บทที่ 2

ระบบควบคุมลำดับ

ความเป็นมา

ตั้งแต่สมัยที่รีเลย์ถูกประดิษฐ์ขึ้นมา การควบคุมการทำงานแบบลำดับในอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร การควบคุมการประกอบ ตลอดจนการควบคุมการผลิตของโรงงาน ต่างก็ใช้วงจรรีเลย์เป็นตัวควบคุมแทบทั้งสิ้น การออกแบบวงจรรีเลย์มักจะเขียนเป็นแผนภาพ รูปแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมได้แก่แผนภาพแลดเดอร์ ซึ่งใช้แสดงเงื่อนไขการทำงานของวงจรรีเลย์แต่ละตัว แต่การใช้วงจรรีเลย์ในระบบควบคุมลำดับก็มีจุดอ่อนอยู่หลายประการ ได้แก่

1. ในการผลิตมักมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงขบวนการและสายการผลิตเสมอ ซึ่งจะทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงแก้ไขวงจรควบคุม การแก้ไขวงจรรีเลย์มักจะทำได้ยากต้องหยุดการผลิตใช้เวลาในการเดินสายไฟใหม่ และต้องพึ่งช่างไฟฟ้าที่เข้าใจระบบเป็นอย่างดี

2. รีเลย์เป็นอุปกรณ์ทางกลจึงมีอายุใช้งานจำกัด ต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ ถ้ายิ่งระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนรีเลย์เป็นร้อยเป็นพันตัว ความเชื่อถือได้ของระบบควบคุมจะลดลงไปมาก

3. การควบคุมเครื่องจักรหลายชนิดที่ต้องต่อวงจรควบคุมขึ้นมาจริง ๆ และ ทำการทดลองกับเครื่องจักรจริง จึงจะรู้ว่าใช้ได้หรือไม่และจะแก้ไขอย่างไร การต่อวงจรทดลองแบบนี้ไม่เหมาะกับตู้วงจรรีเลย์ ซึ่งมีขั้นตอนในการผลิตมากมาย นับจากการออกแบบ การสั่งซื้ออุปกรณ์ การทำตู้ การเดินสาย การทดสอบ ซึ่งใช้เวลายาวนานกว่าจะเสร็จ

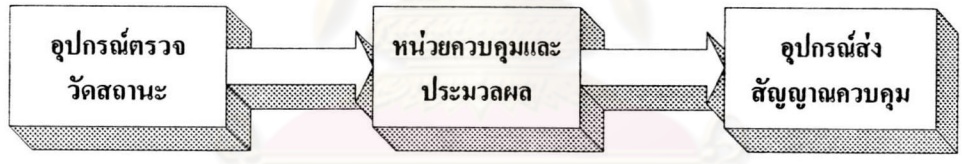
4. รีเลย์แม่เหล็กไฟฟ้ามีขนาดใหญ่กินไฟมาก และไม่สามารถใช้งานกับการควบคุมที่ซับซ้อน เช่น การประมวลผลข้อมูลแบบคอมพิวเตอร์ได้

ดังนั้นจึงเกิดการพัฒนาเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ เพื่อทดแทนจุดอ่อนของวงจรรีเลย์ในระบบควบคุมลำดับ โดยเครื่องทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดลำดับการควบคุม

ป้อนเก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง การแก้ไขลำดับขั้นตอนหรือตัวแปรของระบบจึงทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่าวงจรรีเลย์มาก ด้วยเหตุนี้เครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้จึงเป็นที่นิยมอย่างมากในอุตสาหกรรม

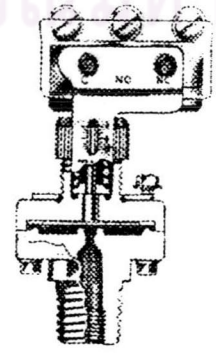
<u>องค์ประกอบของระบบควบคุมลำดับ</u>

การควบคุมลำดับเป็นการควบคุมกระบวนการที่ประกอบด้วยกระบวนการย่อยหลายกระบวนการเพื่อทำให้ลำดับก่อนหลัง และช่วงเวลาในการทำงานของแต่ละกระบวนการย่อยเป็นไปตามที่ต้องการ ช่วงเวลาในการทำงานของแต่ละการบวนการย่อยอาจถูกกำหนดเป็นเวลาแน่นอนหรืออาจเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการณ์ โดยที่สภาวะการณ์ดังกล่าวระบบควบคุมรับรู้ได้ด้วยสัญญาณจากอุปกรณ์วัด ซึ่งโดยทั่วไปจะมีเพียงสองสถานะ เช่น เปิดหรือปิด (ON-OFF) เป็นต้น โดยโครงสร้างของอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ สามารถแบ่งตามหน้าที่การทำงานออกเป็น 3 ส่วน [1,2] ดังรูปที่ 3.1 คือ



รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำงานของระบบควบคุมลำดับ

1. อุปกรณ์ตรวจวัดสถานะ ทำหน้าที่ตรวจสอบสภาวะของเครื่องจักรและกระบวนการผลิต เพื่อส่งไปยังหน่วยควบคุมและประมวลผล เช่น สวิตช์สั่งงาน ลิมิตสวิตช์ สวิตช์วัดอุณหภูมิ สวิตช์วัดความดัน สวิตช์วัดระดับเป็นต้น

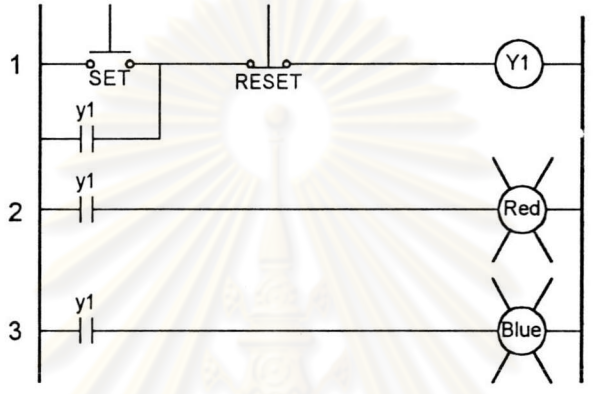


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสวิตช์วัดความดัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

