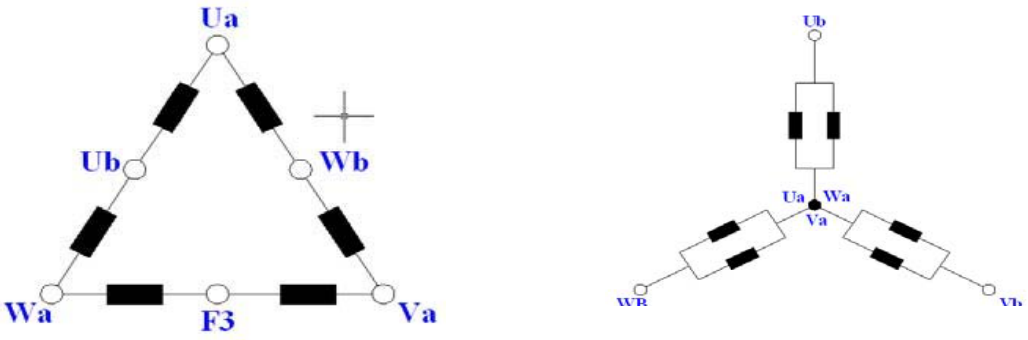
$$RPM = 120\ f / P$$

โดยที่ RPM = ความเร็วรอบต่อนาที

f = ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ (Hz)

P = จำนวนขั้วของมอเตอร์ (Pole)

ค่าความเร็วรอบที่ได้จากการคำนวณนี้เป็นค่าที่ได้ตามทฤษฎี สำหรับเมื่อนำไปใช้งานจริง ความเร็วมอเตอร์จะลดลงเล็กน้อยเนื่องจากแรงเสียดทานของลูกปืน และโหลดภาระที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ ส่วนวงจรขดลวดของมอเตอร์ 2 ความเร็วจะเป็นดังนี้



ความเร็วต่ำ ความเร็วสูง

รูปที่ 2.15 วงจรขดลวดของมอเตอร์ 2 ความเร็ว

5. การเริ่มเดินมอเตอร์

5.1 การเริ่มเดินแบบต่อกับสายโดยตรง (Direct-on-line Starting, DOL) เป็นการเริ่มเดินแบบนี้จะต่อสเตอร์โดยตรงกับแหล่งจ่ายไฟ เป็นผลให้มอเตอร์ต้องใช้กระแสเริ่ม เดินสูง และจะให้แรงบิดเริ่มต้นประมาณ 1.5 เท่าของแรงบิดพิกัด แรงบิดนี้จะมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราเร็วของมอเตอร์มีค่าประมาณ 80 % ของอัตราเร็วพิกัด กระแสเริ่ม ต้นจะมีค่าประมาณ 5-8 เท่าของกระแสพิกัด แต่จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราเร็วเพิ่ม ขึ้น วิธีเริ่ม เดินมอเตอร์แบบนี้จะเหมาะกับมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กและขนาดกลางแต่จะไม่

เหมาะกับงานที่ต้องการมอเตอร์หมุนแบบเรียบ และไม่กระชาก แต่ถ้าต้องการใช้วิธีเริ่ม เดินแบบนี้จำเป็นต้องลดค่ากระแสยอด และ แรงบิดเริ่ม ต้นลงโดยทำการลดแรงดันของแหล่งจ่ายลงในขณะเริ่มเดินมอเตอร์ที่ความเร็วหนึ่ง ๆ กระแสเข้ามอเตอร์จะลดลงเป็นสัดส่วนกับแรงดัน แต่ค่าแรงบิดจะแปรเป็นสัดส่วนกับแรงดันกำลังสอง

5.2 การเริ่มเดินแบบวาย – เดลต้า (Wye – Delta Starting, Y - Δ) วิธีการเริ่ม เดินแบบนี้ ทำได้โดยต่อปลายทั้งสองข้างของขดลวดทั้ง 3 เฟส ออกมาที่ขั้วภายนอกขณะที่เป็นเดลต้า จะใช้ได้กับแรงดันแหล่งจ่ายไฟพอดี หลักการของการเริ่ม เดินเครื่องแบบนี้คือ ตอนเริ่มเดินเครื่องขดลวดจะต่อเป็นแบบวาย ดังนั้นแรงดันที่เฟสของขดลวดจะมีค่าเป็น 1/ 3 หรือ 58 % ของแรงดันพิกัด แรงบิดจะลดลงเป็นสัดส่วนกับแรงดันกำลังสอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1/3 ของแรงบิดที่เกิดจากการเริ่ม เดินด้วยวิธีต่อกับสายโดยตรง และกระแสในแต่ละเฟสมีค่าลดลงเช่นเดียวกับแรงดัน คือ 58% กระแสเริ่มต้นจะมีค่าประมาณ 2 เท่าของกระแสพิกัด ส่วนแรงบิดเริ่มต้นจะมีค่าประมาณ 0.5 เท่าของแรงบิดพิกัด วิธีนี้เหมาะกับมอเตอร์ที่เริ่ม เดินเครื่องแบบไม่มีโหลด หรือมอเตอร์ที่ต้องการแรงบิดโหลดต่ำ เนื่องจากขดลวดของสเตเตอร์มีค่าอินดักแตนซ์สูง ถ้ามอเตอร์จ่ายโหลดมาก ระหว่างเปลี่ยนจากวายเป็นเดลต้าจะเกิดกระแสยอดมีค่าสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีเริ่มเดินเครื่องที่ดีเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวดังนี้

1. วายเดลต้า มีการหน่วงเวลาระหว่างเปลี่ยนจากวายเป็นเดลต้า วิธีนี้จะใช้กับมอเตอร์ที่มีแรงบิดโหลดต่ำและต้องมีความเฉื่อยเพียงพอที่จะไม่ให้อัตราเร็วลดลงในขณะช่วงหน่วงเวลา

2. การเริ่ม เดินมอเตอร์ 3 ขั้น : วาย – เดลต้า + ความต้านทานเดลต้า (Delta Resistance) วิธีนี้จะมีความต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวดแบบเดลต้าเป็นเวลา 3 วินาที

3. การเริ่ม เดินเครื่องแบบวาย – เดลต้า โดยไม่มีการขัดจังหวะ วิธีนี้จะออกแบบให้ความต้านทานที่ต่ออนุกรม กับขดลวดแบบเดลต้าต่อเพียงชั่ว ขณะก่อนการเปิดของคอนแทกเตอร์วายเพื่อไม่ให้เกิดการขัดจังหวะของวงจร

5.3 วิธีการเริ่มเดินมอเตอร์แบบให้ความต้านทานปฐมภูมิ (Primary Resistance Starting) วิธีการเริ่ม เดินเครื่องแบบนี้ ช่วงแรกแรงดันจะมีค่าลดลงเนื่องจากการต่อความต้านทานอนุกรมกับขดลวดสเตเตอร์และจะมีการลัดวงจรความต้านทานตัวนี้ในเวลาต่อมา แรงบิดเริ่มต้นมีค่าต่ำเท่ากับ 2.75 เท่าของแรงบิดพิกัด แต่กระแสเริ่มต้นมีค่าสูงเท่ากับ 4.5 เท่าของกระแสพิกัด ขณะที่มอเตอร์มีอัตราเร่งหลังจากเริ่มเดินเครื่อง แรงดันที่ปลายขั้ว จะมีค่าไม่คงที่ กระแสค่าสูงจะค่อยๆลดลงเป็นผลให้แรงดันคร่อมความต้านทานมีค่าลดลง และแรงดันที่ขั้วมอเตอร์มีค่าสูงขึ้น วิธีการเริ่มเดินเครื่องแบบนี้เหมาะกับการเริ่ม เดินเครื่องมอเตอร์ที่มีการเพิ่ม แรงบิดที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของแรงบิดพิกัดในมอเตอร์ที่มีความเฉื่อยสูง

5.4 วิธีการเริ่มเดินมอเตอร์แบบใช้หม้อแปลงออโต้ (Auto – transformerstarting) วิธีนี้จะใช้หม้อแปลงออโต้ (Auto – transformer) เป็นเครื่องลดแรงดันเมื่อสิ้นสุดการเริ่ม เดินมอเตอร์ ก็จะทำการปลดหม้อแปลงนี้ออกจากวงจร การเริ่มเดินเครื่องโดยใช้หม้อแปลงออโต้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

1. ต่อหม้อแปลงออโต้เป็นแบบวายแล้วปิดคอนแทกเตอร์มอเตอร์จะเริ่ม เดินเครื่องด้วยค่าแรงดันต่ำ

2. เปิดวงจรที่จุดนิวทรัล เป็นผลให้ส่วนของขดลวดของหม้อแปลงออโต้ ซึ่งต่ออนุกรมกับแต่ละเฟสของสเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นความเหนี่ยวนำ

3. คอนแทกเตอร์จะต่อวงจรมอเตอร์กับแรงดันหลักทำให้ได้รับแรงดันเต็มที่วิธีการเริ่มเดินมอเตอร์แบบนี้ มอเตอร์จะไม่แยกจากแหล่งจ่าย ทำให้ไม่เกิดภาวะทรานเซียนต์ (Transient) นิยมใช้วิธีการเริ่ม เดินมอเตอร์แบบนี้กับมอเตอร์กำลังสูง เนื่องจากการเริ่ม เดินเครื่องแบบนี้จะให้แรงบิดเริ่มต้นค่าสูง แต่กระแสยอดมีค่าต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถปรับแรงดันได้ โดยปรับที่ขั้วต่อออกของหม้อแปลงออโต้

6. การหยุดเดินมอเตอร์

6.1 การหยุดเดินมอเตอร์ด้วยกระแสกลับทาง (Reverse Current Braking or Plugging) การหยุดเดินเครื่องแบบนี้ จะใช้หลักการแยกมอเตอร์จากแหล่งจ่ายไฟ ขณะที่มอเตอร์ยังคงหมุนอยู่ และต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟอีกครั้งโดยให้มีทิศกลับทาง วิธีการหยุดเดินเครื่องแบบนี้จะมีประสิทธิภาพมาก แต่จะต้องตัดแหล่งจ่ายไฟออกก่อนที่มอเตอร์จะหมุนกลับทาง โดยจะใช้อุปกรณ์อัตโนมัติแบบต่างๆ เพื่อควบคุมการหยุดของมอเตอร์เมื่อความเร็วของมอเตอร์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ก่อนที่จะใช้วิธีนี้จะต้องแน่ใจก่อนว่ามอเตอร์จะสามารถทนต่อการหยุดเดินด้วยกระแสกลับทาง เพราะว่าจะเกิดความเค้นทางกลและทางความร้อนขึ้นและมีการสูญเสียพลังงานสลิปและพลังงานจลน์ในตัวกรงกระรอกขณะที่หยุดเดินเครื่องกระแสและแรงบิดจะมีค่าสูงกว่าตอนเริ่ม เดินเครื่องดังนั้น เพื่อให้การหยุดเดินมอเตอร์เป็นไปอย่างราบเรียบ ควรจะต่อความต้านทานอนุกรมเข้ากับแต่ละเฟสของสเตเตอร์

7. การควบคุมมอเตอร์ (Motor Control)

การควบควบคุมมอเตอร์ หมายถึง การทำให้มอเตอร์ทำงานตามคำสั่งและทำให้เกิดความปลอดภัยต่อตัวมอเตอร์ และอุปกรณ์เครื่องจักรที่ต่อกับมอเตอร์ รวมถึงทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานด้วย

จุดประสงค์ของการควบคุมมอเตอร์

- เพื่อการเริ่ม เดินมอเตอร์ (Starting)
- เพื่อการหยุดมอเตอร์ (Stopping)
- เพื่อการกลับทางหมุน (Reversing)
- เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (Running)
- เพื่อควบคุมความเร็ว (Speed control)

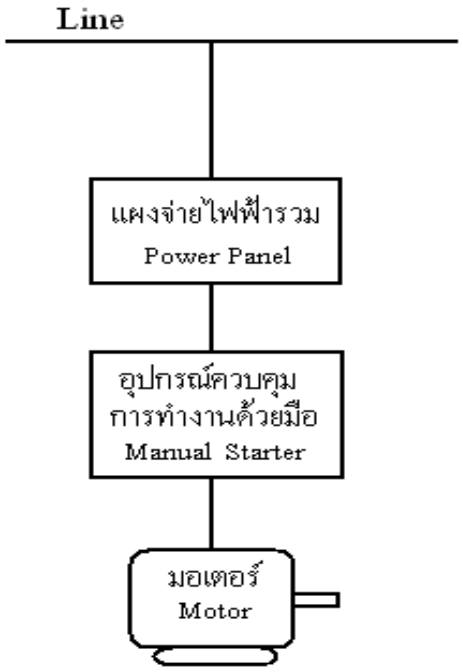
- เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน (Safety of operator)
- เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์และระบบ (Protection damage)
- เพื่อบำรุงรักษาอุปกรณ์เริ่ม เดินมอเตอร์ (Maintenance of starting requirement)