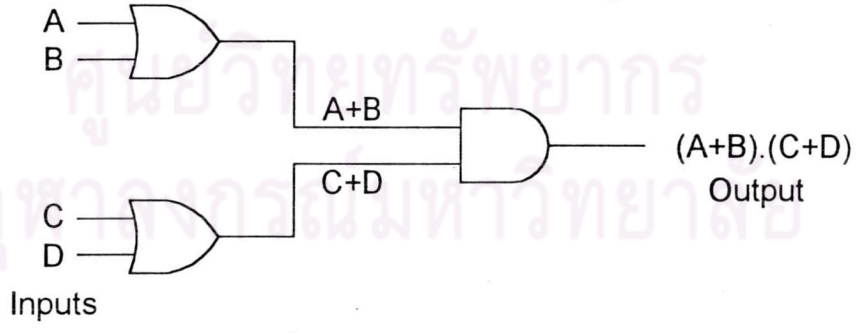
2. หน่วยควบคุมและประมวลผล ทำหน้าที่รับสถานะของเครื่องจักรและกระบวนการผลิตจากอุปกรณ์ตรวจวัดสถานะ และสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมส่งต่อไปยังอุปกรณ์ส่งสัญญาณควบคุม ประกอบด้วย

2.1 วงจรรีเลย์ ควบคุมการทำงานโดยใช้หน้าสัมผัสรีเลย์ อุปกรณ์หน่วงเวลา และอุปกรณ์นับจำนวน ต่อเชื่อมกันโดยใช้วงจรไฟฟ้ากำหนดเงื่อนไขการควบคุม



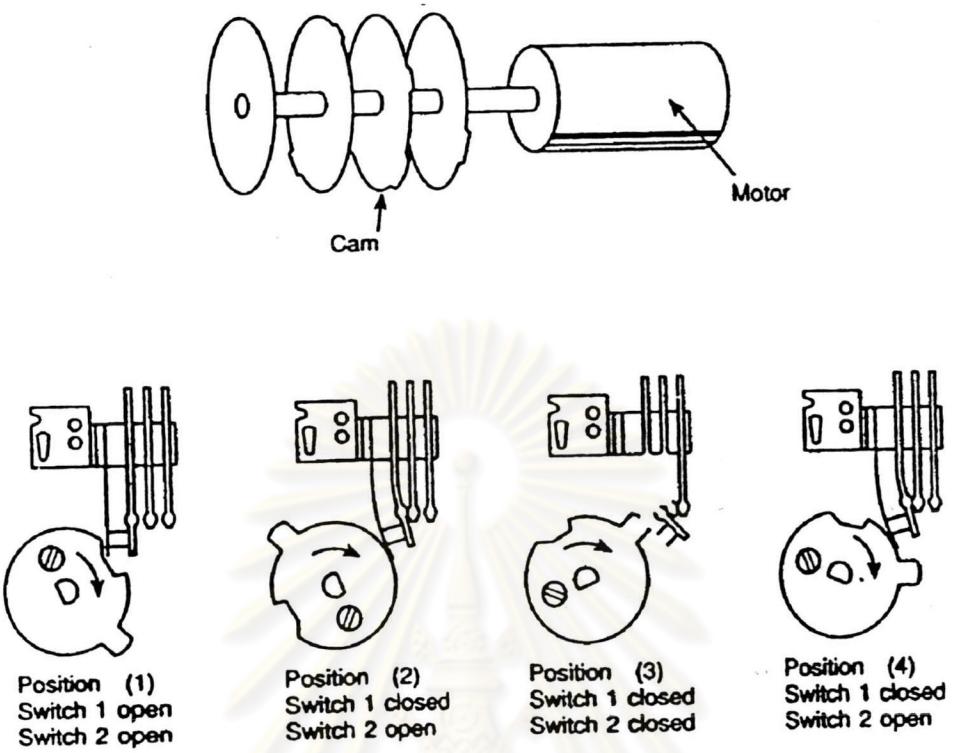
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างวงจรรีเลย์

2.2 วงจรตรรก ควบคุมการทำงานโดยใช้วงจรรวมปฏิบัติการตรรก AND OR และ NOT มาต่อเชื่อมกันเพื่อกำหนดเงื่อนไขการควบคุม



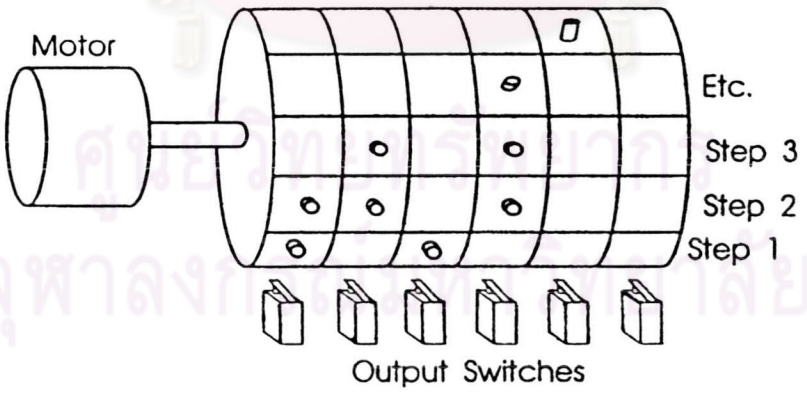
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างวงจรตรรก

2.3 สวิตช์ลูกเบี้ยว ควบคุมการทำงานโดยใช้มอเตอร์ทำหน้าที่หมุนให้ลูกเบี้ยวให้ปิดและเปิดวงจรไฟฟ้าตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดโดยการตั้งระยะของลูกเบี้ยว



รูปที่ 2.5 การทำงานของสวิตช์ลูกเบี้ยว

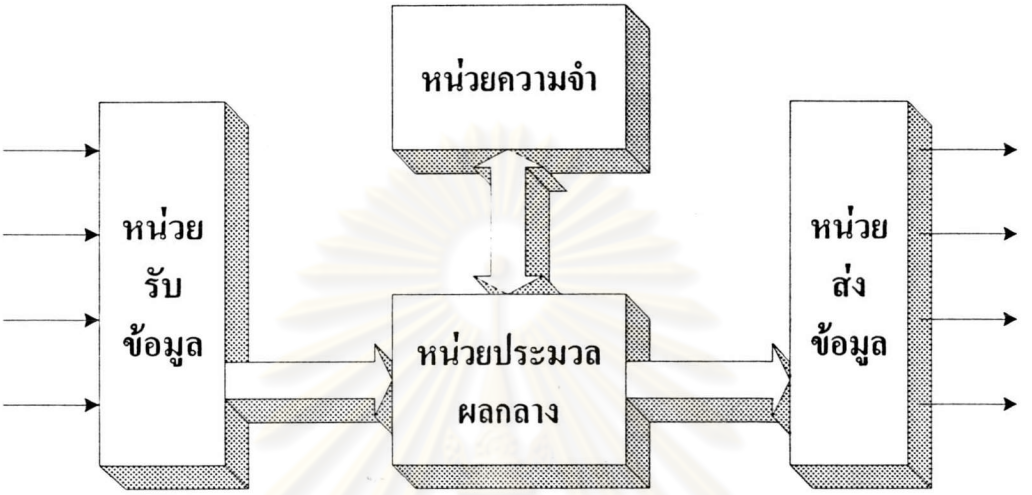
2.4 ซีเควนเซอร์ (Sequencer) ควบคุมการทำงานโดยใช้มอเตอร์ ดรัมแท่งทรงกระบอก และปลั๊กเสียบ กำหนดช่วงเวลาที่สวิตช์รอบแท่งดรัมปิดและเปิดวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 2.6 ซีเควนเซอร์

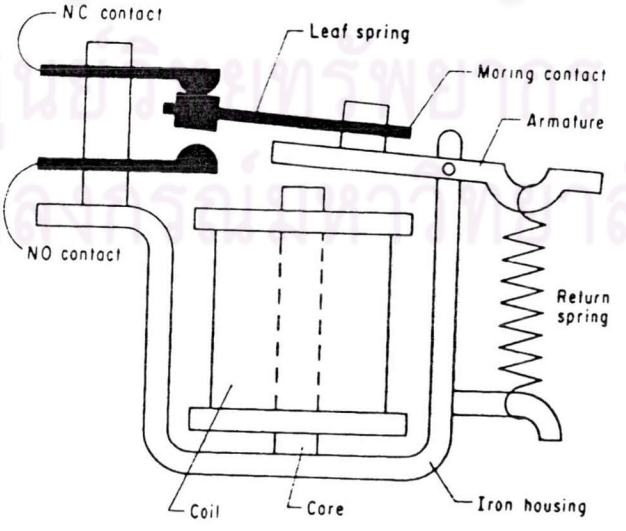
2.5 เครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ เป็นอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน่วยความจำในการเก็บโปรแกรมสำหรับการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่อกับขั้วเข้าและขั้วออกของเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ หน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยความจำ หน่วยรับและส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ผู้ใช้สามารถกำหนดเงื่อนไขการควบคุมโดยการเขียนโปรแกรมลงในหน่วยความจำ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้

3. อุปกรณ์ส่งสัญญาณควบคุม ทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมจากหน่วยควบคุม และประมวลผล ไปควบคุมเครื่องจักรและกระบวนการผลิต เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า วาล์ว กระบอกสูบ นิวแมติกส์ และ รีเลย์

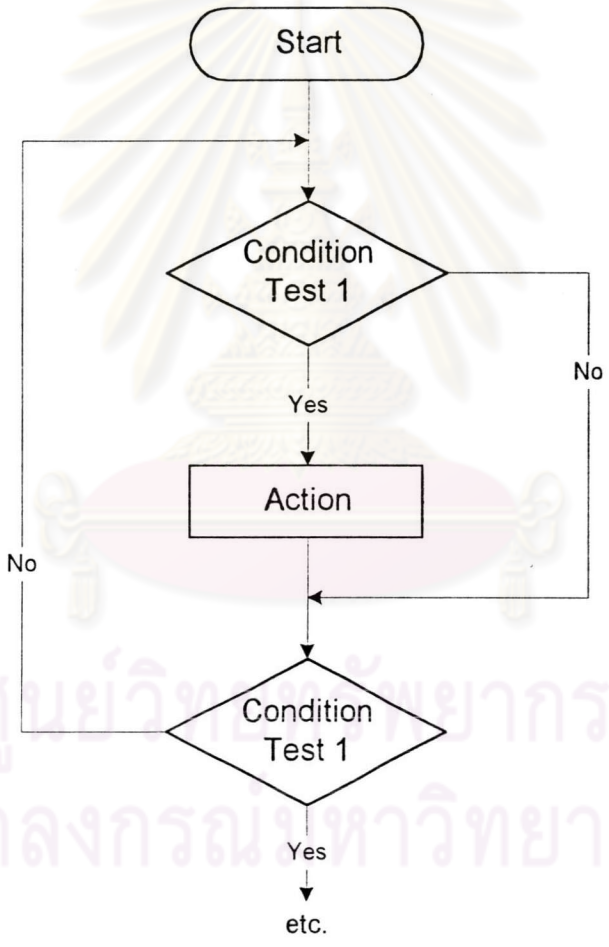


รูปที่ 2.8 รีเลย์แบบแม่เหล็กไฟฟ้า

<u>การออกแบบระบบควบคุมลำดับ</u>

ในการออกแบบระบบควบคุมลำดับมีวิธีในการบรรยายกระบวนการทำงานของระบบอยู่ 3 วิธีหลัก ๆ [1,3] คือ

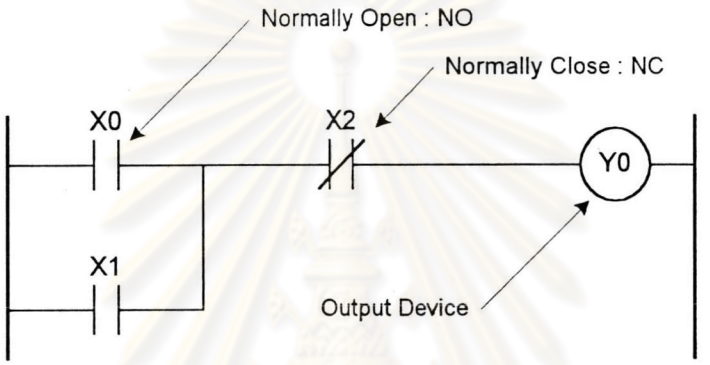
1. โฟล์วชาร์ต (Flowchart) เป็นภาษาที่ใช้มากในการแสดงลำดับการทำงานของระบบควบคุม โฟล์วชาร์ตประกอบด้วย การทำงานของระบบ (Action) แสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และการตรวจสอบเงื่อนไข (Condition Test) แสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างโฟล์วชาร์ต

แต่การออกแบบระบบด้วยวิธีนี้มีปัญหาเมื่อระบบควบคุมลำดับมีขนาดใหญ่ จะทำให้โฟล์วชาร์ตที่บรรยายการทำงานของระบบมีขนาดใหญ่และซับซ้อน