7.1 ประเภทของการควบคุมมอเตอร์

1. ชนิดของการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า

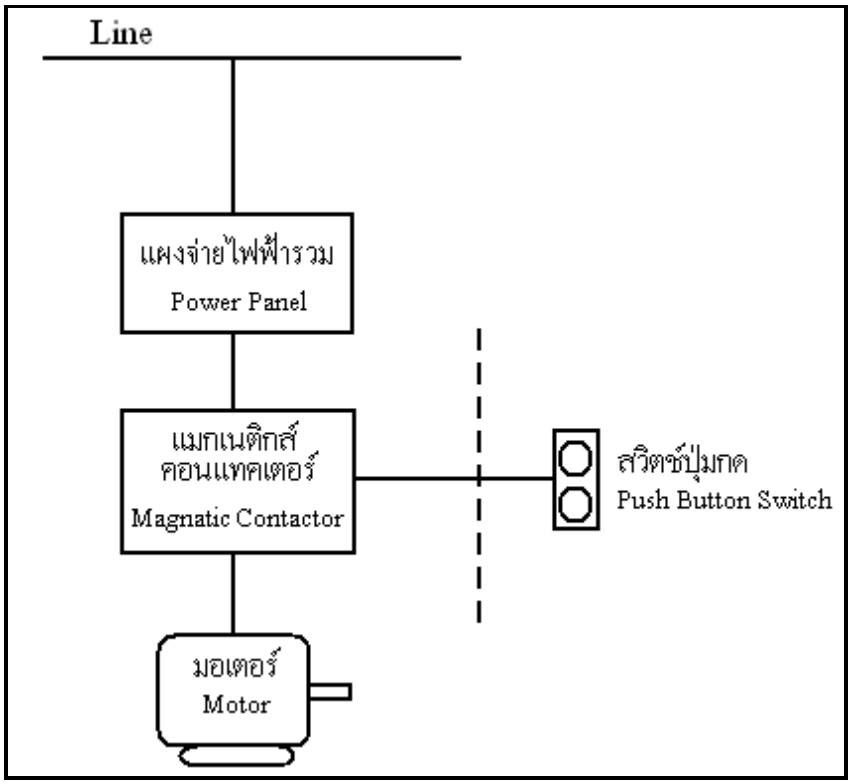
การควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าหรือการควบคุมมอเตอร์ คือการควบคุมให้มอเตอร์ทำงานตามวัตถุประสงค์หรือตามความต้องการของผู้ควบคุม เช่นควบคุมการเริ่มทำงาน (Starting) ควบคุมความเร็ว (Speed) ควบคุมกำลัง (Power) รวมทั้งการกลับทิศทางหมุน (Reverse) และควบคุมการหยุดทำงาน (Stop) เป็นต้น การเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมประกอบวงจรจึงมีความจำเป็นเพื่อความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์และชนิดของการควบคุมมอเตอร์ ซึ่งสามารถแบ่งวิธีของการควบคุมมอเตอร์ได้ 3 วิธี คือ

1.1 การควบคุมด้วยมือ (Manual Control) คือการใช้คนทำหน้าที่ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าโดยตรงหรือเรียกว่าโอเปอเรเตอร์ (Operator) โดยใช้วิธีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าโดยตรง เช่นการเสียบปลั๊กไฟฟ้า การใช้สวิตช์ใบมีด (Cut out) หรือใช้สวิตช์สตาร์ทมอเตอร์ (Starter Switch) เป็นต้น ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าโดยตรงให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า วิธีการควบคุมด้วยมือนี้มักจะใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านทั่วไป เพื่อการเริ่มเดินหรือหยุดเครื่องเป็นส่วนใหญ่ และมีเครื่องประกอบป้องกันอันตราย (Overload Protection) โดยปกติจะเป็นฟิวส์ (Standard Fuse) ประกอบติดอยู่ภายใต้สวิตช์แต่ละขาสับ



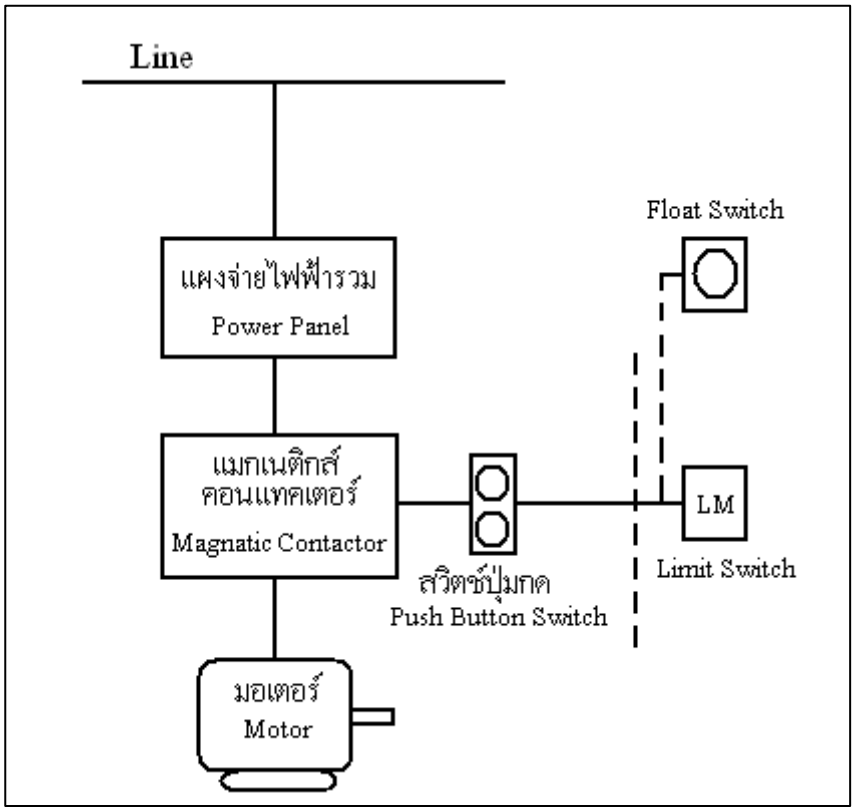
รูปที่ 2.16 รูปแสดงผังการควบคุมด้วยมือ (Manual Control)

1.2 การควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic Control) เป็นการนำอุปกรณ์ประกอบเข้ามาช่วยในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า ได้แก่ แมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ (Magnatic Contactor) และสวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch) ตั้งแต่ 1 หรือ 2 ชุดขึ้นไป สวิตช์ปุ่มกดนี้จะทำหน้าที่เริ่มการทำงานของเครื่องหรือปุ่มสตาร์ท (Start) และทำหน้าที่หยุดการทำงานของเครื่องหรือปุ่มหยุด (Stop) โดยการควบคุมการทำงานของแมกเนติกส์คอนแทคเตอร์ให้ต่อหรือเปิดหน้าสัมผัส (Contact) เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า การควบคุมวิธีนี้จะดีกว่าการควบคุมด้วยมือเพราะสามารถออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าได้จากหลายที่ทั้งการเริ่มทำงาน (Start) และการหยุดทำงาน (Stop)และสามารถจัดวางตู้ควบคุมห่างจากเครื่องจักรได้เป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ควบคุมยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.17 รูปแสดงผังการควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automatic Control)

1.3 การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) การควบคุมวิธีนี้เหมือนกับการควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ เพียงแต่หลังจากกดปุ่มเริ่มเดิน (Start) แล้วระบบการทำงานเองตลอดทุกระยะ เช่น การหมุนตามเข็มนาฬิกา, การหมุนทวนเข็มนาฬิกาหรือหยุดทำงาน (Stop) ดังนั้น จึงต้องมีการติดตั้งสวิตช์อัตโนมัติไว้ตามจุดต่างๆเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้เองตลอดเวลา เช่น การติดตั้งลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) เพื่อควบคุมระยะทาง ติดตั้งสวิตช์ลูกลอย (Float Switch) เพื่อควบคุมระดับน้ำในถัง หรือการติดตั้งทามเมอร์รีเลย์ (Timer Relay) เพื่อควบคุมเวลาเป็นต้น



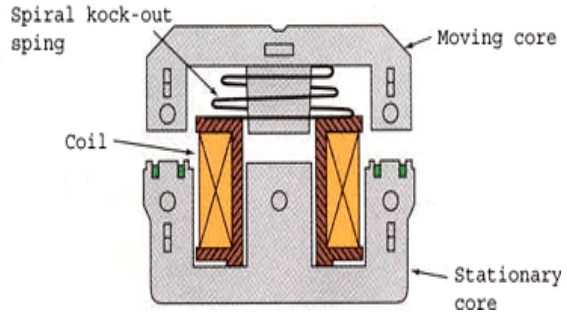
รูปที่ 2.18 รูปแสดงผังการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมมอเตอร์

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้านั้น มีอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมมอเตอร์อย่างมากมาย อุปกรณ์ที่ใช้งานนั้นต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานในการควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรควบคุมที่เป็นพื้นฐานหลักมีดังนี้

รูปที่ 2.19 แมกเนติกคอนแทกเตอร์

แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานโดยใช้อำนาจแม่เหล็กในการเปิดปิดหน้าสัมผัส เพื่อควบคุมวงจรมอเตอร์หรือเรียกว่าสวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch) หรือคอนแทกเตอร์(Contactor) ก็ได้ แมกเนติกคอนแทกเตอร์มีโครงสร้างที่สำคัญดังนี้

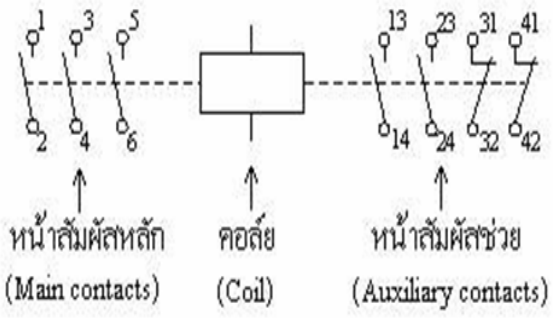


รูปที่ 2.20 ลักษณะโครงสร้างภายในของแมกเนติกคอนแทกเตอร์

1. แกนเหล็ก แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ แกนเหล็กอยู่กับที่ (Stationary core) ที่ขาทั้งสองข้างของแกนเหล็กจะมีลวดทองแดงเส้นใหญ่ต่อลัดอยู่ เป็นรูปวงแหวนฝังอยู่ที่ผิวหน้าของแกนเพื่อลดการสั่น สะเทือนของแกนเหล็ก อันเนื่องมาจากการสัน่ สะเทือนไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกวงแหวนนี้ว่า Shaddedring และแกนเหล็กเคลื่อนที่ (Moving core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกันเป็นแกน จะมีชุดหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (Moving Contact) ยึดติดอยู่

2. ขดลวด (Coil) ทำมาจากลวดทองแดงพันอยู่รอบบ๊อบบิ้น สวมอยู่ตรงกลางขาตัวอีของแกนเหล็กที่อยู่กับที่ ขดลวดทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กเพื่อทำให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนสถานะ

3. หน้าสัมผัส (Contact) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน้าสัมผัสหลัก (Main Contacts)โดยปกติแล้วหน้าสัมผัสหลักมี 3 อัน สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 3 เฟสเข้าไปสู่มอเตอร์ หรือโหลดที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส หน้าสัมผัสหลักของคอนแทกเตอร์มีขนาดใหญ่ สามารถทนแรงดันและกระแสได้สูงหน้าสัมผัสหลักเป็นชนิดปกติเปิด(Normally open) และหน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contacts) หน้าสัมผัสชนิดนี้ติดตั้งอยู่ด้านข้างทั้ง สองด้านของตัวคอนแทกเตอร์ มีขนาดเล็กทนกระแสได้ต่ำ ทำหน้าที่ช่วยการทำงานของวงจร เช่น เป็นหน้าสัมผัสที่ทำให้คอนแทกเตอร์ทำงานได้ตลอดเวลา หรือเรียกว่า "holding"หรือ "maintaining contact" หน้าสัมผัสช่วยนี้จะเป็นหน้าสัมผัสแบบโยกได้สองทางโดยจะถูกดึงขึ้น-ลงไปตามจังหวะการดูด-ปล่อยของคอนแทกเตอร์



รูปที่ 2.21 หน้าสัมผัสหลักและหน้าสัมผัสช่วย

หลักการทำงาน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็ก ที่อยู่ขากลางของแกนเหล็กขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กที่มีแรงสนามแม่เหล็กชนะแรงสปริง ดึงให้แกนเหล็กเคลื่อนที่ เคลื่อนที่ลงมาในสภาวะนี้คอนแทก ทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงานคือ คอนแทกปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และคอนแทก ปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัส เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กคอนแทกทั้งสองชุดจะกลับไปสู่สภาวะเดิม

3. ทามเมอร์รีเลย์ (Timer Relay)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในงานควบคุมที่สามารถตั้งเวลาการทำงานของหน้าสัมผัสได้จึงนำไปใช้ในการควบคุมแบบอัตโนมัติ แบ่งลักษณะการทำงานของหน้าหน้าสัมผัสได้ 2 แบบคือ

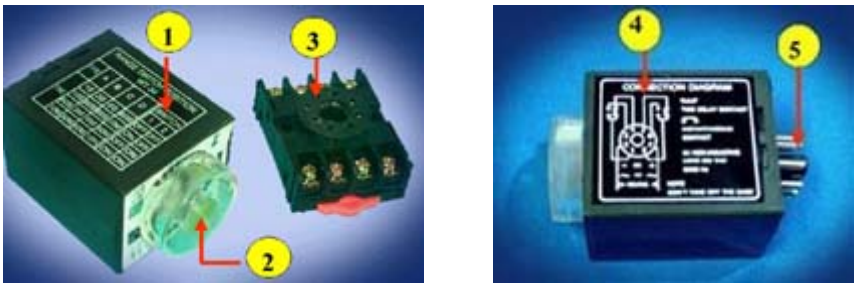
1. แบบหน่วงเวลาหลังจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้า (On–delay) แบบนี้เมื่อจ่ายจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับทามเมอร์รีเลย์แล้ว หน้าสัมผัสจะอยู่ในตำแหน่งเดิมและเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้หน้าสัมผัสจึงจะเปลี่ยนตำแหน่งเป็นสภาวะตรงข้ามและค้างตำแหน่งจนกว่าจะหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับทามเมอร์รีเลย์

2. แบบหน่วงเวลาหลังหยุดกระแสไฟฟ้าเข้า (Off –delay) แบบนี้เมื่อจ่ายจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับทามเมอร์รีเลย์แล้ว หน้าสัมผัสจะเปลี่ยนตำแหน่งเป็นสภาวะตรงข้ามทันที เมื่อหยุดกระแสไฟฟ้าแล้ว และถึงเวลาที่ตั้งไว้หน้าสัมผัสจึงจะกลับอยู่ในสภาวะเดิม

รูปที่ 2.22 รูปแสดงทามเมอร์รีเลย์ (Timer Relay)

โครงสร้างของทามเมอร์รีเลย์

1. ตารางเทียบตั้งเวลา
2. ปุ่มตั้งเวลา
3. ฐานเสียบตัวตั้งเวลา
4. สัญลักษณ์และรายละเอียดการต่อใช้งาน
5. ขาเสียบเข้าฐาน



รูปที่ 2.23 รูปแสดงโครงสร้างของทามเมอร์รีเลย์

ชนิดของทามเมอร์รีเลย์

1. ทามเมอร์รีเลย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ อาศัยการทำงานของอาร์ซีแทมคอนสแตมซ์
2. ทามเมอร์รีเลย์แบบตั้งเวลาด้วยของเหลว
3. ทามเมอร์รีเลย์แบบตั้งเวลาด้วยลมทามเมอร์รีเลย์แบบใช้มอเตอร์

โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay) หรือ Protective motor relay เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์ที่เรียกว่า Running Protection ออกแบบใช้สำหรับตัดวงจรมอเตอร์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเกินกว่าพิกัดกระแสของมอเตอร์ ซึ่งจะทำให้ขดลวดของมอเตอร์ร้อนขึ้นเรื่อย ๆ และไหม้ในที่สุด แต่ถ้า

หากในวงจรนั้นมีโอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay) อยู่ด้วยและตั้งให้กระแสไฟฟ้าถูกต้อง วงจรควบคุมจะถูกตัดวงจรออกไปก่อนที่ขดลวดมอเตอร์จะไหม้

รูปที่ 2.24 รูปแสดงโอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload relay)

การทำงานของโอเวอร์โหลดรีเลย์จะอาศัยผลของความร้อน โครงสร้างภายในประกอบด้วยขดลวดความร้อนที่พันอยู่กับโลหะคู่ (Bimetal) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเกินพิกัดที่กำหนดไว้จะทำให้เกิดความร้อนมากขึ้นที่ Bimetal เป็นผลทำให้ Bimetal โก่งตัวดันคานส่งเคลื่อนที่ไปดันหน้าสัมผัสควบคุมให้เปลี่ยนตำแหน่ง

ชนิดของโอเวอร์โหลดรีเลย์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. แบบไม่มีรีเซต (No Reset) แบบนี้เมื่อเกิดโอเวอร์โหลดจะทำให้ Bimetal ร้อนและโก่งตัวออกไปแล้ว เมื่อเย็นตัวลงกลับที่เดิมจะทำให้หน้าสัมผัสควบคุมกลับตำแหน่งเดิมด้วย

2. แบบมีรีเซต (Reset) แบบนี้เมื่อเกิดโอเวอร์โหลดจะทำให้ Bimetal ร้อนและโก่งตัวออกไปแล้วจะมีกลไกทางกลมาล็อคสภาวะการทำงานของหน้าสัมผัสควบคุมที่เปลี่ยนตำแหน่งไว้ เมื่อเย็นตัวลงแล้วหน้าสัมผัสควบคุมยังคงสภาวะอยู่ได้ ถ้าต้องการให้หน้าสัมผัสควบคุมกลับตำแหน่งเดิมต้องกดปุ่มรีเซต (Reset)ก่อน โอเวอร์โหลดรีเลย์แบบมีรีเซต (Reset)นี้มักนิยมใช้ในการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า

ฟิวส์ (Fuse) มี 2 ประเภท คือ 1. ชนิดมาตรฐานทำงานทันที (Non Time Delay Fuse) 2. ชนิดหน่วงเวลา (Time Delay Fuse) ฟิวส์กำลังที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันมอเตอร์จะเป็นฟิวส์ชนิดหน่วงเวลา เนื่องจากกระแสเริ่ม แรกในขณะสตาร์ทมอเตอร์มีค่าสูงกว่ากระแสปกติประมาณ 5-8 เท่า ฟิวส์ตามมาตรฐาน IEC (International Electro technical Commission) มีขนาดเป็นแอมแปร์(A) ดังนี้ 6, 10, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400

รูปที่ 2.25 ฟิวส์แบบต่างๆ

รูปที่ 2.26 เซอร์กิตเบรกเกอร์

ในระบบการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านส่วนใหญ่แล้ว มักจะนิยมใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ในการป้องกันความเสียหายอันเกิดจากกระแสไฟฟ้า ข้อดีของเซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ สามารถเปิดวงจรไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โดยไม่ทำให้อุปกรณ์ภายในคัวเซอร์กิตเบรกเกอร์เสียหาย ดังเช่น การขาดของฟิวส์ นอกจากนั้นยังสามารถทำการรีเซ็ตให้กลับมาใช้งานได้อีก อาจกล่าวได้ว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ ฟิวส์ที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่อีกนั่นเอง

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

นิยมเรียกสั้นๆ ว่า ซีที (CT : current transformer) ทำหน้าที่ปรับลดกระแสไฟฟ้า ให้ต่ำลงก่อนที่ จะต่อเข้ากับแอมมิเตอร์ การนำซีทีมาติดตั้งจะต้องเลือกอัตราส่วนการแปลง (ratio) ให้เหมาะสม เช่น CT 150/5 จะต้องใช้แอมมิเตอร์ 150/5

รูปที่ 2.27 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT : current transformer) แบบต่างๆ

4. สวิตช์เลือกย่านวัด

นิยมเรียกทับศัพท์ว่าซีเล็กเตอร์สวิตซ์ (Selector Switch)ใช้สำหรับปรับเลือกย่านการวัดกระแสไฟฟ้า ที่ไหลในแต่ละเฟส (เฟส R, S, T) โดยวงจรภายในส่วนหนึ่งจะต่อร่วมกับแอมป์มิเตอร์ จึงเรียกว่า Selector amp และถ้าหากต่อร่วมกับโวลต์มิเตอร์ จะเรียกว่า Selector volt

รูปที่ 2.28 ซีเลคเตอร์โวลท์

แอมป์มิเตอร์ (Ammeter)

แอมมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าซึ่งดัดแปลงจากการนำความต้านทาน (ชันต์) ที่มีค่าน้อย ๆ มาต่อขนานกัลวานอมิเตอร์ เพื่อแบ่งกระแสไม่ให้ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์มากเกินไปจนทำ

ให้กัลวานอมิเตอร์พังได้เมื่อเราต้องการวัดกระแสที่มีค่ามาก ๆ

1. นำชันต์ต่อขนานกับกัลวานอมิเตอร์

2. ชันต์ต้องมีค่าน้อยๆ เพื่อให้กระแสแยกไหลผ่านชันต์มาก ๆ เพื่อช่วยลดกระแสที่จะไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์

คุณสมบัติของแอมมิเตอร์ที่ดี

1. มีความแม่นยำสูง ซึ่งเกิดจากการนำชันต์ที่มีความต้านทานน้อยๆ มาต่อ เพื่อว่าเมื่อนำแอมมิเตอร์ไปต่ออนุกรมในวงจรแล้ว จะไม่ทำให้ความต้านทานรวมของวงจรเปลี่ยนแปลงทำให้กระแสที่วัดได้มีความแม่นยำสูงหรือมีความผิดพลาดจากการวัดน้อย

2. มีความไว (Sensitivity) สูงเมื่อชันต์มีค่าน้อย ๆ กระแสที่ไหลผ่านชันต์จะมีค่ามากทำให้กระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์มีค่าน้อย นั่นคือ แอมมิเตอร์ที่ดีจะสามารถตรวจวัดค่ากระแสน้อย ๆ ได้กล่าวคือแม้วงจรจะมีกระแสไหลเพียงเล็กน้อย แอมมิเตอร์ก็สามารถวัดค่าได้การนำไปใช้วัดใช้แอมมิเตอร์ไปต่ออนุกรมในวงจรในสายที่ต้องการทราบค่ากระแสที่ไหลผ่าน เหมือนกับการวัดกระแสน้ำก็ต้องนำเครื่องมือวัดไปจุ่มลงน้ำด้วย ดังนี้ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าโดยการต่อผ่านมาจาก Selector amp ดังที่กล่าวข้างต้น

รูปที่ 2.29 แอมป์มิเตอร์

โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)

ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าโดยการต่อผ่านมาจาก Selector volt แอมมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าซึ่งดัดแปลงจากการนำความต้านทาน (ชันต์) ที่มีค่าน้อยๆ มาต่อขนานกัลวานอมิเตอร์เพื่อแบ่งกระแสไม่ให้ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์มากเกินไปจนทำให้กัลวานอมิเตอร์พังได้เมื่อเราต้องการวัดกระแสที่มีค่ามากๆ

1. นำชันต์ต่อขนานกับกัลวานอมิเตอร์

2. ชันต์ต้องมีค่าน้อย ๆ เพื่อให้กระแสแยกไหลผ่านชันต์มาก ๆ เพื่อช่วยลดกระแสที่จะไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์

รูปที่ 2.30 แสดงโวลต์มิเตอร์

หลอดไฟสัญญาณ (pilot lamp)

เป็นหลอดไฟใช้แสดงสถานการทำงานของวงจร มีหลายสีให้เลือก เช่น แดง เหลือง น้ำเงิน เขียว โดยการเปลี่ยนฝาครอบพลาสติกด้านหน้า บางชนิดเป็นแบบรวมอยู่กับสวิตช์ปุ่มกด หรือมีหม้อแปลงเล็กในตัวสำหรับแปลงแรงดัน 220 V ให้เป็นแรงดันต่ำประมาณ 6 V หลอดไฟใช้แสดงสถานการณ์ทำงานของวงจร มีหลายสีให้เลือก เช่น แดง เหลือง น้ำเงิน เขียวใช้แสดงสัญญาณแรงดันในแต่ละเฟส โดยทั่วไปจะแสดงด้วยหลอดสีแดง สีเหลืองและสีน้ำเงิน (R-Y-B) เป็นสีของหลอดไฟสัญญาณ (Signal Lamp) ความหมายของสีของหลอดไฟสัญญาณที่ใช้ทั่วไปดังนี้

หลอดไฟสัญญาณ สีแดง แสดงหยุดการทำงานของวงจร

หลอดไฟสัญญาณ สีเขียว แสดงการทำงานของวงจรปกติ

หลอดไฟสัญญาณ สีเหลือง แสดงการเกิดโอเวอร์โหลดของวงจร

หลอดไฟสัญญาณ สีขาว แสดงการทำงานของวงจรกำลัง (Power)

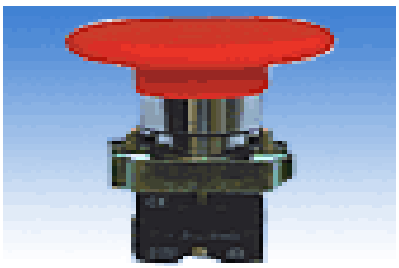
รูปที่ 2.31 แสดงหลอดสัญญาณ

สวิตช์ปุ่มกด (Push button)

สวิตช์ปุ่มกด (Push button Switch) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของมอเตอร์ สวิตช์นี้จะมีหน้าสัมผัส (Contact) แบบปกติเปิด (Normally Open ; NO) 1 ชุด และแบบปกติปิด (Normally Close ; NC) 1 ชุด เมื่อกดปุ่มแล้วหน้าสัมผัสทั้งคู่ดังกล่าวจะเปลี่ยนตำแหน่งและเมื่อปล่อยมือหน้าสัมผัสทั้งคู่จะกลับคืนตำแหน่งเดิมโดยไม่ค้างตำแหน่งด้วยแรงดันของสปริง เราเรียกการทำงานของหน้าสัมผัสนี้ว่า Momentary Contact ลักษณะรูปแบบของสวิตช์ปุ่มกดมีหลายลักษณะดังรูปที่ 2-4

รูปที่ 2.32 รูปแสดงสวิตช์ปุ่มกด (Push button Switch)

สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency push button Switch) สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉินหรือเรียกทั่วไปว่าสวิตช์ดอกเห็ดเป็นสวิตช์ที่มีปุ่มกดขนาดใหญ่กว่าสวิตช์ปุ่มกดแบบธรรมดาเหมาะกับงานที่เกิดเหตุฉุกเฉินบ่อยหรืองานที่ต้องการหยุดทันที



รูปที่ 2.33 สวิตช์ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency push button Switch)

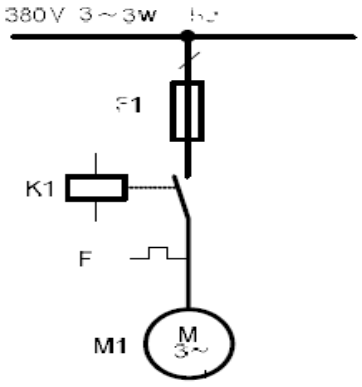
การเขียนแบบที่ใช้ในการควบคุม

การเขียนแบบวงจรที่ใช้ในงานควบคุมแบ่งออกได้ เป็น 4 แบบด้วยกันดังนี้

1. แบบวงจรสายเดียว (One Line Diagram)

วงจรสายเดียวเป็นแบบวงจรที่แสดงวงจรชนิดหนึ่งที่เขียนด้วยเส้นสายเดียวเท่านั้น จากวงจรในรูปจะแสดงเพียงแต่

1. Power Supply จำนวน Phase Wire ระดับแรงเคลื่อนและความถี่
2. จำนวนสายไฟฟ้า
3. ขนาดและชนิดของสายไฟฟ้า
4. ขนานจำนวนของอุปกรณ์ เช่น (Contactor Relay (K1) Over Load Relay (F3) Motor (M1)