2. แผนภาพแลดเดอร์ เป็นภาษาที่ใช้ในการออกแบบวงจรรีเลย์ และดัดแปลงเป็นภาษาสำหรับเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ แผนภาพแลดเดอร์ประกอบด้วยหน้าสัมผัสปกติเปิด (Normally Open : NO) และหน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Close : NC) ต่อเป็นวงจรแบบขนานและอนุกรมเพื่อกำหนดเงื่อนไขการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 2.10 โดยวงจรจะเริ่มต้นจากบนลงล่างและจากซ้ายไปขวาเสมอ สถานะของแต่ละวงจรแลดเดอร์จะมีสถานะ ON หรือ OFF อย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อกำหนดเงื่อนไขการทำงานของระบบ



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแผนภาพแลดเดอร์

จากตัวอย่างแผนภาพแลดเดอร์สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการบูลีน (Boolean Equation) และ มีตารางเท็จจริงดังนี้

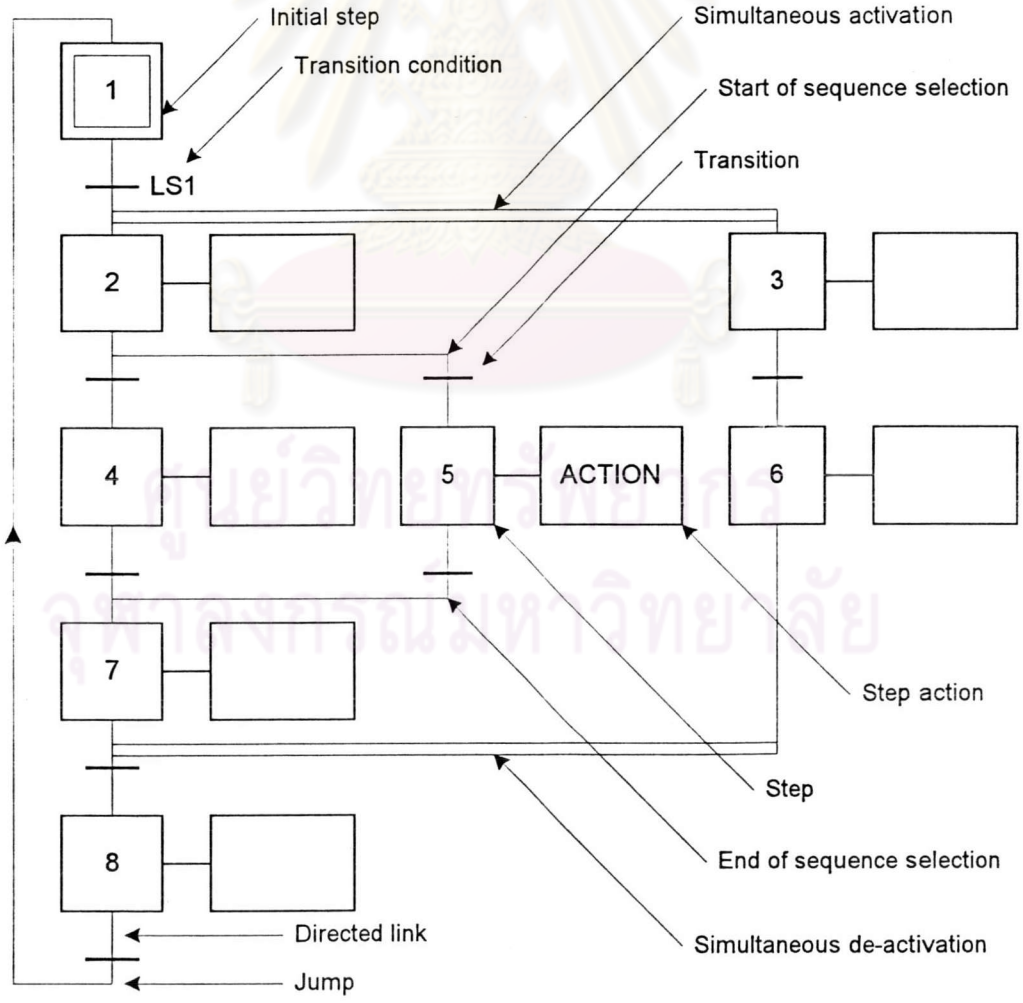
$$(X0 + X1) \bullet \overline{X2} = Y0 \qquad (2\text{-}1)$$

X0	X1	X2	Y0
OFF	OFF	OFF	OFF
ON	OFF	OFF	ON
OFF	ON	OFF	ON
ON	ON	OFF	ON
OFF	OFF	ON	OFF
ON	OFF	ON	OFF
OFF	ON	ON	OFF
ON	ON	ON	OFF

ตารางที่ 2.1 ตารางเท็จจริงของสมการที่ (2-1)

ในการออกแบบด้วยแผนภาพแลดเดอร์ สามารถแสดงเงื่อนไขการทำงานของเครื่องจักรได้ง่าย วิศวกรและช่างเทคนิคที่คุ้นเคยกับวงจรรีเลย์สามารถทำความเข้าใจได้ทันที ขณะเดียวกันแผนภาพแลดเดอร์ก็มีจุดอ่อนอยู่หลายประการ เช่น การออกแบบต้องใช้เวลาและประสบการณ์ค่อนข้างมาก ไม่สามารถแสดงลำดับการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวได้อย่างชัดเจน การแก้ไขและการตรวจหาข้อผิดพลาดทำได้ยาก เป็นต้น

3. ฟังก์ชันชาร์ต เป็นภาษาที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้เขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมลำดับการทำงาน โดยเป็นภาษารูปภาพ (Graphical Langauge) จึงสามารถใช้เขียนแสดงลำดับการทำงานได้โดยง่าย ฟังก์ชันการควบคุมจะถูกแบ่งออกเป็นขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ โดยจะมีการทำงานที่ขึ้นกับเงื่อนไขการเปลี่ยนขั้นตอน มาตรฐาน IEC848 [4] ได้กำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบต่าง ๆ ของภาษาฟังก์ชันชาร์ตไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 องค์ประกอบในภาษาฟังก์ชันชาร์ต