รูปที่ 2.34 แสดงแบบวงจรสายเดียว

2. แบบวงจรแสดงการทำงาน (Schematic Diagram)

วงจรแสดงการทำงานสามารถแบ่งตามลักษณะของวงจรได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ

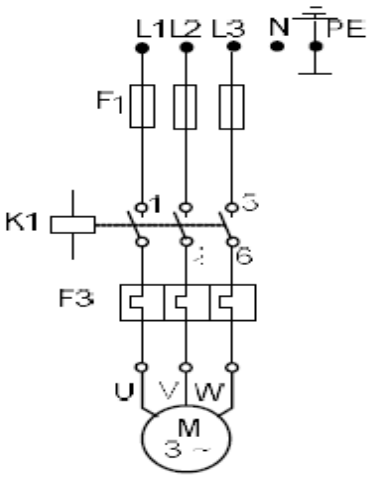
2.1 วงจรกำลัง (Power Circuit)

2.2 วงจรควบคุม (Control Cuit)

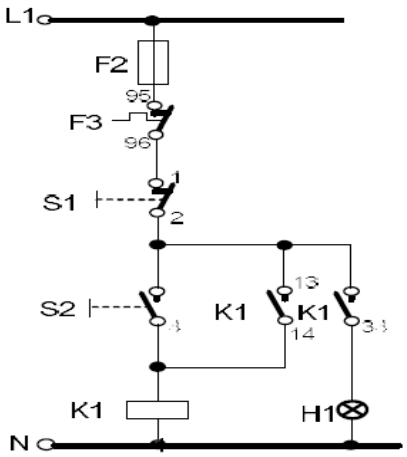
2.1 วงจรกำลัง (Power Circuit) แบบวงจรนี้จะเขียนรายละเอียดของวงจรกำลังเท่านั้น โดยเริ่มจากวงจรย่อย ผ่าน Main Fuse (F1) Main Contactorv (K1) Overload Relay (F2) และต่อเข้ามายังมอเตอร์

2.2 วงจรควบคุม (Control Cuit) แบบนี้ได้จากการจับต้นและปลายของวงจรควบคุมในแบบงานจริงจึงยืดออกมาเป็นเส้นตรง สายแยกต่างๆจะเขียนในแนวดิ่งและแนวระนาบเท่านั้น ส่วนประกอบของอุปกรณ์จะนำมาเขียนเฉพาะส่วนที่ใช้ในวงจรควบคุมเท่านั้น คอนแทคริเลย์หรือคอนแทคเตอร์ สามารถเขียนแยกกันอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของวงจรได้ โดยจะเขียนกำกับด้วยอักษรและตัวเลขได้รู้ว่าเป็นของคอนแทคเตอร์ตัวใด

1) วงจรกำลัง

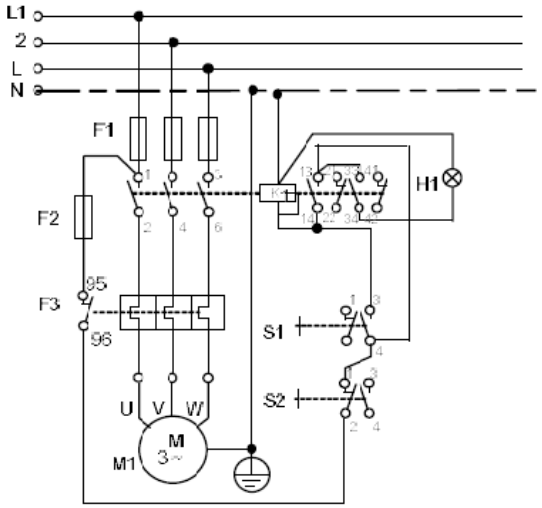


2) วงจรควบคุม



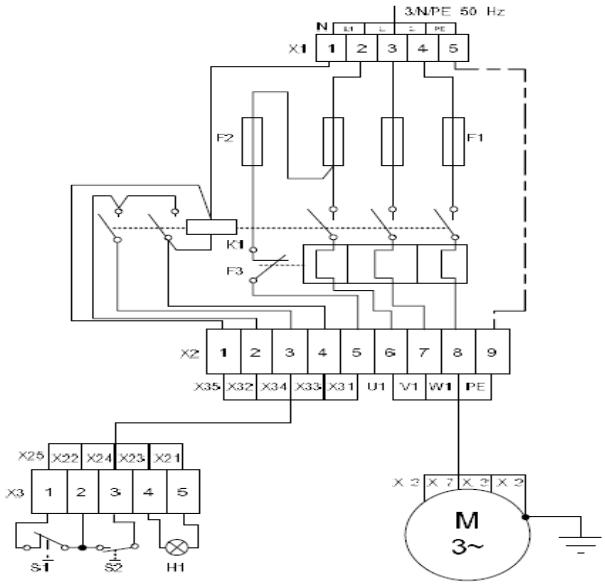
รูปที่ 2.35 แสดงวงจรกำลังและวงจรควบคุม

3) วงจรแสดงแบบงานจริง (Working Diagram) แบบชนิดนี้ จะเขียนคล้ายกับลักษณะงานจริง คือ ส่วนประกอบของอุปกรณ์ใดๆ จะเขียนเป็นชิ้นเดียวไม่แยกออกจากกันและสายต่าง ๆ จะต่อกันที่ จุดเข้าสายของอุปกรณ์เท่านั้น ซึ่งเหมือนกับลักษณะของงานจริง



รูปที่ 2.36 แสดงวงจรแบบงานจริง

4) วงจรประกอบการติดตั้ง (Constructional Wiring Diagram) ในระบบควบคุมจะประกอบไปด้วยแผงควบคุมตู้ สวิตช์บอร์ด และโหลดที่ต้องการควบคุมซึ่งมักจะแยกกันอยู่ในต่างที่กันในส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จะเขียนแสดง รายละเอียดด้วยวงจรงานจริงและจะประกอบเข้าด้วยกันที่แผงต่อสาย โดยใช้วงจรสายเดียว สายที่ออกจากจุดต่อสายแต่ละอันจะมีโค๊ดกำกับไว้ ให้รู้ว่าสายนั้นจะไปต่อเข้าจุดใดเช่นแผงต่อสาย X2 จุดที่ 1 จะไปต่อกับจุดที่5ของแผงต่อสาย X3 ซึ่งที่จุดนี้ก็จะมีโค๊ดบอกอยู่ด้วย ว่าสาย X3 ซึ่งที่จุดนี้ก็จะมีโค๊ดบอกอยู่ด้วย ว่าสายจุดนี้ต่อมาจาก จุดที่ 1 ของแผงต่อสาย X2



รูปที่ 2.37 แสดงวงจรประกอบการติดตั้ง

สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า

1. มาตรฐานของสัญลักษณ์ด้านไฟฟ้า

สัญลักษณ์ด้านไฟฟ้าจากแบบงานไฟฟ้านั้น โดยทั่วไปจะใช้สัญลักษณ์แทนอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เป็นของจริง เพราะการเขียนรูปอุปกรณ์ไฟฟ้าจริงลงไปในแบบงานไฟฟ้านั้นกระทำยาก และอาจจะทำให้เกิดการสื่อความหมายผิดได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ ไฟฟ้าเพื่อให้เป็นมาตรฐานซึ่งผู้ปฏิบัติงานด้านไฟฟ้าจะต้องรู้ความหมายของสัญลักษณ์ที่ชัดเจน และเข้าใจถูกต้อง มาตรฐานของสัญลักษณ์ด้านไฟฟ้าที่ประเทศไทยคุ้นเคยและใช้งานทั่วไปก็มี ดังนี้

1. สัญลักษณ์มาตรฐานการออกแบบของประเทศเยอรมัน : DIN (Deutsches Institute Fur Normung)

2. สัญลักษณ์มาตรฐานทางไฟฟ้านานาชาติของทวีปยุโรป : IEC (International Electechnical Commission)

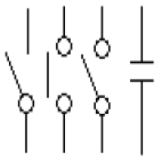
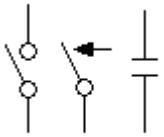
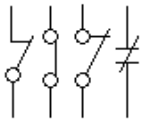
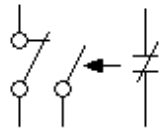
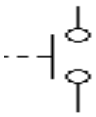
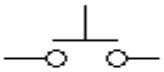
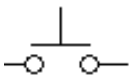
3. สัญลักษณ์มาตรฐานการออกแบบของประเทศสหรัฐอเมริกา : ANSI (American National Standard Institute)

4. สัญลักษณ์มาตรฐานระบบของหน่วยมาตรฐานนานาชาติ : SI (System International of Unit)

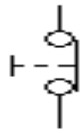
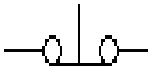
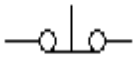
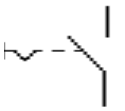
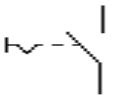
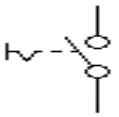
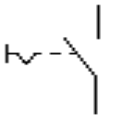
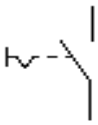
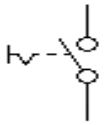
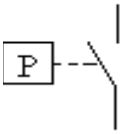
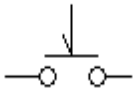
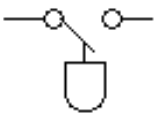
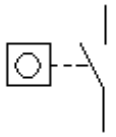
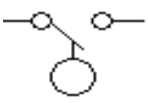
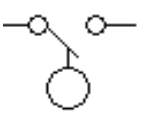
2. สัญลักษณ์ตามมาตรฐานของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า

ในงานควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าหรือโดยทั่วไปเรียกว่าการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า จะมีการ ออกแบบวงจรไฟฟ้าที่ใช้สั่งงานให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเช่น การควบคุมการหมุนปกติ การกลับ ทิศทางหมุน การสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานเรียงลำดับ การให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานหรือหยุดการ ทำงานแบบอัตโนมัติ การควบคุมการเริ่มเดินของมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ เป็นต้น ผู้ออกแบบ วงจรไฟฟ้าจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ตามมาตรฐานต่างๆ เป็นอย่างดี

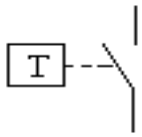
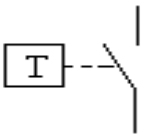
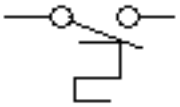
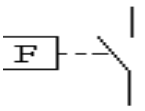
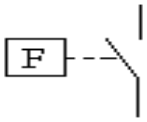
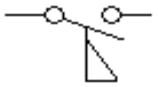
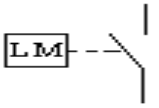
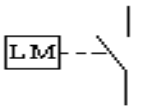
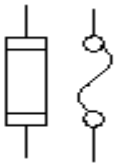
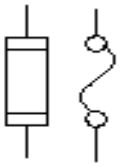
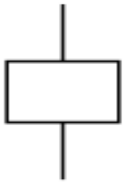
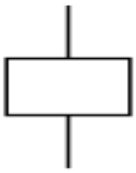
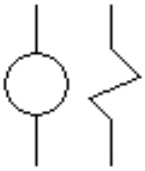
ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน DIN, IEC, ANSI

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
หน้าสัมผัสปกติเปิด Normally Open (NO)			
หน้าสัมผัสปกติปิด Normally Close (NC)			
สวิตช์ปุ่มกดปกติเปิด (NO)			

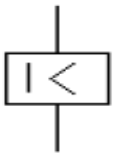
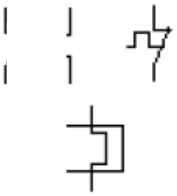
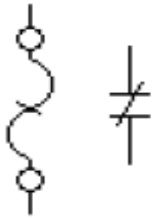
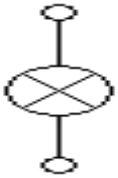
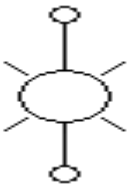
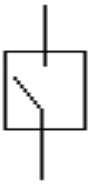
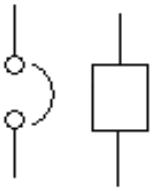
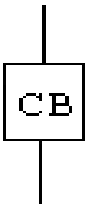
ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน DIN, IEC, ANSI (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
สวิตช์ปุ่มกดปกติปิด (NC)			
สวิตช์ปุ่มกด หน้าสัมผัสค้าง			
สวิตช์ปุ่มกด หน้าสัมผัสค้าง			
สวิตช์ความดัน (ควบคุมความดัน)			
สวิตช์ลูกลอย (ควบคุมระดับของเหลว)			

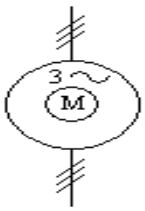
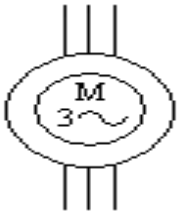
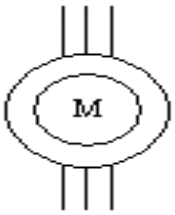
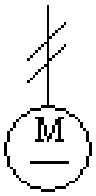
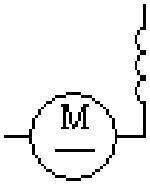
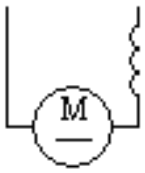
ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน DIN, IEC, ANSI (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
สวิตช์ทำงานด้วยความร้อน			
โฟลสวิตช์ (ควบคุมการไหล)			
ลิมิตสวิตช์ (ควบคุมระยะทาง)			
ฟิวส์			
คอยล์ของสวิตช์ แม่เหล็ก หรือ คอยล์รีเลย์			