Initial step	:	ใช้ระบุสเต็ป (Step) แรกของการควบคุม ซึ่งจะทำให้ทุกครั้งที่เครื่องควบคุมทำงานจะมาเริ่มที่สเต็ปนี้เสมอ
Transition	:	ใช้เชื่อมต่อสเต็ปกับสเต็ป เพื่อระบุเงื่อนไขการผ่านสเต็ป
Transition condition	:	แสดงเงื่อนไขการผ่านสเต็ป
Step	:	ขั้นตอนการทำงานขั้นตอนหนึ่งของการควบคุม สเต็ปจะเก็บคำสั่งควบคุมการทำงานในขั้นตอนนั้นไว้
Step action	:	การทำงานของขั้นตอนนั้น
Directed link	:	แสดงเส้นทางการควบคุมโดยใช้เชื่อมต่อระหว่างสเต็ป และทรานซิชัน
Jump	:	การเชื่อมต่อสเต็ปที่อยู่ไกลกัน
Simultaneous activation	:	จุดเริ่มต้นของการทำงานพร้อมกัน ใช้สัญลักษณ์เป็นเส้นคู่แยกออกมาจากด้านใต้ของทรานซิชันตัวก่อนหน้า ไปยังเส้นทางการทำงานอื่น ๆ
Simultaneous de-activation	:	จุดสิ้นสุดการทำงานพร้อมกัน ใช้สัญลักษณ์เป็นเส้นคู่เชื่อมต่อเส้นทางการทำงานต่าง ๆ ที่ได้ทำงานพร้อมกันมา และต้องการให้สิ้นสุดการทำงานของงานเหล่านั้น
Start of sequence selection	:	จุดเริ่มต้นของการเลือกเส้นทางการทำงาน ใช้สัญลักษณ์เป็นเส้นเดี่ยว แยกออกมาจากด้านบนของทรานซิชันตัวก่อนหน้าไปยังทางเดินต่าง ๆ
End of sequence selection	:	จุดสิ้นสุดของการเลือกเส้นทางการทำงาน ใช้สัญลักษณ์เป็นเส้นเดี่ยวเชื่อมทางเดินต่าง ๆ ทีต้องการให้สิ้นสุดการเลือกทางเดิน

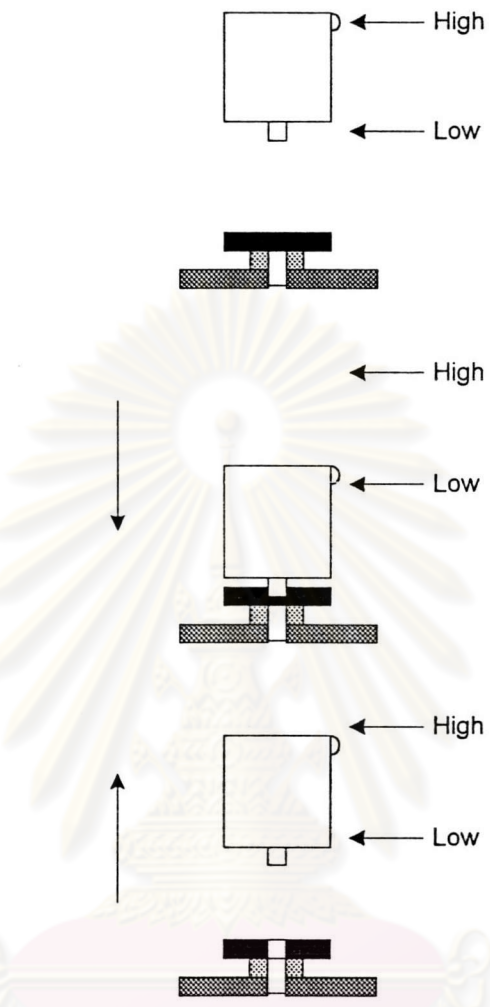
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตัวอย่างการออกแบบระบบควบคุมลำดับ</u>

1. ตัวอย่างการควบคุมเครื่องปั๊มโลหะ [5]

ขั้นตอนการทำงาน :

ขั้นตอนที่ 1	:	เครื่องปั๊มหยุดที่ตำแหน่ง “High” จนกว่าจะได้รับสัญญาณ “Start”
ขั้นตอนที่ 2	:	เครื่องปั๊มเคลื่อนที่ลง จนกว่าจะเคลื่อนมาถึงตำแหน่ง “Low”
ขั้นตอนที่ 3	:	เครื่องปั๊มเคลื่อนที่ขึ้น จนกว่าจะถึงตำแหน่ง “High”