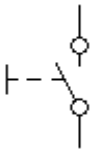
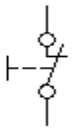
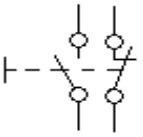
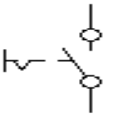
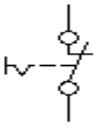
ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน DIN, IEC, ANSI (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
ปลดหรือทริปด้วยแม่เหล็ก			
โอเวอร์โหลดรีเลย์ทริปด้วยความร้อน			
หลอดสัญญาณ			
เซอร์กิตเบรกเกอร์			

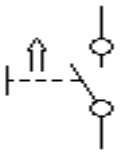
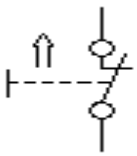
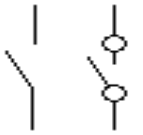
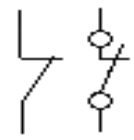
ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน DIN, IEC, ANSI (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	DIN	IEC	ANSI
มอเตอร์ แบบวาวด์โรเตอร์			
มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบกรงกระรอก			
มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงแบบซีรีส์ มีขดลวดอินเตอร์โปล บนอาเมเจอร์			

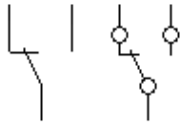
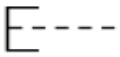
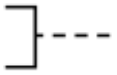
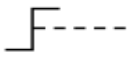
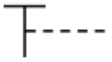
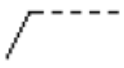
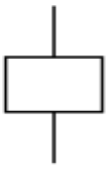
ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน SI

ชนิดอุปกรณ์	**สัญลักษณ์มาตรฐาน SI**
สวิตช์ปุ่มกดปกติเปิด (NO)	
สวิตช์ปุ่มกดปกติปิด (NC)	
สวิตช์ปุ่มกด 1 NO, 1NC ทำงานพร้อมกัน	
สวิตช์ปุ่มกดล็อกได้ปกติเปิด (NO)	
สวิตช์ปุ่มกดล็อกได้ปกติปิด (NC)	

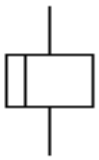
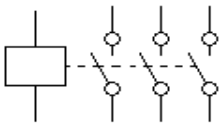
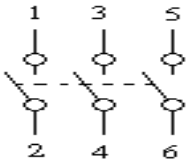
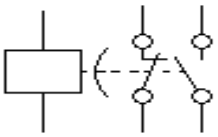
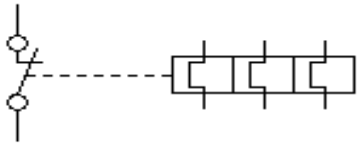
ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน SI (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	**สัญลักษณ์มาตรฐาน SI**
แสดงสภาวะอุปกรณ์ กำลังทำงาน	
สวิตช์ปุ่มกดปกติปิด (NC) ขณะทำงานแล้ว	
สวิตช์ปุ่มกดปกติเปิด (NO) ขณะทำงานแล้ว	
คอนแทคเปิด	
คอนแทคปิด	

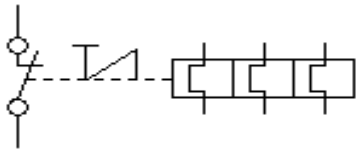
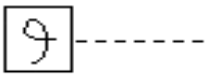
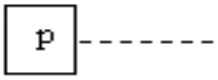
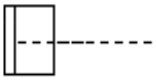
ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน SI (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	**สัญลักษณ์มาตรฐาน SI**
คอนแทค 2 ทาง	
ทำงานด้วยมือ (ทั่วไป)	
ทำงานด้วยการกดลง	
ทำงานด้วยการดึงขึ้น	
ทำงานด้วยการหมุน	
ทำงานด้วยการผลัก	
ทำงานด้วยเท้า	
คอยล์รีเลย์ทั่วไป หรือคอยล์คอนแทคเตอร์	

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน SI (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	สัญลักษณ์มาตรฐาน SI
คอยล์รีเลย์แบบพิเศษ	
คอยล์รีเลย์พร้อมคอนแทค ปกติเปิด (NO) 3ขั้ว ทำงานพร้อมกัน	
คอนแทคเมน ใช้ในวงจรกำลัง	
รีเลย์ตั้งเวลา	
โอเวอร์โหลดรีเลย์แบบธรรมดา	

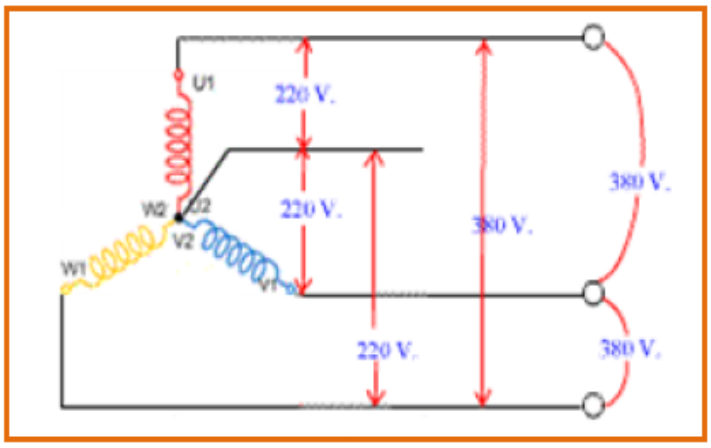
ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ามาตรฐาน SI (ต่อ)

ชนิดอุปกรณ์	สัญลักษณ์มาตรฐาน SI
โอเวอร์โหลดรีเลย์แบบมี Reset	
อุปกรณ์ควบคุมด้วยอุณหภูมิ	
อุปกรณ์ควบคุมด้วยความดัน	
อุปกรณ์ควบคุมด้วยลูกสูบ	

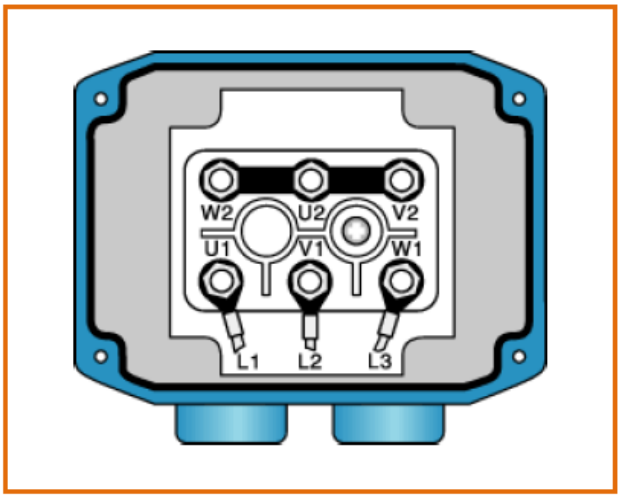
การต่อมอเตอร์สามเฟส ใช้งานมีการต่อ 2 แบบ คือ

1. การต่อแบบสตาร์ หรือแบบวายน์ (Star or Wye or Y Connection)
2. การต่อแบบเดลต้า หรือสามเหลี่ยม (Delta or Δ Connection)

การต่อแบบสตาร์นั้นให้นาเอาปลายสายของขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C กล่าวคือการนา U2 , V2 และ W2 มาต่อรวมเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 19 จุดต่อนี้เรียกว่า Star point การต่อแบบสตาร์นั้นจะทาให้แรงดันตกคร่อมขดลวดต่ำกว่าสายจ่าย $= \frac{1}{\sqrt{3}}$ หรือเท่ากับ 0.577 ดังนั้น การต่อขดลวดมอเตอร์แบบสตาร์จึงเป็นการต่อเพื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้าสูง เช่น แรงดัน 380 โวลต์



รูปที่ 2.38 วงจรเทียบเคียงของการต่อขดลวดแบบสตาร์

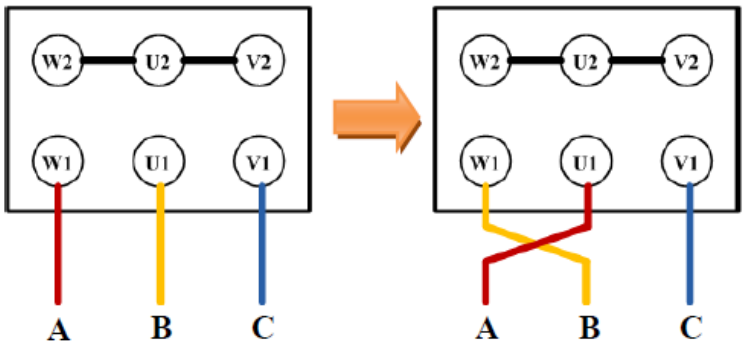


รูปที่ 2.39 การต่อหลักต่อสายแบบสตาร์ในกล่องต่อสายของมอเตอร์ 3 เฟส

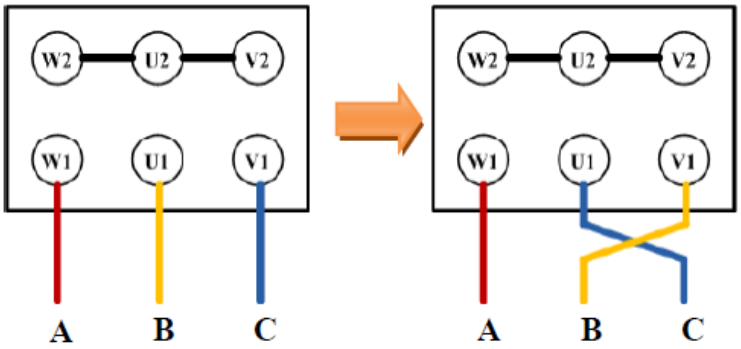
รูปที่ 2.40 การต่อหลักต่อสายแบบสตาร์ที่มอเตอร์

การกลับทิศทางหมุน

ในการต่อสายมอเตอร์สามเฟสเพื่อให้มอเตอร์หมุนกลับทางนั้นสามารถกระทำได้ง่าย ๆ ดังนี้ คือ ถ้าแต่เดิมปลายสายของขดลวดเฟส A เฟส B และเฟส C เข้ากับแรงดันไฟฟ้า เฟส A เฟส B และเฟส C ตามลำดับ มอเตอร์สามเฟสตัวนั้นก็จะหมุนไปในทิศทางหนึ่ง เพื่อที่จะกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้สลับปลายสายของขดลวดเฟส A กับเฟส B หรือสลับปลายสายขดลวดเฟส B กับเฟส C หรือ สลับปลายสายของขดลวดเฟส A กับเฟส C เพียงคู่ใดคู่เดียว มอเตอร์ก็จะหมุนกลับทางอย่าต่อสลับปลายสายพร้อมกันทั้งสามปลายในเวลาเดียวกัน เพราะจะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางเดิมอีก

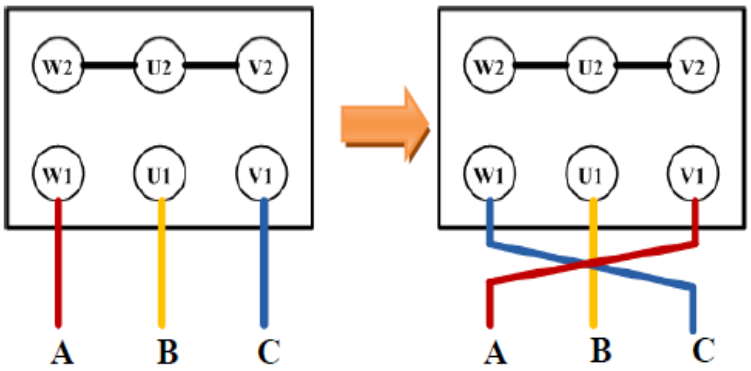


ก. สลับปลายสายของขดลวดเฟส A กับเฟส B



ข. สลับปลายสายของขดลวดเฟส B กับเฟส C

รูปที่ 2.41 แสดงการสลับขั้วสายเพื่อกลับทางหมุนของมอเตอร์ที่ต่อแบบสตาร์

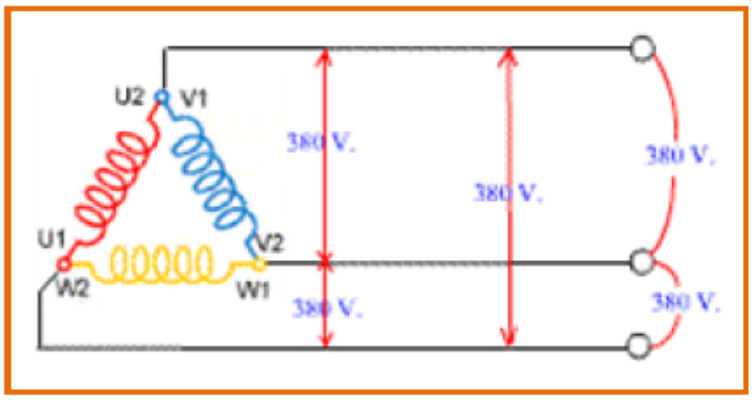


ค. สลับปลายสายของขดลวดเฟส A กับเฟส C

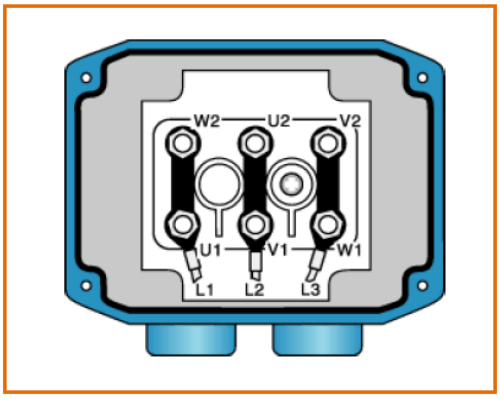
รูปที่ 2.41 แสดงการสลับขั้วสายเพื่อกลับทางหมุนของมอเตอร์ที่ต่อแบบสตาร์ (ต่อ)

วงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบเดลต้า

ส่วนการต่อแบบเดลต้าสามารถกระทาได้โดย นาปลายสายของเฟส A (U2) ต่อเข้ากับต้นของเฟส B (V1) และนาปลายสายของเฟส B (V2) ต่อเข้ากับต้นของเฟส C (W1) สุดท้ายให้นาปลายของเฟส C (W2) ต่อเข้ากับต้นของเฟส A (U1) การต่อแบบเดลต้านั้นจะทาให้แรงดันตกคร่อมขดลวดเท่ากับแรงดันของสายจ่าย ส่งผลให้การต่อขดลวดมอเตอร์แบบเดลต้าเป็นการต่อเพื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้าต่ำ เช่น 220 โวลต์



รูปที่ 2.42 วงจรเทียบเคียงของการต่อขดลวดแบบเดลต้า

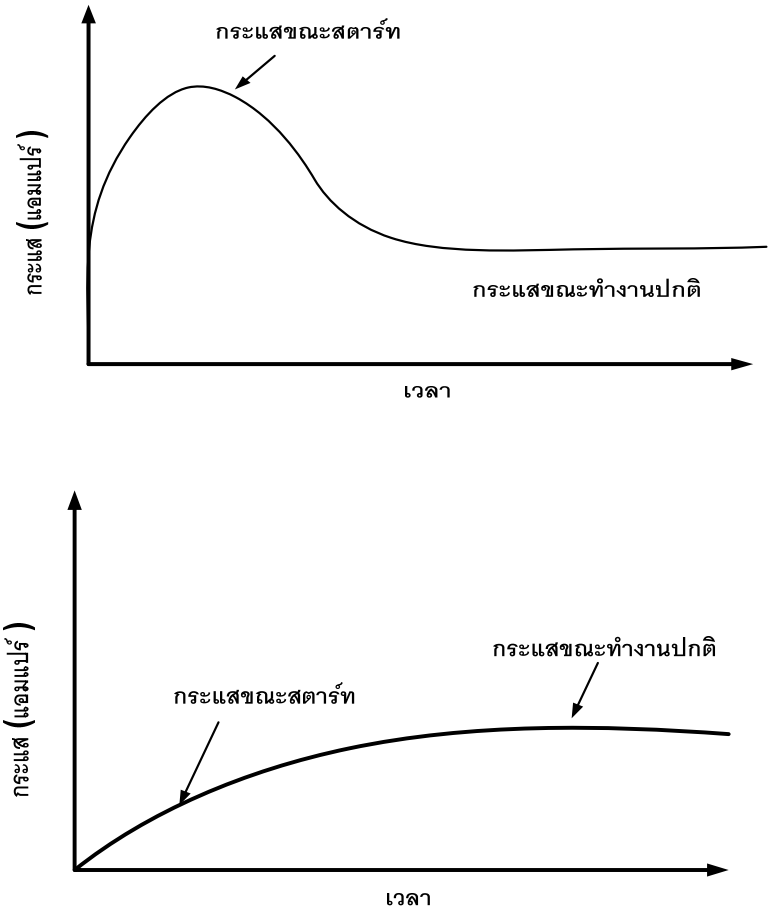


รูปที่ 2.43 การต่อหลักต่อสายแบบเดลต้าในกล่องต่อสายของมอเตอร์ 3 เฟส

รูปที่ 2.44 การต่อหลักต่อสายแบบเดลต้าที่มอเตอร์

การสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีลดแรงดัน (Reduced Voltage stater)

การสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ด้วยวิธีลดแรงดันนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดกระแสขณะสตาร์ทให้ต่ำลงโดยต่อกับโหลดที่มีขนาดเหมาะสม ตามปกติการสตาร์ทมอเตอร์แบบโรเตอร์กรงกระรอก จะใช้กระแสสตาร์ทสูงประมาณ 5-8 เท่า ของกระแสโหลดเต็มพิกัดค่ากระแสนี้จะใช้ผลหารของแรงดันไฟฟ้าต่อค่าอิมพีแดนซ์รวมของมอเตอร์ ขณะหยุดนิ่ง ดังนั้นถ้าลดแรงดัน50% จะทำให้แรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์ลดเหลือเพียง 25 % ของแรงบิดเต็มพิกัดเท่านั้น ดังนั้นการสตาร์ทด้วยวิธีลดแรงดันไฟฟ้า จึงไม่ควรต่อมอเตอร์ไว้กับโลดหนัก ๆ ก่อนสตาร์ท ถ้าแรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้นมามีค่าน้อยกว่าแรงบิดโหลด มอเตอร์จะไม่สามารถสตาร์ทได้ ดังนั้นการสตาร์ทด้วยวิธีลดแรงดันไฟฟ้าจึงเหมาะสำหรับมอเตอร์ที่ใช้หมุนขับโหลดเบา ๆ หรือไม่มีโหลดเลย เช่นพัดลม โบลเวอร์ และปั๊มแรงเหวี่ยง เป็นต้น



รูปที่ 2.45 กระแสสตาร์ทมอเตอร์

การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า

การสตาร์ทมอเตอร์แบบโรเตอร์กรงกระรอก โดยต่อเข้ากับแหล่งจ่ายโดยตรง กระแสสตาร์ทของมอเตอร์จะมีค่าสูงมาก ประมาณ 5-8 เท่าของกระแสพิกัด ซึ่งกระแสนี้อาจจะทำให้เกิดผลเสียกับระบบไฟฟ้าได้เช่น ไฟกระพริบ แรงดันไฟฟ้าตก เป็นต้น ฉะนั้นการลดแรงดันขณะสตาร์ท เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดกระแสขณะสตาร์ทได้เป็นอย่างดี คือวิธีการสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า ซึ่งเป็นวิธีเริ่มเดินมอเตอร์ที่ง่ายที่สุดและประหยัด ปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้วิธีดังกล่าว การสตาร์มอเตอร์แบบนี้ที่แผ่นป้ายประจำเครื่อง (Name plate) จะต้องระบุพิกัดของแรงดันไฟฟ้าให้ตรงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วย เช่น 220/380 V .Δ/Y จะต้องใช้กับระบบไฟฟ้า3 เฟสที่มีกัดแรงดัน 220 V หรือ 220/380 V .Δ/Y จะต้องใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส ที่มีพิกัดแรงดัน 380 V เป็นต้น

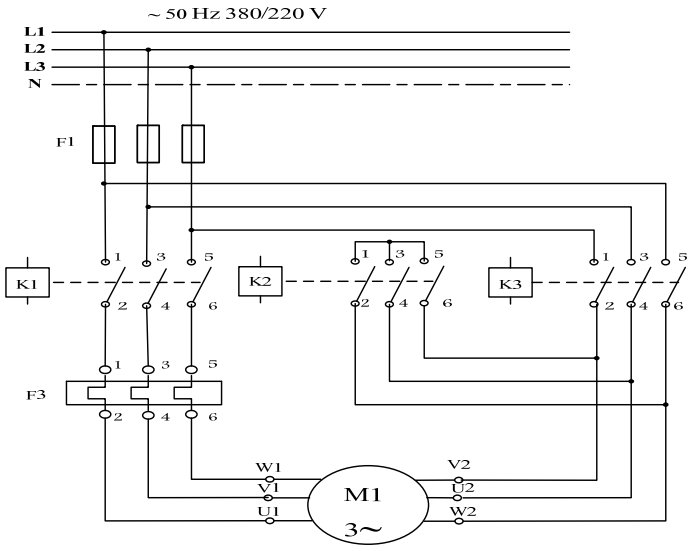
การสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์ เดลต้า ด้วยคอนแทคเตอร์

การสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบสตาร์ เดลต้า ด้วยคอนแทคเตอร์ มี 2 แบบ คือ

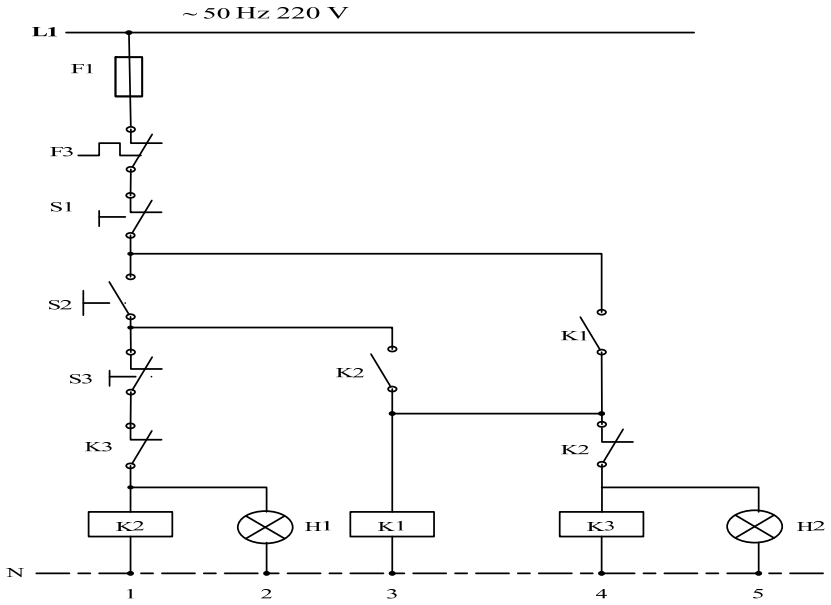
ก. วงจรควบคุมด้วยมือ (Manual control)

ข. วงจรควบคุมอัตโนมัติด้วยรีเลย์ตั้งเวลา (Automatic control)

ก. วงจรควบคุมด้วยมือ



รูปที่ 2.46 วงจรกำลังการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบสตาร์ เดลต้า



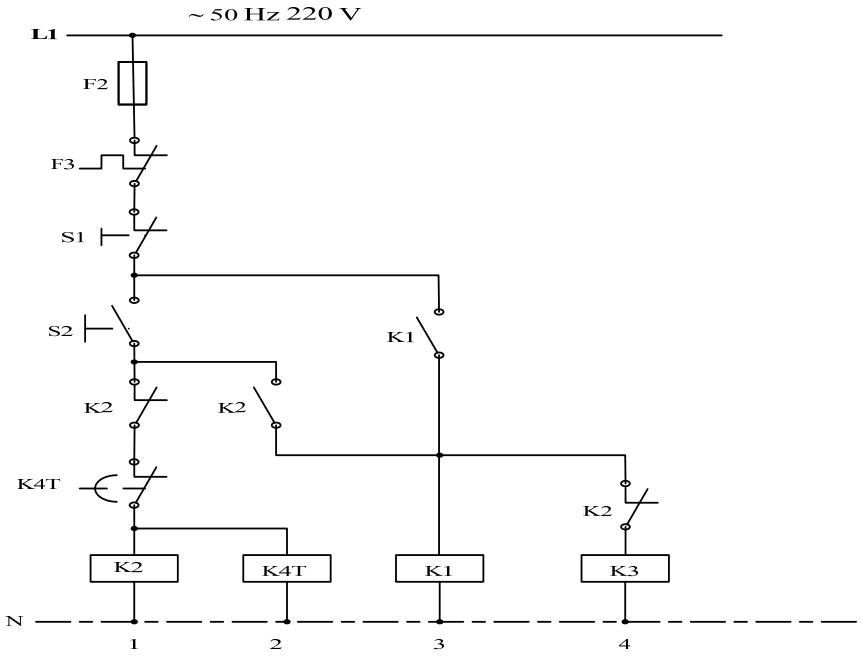
รูปที่ 2.47 วงจรควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบสตาร์ เดลต้า แบบควบคุมด้วยมือ

รายการอุปกรณ์

F1 ฟิวส์กำลัง	S1 สวิตช์ปุ่มกด “ หยุด”	K2 สตาร์คอนแทคเตอร์
F2 ฟิวส์วงจรควบคุม	S2 สวิตช์ปุ่มกด “ สตาร์”	K3 เดลต้าคอนแทคเตอร์
F3 โอเวอร์โหลดรีเลย์	S3 สวิตช์ปุ่มกด “ เดลต้า”	
M1 มอเตอร์ 3 เฟส	K1 เมนคอนแทคเตอร์	

การ ทำงานของวงจร เมื่อกดสวิตช์ปุ่มกด S2 ทำให้ K2 (สตาร์คอนแทคเตอร์) ทำงาน คอนแทค ช่วยปกติปิด ของ K2 ในแถวที่ 3 จะตัดวงจร K3 ขระเดียวกันคอนแทคปกติเปิดของ K2 ในแถวที่ 2 ต่อวงจรให้ K1 (เมนคอนแทค) ทำงาน หลังจาก K1 ทำงานและปล่อย S2 คอนแทคช่วยปกติเปิดของ K1 ในแถวที่ 3 จะต่อวงจรให้ K1 และ K2 หยุดำงาน คอนแทคช่วยปกติปิดของ K2 ในแถวที่ 3 จะกลับสู่สภาพเดิมจึงต่อวงจรให้ K3 (เดลต้าคอนแทคเตอร์) ทำงานคอนแทคปกติปิดของ K3 ในแถวที่ 1 จะตัดวงจร K2 ขณะนี้มอเตอร์ต่อแบบเดลต้า เมื่อต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุน ให้กดสวิตช์ S1