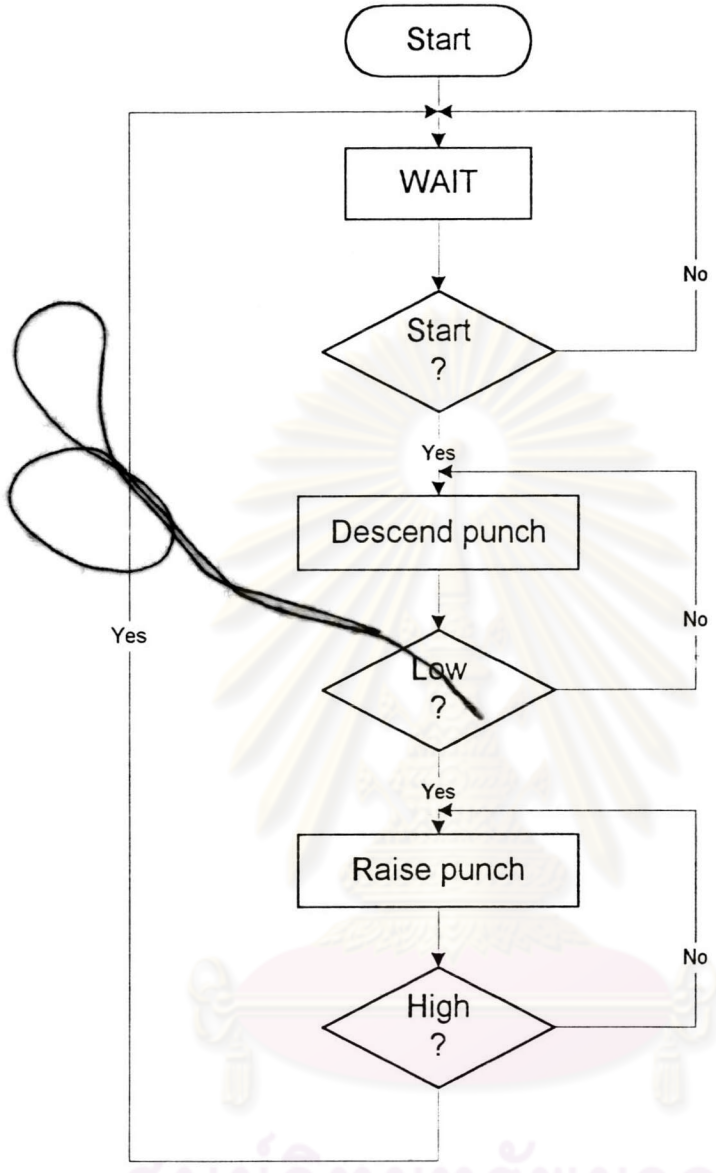
รูปที่ 2.12 การทำงานของเครื่องปั๊ม

ในขณะเริ่มต้นเครื่องปั๊มจะอยู่ในตำแหน่ง "High" ซึ่งตรวจสอบได้ด้วยลิมิต-สวิตช์ตัวบน และเมื่อปุ่มสตาร์ทถูกกด เครื่องจะเคลื่อนลงมาข้างล่าง จนกระทั่งถึงตำแหน่ง "Low" ก็จะเคลื่อนกลับขึ้นข้างบนจนถึงตำแหน่ง "High" ก็จะหยุดครบรอบการทำงาน

การออกแบบ :

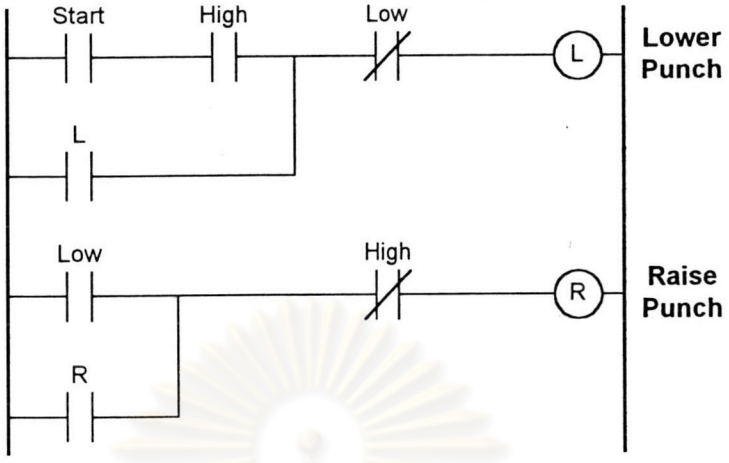
เราสามารถออกแบบการทำงานของเครื่องปั๊ม โดยใช้วิธีการออกแบบได้ 3 วิธี คือ

1.1 การออกแบบโดยใช้ภาษาโฟล์วชาร์ต จะแปลงการบรรยายการทำงานมาเป็นโฟล์วชาร์ตได้โดยง่าย โดยแบ่งเป็น 3 สถานะเหมือนกับการบรรยายการทำงานเป็น 3 ขั้นตอน และมีการตรวจสอบเงื่อนไข 3 เงื่อนไข เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากสถานะหนึ่งไปยังสถานะถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 2.13



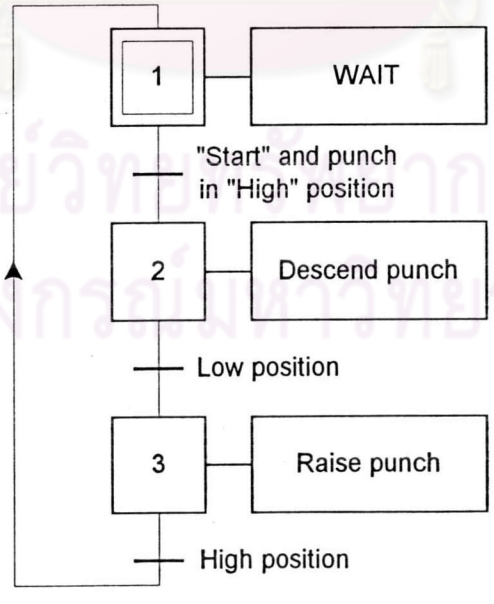
รูปที่ 2.13 โฟล์วชาร์ตสำหรับการทำงานของเครื่องปั๊ม

1.2 การออกแบบโดยใช้แผนภาพแลดเดอร์ จะมองที่เอาต์พุตเป็นหลัก โดยตรวจดูเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีผลต่อเอาต์พุตนั้น เช่นในกรณีนี้จะมี 2 เอาต์พุต ได้แก่ การสั่งให้เครื่องปั๊มเคลื่อนลง และการสั่งให้เครื่องปั๊มเคลื่อนที่ขึ้น เมื่อมองที่การสั่งให้เคลื่อนที่ลงก็จะมีเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีผลได้แก่ เครื่องอยู่ที่ตำแหน่งบนและปุ่มสตาร์ทถูกกดและต้องคำนึงถึงเมื่อปุ่มสตาร์ทถูกปล่อยด้วย เพราะสัญญาณจากปุ่มสตาร์ทจะหมดลง จึงต้องนำเอาต์พุตมาคงค่า (Hold) ตัวเองไว้ นอกจากนั้นจะต้องใส่เงื่อนไขที่จะหยุดการทำงานของเอาต์พุตรวมไว้ด้วย ซึ่งได้แก่สัญญาณจากลิมิตสวิตช์ "Low" แผนภาพแลดเดอร์ที่เสร็จแล้วแสดงดังรูปที่ 2.14



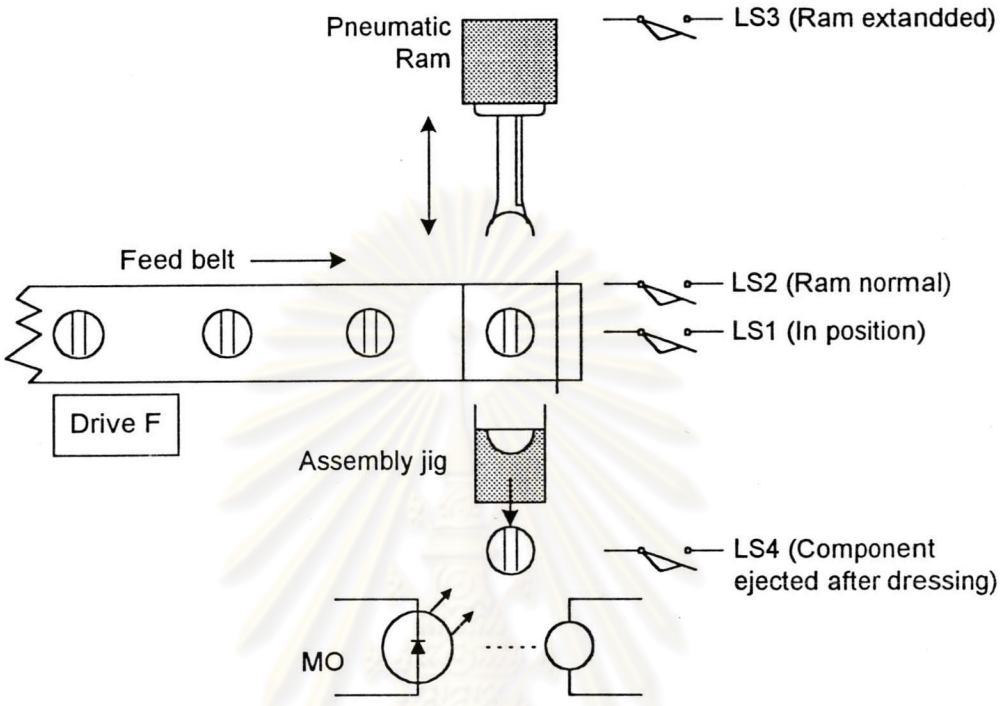
รูปที่ 2.14 แผนภาพแลดเดอร์สำหรับการทำงานของเครื่องปั๊ม