ข. วงจรควบคุมอัตโนมัติด้วยรีเลย์ตั้งเวลา วงจรที่ 1



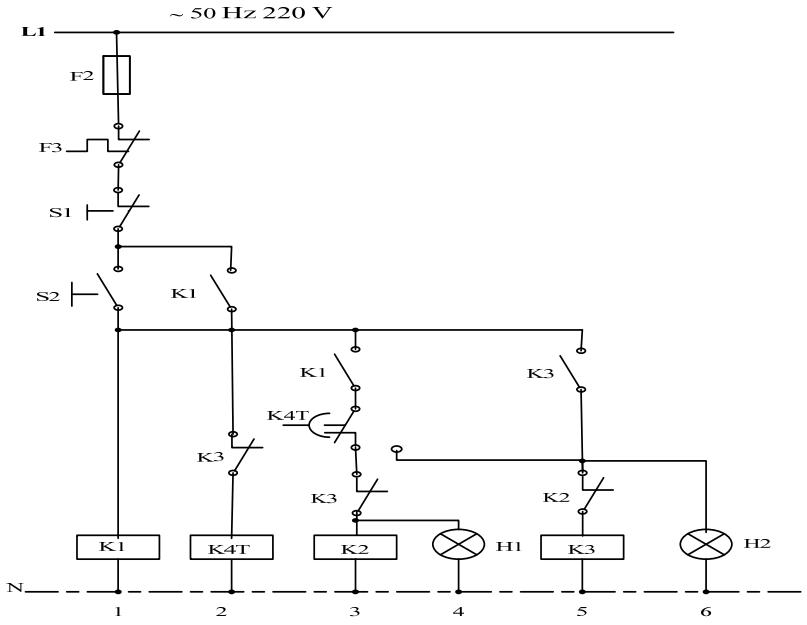
รูปที่ 2.48 วงจรควบคุมการสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสแบบสตาร์ เดลต้า

รายการอุปกรณ์

F1 ฟิวส์กำลัง	S1 สวิตช์ปุ่มกด “ หยุด”	K2 สตาร์คอนแทคเตอร์
F2 ฟิวส์วงจรควบคุม	S2 สวิตช์ปุ่มกด “ สตาร์”	K3 เดลต้าคอนแทคเตอร์
F3 โอเวอร์โหลดรีเลย์	S3 สวิตช์ปุ่มกด “ เดลต้า”	K4T รีเลย์ตั้งเวลา
M1 มอเตอร์ 3 เฟส	K1 เมนคอนแทคเตอร์	

การทำงานของวงจร เมื่อกดปุ่มสวิตช์ ปุ่มกด S2 ทำให้สตาร์คอนแทคเตอร์ K2 และรีเลย์ตั้งเวลา K4T ทำงาน คอนแทคช่วยปกติปิดของ K2ในแถวที่ 4 จะตัดวงจรของ K3 และคอนแทคช่วยปกติเปิดของ K2 ในแถวที่ 2 จะต่อวงจรให้เมนคอนแทคเตอร์ K1 ทำงานหลังจาก K1ทำงานและปล่อย S2 แล้วคอนแทคช่วยปกติเปิดของ K1ในแถวที่ 3 จะต่อให้วงจรK1 , K2 และ K4T ทำงานได้ตลอดเวลา ขณะนี้มอเตอร์หมุนทำงานแบบสตาร์ หลังจากครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ คอนแทคปกติ ปิดของ K4T ในแถวที่ 1 จะตัดวงจรของ K2 และ K4T และคอนแทคช่วยปกติปิดของ K2 ในแถวที่ 4 จะกลับสู่สภาวะเดิม จึงต่อวงจรให้เดลตา คอนแทคเตอร์ K3 ทำงานคอนแทคช่วยปกติปิดของ K3 ในแถวที่1จะตัดวงจรทั้ง K2 และ K4t ขณะนี้มอเตอร์หมุนทำงานแบบเดลตา เมื่อต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุน ให้กดปุ่ม S1

ค. วงจรควบคุมอัตโนมัติด้วยรีเลย์ตั้งเวลา วงจรที่ 2

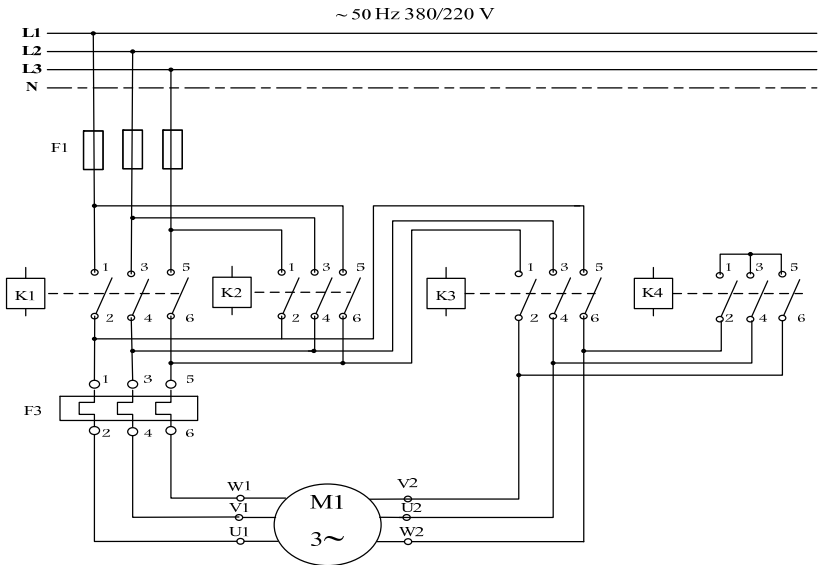


รูปที่ 2.49 วงจรควบคุมการควบคุมอัตโนมัติด้วยรีเลย์ตั้งเวลา

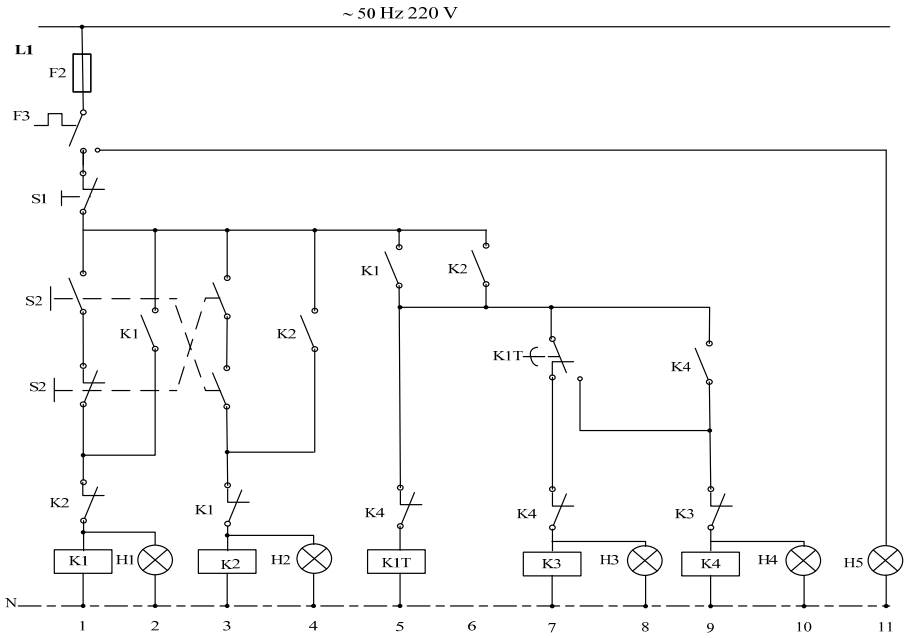
F1 ฟิวส์กำลัง	S1 สวิตช์ปุ่มกด “ หยุด”	K2 สตาร์คอนแทคเตอร์
F2 ฟิวส์วงจรควบคุม	S2 สวิตช์ปุ่มกด “ สตาร์”	K3 เดลต้าคอนแทคเตอร์
F3 โอเวอร์โหลดรีเลย์	S3 สวิตช์ปุ่มกด “ เดลต้า”	K4T รีเลย์ตั้งเวลา
M1 มอเตอร์ 3 เฟส	K1 เมนคอนแทคเตอร์	H1และ H2 หลอดสัญญาณ

การทำงานของวงจร เมื่อกดสวิตช์ปุ่มกด S2 ทำให้เมนคอนแทค K1 และรีเลย์ตั้งเวลา K4T ทำงาน คอนแทคช่วยปกติเปิด ของ K1ในแถวที่ 3 จะต่อวงจรให้สตาร์คอนแทคเตอร์ K2 และหลอดสัญญาณ H1 ทำงานคอนแทคช่วยปกติปิดของ K2 ในแถวที่ 5 จะตัดวงจรของ K3 หลังจาก K2 ทำงานและปล่อย S2 แล้ว คอนแทคช่วยปกติเปิดของ K1 ในแถวที่ 2 จะต่อวงจรให้K1 , K4T และ K2 ทำงานได้ตลอดเวลา ขณะนี้มอเตอร์ทำงานและสตาร์ท หลังจากครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ คอนแทคช่วยปกติปิดของ K4T ในแถวที่ 3 จะตัดวงจรสตาร์คอนแทคเตอร์ ของ K2ออก (คอนแทคช่วยปกติปิดของ K2 ในแถวที่5 จะกลับสู่สภาวะเดิม) ไปต่อวงจรให้เดลตาคอนแทคเตอร์ K3 ทำงานคอนแทคช่วยปกติปิดของ K3 ในแถวที่ 2 และ 3 จะตัดวงจร K4 T และ K2 ออกจากวงจร ขณะนี้มอเตอร์ หมุนทำงาน แบบเดลต้า เมื่อต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนให้กดที่ปุ่ม S 1

ง. วงจรควบคุมอัตโนมัติด้วยรีเลย์ตั้งเวลาพร้อมกลับทางหมุน



รูปที่ 2.50 วงจรกำลังการควบคุมอัตโนมัติด้วยรีเลย์ตั้งเวลาพร้อมกลับทางหมุน



รูปที่ 2.51 วงจรควบคุมการควบคุมอัตโนมัติด้วยรีเลย์ตั้งเวลาพร้อมกลับทางหมุน

F1 ฟิวส์กำลัง S1 สวิตช์ปุ่มกด " หยุด" K2 REVERSE คอนแทคเตอร์

F2 ฟิวส์วงจรควบคุม S2 สวิตช์ปุ่มกด " FORWARD" K3 เดลต้าคอนแทคเตอร์

F3 โอเวอร์โหลด รีเลย์ S3 สวิตช์ปุ่มกด " REVERSE" K4 สตาร์คอนแทคเตอร์

M1 มอเตอร์ 3 เฟส K1 FORWARD คอนแทคเตอร์ K1T รีเลย์ตั้งเวลา

H1, H2 , H3, H4 , H5 หลอดสัญญาณ

การทำงานของวงจร วงจรนี้เป็นการกลับทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส พร้อมเริ่มเดิน สตาร์เดลต้า การควบคุมแบบนี้จะเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับมอเตอร์ มากยิ่งขึ้น หากมอเตอร์นั้นมีพิกัดกำลังสูงมาก ในวงจรนี้จะกลับทางหมุนมอเตอร์ได้ จะต้องหยุดมอเตอร์เสียก่อน หลักการคือจะใช้คอนแทคช่วยปกติเปิด ของ K1 และ K2 ที่ Interlock contact กลับสู่สภาวะปกติเสียก่อน การต่อให้วงจรเป็นแบบสตาร์ เดลต้า นั้น จะใช้คอนแทคปกติเปิด ของ K1 และ K2 เป็นตัวต่อให้ทำงาน

เมื่อกด S2 กระแสไฟฟ้า ไหลจากไลน์ L1 ผ่านฟิสวส์ F1 โอเวอร์โหลด F3 สวิตช์ ปุ่มกด S2 ผ่านคอนแทคปกติปิด สวิตช์ S3 เข้าคอนแทคช่วยปกติของ K2 เข้า คอยล์ K1 และหลอดสัญญาณ H1 ทำให้คอนแทคเตอร์ K1 ทำงาน และหลอด H1 ติด ขณะเดียวกันคอนแทคช่วยปกติเปิดของ K1 ทำให้คอนแทคเตอร์ K1 และ H1 ติด ขณะเดียวกันคอนแทคช่วยปกติเปิดของ K1 ปิดวงจรในแถวที่ 2 และแถวที่5 กระแสไหลผ่านไปยังคอนแทคเตอร์ช่วยปกติปิดของ K4 และK1T ทำให้คอยล์ K3 และ K1T ทำงานด้วย เมื่อคอนแทคเตอร์ K3 ทำงานมอเตอร์ จะต่อและทำงานเป็นแบบสตาร์ ขณะนี้แม้ว่าจะ

วางมือจาก S2 แล้ว ทั้ง K1 , K3 และ K5 T ยังคงทำงานอยู่ โดยกระแสไฟฟ้าผ่านคอนแทคช่วยปกติเปิดของ K1 หลังจากนั้นตามระยะเวลาที่ตั้งไว้ ของ K1T คอนแทคปกติเปิดของ K1T ในแถวที่6 จะเปิดวงจรไฟฟ้า ทำให้คอยล์ K3 ถูกตัดออกจากวงจร ขณะเดียวกันคอนแทคเปิดของ K1T จะปิดวงจร กระแสไฟฟ้าจึงไหลเข้าคอยล์ K4 ได้โดยผ่านคอนแทคช่วยปกติปิดของ K3 ในแถวที่ 7 และผ่านช่วยปกติเปิดของK1 ในแถวที่5 ทำให้คอยล์K4 ครบวงจร ทำให้ K4 ทำงาน มอเตอร์หมุนแบบเดลต้า และหมุนขวา เมื่อกดสวิตช์ S1 มอเตอร์หยุดหมุน

ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนซ้าย (Reverse) ทำได้โดยการกด สวิตช์ S3 กระแสไฟฟ้า จะไหลผ่านไลน์ L1 ผ่านฟิวส์ F1 โอเวอร์โหลด F3 สวิตช์ S1 และคอนแทคปกติปิด ของ สวิตช์ S2 และคอนแทคช่วยปกติปิดชอง K1 ไปยังคอยล์ K2 และหลอด H2 ครบวงจรไฟฟ้า คอยล์ K2 และหลอดH2 จะติดคอนแทคเตอร์ K2 ทำงานคอนแทคช่วยปกติเปิดของ K2 ในแถวที่4 และแถวที่ 6 ปิดวงจร ทำให้คอยล์ K3 และ K5T ทำงานด้วย มอเตอร์จึงหมุนซ้ายด้วยการต่อแบบสตาร์ หลังจากถึงเวลาที่ตั้งไว้ ของ K5T คอนแทคปกติปิดของ K5T จะปิดวงจร และคอนแทคปกติเปิดจะปิดวงจร ทำให้คอยล์ K3 ถูกตัดออก และ คอยล์ K4 ครบวงจร โดยกระแสจะไหลจากคอนแทคเตอร์ปกติเปิดของ K2 ไปยังคอนแทคปกติเปิดของ K5T และคอนแทคช่วยปกติปิดของ K3 จึงทำให้มอเตอร์หมุนซ้ายด้วยการต่อแบบเดลต้า ถ้าต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุน ก็กดสวิตช์ S1 หยุดการทำงานของวงจร

2.6 การสร้างเครื่องมือในการวัดและประเมินผล

การตรวจสอบความรู้ของผู้เรียนที่ได้รับจากการเรียนการสอนแบบทดลองเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินผล โดยภาพรวมของการวิจัยซึ่งมีความต้องการแบบทดสอบหรือเครื่องมือวัดผลที่ดี มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด โดยจากการอธิบายของ สุมาลี จันทร์ชลอ [20] ที่ว่า การวัดและประเมินผล (Measurement and Evaluation) เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากการเรียนการสอน แต่ต้องมีความสัมพันธ์ และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และกับการเรียนการสอน กล่าวคือ การวัดผลต้องวัดจากวัตถุประสงค์การเรียน และวัดในสิ่งที่ผู้สอนได้จัดกิจกรรมการเรียนการสอน ผลจากการวัดจะให้ข้อมูลแก่ผู้สอนและบุคคลที่เกี่ยวข้องเพื่อการปรับปรุงแก้ไขกิจกรรมการเรียนการสอนและเพื่อให้ทราบว่าผู้เรียนบรรลุตามวัตถุประสงค์เพียงใดในขณะเดียวกันวัตถุประสงค์และกิจกรรมการเรียนการสอนก็เป็นสิ่งกำหนดรูปแบบของการวัดให้เหมาะสมด้วย สุมาลี ยังได้กล่าวถึง การสร้างแบบทดสอบให้มีคุณภาพว่า ผู้สอนต้องเข้าใจทั้งจุดประสงค์ และเนื้อหาที่จะวัดต้องรู้ถึงกระบวนการคิดในการปฏิบัติ รู้ระดับความสามารถของผู้เรียน ความสามารถในการอ่านและการใช้ศัพท์ของผู้สอบ รู้จักลักษณะเด่นและข้อบกพร่องของข้อสอบแต่ละชนิดเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสม ซึ่งมีข้อควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ข้อสอบควรใช้ประเมินจุดประสงค์ที่สำคัญของการสอนที่สามารถสอบวัดได้โดยใช้แบบทดสอบข้อเขียน

2. ข้อสอบควรสะท้อนให้เห็นทั้งวัตถุประสงค์ที่เป็นเนื้อหา และจุดประสงค์ที่เป็นกระบวนการสำคัญ ที่เน้นในหลักสูตร

3. ข้อสอบควรสะท้อนให้เห็นถึงจุดประสงค์ในการวัด เช่น วัดประเมินความแตกต่างระหว่างบุคคล หรือวัดเพื่อแยกแยะผู้ที่ได้เรียนรู้

4. ข้อสอบควรมีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้อ่าน และมีความยาวที่พอเหมาะ จากความสำคัญของการวัด และประเมินผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหลักการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดังนี้

ระดับของจุดประสงค์การศึกษาตาม Taxonomy ของบลูม (Bloom's Taxonomy) จุดประสงค์ของการสอนแบ่งเป็น 3 โดเมนหลัก ได้แก่

1. ด้านความรู้ความคิด (Cognitive Domain) เป็นจุดประสงค์ที่เกี่ยวกับการระลึก หรือนึกถึงสิ่งที่เรียนไปแล้วได้ และพัฒนาความสามารถทางเชาว์ปัญญาและทักษะต่าง ๆ

2. ด้านความรู้สึก (Affective Domain) เป็นจุดประสงค์เกี่ยวกับความสนใจ ทัศนคติ ค่านิยม และพัฒนาการของความซาบซึ้ง

3. ด้านทักษะการปฏิบัติการ (Psychomotor Domain) เป็นจุดประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวร่างกาย หรือการปฏิบัติทักษะต่าง ๆ

2.6.1 การสร้างแบบทดสอบในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การวัดและประเมินผลของการศึกษาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของการศึกษานี้ เพราะนอกจากการวัดผลและการประเมินผลช่วยให้ทั้งครูและนักเรียน รวมทั้งผู้บริหารการศึกษาทราบว่าการเรียนการสอนได้มีผลตามความคาดหวังหรือไม่แล้ว การวัดและประเมินผลเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อชีวิตของนักเรียนทั้ง ปัจจุบันและอนาคต ผลจากการประเมินผลจะบอกให้นักเรียนทราบว่าตนเก่งปานกลางหรืออ่อนเมื่อเปรียบเทียบกับนักเรียนอื่น ๆ ในห้อง [19] แบบทดสอบ คือ เครื่องมือวัดผลทางการศึกษาที่สำคัญและใช้มากที่สุดในด้านการศึกษา ซึ่งเป็นชุดคำถามหรือกลุ่มงานใด ๆ ที่สร้างขึ้นแล้วนำไปเร้าเด็กให้แสดงพฤติกรรมออกมา โดยผู้สอนสามารถสังเกตและวัดได้หลังจากการเรียนการสอนสิ้นสุดลงแล้วจำเป็นต้องมีการวัดและประเมินผลดูว่าผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์ของการเรียนที่วางไว้หรือไม่เพียงใด [20]

การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง [31] หาจากสัดส่วนของผู้ทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน แต่ละบทและแบบทดสอบเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (หลังเรียน) จากสูตร

$$E_1 = \frac{\left(\frac{\sum x}{N}\right)}{A} \times 100 \qquad \text{และ} \qquad E_2 = \frac{\left(\frac{\sum F}{N}\right)}{B} \times 100$$

เมื่อ

E_1 = ประสิทธิภาพของขบวนการที่วัดได้ในใบงานการทดลอง คิดเป็นร้อยละจากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียน

E_2 = ประสิทธิภาพของแบบทดสอบหลังเรียนคิดเป็นร้อยละ(ประสิทธิภาพของผลลัพธ์หรือพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงในตัวผู้เรียนหลังจากเรียนด้วยชุดทดลอง)

$\sum x$ = คะแนนรวมของแบบทดสอบระหว่างเรียนที่นักเรียนทำได้

$\sum F$ = คะแนนรวมของแบบทดสอบหลังเรียนที่นักเรียนทำได้

A = คะแนนเต็มของแบบทดสอบระหว่างเรียน

B = คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

N = จำนวนนักเรียน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาสื่อการทดลองและใบงานประกอบการทดลองรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนในวิชาทางด้านดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ คือ

มนัส บุญเทียนทอง [32] ได้ทำการพัฒนาและหาประสิทธิภาพ ชุดประลองการควบคุมมอเตอร์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางเรียน ของชุดประลองที่พัฒนาขึ้นและชุดประลองเดิม โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา ที่เรียนรายวิชา เทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีการผลิต แผนกช่างโลหะงานรองโครงสร้างเหล็ก และแผนกช่างโลหะงานเชื่อม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ประกอบ จำนวน 30 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง จำนวน 15 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 15 คน โดยให้กลุ่มทดลองใช้ชุดประลองที่พัฒนาขึ้นและกลุ่ม ควบคุมใช้ชุดประลองที่มีอยู่เดิม หลังจากทดลองเสร็จ นักศึกษาทำแบบทดสอบท้ายใบประลอง ซึ่งชุดประลองที่ผู้วิจัย สร้างขึ้นใหม่ มีประสิทธิภาพ 80.11/85.00 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 80/80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชุดประลองที่พัฒนาขึ้นใหม่สูงกว่าชุดพัฒนาที่มีอยู่เดิม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

วรงค์ สมาน [29] ได้ สร้างชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ 3 เฟส เพื่อศึกษา ประสิทธิภาพชุดประลองการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส และเปรียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ประกอบการสอนวิชาการปฏิบัติการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้า ตามหลักสูตรประกาศนียบัตร วิชาชีพช่างไฟฟ้า สาขาช่างไฟฟ้ากรมอาชีวศึกษา ซึ่งกลุ่มทดลอง ครั้งนี้คือ นักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี ปีการศึกษา 2545 จำนวน 30 คน ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ เรียนด้วยชุดทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า มีประสิทธิภาพ ที่88.4/84.1 22 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ 80/80

เชษฐา เจริญสุข [30] ได้สร้างชุดทดลองการควบคุมลิฟต์ด้วยวงจรดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์เพื่อศึกษาคุณภาพของชุดทดลอง และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้เรียนโดยใช้ชุดทดลองเป็นสื่อในการเรียนการสอน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย (1) ชุดทดลองการควบคุมลิฟต์ด้วยวงจรดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์พร้อมใบงานประกอบการทดลอง 5 ใบงาน (2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (3) แบบสังเกตพฤติกรรมผู้ทดลอง (4) แบบสอบถามพึงพอใจของผู้เรียนด้วยชุดทดลอง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง ของวิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา จำนวน 30 คน กลุ่มตัวอย่างได้รับการสอบวัดก่อนและหลังการเรียนด้วยชุดทดลองเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยการทดสอบค่าที่ (t – test) และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองการสอนด้วยค่า E1/E2ผลการวิจัยพบว่าชุดการทดลองควบคุมลิฟต์ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 81 /78.11 ผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ.01 ผู้เรียนมีพฤติกรรมการปฏิบัติการทดลองอยู่ในเกณฑ์ดีและมีความพอใจที่ได้เรียนจากชุดทดลองอยู่ในระดับมากจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนทดลอง จะเห็นได้ว่ามีผู้ที่ทำการสร้างและพัฒนาบทเรียนหรือชุดทดลองและใบงานการทดลองเกี่ยวกับเนื้อหาทางดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งผลของการวิจัยพบว่าการสอนทดลองด้วยบทเรียนหรือชุดทดลองและใบงานทดลองที่สร้างและพัฒนาขึ้นมาใหม่ดังกล่าวนั้น จะทำให้ผู้เรียน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าผู้ที่ได้รับการสอนทดลองแบบปกติทั่วไป ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะสร้างและพัฒนาชุดทดลองเรื่องเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลด้วยดิจิตอลประยุกต์ เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนสำหรับรายวิชาดิจิตอลประยุกต์

เสกสรรต์ จั่นรัด [33] ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพ ของชุดประลอง เรื่องระบบนิวแมติกส์ ในรหัสวิชา 3100-0108 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นสูง กรมอาชีวศึกษา พุทธศักราช 2540 การวิจัยครั้ง นี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพ ชุดประลองระบบนิวส์แมติกส์ ในรหัสวิชา 3100-0108 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

กรมอาชีวศึกษา พุทธศักราช 2540 ซึ่งชุดประลองระบบนิวแมติกส์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการเรียน วิชานิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ ที่กำหนด 80/80 และหลังการเรียนนักศึกษาจะได้คะแนน ในวิชาที่เรียน เรื่องระบบนิวแมติกส์ ดีกว่า ก่อนเรียน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย คือ ชุดประลองที่ผู้วิจัย สร้างขึ้น ประกอบด้วยใบงาย เนื้อหา สื่อและใบประลอง จำนวนทั้งสิ้น 20 ใบประลองโดยนำไปใช้ทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง ที่เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีที่ 2 สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม จำนวน 18 คน เพื่อทดสอบหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้แบบทดสอบท้ายการประลอง แต่ละใบประลอง และแบบทดสอบรวมทุกใบประลอง และสร้างแบบสอบถามประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ความคิดเห็นของนักศึกษา เกี่ยวกับการสร้างใบประลอง มีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.66/87.22 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดและหลังจากประลองตามนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น .05 โดยใช้ t-test ส่วนด้านความเห็นจากแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญ และนักศึกษาอยู่ในเกณฑ์ดี

อุดม บุญเฮ้า [21] ได้ศึกษา สร้างชุดทดลองและศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการควบคุมสายพานลำเลียง ด้วย PLC ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้แก่นักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อคูณ ปริสุทโธ จำนวน 28 คน และกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยแบบสุ่มอย่างง่าย เป็นนักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นสูง ชั้นปีที่ 2วิทยาลัยเทคนิค หลวงพ่อคูณ ปริสุทโธ จำนวน 15 คน กลุ่มตัวอย่างได้รับการสอบ ก่อนและหลังเรียน ด้วยชุดทดลองเปรียบเทียบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ด้วย t –test และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพ ด้วย E1/E2 ผลการวิจัยพบว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.16/82.83 และผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญที่ .01

อภิเชษฐ์ อุตสาหไศย [22] ได้สร้างชุดฝึกมอเตอร์กระแสสลับ ควบคุม ด้วย PLC เพื่อทำการทดลองหาประสิทธิภาพ และและเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย (1) ได้สร้างชุดฝึกมอเตอร์กระแสสลับ ควบคุม ด้วย PLC พร้อมใบงานประกอบ การทดลอง 9 ใบงาน (2 แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางเรียน โดยประชากรกลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 3 สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนอาชีวะดอนบอสโกสุราษฎร์ จำนวน 19 คน และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยแบบ สุ่มอย่างง่าย เป็นนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่3 สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง โรงเรียน อาชีวะ ดอนบอสโก สุราษฎร์ จำนวน 19 คน ผลการศึกษา มีประสิทธิภาพ ร้อยละ 83.42/80.39 ซึ่งสูงกเกณฑ์กำหนดร้อยละ 80/80 ตามสมมติฐานของการวิจัย และผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางเรียนสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01