1.3 การออกแบบโดยใช้ภาษาฟังก์ชันชาร์ต จะมีสามสเต็ปที่ชัดเจนดังแผนภาพในรูปที่ 2.15 กล่าวคือ เมื่อเริ่มทำงานจะเข้าไปอยู่ที่สเต็ปเริ่มต้น และรอคอยสัญญาณสตาร์ทเมื่อเงื่อนไขในทรานซิชันเป็นจริง จะเปลี่ยนสเต็ปจากสเต็ป 1 ไปสเต็ป 2 ทำให้เครื่องเคลื่อนที่ลงมา เมื่อเครื่องเคลื่อนที่ลงมาถึงตำแหน่ง "Low" ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำหรับเปลี่ยนไปสเต็ป 3 ก็จะมีการเปลี่ยนสเต็ปไป เครื่องจะเคลื่อนที่ขึ้น จนถึงตำแหน่ง "High" ก็จะเป็นเงื่อนไขให้เปลี่ยนไปที่สเต็ป 1 ใหม่



รูปที่ 2.15 ฟังก์ชันชาร์ตสำหรับการทำงานของเครื่องปั๊ม

2. ตัวอย่างการทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน [1]



รูปที่ 2.16 การทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน

ขั้นตอนการทำงาน :

ขั้นตอนที่ 1 : สายพานเลื่อนชิ้นส่วนเข้าไปในเครื่องจักร
LS1 ตรวจจับชิ้นส่วนว่าอยู่ตรงตำแหน่งหรือไม่

ขั้นตอนที่ 2 : แขนดันชิ้นส่วนเข้าไปใน Jig
LS2 ตรวจจับชิ้นส่วนว่าอยู่ใน Jig หรือไม่

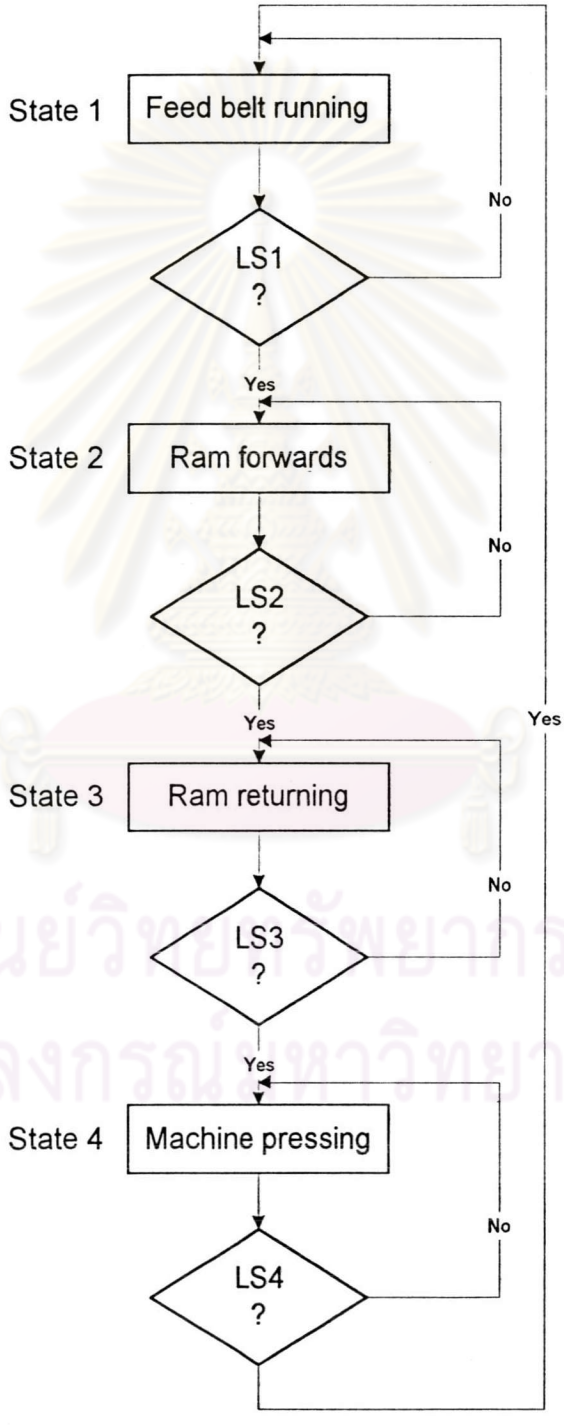
ขั้นตอนที่ 3 : แขนชักกลับคืนมาอยู่ในตำแหน่งเดิม
LS3 ตรวจจับตำแหน่งเดิมของแขน

ขั้นตอนที่ 4 : เครื่องจักรประกอบชิ้นส่วนบน Jig เมื่อเสร็จก็ดีดชิ้นส่วนออกไป
LS4 ตรวจจับชิ้นส่วนว่าถูกดีดออกไปหรือยัง

การออกแบบ

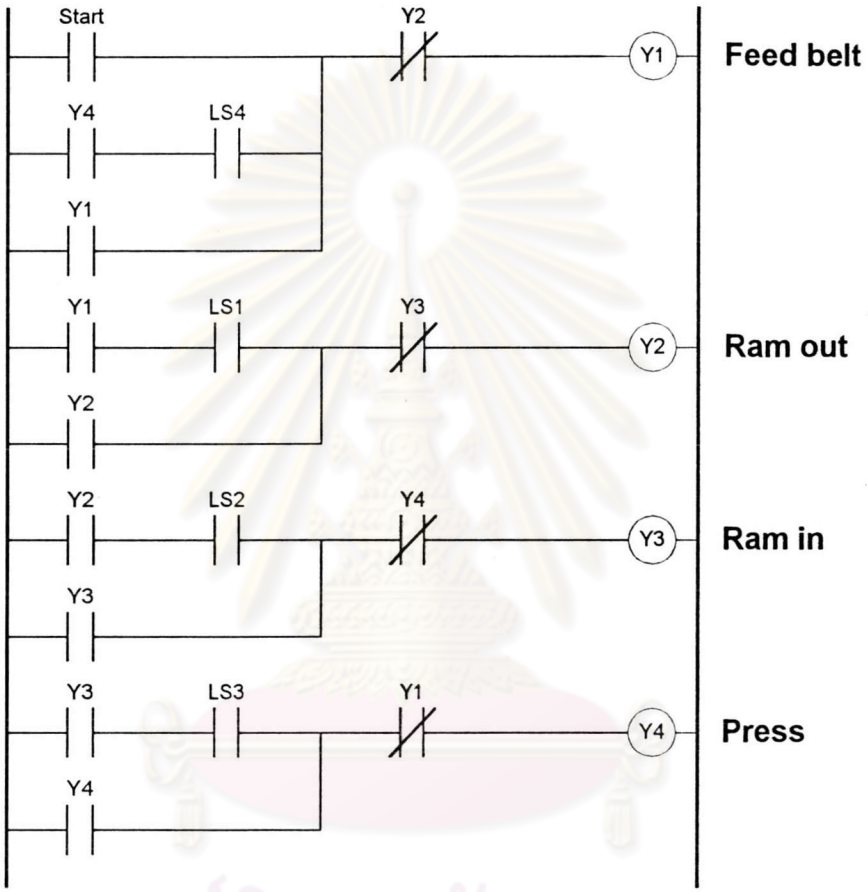
เราสามารถออกแบบการทำงานของเครื่องปั๊ม โดยใช้วิธีการออกแบบได้ 3 วิธี คือ

2.1 การออกแบบโดยใช้ภาษาโฟล์วชาร์ต จะแปลงการบรรยายการทำงานมาเป็นโฟล์วชาร์ตได้โดยง่าย โดยแบ่งเป็น 4 สถานะเหมือนกับการบรรยายการทำงานเป็น 4 ขั้นตอน และมีการตรวจสอบเงื่อนไข 4 เงื่อนไขตั้งแต่ LS1 ถึง LS4 เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากสถานะหนึ่งไปยังสถานะถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 2.17



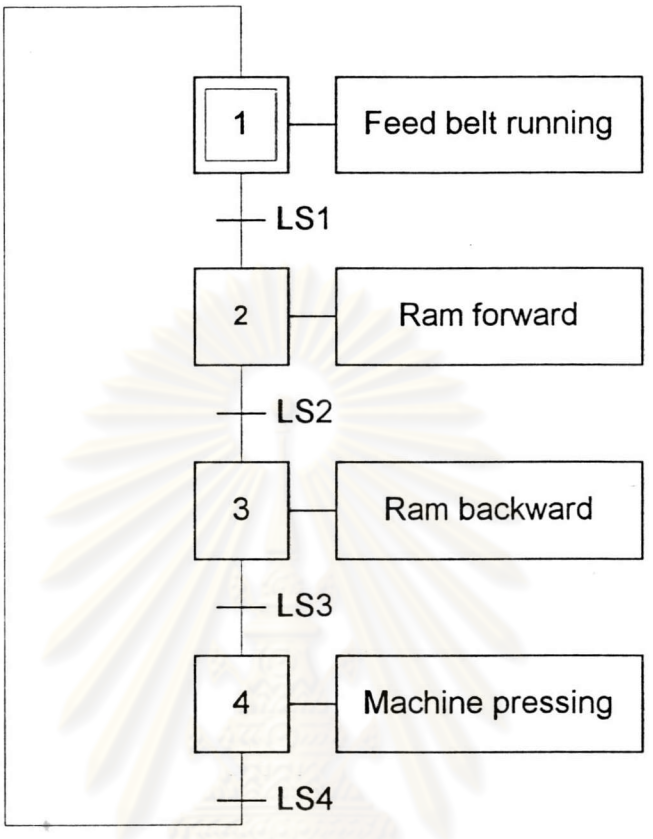
รูปที่ 2.17 โฟล์วชาร์ตสำหรับการทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน

2.2 การออกแบบโดยใช้แผนภาพแลดเดอร์ จะมองที่เอาต์พุตเป็นหลัก โดยตรวจดูเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีผลต่อเอาต์พุตนั้น ในที่นี้ใช้ลิมิตสวิตช์ 4 ตัว เป็นตัวตรวจสอบเงื่อนไขให้เอาต์พุตทำงานหรือหยุดทำงาน แผนภาพแลดเดอร์ที่เสร็จแล้วแสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แผนภาพแลดเดอร์สำหรับการทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน

2.3 การออกแบบโดยใช้ภาษาฟังก์ชันชาร์ต จะมีสี่สเต็ปที่ชัดเจนดังแผนภาพในรูปที่ 2.19 กล่าวคือ เมื่อเริ่มทำงานจะเข้าไปอยู่ที่สเต็ปเริ่มต้น ทำให้สายพานเลื่อนชิ้นส่วนเข้าเป็นในเครื่องจักรจนถึงตำแหน่ง "LS1" ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำหรับเปลี่ยนไปที่สเต็ป 2 แขนดันชิ้นส่วนเข้าไปใน Jig จนถึงตำแหน่ง "LS2" ซึ่งเป็นเงื่อนไขให้เปลี่ยนไปที่สเต็ป 3 แขนชักกลับคืนสู่ตำแหน่ง "LS3" ซึ่งเป็นเงื่อนไขให้เปลี่ยนไปที่สเต็ป 4 เครื่องจักรประกอบชิ้นส่วนบน Jig เมื่อเสร็จแล้วก็ดีดชิ้นส่วนออกไป โดยใช้ "LS4" เป็นตัวตรวจจับชิ้นส่วนที่ดีดออกไปและยังเป็นเงื่อนไขให้เปลี่ยนไปที่สเต็ป 1 อีกครั้ง



รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันชาร์ตสำหรับการทำงานของเครื่องจักรประกอบชิ้นงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย