สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

The Controller of Mini Rice Grain Activator using Electric field

T119430

โดย

นายกฤษณ์ กิจวัฒนา
นายเกรียงศักดิ์ ประกิ่ง
นายธำรงศักดิ์ คงสุวรรณ์
นายธีระพล พิเดช

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119430
วัน,เดือน,ปี - 7 ส.ค. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

The Controller of Mini Rice Grain Activator using Electric field

โดย

นายกฤษณ์ กิจวัฒนา

นายเกรียงศักดิ์ ประกิ่ง

นายธำรงศักดิ์ คงสุวรรณ์

นายธีระพล พิเดช

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

1.นายกฤษณ์ กิจวัฒนา
2.นายเกรียงศักดิ์ ประกิ่ง
3.นายธำรงศักดิ์ คงสุวรรณ์
4.นายธีระพล พิเดช

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

นายกฤษณ์ กิจวัฒนา
นายเกรียงศักดิ์ ประกิ่ง
นายธำรงศักดิ์ คงสุวรรณ์
นายธีระพล พิเดช
รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ นำเสนอการพัฒนาการออกแบบชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กโดยการใช้ PLC (Programmable Logic Controllers) ในการควบคุมแรงดันในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบอัตโนมัติ จากการทดสอบพบว่าชุดควบคุมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามที่ออกแบบไว้ โดยสามารถเลือกชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่จะกระตุ้นได้ทั้งหมด 3 ชนิด ซึ่งมีเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นต่างกันซึ่งเพิ่ม-ลดแรงดันจะเป็นไปแบบอัตโนมัติ มีระบบป้องกันในกรณีกระแสเกินซึ่งจะตัดแรงดันออกจากวงจรทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Controller of Mini Rice Grain Activator using Electric field

Krit Kitwattana
Kriengsak Praking
Thamrongsak Kongsuwan
Teerapol Pidech
Assoc.Prof. Siriwat Potivejkul Supervisor
Year 2010

ABSTRACT

This paper presents the design and development of the controller of compact rice grain activator using electric field. A Programable Logic Control (PLC) is employed to control of magnetic contactor and timer relay voltage level of the voltage regulator. The controller is designed to increase the voltage gradually from 0V-12kV and maintains the voltage at 12 kV for 20 minutes to control uniform electric field intensity of 3 kV/cm. After the activated process is finished, the voltage is decreased to 0 volt automatically. For the controller is connected to Mini Grain Activator using Electric field. The over current relay was installed to protect over current in the activated process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอดมา และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกท่านโดยเฉพาะคุณปุณยวีร์ ทองเขียว ที่ช่วยให้คำปรึกษาและช่วยในการประกอบติดตั้ง รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการยืมอุปกรณ์ทดสอบ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณพระคุณ บิดามารดา และญาติพี่น้อง ซึ่งให้การสนับสนุนเงินทุนและกำลังใจที่ดีตลอดมาในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จ อีกทั้งเพื่อนกลุ่มโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงกลุ่มอื่น ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำต่างๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า	5
2.1.1 หม้อแปลงขึ้น (Step-up Transformer)	7
2.2.2 หม้อแปลงลง (Step-down Transformer)	7
2.1.3 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	7
2.1.4 ฉนวน	8
2.1.5 แกนเหล็ก	8
2.1.6 ขั้วต่อสายไฟ	8
2.1.7 แผ่นป้าย	8
2.1.8 ข้อกำหนดทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า	8
2.1.9 หม้อแปลงไฟฟ้าร่วมขดลวด (Variac)	8
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของ PLC	9
2.2.1 ประวัติของ PLC	10
2.2.1.1 การควบคุมงานของ PLC	11
2.2.1.1.1 งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (sequence control)	11
2.2.1.1.2 งานควบคุมสมัยใหม่ (sophisticated control)	11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.1.1.3 การควบคุมงานอำนวยการ	11
2.2.1.2 ข้อแตกต่างระหว่าง PLC กับ Computer ทั่วไป	11
2.2.2 โครงสร้างภายในของ PLC	12
2.2.2.1 ภาคอินพุต (Input section)	12
2.2.2.2 ภาคเอาท์พุต (Output section)	13.
2.2.2.3 ตัวประมวลผล (CPU)	14
2.2.2.4 หน่วยความจำ (Memory)	14
2.2.2.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)	15
2.2.3 การใช้โปรแกรม PLC	15
2.2.3.1 คำสั่ง LOAD และ LOAD NOT	16
2.2.3.2 คำสั่ง AND, AND NOT	17
2.2.3.3 คำสั่ง OR, OR NOT	18
2.2.3.4 คำสั่ง OUT, OUT NOT	19
2.2.3.5 การใช้คำสั่ง END หรือ FUN 01	19
2.2.4 ข้อกำหนดในการเขียนโปรแกรมแลดเดอร์	20.
2.2.4.1 การแปลงแลดเดอร์	20
2.2.4.2 เมื่อต้องการให้เอาต์พุต ON ทำงานตลอดเวลา	21
2.2.4.3 หน้าคอนแทคของอินพุท/เอาท์พุท, รีเลย์ และTIM/CNT	21
2.2.4.4 การพิจารณาแลดเดอร์ไดอะแกรม	23
2.2.4.5 จำนวนหน้าสัมผัสที่ใช้ในการต่ออนุกรมหรือขนาน	23
2.2.4.6 สาเหตุที่เอาต์พุตจะมี Auxiliary Contact	23.
2.2.4.7 การเขียนโปรแกรมที่ไม่สามารถทำได้	23
2.2.4.8 การเขียนโปรแกรมที่ซ้ำกันไม่ได้หลาย ๆ ครั้ง	24
2.2.4.9 เอาต์พุตคอยล์สามารถเขียนโปรแกรมต่อขนานได้	24
2.2.4.10 PLC เริ่มประมวลผลโปรแกรม	25
2.2.5 ความสามารถของ PLC	25
2.2.5.1. งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (Sequence Control)	25
2.2.5.2 งานควบคุมสมัยใหม่ (Sophisticated Control)	25
2.2.5.3 การควบคุมเกี่ยวกับงานอำนวยการ (Supervisory Control)	25
2.3 ทฤษฎีพื้นฐานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (มอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ)	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.1 ความแตกต่างของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบเชิงเส้นกับแบบหมุน 26

2.3.1.1 แรงสนามแม่เหล็ก 27

2.3.1.2 แรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 27

2.3.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น (Linear Induction Motor) 28

2.3.3 การประยุกต์ใช้งานของระบบเหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น (LMES) 30

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของออปแอมป์ (Operational Amplifiers) 31

2.4.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) 32

2.4.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non Inverting Amplifier) 33

2.4.3 วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier) 34

2.4.4 วงจรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน (Voltage Follower Buffer) 34

2.4.5 การต่อวงจรออปแอมป์แบบแคสเคด (Cascaded Op Amp Circuit) 35

2.4.6 วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม (Instrumentation Amplifiers) 35

2.5 การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง (DC High Voltage) 37

2.6 วงจรเรกติฟายเออร์สร้างแรงดันกระแสตรง 37

2.7 วงจรเรกติฟายเออร์ครึ่งคลื่นธรรมดา 37

2.8 เทคนิคการวัดทางด้านไฟฟ้าแรงสูง 38

2.9 ตัวแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) 39

2.10 ฉนวนของตัวแบ่งแรงดันแบบความต้านทาน 41

2.10.1 การฉนวนภายนอก 41

2.10.2 การฉนวนภายใน 41

2.10.3 คุณสมบัติที่ต้องพิจารณาของฉนวนเหลว 42

2.10.4 คุณสมบัติที่ต้องพิจารณาของฉนวนแข็ง 42

2.11 พื้นฐานเครื่องมือวัด 42

2.11.1 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการวัด 42

2.11.2 ความผิดพลาดเชิงระบบ (Percent of Error) 43

บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง 44

3.1 การควบคุมแรงดัน 44

3.2 เซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบการใช้งานพีแอลซี	48
3.3.1 การเลือกใช้พีแอลซี	48
3.3.2 หลักการออกแบบโปรแกรมพีแอลซี	49
3.3.3 การออกแบบโปรแกรมพีแอลซี	49
3.4 การเลือกใช้มอเตอร์	56
3.4.1 ความเร็วรอบของมอเตอร์	56
3.4.2 พิกัดกำลังของมอเตอร์	57
3.5 การออกแบบตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	57
3.5.1 ขนาดตู้	57
3.5.2 หน้าตู้และการแสดงผล	58
3.5.3 อินพุทและเอาท์พุทของตู้	58
3.6 รายการอุปกรณ์ของชุดควบคุม	59
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	60
4.1 บทนำ	60
4.2 การทดสอบ PLC	60
4.3 การทดสอบเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดัน	65
4.3.1 วิธีการทดลอง	65
4.4 การทดสอบจ่ายแรงดันกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า	67
4.4.1 วิธีการทดลอง	67
4.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	67
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	70
5.1 สรุปผลการทดลอง	70
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	71
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
ประวัติผู้เขียน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า	5
2.2	การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้	9
2.3	ลักษณะโครงสร้างของ PLC	12
2.4	อุปกรณ์อินพุท (Input Devices)	13
2.5	อุปกรณ์เอาต์พุต	14
2.6	การเขียนภาษาแลดเดอร์และการคีย์คำสั่งบูลีน	16
2.7	การเขียนภาษาแลดเดอร์คำสั่ง AND, AND NOT	17
2.8	การเขียนภาษาแลดเดอร์คำสั่ง OR, OR NOT	18
2.9	การเขียนภาษาแลดเดอร์	19
2.10	การเขียนภาษาแลดเดอร์ทดลองคีย์คำสั่ง Mnemonic โดยมีคำสั่ง END	20
2.11	การเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมที่ไม่สามารถเขียนโปรแกรมได้	20
2.12	แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนใหม่และสามารถเขียนโปรแกรมได้	21
2.13	แลดเดอร์ไดอะแกรมที่ไม่สามารถเขียนโปรแกรมได้	21
2.14	แลดเดอร์ไดอะแกรมที่สามารถเขียนโปรแกรมได้	21
2.15	แลดเดอร์ไดอะแกรม A ที่เขียนโปรแกรมโดยไม่ประหยัดจำนวนคำสั่ง	22
2.16	แลดเดอร์ไดอะแกรม B ที่เขียนโปรแกรมโดยประหยัดจำนวนคำสั่ง	22
2.17	แลดเดอร์ไดอะแกรม A ที่เขียนโปรแกรมโดยไม่สามารถอ่านจากซ้ายไปขวาได้	23
2.18	แลดเดอร์ไดอะแกรม B ที่เขียนโปรแกรมโดยสามารถอ่านจากซ้ายไปขวาได้	23
2.19	แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมไม่ได้โดยมีหน้าสัมผัสอยู่หลังคอยล์	23
2.20	แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมได้โดยมีหน้าสัมผัสอยู่หน้าคอยล์	24
2.21	แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมไม่ได้โดยมีเอาต์พุตซ้ำกัน	24
2.22	แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมไม่ได้โดยจัดรูปใหม่เอาต์พุตไม่ซ้ำกัน	24
2.23	แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมได้โดยเอาต์พุตต่อขนานกัน	24
2.24	a) เครื่องจักรไฟฟ้าแบบชนิดหมุน b) เครื่องจักรไฟฟ้าแบบเชิงเส้น	24
2.25	a) แรงสนามแม่เหล็ก b) แรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	27
2.26	ขดปฐมภูมิ 2 ข้าง, ขดปฐมภูมิ 1 ข้าง	28
2.27	การลงขดลวดปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น	29
2.28	การพัฒนาของเทอร์โบล่ามอเตอร์	29
2.29	แกนเหล็กรูปตัว ซี ประกบคู่ (TFLIM) และขดลวดแบบกระจาย	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.30	วงจรสมมูลของ non-Ideal Op amp	31
2.31	ออปแอมป์ทางอุดมคติ	31
2.32	วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	32
2.33	วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	33
2.34	วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ	34
2.35	The voltage follower	35
2.36	วงจรออปแอมป์ต่ออนุกรมกัน 3 วงจร	35
2.37	(a) วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม โดยปรับเกนด้วยตัวต้านทานภายนอก (b) วงจรรวม	36
2.38	วงจรเรกติฟายเออร์	38
2.39	ระบบวัดทั่วไปทางด้านไฟฟ้าแรงสูง	39
2.40	วงจรแบบง่ายของตัวแบ่งแรงดัน	40
3.1	ไดอะแกรมการทำงานของตู้ควบคุม	44
3.2	วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน	45
3.3	รูปการทำงานเซนเซอร์	46
3.4	เซนเซอร์ 1	47
3.5	เซนเซอร์ 2	47
3.6	พีแอลซี	48
3.7	โมดูล	48
3.8	โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ	49
3.8	โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)	50
3.8	โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)	51
3.8	โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)	52
3.8	โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)	53
3.8	โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)	54
3.8	โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)	55
3.9	ตู้ควบคุม	57
3.10	หน้าตู้ควบคุม	58
3.11	หลังตู้ควบคุม	59
4.1	Ladder Diagram ขณะเริ่มทำงาน	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	Ladder Diagram สำหรับนับเวลา	61
4.3	Ladder Diagram สำหรับกรณีฉุกเฉิน	62
4.4	Ladder Diagram การทำงานของปุ่มรีเซ็ท	63
4.5	Ladder Diagram ของ Selector Switch	64
4.6	วงจรเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดัน	65
4.7	วงจรการทดสอบเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดัน	66
4.8	วงจรในการทดลอง	67
4.9	วงจรที่ใช้ในการทดสอบ	68
5.1	ตู้ควบคุมที่เสร็จสมบูรณ์ พร้อมขาตั้ง	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	วิธีการดำเนินงานโครงงานวิจัย	3
2.1	คำสั่งบูลีน a	17
2.2	คำสั่งบูลีน b	17
2.3	คำสั่งบูลีน c	17
2.4	คำสั่งบูลีน d	18
2.5	คำสั่งบูลีน e	19
2.6	คำสั่งบูลีน f	20
2.7	คำสั่งบูลีน g	22
2.8	คำสั่งบูลีน h	22
4.1	ผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดัน	66
4.2	ผลการทดลองจ่ายแรงดันด้านอินพุต	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการวิจัย และการทดลองเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการเพิ่มผลผลิตข้าว โดยการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า และนำไปปลูกในแปลงทดลองได้ผลผลิตออกมาเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งรากของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่งอกออกมานั้นยาวเพิ่มมากขึ้นประมาณ 1.2-1.5 เท่าของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ทำให้ต้นข้าวโตเร็ว การตั้งของลำต้นแข็งแรง เนื่องจากรากของต้นข้าวมีลักษณะแทงลงดินในแนวดิ่ง รวมทั้งผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลดีต่อเกษตรกร และประเทศไทยในอนาคต จึงได้มีการสร้างชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กขึ้นมาในปีการศึกษาที่ผ่านมา[5] แต่เนื่องจากชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นมานั้นยังต้องใช้แหล่งจ่ายจากห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก การใช้งานมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และอาจเกิดอันตรายกับผู้ใช้งานเองหรือบุคคลรอบข้างเนื่องจากใช้แรงดันไฟฟ้าสูงในการสร้างสนามไฟฟ้า จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กขึ้นมา โดยมีขั้นตอนการใช้งานง่ายสะดวก และปลอดภัย เกษตรกรสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดอันตราย

การพัฒนาชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้านี้ ถือเป็นการนำความรู้ และเทคโนโลยีทางไฟฟ้า เช่น PLC, วงจรอิเล็กทรอนิกส์ มาประยุกต์ใช้ในสายวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงให้เหมาะสมในการสร้างตู้ควบคุม เพื่อเป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กอีกทีหนึ่ง ซึ่งเป็นแนวทางการเพิ่มผลผลิตข้าว ซึ่งถือเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่สร้างรายได้เข้าประเทศไทยปีละหลายพันล้านบาทและเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรไทยให้มีต้นทุนการผลิตลดลงในการปลูกข้าวแต่ละครั้งในเรื่องเมล็ดพันธุ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

การออกแบบสร้างชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์ของการศึกษา ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาชุดต้นแบบของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้ใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพ
2. ออกแบบ และพัฒนาการขึ้นแรงดันแบบอัตโนมัติให้เหมาะสมกับชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า
3. ออกแบบตู้ควบคุม และติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้งานให้อยู่ภายในมิดชิด
4. เครื่องต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าพร้อมชุดควบคุมสามารถนำไปใช้เพิ่มผลผลิตของข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

1. ศึกษาชุดต้นแบบของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กทางด้าน Input และOutput ของกระแส และแรงดันที่ใช้งาน

2. ได้ทำการออกแบบ และจัดสร้างตู้ควบคุมการขึ้นแรงดันอัตโนมัติของชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

3. ได้ทดสอบการใช้งานเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กพร้อมตู้ควบคุมจริง

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูล และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่จัดสร้างไว้แล้ว และชุดควบคุมที่จะทำการออกแบบ

2. ออกแบบชุดควบคุมแรงดัน

3. จัดซื้ออุปกรณ์ และประกอบสร้างชุดควบคุมแรงดันที่ออกแบบไว้

4. ทดสอบชุดควบคุมแรงดันพร้อมกับประกอบเข้ากับชุดกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กที่ได้ออกแบบไว้ในปีการศึกษาที่ผ่านมา

5. ได้ทำการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อทดสอบชุดควบคุมแรงดันที่ออกแบบร่วมกับชุดกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กที่สร้างไว้แล้วในปีการศึกษาที่ผ่านมา

6. สรุปผลลการทดสอบ และวิเคราะห์ผลการทดสอบ

7. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินงานโครงงานวิจัย

วิธีการดำเนินงาน	พ.ศ. 2553							พ.ศ. 2554		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่จัดสร้างไว้แล้วและชุดควบคุมที่จะทำการออกแบบ										
2.ออกแบบชุดควบคุมแรงดัน										
3.จัดซื้ออุปกรณ์และประกอบสร้างชุดควบคุมแรงดันที่ออกแบบไว้										
4.ทดสอบชุดควบคุมแรงดันพร้อมกับประกอบเข้ากับชุดกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กที่ได้ออกแบบไว้ในปีการศึกษาที่ผ่านมา										
5.ทำการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อทดสอบชุดควบคุมแรงดันที่ออกแบบร่วมกับชุดกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กที่สร้างไว้แล้วในปีการศึกษาที่ผ่านมา										
6.สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ										
7.จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์										

แผนการดำเนินงานจริง <----------> **ผลการทำงานจริง** <==========>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถติดตั้งตู้ควบคุมให้ใช้งานร่วมกับชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ได้ออกแบบไว้แล้วในปีการศึกษาที่ผ่านมาได้

2. สามารถที่จะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ และพัฒนาให้ชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวพร้อมชุดควบคุม ติดตั้งบนรถเคลื่อนย้ายได้สะดวกต่อไปได้

3. สามารถใช้เครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวพร้อมตู้ควบคุม วิจัยและทดสอบในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์พืชชนิดอื่นๆ เช่น ถั่วเขียว ข้าวโพด ฯลฯ ต่อไปได้

4. สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในปัจจุบันให้มีบทบาทต่อการศึกษาวิจัยเพิ่มมากขึ้น

5. สามารถใช้ทักษะ องค์ความรู้ในการออกแบบ และประกอบสร้างตู้ควบคุมเป็นพื้นฐานในการทำงานได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า [1]

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากแรงดันระดับหนึ่งไปยังแรงดันอีกระดับหนึ่ง อาจสูงขึ้นหรือต่ำลง หรือเท่าเดิมก็ได้ เช่น หม้อแปลงขดลวดแยก หลักการทำงานของหม้อแปลงจะอาศัยการเหนี่ยวนำของขดลวด ที่อยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลง ประกอบด้วย แกนเหล็กเป็นทางเดิน ของฟลักซ์แม่เหล็ก และมีขดลวดสองชุด ชุดหนึ่งเป็นด้านป้อนแรงดันเข้า อีกชุดหนึ่งเป็นด้านจ่ายแรงดันออก พันอยู่บนแกนเหล็กดังรูปที่ 2.1 นอกจากแกนเหล็ก และขดลวดแล้ว ก็มีฉนวนซึ่งถือเป็นส่วนประกอบสำคัญในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงทุกชนิด

กำหนดให้ ø คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก

N_p คือ จำนวนรอบขดลวดด้านป้อนเข้า

N_s คือ จำนวนรอบขดลวดด้านจ่ายออก

V_p คือ แรงดันที่ป้อนเข้า

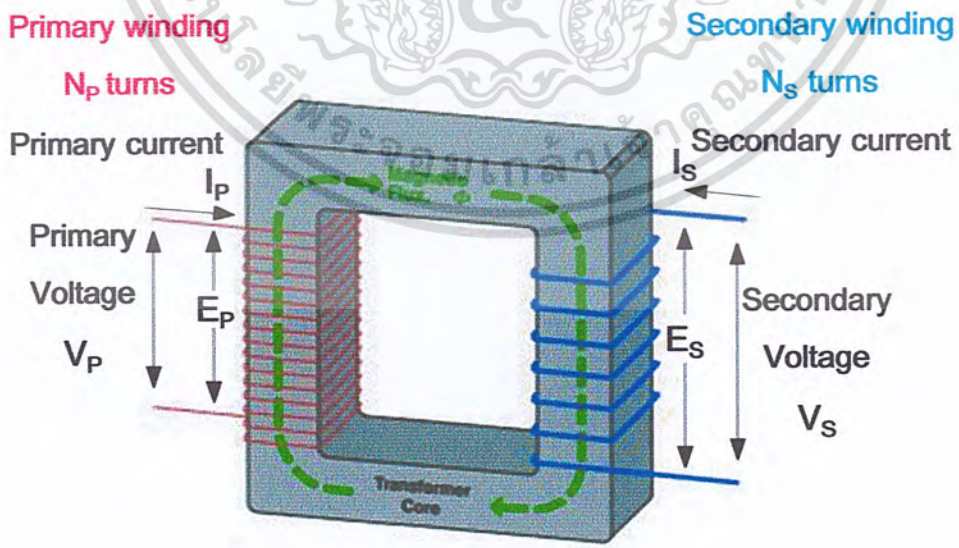
V_s คือ แรงดันที่จ่ายออก

E_p คือ แรงดันที่เหนี่ยวนำด้านป้อนเข้า

E_s คือ แรงดันที่เหนี่ยวนำด้านจ่ายออก

I_p คือ กระแสด้านป้อนเข้า

I_s คือ กระแสด้านจ่ายออก



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำบนขดลวดเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์

$$e(t) = - N \frac{d\varphi}{dt} \quad (2.1)$$

เมื่อป้อนแรงดันกระแสสลับรูปคลื่นไซน์ให้กับขดลวดทางด้านกำลังไฟฟ้าเข้าจะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กเป็นรูปคลื่นไซน์ด้วย

$$\varphi(t) = \varphi_{max} \sin\omega t \quad (2.2)$$

ฉะนั้นแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดอีกชุดหนึ่งด้านจ่ายกำลังไฟฟ้าออกเปลี่ยนไปตามเวลา คือ

$$e(t) = - N\omega\varphi_{max} \cos\omega t \quad (2.3)$$

จะเห็นได้ว่าแรงดันเหนี่ยวนำ e(t) จะนำหน้าเส้นฟลักซ์แม่เหล็ก $\varphi(t)$ เป็นมุมทางไฟฟ้า 90 องศา $(=\pi/2)$ แรงดันเหนี่ยวนำค่า r.m.s. คือ

$$E = \frac{2}{\sqrt{2}} \pi f N \varphi_{max} \quad (2.4)$$

$$E = 4.44 f N \varphi_{max} \quad (2.5)$$

โดยที่ $\varphi_{max} = B_{max} A$

จะได้สมการพื้นฐานของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดของหม้อแปลงคือ

$$E = 4.44 f N B_{max} A \quad (2.6)$$

หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส คือเครื่องมือสำหรับเพิ่ม หรือลดความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับ ให้สูงขึ้นหรือต่ำลง โดยอาศัยการเหนี่ยวนำไฟฟ้าระหว่างขดลวด มีส่วนประกอบง่ายๆ คือแกนเหล็กอ่อน ตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกลางกลวง โดยมากมักจะใช้แผ่นเหล็กอ่อนบางๆ หลายๆ แผ่นอันซ้อนกัน แกนเหล็กอ่อนมีหน้าที่รวมเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดขดที่ 1 ไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสในขดลวดที่ 2, ทั้ง 2 ข้างของแกนเหล็ก มีขดลวดหุ้มฉนวนบางพันไว้ข้างหนึ่งมีจำนวนรอบมาก อีกข้างหนึ่งมีจำนวนรอบน้อยขดลวดด้านที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า A.C. เรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Coil) ขดลวดอีกขดหนึ่งเรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Secondary Coil) หม้อแปลงนี้ เราจะใช้แปลงไฟขึ้นหรือแปลงไฟลงก็ได้ แล้วแต่เราจะต่อกระแสสลับเข้าทางด้านใด

2.1.1 หม้อแปลงขึ้น (Step-up Transformer)

ต้องต่อกระแสไฟสลับเข้าทางขดลวดรอบน้อย ในกรณีนี้ ขดลวดรอบน้อยจะเป็นขดลวดที่ 1 (Primary Coil, ขดลวดปฐมภูมิ) จะมีกระแสไฟฟ้าสลับเกิดขึ้นในขดลวดที่ 2 หรือขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Coil) โดยการเหนี่ยวนำ และมีความต่างศักย์สูงขึ้น เพราะขดลวดที่ 2 มีจำนวนรอบมากกว่าขดลวดที่ 1

2.1.2 หม้อแปลงลง (Step-down Transformer)

ต้องต่อกระแสไฟฟ้าสลับให้ขดลวดรอบมาก เป็นขดลวดที่ 1 ดังนั้นขดลวดรอบน้อยจะเป็นขดลวดที่ 2, ขดลวดที่ 2 จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำลง เพราะมีจำนวนรอบขดลวดน้อยกว่า

2.1.3 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

โครงสร้างสำคัญประกอบด้วย

1. ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) ทำหน้าที่รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า
2. ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทำหน้าที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า
3. แผ่นแกนเหล็ก (Core) ทำหน้าที่เป็นทางเดินสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและให้ขดลวดพันรอบแกนเหล็ก
4. ขั้วต่อสายไฟ (Terminal) ทำหน้าที่เป็นจุดต่อสายไฟกับขดลวด
5. แผ่นป้าย (Name Plate) ทำหน้าที่บอกรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลงไฟฟ้า
6. อุปกรณ์ระบายความร้อน (Coolant) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับขดลวด เช่น อากาศ, พัดลม, น้ำมัน หรือใช้ทั้งพัดลม และน้ำมันช่วยระบายความร้อน เป็นต้น
7. โครง (Frame) หรือตัวถังของหม้อแปลง (Tank) นั้นทำหน้าที่บรรจุขดลวด แกนเหล็กรวมทั้งการติดตั้งระบบระบายความร้อนให้กับหม้อแปลงขนาดใหญ่
8. สวิตช์ และอุปกรณ์ควบคุม (Switch Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า และมีอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าชนิดต่างๆ รวมอยู่ด้วย

วัสดุที่ใช้ทำขดลวดหม้อแปลงโดยทั่วไปทำมาจากสายทองแดงเคลือบน้ำยาฉนวน มีขนาด และลักษณะลวดเป็นทรงกลม หรือแบนขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลง ลวดเส้นโตจะมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากกว่าลวดเส้นเล็ก ในหม้อแปลงขนาดใหญ่มักใช้ลวดถักแบบตีเกลียวเพื่อเพิ่มพื้นที่สายตัวนำให้มีทางเดินของกระแสไฟมากขึ้น สายตัวนำที่ใช้พันขดลวดบนแกนเหล็กทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิอาจมีแทปแยก (Tap) เพื่อแบ่งขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ในหม้อแปลงขนาดใหญ่จะใช้การเปลี่ยนแทปด้วยสวิตช์อัตโนมัติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ฉนวน

สายทองแดงจะต้องผ่านการเคลือบน้ำยาฉนวน เพื่อป้องกันไม่ให้ขดลวดลัดวงจรถึงกันได้ การพันขดลวดบนแกนเหล็กจึงควรมีกระดาษอาบน้ำยาฉนวนคั่นระหว่างชั้นของขดลวดและคั่นแยกระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับทุติยภูมิด้วย ในหม้อแปลงขนาดใหญ่มักใช้กระดาษอาบน้ำยาฉนวนพันรอบสายตัวนำก่อนพันเป็นขดลวดลงบนแกนเหล็ก นอกจากนี้ยังใช้น้ำมันชนิดที่เป็นฉนวน และระบายความร้อนให้กับขดลวดอีกด้วย

2.1.5 แกนเหล็ก

แผ่นเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลงจะมีส่วนผสมของสารกึ่งตัวนำซิลิกอนเพื่อรักษาความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบขดลวดไว้ แผ่นเหล็กแต่ละชั้นเป็นแผ่นเหล็กบางเรียงต่อกันหลายชิ้นทำให้มีความต้านทานสูง และช่วยลดการสูญเสียบนแกนเหล็กที่ส่งผลให้เกิดความร้อนหรือที่เรียกว่ากระแสไหลวนบนแกนเหล็กโดยทำแผ่นเหล็กให้เป็นแผ่นบางหลายแผ่นเรียงซ้อนประกอบขึ้นเป็นแกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งมีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น แผ่นเหล็กแบบ Core และแบบ Shell

2.1.6 ขั้วต่อสายไฟ

โดยทั่วไปหม้อแปลงขนาดเล็กจะใช้ขั้วต่อไฟฟ้าต่อเข้าระหว่างปลายขดลวดกับสายไฟฟ้าภายนอก และถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดใหญ่จะใช้แผ่นทองแดง (Bus Bar) และบุชชิ่งกระเบื้องเคลือบ (Ceramic) ต่อเข้าระหว่างปลายขดลวดกับสายไฟฟ้าภายนอก

2.1.7 แผ่นป้าย

แผ่นป้ายจะติดไว้ที่ตัวถังของหม้อแปลงเพื่อแสดงรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลง อาจเริ่มจากชื่อบริษัทผู้ผลิต ชนิด รุ่น และขนาดของหม้อแปลง ขนาดกำลังไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านรับไฟฟ้า และด้านจ่ายไฟฟ้า ความถี่ใช้งาน วงจรขดลวด ลักษณะการต่อใช้งาน ข้อควรระวัง อุณหภูมิ มาตรฐานการทดสอบ และอื่นๆ

2.1.8 ข้อกำหนดทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

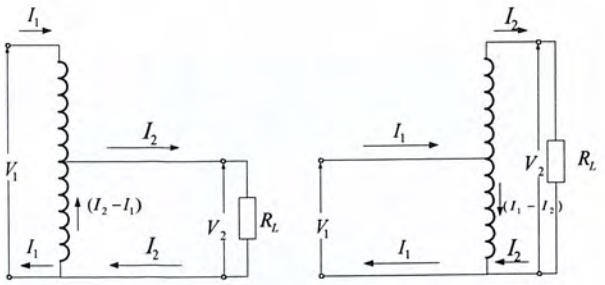
1. ไม่เปลี่ยนแปลงความถี่ไปจากเดิม

2. กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิเท่ากับด้านทุติยภูมิ เช่น หม้อแปลงขนาด 100 VA, 20 V / 5 V จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ 20 V ส่วนด้านทุติยภูมิจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 5 V

2.1.9 หม้อแปลงไฟฟ้าร่วมขดลวด (Variac)

หม้อแปลงไฟฟ้าร่วมขดลวด หรือหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวดเพียงชุดเดียว ทำหน้าที่เป็นทั้งขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสองขดลวดแต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า มีขนาดเล็ก นิยมใช้เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้า ที่รู้จักกันคือ วารีแอค (Variac) หรือ สไลด์เรกกูเลเตอร์ (Slide regulator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของ PLC [2]

การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรม และช่วยงานด้านอุตสาหกรรมเป็นระบบอัตโนมัติในยุคปัจจุบันมีบทบาทมากได้มีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม และช่วยงานอุตสาหกรรมมากขึ้น จากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้คอมพิวเตอร์มีขนาดเล็กลงมีขีดความสามารถสูงขึ้น และที่สำคัญคือราคาถูกลงทำให้มีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรมด้านต่างๆ กว้างขวางซึ่งก็ก่อให้เกิดการพัฒนาทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟท์แวร์จนเกิดการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานอุตสาหกรรมใหม่ๆ เช่นงานในการควบคุมอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรม และนิยมใช้คอมพิวเตอร์เฉพาะงานอุตสาหกรรมที่เรียกว่า Programmable Logic Controller หรือที่เรียกย่อๆ ว่า PLC โดยมีการเขียนโปรแกรมสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม

PLC ย่อมาจาก Programmable Logic Controller หมายถึงอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน่วยความจำในการเก็บ program สำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ หรือเครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้โดยการเรียกชื่อแตกต่างกันไป (PLC, 2551)

รศ.กฤษดา วิศวธถีรานนท์ (2546, หน้า 7) กล่าวว่า PLC ย่อมาจาก Programmable Logic Controller บางครั้งเรียกว่า PC (programmable controller) หมายถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถควบคุมการทำงานตามโปรแกรมที่บันทึกอยู่ในหน่วยความจำภายใน

PLC หมายถึงอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบต่างๆ แทนวงจรรีเลย์แบบเก่าซึ่งวงจรรีเลย์มีข้อเสีย คือการเดินสายและเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุมมีความยุ่งยาก (รศ.ธีรศิลป์ ทุมวิภาตและสุภาพร จำปาทอง, พ.ศ. 2545, หน้า 62)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLC หมายถึงอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วย หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม (PLC, 2551)

ณรงค์ ตันชีวะวงศ์ (2542, หน้า 2) ให้ความหมายว่า โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรมหรือกระบวนการทำงานต่างๆ โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ PLC จะมีส่วนที่เป็นอินพุต และเอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัด หรือสวิทช์ต่างๆ จะต่อเข้ากับอินพุตส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย เราสามารถสร้างวงจร หรือแบบของการควบคุมได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น

สรุป PLC คือคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมอัตโนมัติสามารถโปรแกรมได้ PLC ถูกสร้าง และพัฒนาแทนวงจรรีเลย์มีการพัฒนาให้ PLC มีการประมวลผลที่เร็วมากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของ Microprocessor มีราคาถูก สามารถใช้งานอย่างอเนกประสงค์ และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย

2.2.1 ประวัติของ PLC, การควบคุมการทำงาน และข้อแตกต่างระหว่าง PLC กับ Computer

ค.ศ.1969 PLC นั้นสามารถพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกโดยบริษัท Bedford Associates โดยใช้ชื่อว่า Modular Digital Controller (modicon) ให้กับโรงงานผลิตรถยนต์ในอเมริกาได้เสนอระบบควบคุมโดยใช้ชื่อว่า PLC

ค.ศ.1970 – 1979 ได้มีการพัฒนาให้ PLC ให้มีการประมวลผลที่เร็วมากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีของ Microprocessor ความสามารถในการสื่อสารข้อมูลระหว่าง PLC กับ PLC โดยระบบแรกคือ Modbus ของ Modicon เริ่มมีการใช้อินพุท/เอาท์พุทที่เป็นสัญญาณ Analog

ค.ศ.1980 – 1989 สร้างมาตรฐานของการสื่อสารข้อมูลของ PLC โดยบริษัท General motor ได้สร้างโปรโตคอลที่เรียกว่า Manufacturing automation protocol ขนาด PLC เล็กลง และผลิตซอฟแวร์ที่สามารถโปรแกรม PLC ภาษา Symbolic โดยสามารถโปรแกรมผ่านทาง Personal computer แทนที่โปรแกรมทาง Handheld หรือ Programming terminal

ค.ศ.1990 – ปัจจุบัน ได้ความพยายามในการที่จะทำให้ภาษาที่ใช้ในการโปรแกรม PLC มีมาตรฐานเดียวกันโดยใช้มาตรฐาน IEC1131-3 สามารถโปรแกรม PLC ด้วยภาษาดังนี้ (PLC, 2551)

1. IL (Innstruction list)
2. LD (Ladder Diagrams)
3. FBD (function block diagrams)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. SFC (sequential function chart)

5. ST (structured text)

การใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของรีเลย์ (relay) ซึ่งระบบของรีเลย์ จำเป็นจะต้องเดินสายไฟฟ้าเมื่อจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่ ต้องเดินสายไฟฟ้าใหม่ ซึ่งจะเสียเวลา และเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ PLC การเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น PLC ยังใช้ระบบโซลิด – สเตท ซึ่งน่าเชื่อถือกว่าระบบเดิม การกินกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า และสะดวกกว่าเมื่อต้องการขยายขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร

2.2.1.1 การควบคุมงานของ PLC

แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะงาน คือ

2.2.1.1.1 งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (sequence control) เช่นการทำงานของระบบรีเลย์แบบต่างๆ รวมถึงการทำงานในระบบกึ่งอัตโนมัติ และระบบอัตโนมัติ หรือการทำงานที่เป็นกระบวนการของเครื่องจักรกลต่างๆ

2.2.1.1.2 งานที่ควบคุมสมัยใหม่ (sophisticated control) เช่น การทำงานด้านคณิตศาสตร์ บวก ลบ คูณ หาร การควบคุมอุณหภูมิการควบคุมความดันการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ หรือสเตปเปอร์มอเตอร์

2.2.1.1.3 การควบคุมงานอำนวยการ (supervisory control) เช่น งานสัญญาณเตือนงานต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ท RS-232 ซึ่งงานควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม LAN (local area network), WAN (wide area network) เป็นต้น

2.2.1.2 ข้อแตกต่างระหว่าง PLC กับ computer ทั่วไป

PLC เป็นคอมพิวเตอร์เฉพาะประเภทหนึ่งจึงมีโครงสร้างเหมือนคอมพิวเตอร์แต่มีแตกต่างกันดังต่อไปนี้คือ

1. PLC ถูกออกแบบมาให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมเช่น ความร้อน ความเย็น ระบบไฟฟ้ารบกวน การสั่นสะเทือน การกระแทก

2. การใช้โปรแกรมเบื้องต้นของ PLC นี้จะไม่ยุ่งยากมากนักเหมือนของคอมพิวเตอร์ซึ่งมีระบบตรวจสอบตัวเองทำให้ใช้งานได้ง่ายและบำรุงรักษาง่าย

3. PLC ทำงานตามที่โปรแกรมเอาไว้เพียงโปรแกรมเดียวเท่านั้น ทำให้ไม่ยุ่งยาก ส่วนคอมพิวเตอร์จะทำงานตามโปรแกรมหลายๆ โปรแกรมพร้อมกันจึงมีความยุ่งยากกว่า

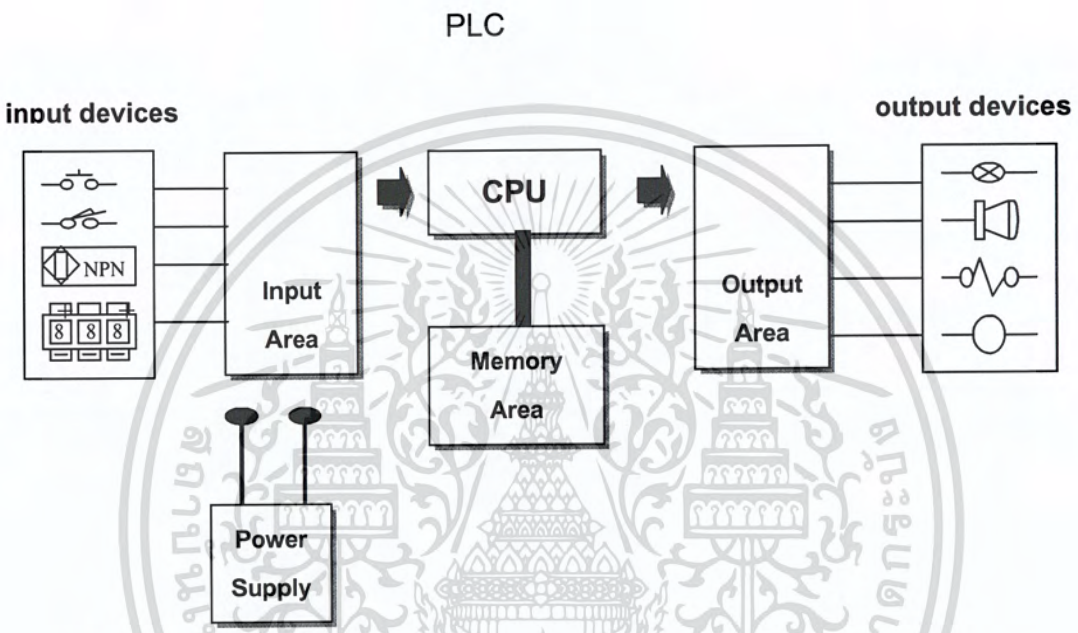
4. PLC ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกชนิดมีทั้งแบบอนาล็อก และแบบลอจิก (on - off)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โครงสร้างภายในของ PLC

ลักษณะโครงสร้างภายในของ PLC ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ภาคอินพุต (input section)
2. ตัวประมวลผล (CPU)
3. หน่วยความจำ (memory)
4. ภาคเอาต์พุต (output section)
5. แหล่งจ่ายไฟ (power supply)



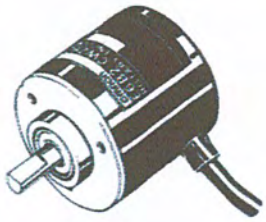
รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของ PLC

2.2.2.1 ภาคอินพุต (input section)

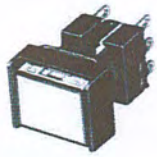
อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามา และทำการส่งข้อมูลที่ได้ต่อไปยังตัวประมวลผล (CPU) เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป โดยข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณอินพุทนี้ได้มาจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เซนเซอร์ (sensor), สวิตช์ (switch) และเอนโค๊ดเดอร์ (encoder) เป็นต้น

สัญญาณอินพุตส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณแบบรีเลย์, พัลส์, แรงดัน หรือกระแสไฟฟ้าสัญญาณเหล่านี้จะถูกส่งมาจากอุปกรณ์อินพุทต่างๆ เมื่อ PLC ได้รับสัญญาณอินพุทมาแล้วจะนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

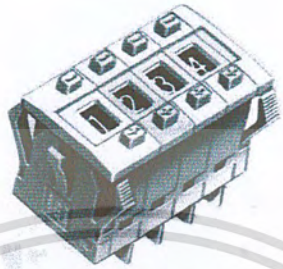


ROTARY ENCODER (a)



SWITCH (b)

PROXIMITY SENSOR (c)

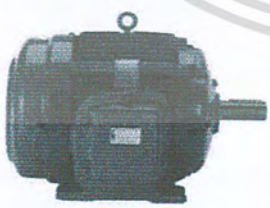


THUM WHEEL (d)

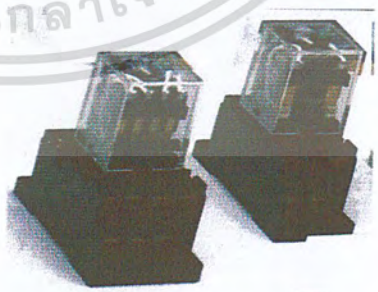
รูปที่ 2.4 อุปกรณ์อินพุท (input devices)

2.2.2.2 ภาคเอาท์พุต (output section)

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก เช่น มอเตอร์ (Motor), รีเลย์ (relay) และแมคเนติกรีเลย์โดยที่มีการส่งสัญญาณที่ออกมาจากภาคเอาท์พุทของ PLC เป็นเอาท์พุทแบบรีเลย์ หรือเป็นเอาท์พุทแบบทรานซิสเตอร์ ก่อนที่สัญญาณจะผ่านไปยังอุปกรณ์เอาท์พุตได้ต้องผ่าน Buffer relay ก่อนจึงจะสามารถต่อเข้าโหลดได้ หรือต้องต่อผ่านวงจรไดร์ฟก่อน เช่น ถ้าต้องการสัญญาณเอาท์พุตไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน ต้องผ่านวงจรไดร์ฟก่อนเนื่องจากกระแสที่จ่ายออกมาจาก PLC มีค่าน้อยเกินไป

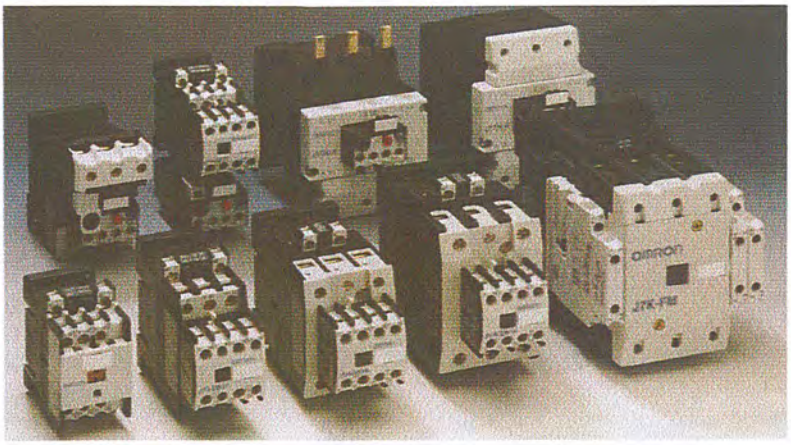


MOTOR (a)



RELAY (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MAGNETIC RELAY (c)

รูปที่ 2.5 อุปกรณ์เอาต์พุต

2.2.2.3 ตัวประมวลผล (CPU)

ทำหน้าที่คำนวณ และควบคุมซึ่งเปรียบเสมือนสมองของ PLC และภายในประกอบด้วยวงจรลอจิกหลายชนิด และมีไมโครโปรเซสเซอร์เบส (micro processor based) ใช้แทนอุปกรณ์จำพวกรีเลย์, เคาน์เตอร์, ไทม์เมอร์ และซีเควนเซอร์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถออกแบบวงจรโดยใช้ Relay ladder diagram ได้ โดย CPU จะยอมรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุทต่างๆ ตามที่กล่าวข้างต้นจากนั้นจะทำการประมวลผล และเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลที่เหมาะสมและถูกต้องออกไปยังอุปกรณ์เอาท์พุท

2.2.2.4 หน่วยความจำ (memory)

ทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรม และข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน โดยขนาดของหน่วยความจำจะถูกแบ่งออกเป็นบิตข้อมูล (Data bit) ภายในจะมีหน่วยความจำ 1 บิต ก็จะมีค่าสภาวะทางลอจิก 0 หรือ 1 แตกต่างกันแล้วแต่คำสั่ง ซึ่งหน่วยความจำของ PLC จะประกอบด้วยหน่วยความจำสองชนิด คือ

RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้ และข้อมูลที่ใช้ในการปฏิบัติงานของ PLCหน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็กๆ ต่อไว้เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟดับ รวมถึงการอ่าน และการเขียนข้อมูลลงใน RAM ทำได้ง่ายเพราะฉะนั้นจึงเหมาะกับงานในระยะทดลองเครื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมอยู่บ่อยๆ

ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ตามโปรแกรมของผู้ใช้ หน่วยความจำแบบ ROM ยังสามารถแบ่งได้เป็น E – PROM ซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการเขียน และลบโปรแกรม ซึ่งเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงโปรแกรมและยังมีหน่วยความจำแบบ EE – PROM ที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียน และลบโปรแกรม สามารถใช้งานได้เหมือนกับ RAM แต่ไม่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่สำรอง แต่ราคาจะแพงกว่าเนื่องจากรวมคุณสมบัติของ ROM และRAM ไว้ด้วยกัน

2.2.2.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply)

ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า และรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ CPU Unit หน่วยความจำและหน่วยอินพุท / เอาท์พุท ความสามารถของ PLC

PLC สามารถควบคุมงานได้ 3 ลักษณะ คือ

1. งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (Sequence control) เช่น
   - การทำงานของระบบรีเลย์
   - การทำงานของไทเมอร์ เคาน์เตอร์
   - การทำงานของ P.C.B. card
   - การทำงานในระบบกึ่งอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติ หรืองานที่เป็นกระบวนการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ
2. งานควบคุมสมัยใหม่ (Sophisticated control) เช่น
   - การทำงานทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร
   - การควบคุมแบบอนาล็อก เช่น การควบคุมอุณหภูมิ, ความดัน
   - การควบคุม P.I.D. (Proportional - Integral - derivation)
   - การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์
   - การควบคุม stepper-motor
   - information handling
3. การควบคุมเกี่ยวกับงานอำนวยการ ตัวอย่าง เช่น
   - งานสัญญาณเตือน
   - งานต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ (RS-232C/RS422)
   - งานควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมแบบต่างๆ (factory automation networking)
   - LAN (local area network)
   - WAN (wide area network)

2.2.3 การใช้โปรแกรม PLC

การเขียนโปรแกรมของ PLC ที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนักจะนิยมเขียนด้วยภาษาแลดเดอร์ (ladder diagrams) และ PLC บางตัวไม่สามารถเขียนภาษาแลดเดอร์ลงในตัว PLC ได้โดยตรงต้องเปลี่ยนภาษาแลดเดอร์เป็นคำสั่งบูลีนก่อนจึงจะทำงานได้โดยการเขียนโปรแกรม PLC มีลำดับขั้นตอนการคิดดังนี้

1. ศึกษางานจริง
2. กำหนดลำดับการทำงาน
3. ร่างแบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กำหนด in put, out put (หมายเลขอุปกรณ์)

5. เขียนภาษา Ladder Diagram

6. เขียนคำสั่งบูลีนโดยสร้างตารางคำสั่งบูลีน

7. ป้อนโปรแกรมให้ PLC

8. ทดสอบโปรแกรมภายใน PLC

9. แก้ไขถ้าเขียนโปรแกรมผิด

โปรแกรมภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรม (Ladder diagram)

ภาษาแลดเดอร์เป็นภาษาเชิงรูปภาพ ประกอบไปด้วยแลดเดอร์ไดอะแกรมเพื่อไว้ดูคำสั่งแลดเดอร์ที่สั่งงาน ถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานแต่เดิมนั้นออกแบบมาแทนวงจรรีเลย์ ดังนั้นแลดเดอร์ไดอะแกรมก็จะอ้างอิงวงจรซีเควันของรีเลย์เป็นส่วนใหญ่ ต่อมามีการพัฒนาฟังชั่นให้สะดวกกว่าการใช้งานมากขึ้น

หลักการเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรม (Ladder diagram) และคำสั่งบูลีน แลดเดอร์ไดอะแกรมจัดเป็นภาษาสัญลักษณ์ที่สามารถดูตามโครงสร้างแล้วเข้าใจการทำงานแต่เวลาที่ PLC จะทำงานจะอาศัยชุดคำสั่งบูลีนทำงานโดยวิธีการเขียนลงในส่วนหน่วยความจำข้อมูล ในหน่วยความจำนั้นจะจัดเก็บเป็นรหัส (code) ไม่สามารถจัดเก็บแลดเดอร์โดยตรงได้ (PLC บางยี่ห้อสามารถเขียน และจัดเก็บด้วยแลดเดอร์ได้) ดังนั้นผู้ใช้จึงจำเป็นต้องเข้าใจชุดคำสั่งบูลีนเพราะชุดคำสั่งนั้นก็แปลงภาษามาจากแลดเดอร์ไดอะแกรมนั่นเอง

2.2.3.1 คำสั่ง LOAD และLOAD NOT

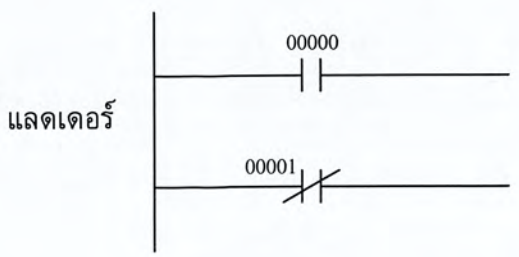
สัญลักษณ์แลดเดอร์ อ่านว่า LOAD เขียนเป็นบูลีนว่า LD

สัญลักษณ์แลดเดอร์ อ่านว่า LOAD NOT เขียนเป็นบูลีนว่า LD NOT

LD ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปกติเปิด หรือ NO (normal open) หรือ OFF หรือ 0

LD NOT ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปกติปิด หรือ NC (normal close) หรือ ON หรือ 1

ตัวอย่าง 2.1 การเขียนภาษาแลดเดอร์ และการคีย์คำสั่งบูลีน



รูปที่ 2.6 การเขียนภาษาแลดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.1 คำสั่งบูลีน (a)

Address	Instruction	Operands
00000	LD	00000
00001	LD NOT	00001

2.2.3.2 คำสั่ง AND, AND NOT

ตัวอย่าง 2.2 การเขียนภาษาแลดเดอร์และการคีย์คำสั่งบูลีน

00000 00001

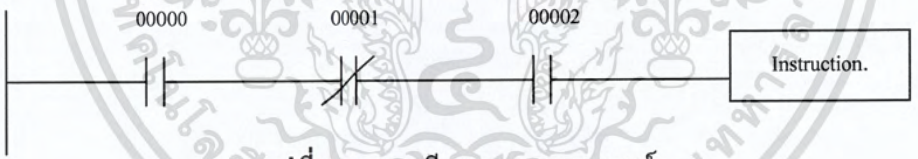
สัญลักษณ์แลดเดอร์

อ่านว่า AND เขียนเป็นคำสั่งบูลีนว่า AND ซึ่งเขียนในตารางคำสั่งบูลีนจากแลดเดอร์ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 คำสั่งบูลีน (b)

Address	Instruction	Operands
00000	LD	00000
00001	AND NOT	00001

ตัวอย่าง 2.3 ชุดคำสั่งและการเขียนแลดเดอร์คำสั่ง AND, AND NOT



รูปที่ 2.7 การเขียนภาษาแลดเดอร์

จากโปรแกรมแลดเดอร์เขียนเป็นคำสั่งบูลีนดังนี้

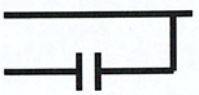
ตารางที่ 2.3 คำสั่งบูลีน (c)

Address	Instruction	Operands
00000	LD	00000
00001	AND NOT	00001
00002	AND	00002
00003	Instruction	

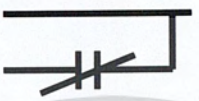
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

119430

2.2.3.3 คำสั่ง OR, OR NOT

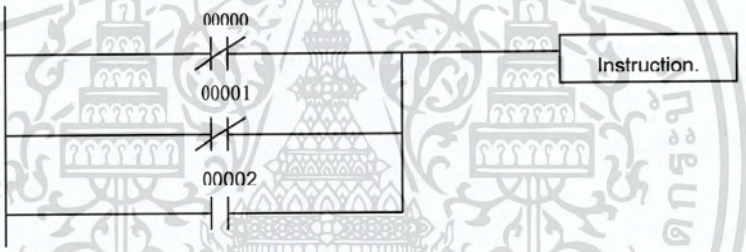
สัญลักษณ์แลดเดอร์ 

อ่านว่า OR เขียนเป็นบูลีนว่า OR

สัญลักษณ์แลดเดอร์ 

อ่านว่า OR NOT เขียนเป็นบูลีนว่า OR NOT

ตัวอย่าง 2.4 ชุดคำสั่ง และการเขียนแลดเดอร์คำสั่ง OR, OR NOT



รูปที่ 2.8 การเขียนภาษาแลดเดอร์

จากโปรแกรมแลดเดอร์เขียนเป็นคำสั่งบูลีนดังนี้

ตารางที่ 2.4 คำสั่งบูลีน (d)

Address	Instruction	Operands
00000	LD NOT	00000
00001	OR NOT	00001
00002	OR	00002
00003	Instruction	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.4 คำสั่ง OUT, OUT NOT

เป็นคำสั่งที่สั่งให้ OUT PUT ภายนอกทำงาน หรือไม่ทำงาน

สัญลักษณ์แลดเดอร์

อ่านว่า OUT เขียนเป็นบูลีนว่า OUT แสดงว่ายังไม่ทำงาน

สัญลักษณ์แลดเดอร์

อ่านว่า OUT NOT เขียนเป็นบูลีนว่า OUT NOT แสดงว่าทำงานอยู่

ตัวอย่าง 2.5 รูปแบบชุดคำสั่งจากแลดเดอร์

รูปที่ 2.9 การเขียนภาษาแลดเดอร์

จากโปรแกรมแลดเดอร์เขียนเป็นคำสั่งบูลีนดังนี้

ตารางที่ 2.5 คำสั่งบูลีน (e)

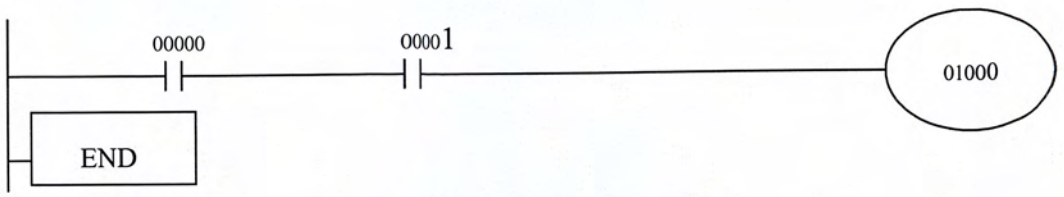
Address	Instruction	Operands
00000	LD	00000
00001	OUT	01000

2.2.3.5 การใช้คำสั่ง END หรือ FUN 01

การเขียนโปรแกรมทุกครั้ง เมื่อสิ้นสุดการเขียนโปรแกรมแล้ว จะต้องจบด้วยคำสั่ง END หรือกดคีย์ FUN 01 ถ้าไม่มีคำสั่ง END แล้ว เมื่อผู้ใช้สั่ง PLC run โปรแกรมที่เขียนใน PLC จะไม่ run จะมีข้อความขึ้นว่า NO END INSTR แสดงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง 2.6 ทดลองคีย์คำสั่ง Mnemonic โดยมีคำสั่ง END



รูปที่ 2.10 การเขียนภาษาแลดเดอร์

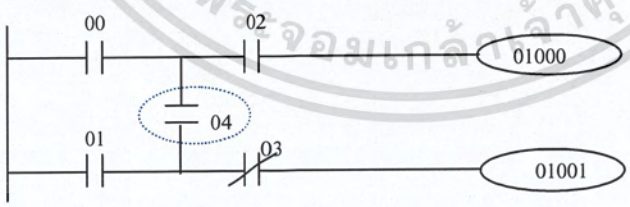
จากโปรแกรมแลดเดอร์เขียนเป็นคำสั่งบูลีนดังนี้

ตารางที่ 2.6 คำสั่งบูลีน (f)

Address	Instruction	Operands
00000	LD	00000
00001	AND	00001
00002	OUT	01000
00003	END	

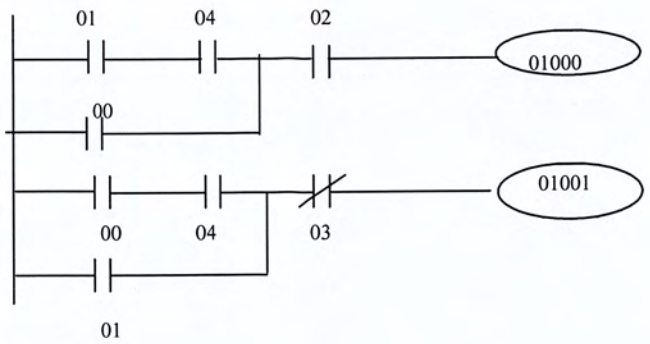
2.2.4 ข้อกำหนดในการเขียนโปรแกรมแลดเดอร์

2.2.4.1 การแปลงแลดเดอร์ จากไดอะแกรมของแลดเดอร์ข้างล่างจะไม่สามารถเขียนโปรแกรมได้จำเป็นต้องแปลงชุดแลดเดอร์ไดอะแกรมก่อน



รูปที่ 2.11 การเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมที่ไม่สามารถเขียนโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนใหม่ และสามารถเขียนโปรแกรมได้

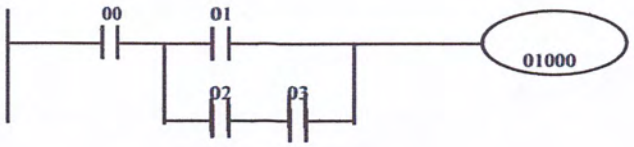
2.2.4.2 เมื่อต้องการให้เอาต์พุต ON ทำงานตลอดเวลา เราจะใช้แฟลค (flag) ที่เป็นแบบทำงานตลอดคือ ALWAYS ON (25313) ใน SR area มาเป็นตัวสร้างเงื่อนไข เพราะไม่สามารถต่อคอยล์เอาต์พุตได้โดยตรงกับ Bus ดังตัวอย่าง

รูปที่ 2.13 แลดเดอร์ไดอะแกรมที่ไม่สามารถเขียนโปรแกรมได้

รูปที่ 2.14 แลดเดอร์ไดอะแกรมที่สามารถเขียนโปรแกรมได้

2.2.4.3 จำนวนหน้าคอนแทคของ อินพุท/เอาท์พุท, รีเลย์ และTIM/CNT จะมีการโหลดเพื่อนำมาเขียนโปรแกรมเป็นจำนวนเท่าใดก็ได้ตามความประสงค์ของผู้ใช้แต่ถึงอย่างไรก็ตามการเขียนโปรแกรมที่ดีจะต้องพยายามประหยัดขนาดของโปรแกรมให้มากเท่าที่จะสามารถทำได้ซึ่งจะเปรียบเทียบให้เห็นในแลดเดอร์ไดอะแกรม A และแลดเดอร์ไดอะแกรม B จะสังเกตเห็นได้ว่าการเขียนในแลดเดอร์ไดอะแกรมนั้น B จะประหยัดคำสั่งได้ 2 คำสั่งในขณะที่โปรแกรมทำงานได้เหมือนกัน

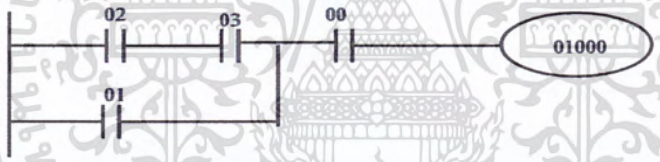
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แลดเดอร์ไดอะแกรม A ที่เขียนโปรแกรมโดยไม่ประหยัดจำนวนคำสั่ง

ตารางที่ 2.7 คำสั่งบูลีน (g)

Address	Instruction	Operands
0000	LD	00
0001	LD	01
0002	LD	02
0003	AND	03
0004	OR LD	
0005	AND LD	
0006	OUT	01000



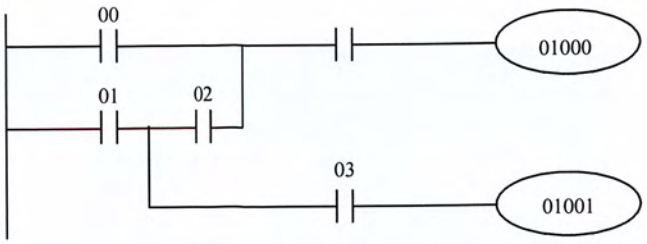
รูปที่ 2.16 แลดเดอร์ไดอะแกรม B ที่เขียนโปรแกรมโดยประหยัดจำนวนคำสั่ง

ตารางที่ 2.8 คำสั่งบูลีน (h)

Address	Instruction	Operands
0000	LD	02
0001	AND	03
0002	OR	01
0003	AND	00
0004	OUT	01000

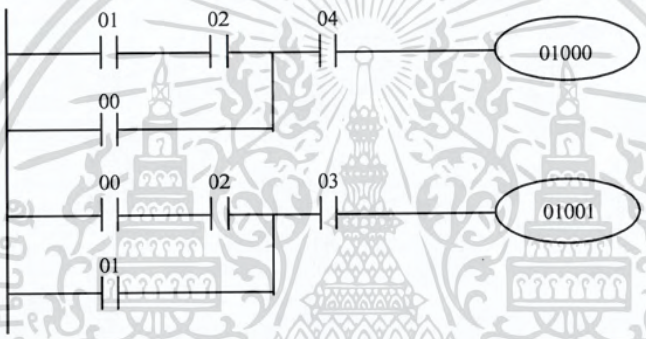
2.2.4.4 สำหรับแลดเดอร์ไดอะแกรม พิจารณาการทำงานจากซ้ายไปขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แลดเดอร์ไดอะแกรม A ที่เขียนโปรแกรมโดยไม่สามารถอ่านจากซ้ายไปขวาได้

จากแลดเดอร์ไดอะแกรม A ถ้าหน้าสัมผัส 00, 02 และ03 มีสภาวะ ON ก็ไม่สามารถทำให้เอาต์พุต 01001 ทำงาน (ON) ได้ดังนั้นต้องทำการจัดโปรแกรมเสียใหม่เพื่อให้การทำงานกระทำจากซ้ายไปขวา ดังรูปแลดเดอร์ไดอะแกรม B

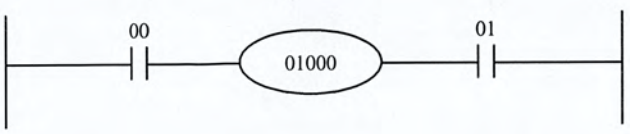


รูปที่ 2.18 แลดเดอร์ไดอะแกรม B ที่เขียนโปรแกรมโดยสามารถอ่านจากซ้ายไปขวาได้

2.2.4.5 จำนวนหน้าสัมผัสที่ใช้ในการต่ออนุกรมหรือขนาน สามารถทำได้ไม่มีขีดจำกัด จะใช้เท่าใดก็ได้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ (user)

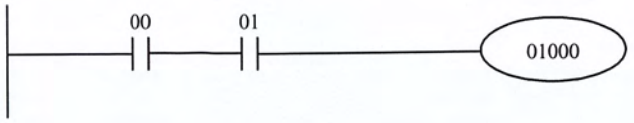
2.2.4.6 สาเหตุที่เอาต์พุตทุกๆ เอาต์พุตจะมี Auxiliary Contact ก็เพื่อใช้งานในโปรแกรมได้และสามารถใช้จำนวนไม่จำกัด

2.2.4.7 การเขียนโปรแกรมไม่สามารถเขียนโปรแกรมให้หน้าสัมผัสอยู่ตำแหน่งหลังคอยล์ได้



รูปที่ 2.19 แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมไม่ได้โดยมีหน้าสัมผัสอยู่หลังคอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



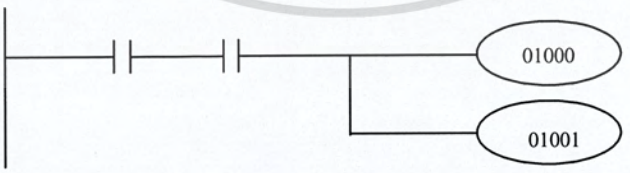
รูปที่ 2.20 แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมได้โดยมีหน้าสัมผัสอยู่หน้าคอยล์

2.2.4.8 การเขียนโปนแกรมที่ซ้ำกันไม่ได้ คือไม่สามารถเขียนโปรแกรมให้มีเอาต์พุตซ้ำกันหลายๆ ครั้งได้ ต้องจัดรูปเสียใหม่

รูปที่ 2.21 แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมไม่ได้โดยมีเอาต์พุตซ้ำกัน

รูปที่ 2.22 แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมไม่ได้โดยจัดรูปเสียใหม่เอาต์พุตไม่ซ้ำกัน

2.2.4.9 เอาต์พุตคอยล์สามารถเขียนโปรแกรมต่อขนานได้ กรณีรับเงื่อนไขของหน้าสัมผัสชุดเดียวกัน



รูปที่ 2.23 แลดเดอร์ไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมได้โดยเอาต์พุตต่อขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.10 PLC จะเริ่มต้นประมวลผลโปรแกรมจาก Address 00000 จนกระทั่งถึงคำสั่งสุดท้ายจะเป็นคำสั่ง END โดยที่คำสั่ง END อาจจะมีหลายตำแหน่งในโปรแกรมที่เป็นเช่นนี้เพื่อจุดประสงค์สำหรับการทดสอบโปรแกรม กรณีแยกโปรแกรมออกเป็นส่วนๆ และง่ายต่อการตรวจสอบแก้ไขโปรแกรม

2.2.5 ความสามารถของ PLC

PLC สามารถควบคุมงานได้ 3 ลักษณะ คือ

2.2.5.1. งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (sequence control) ตัวอย่าง เช่น

- การทำงานของระบบรีเลย์
- การทำงานของไทม์เมอร์ เคาน์เตอร์
- การทำงานของ P.C.B. Card
- การทำงานในระบบกึ่งอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติ หรืองานที่เป็นกระบวนการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ

2.2.5.2 งานควบคุมสมัยใหม่ (sophisticated control) ตัวอย่าง เช่น

- การทำงานทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร
- การควบคุมแบบอนาล็อก เช่น การควบคุมอุณหภูมิ และการควบคุมความดัน
- การควบคุม P.I.D. (proportional-intergral-derivation)
- การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ (servo-motor control)
- การควบคุม stepper-motor
- information handling

2.2.5.3 การควบคุมเกี่ยวกับงานอำนวยการ (supervisory control) ตัวอย่าง เช่น

- งานสัญญาณเตือน และprocess monitoring
- fault diagnostic and monitoring
- งานต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ (RS-232C/RS422)
- Printer/ASCII Interfacing
- งานควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม
- LAN (local area network)
- WAN (wide area network)
- FA. , FMS., CIM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

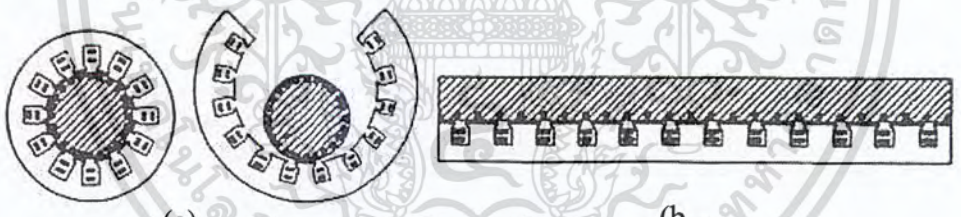
2.3 ทฤษฎีพื้นฐานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (มอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ) [3]

ในทางปฏิบัติเครื่องจักรไฟฟ้าชนิดหมุน (Rotating machine) จะมีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นเป็นคู่กัน แต่ไม่มีลักษณะที่เป็นการหมุนในเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ดังนั้นจึงได้มีการแยกเครื่องจักรเชิงเส้นออกจากเครื่องจักรชนิดหมุน และเรียกเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นซึ่งเรียกว่าระบบเคลื่อนที่เชิงเส้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Linear motion electromagnetic system; LMES) โดยมีลักษณะการเคลื่อนที่ของส่วนหนึ่งเทียบกับอีกส่วนหนึ่งในแนวนอน และส่วนใหญ่นิยมเรียกแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวนอนนี้ว่า แรงขับดัน (thrust force) และเรียกแรงที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ว่าแรงตั้งฉาก (normal force) จากคุณสมบัติของระบบเคลื่อนที่เชิงเส้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยแรงขับดัน และแรงตั้งฉาก จึงถูกนำไปใช้เป็นมอเตอร์ (motor) มากกว่าเป็นเจนเนอเรเตอร์ (generator)

เมื่อลักษณะโครงสร้างของเครื่องจักรไฟฟ้าเปลี่ยนไป คุณลักษณะ คุณสมบัติการทำงาน และวิธีการออกแบบ จะต้องเปลี่ยนไปไม่มากก็น้อย ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์แบบเก่าจึงต้องถูกดัดแปลง และบางครั้งต้องมีการพัฒนาทฤษฎีใหม่ขึ้นมา

2.3.1 ความแตกต่างพื้นฐาน ระหว่างเครื่องจักรไฟฟ้าแบบเชิงเส้นกับแบบหมุน

ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องจักรไฟฟ้าจำพวกมอเตอร์ เป็นทฤษฎีของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบชนิดหมุน ดังนั้นการจะศึกษาเกี่ยวกับเครื่องจักรแบบเชิงเส้นนั้นจะใช้ผลที่ได้จากการนำเครื่องจักรชนิดหมุนมาผ่าแล้วคลี่ออกเป็นแผ่นราบ ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 a) เครื่องจักรไฟฟ้าแบบชนิดหมุน b) เครื่องจักรไฟฟ้าแบบเชิงเส้น

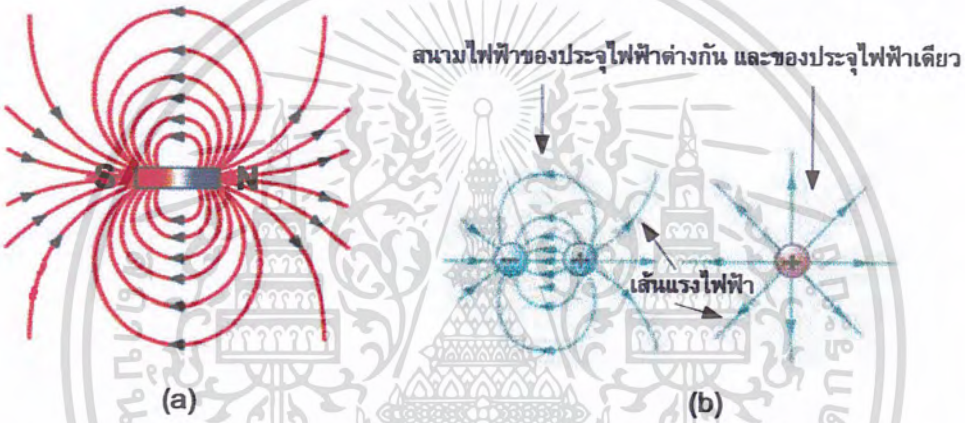
ก่อนที่จะนำทฤษฎีของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบชนิดหมุนมาใช้ในการออกแบบนั้น จะต้องศึกษาถึงความแตกต่างของเครื่องจักรที่เกิดจากการผ่าคลี่ออกและดูผลที่เกิดขึ้น เพื่อปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพ และนำมาใช้งานได้ตามต้องการ ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหลายเฟส (Poly phase induction motor) เท่านั้น

แรงที่เกิดขึ้นบนตัวเครื่องจักรไฟฟ้า โดยปกติแรงที่เกิดในตัวมอเตอร์จะมี 2 แบบ คือแรงแม่เหล็ก (Magnetic force) และแรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic force) ซึ่งอธิบายแต่ละชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 แรงสนามแม่เหล็ก แม่เหล็กถาวรกับวัสดุที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กจะดูดติดกัน หรือเกิดแต่แรงดูดเสมอ ไม่ว่าแม่เหล็กนั้นเป็นขั้วเหนือหรือขั้วใต้ และแม่เหล็กถาวรเราสามารถสร้างหรือแทนได้จากขดลวด แม่เหล็กที่ป้อนด้วยไฟตรง ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าแม่เหล็กที่สร้างจากไฟฟ้ากระแสตรงจะเกิดเฉพาะแรงสนามแม่เหล็กเท่านั้น

2.3.1.2 แรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถอธิบายได้จากการใช้ขดลวดตัวนำ 2 ขด โดยที่ขดหนึ่งป้อนด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ และอีกขดหนึ่งลัดวงจร (short circuit) จะเกิดแรงที่ผลักกันขึ้นระหว่างขดลวดทั้งสองเนื่องจากขดลวดที่ถูกลัดวงจรจะถูกเหนี่ยวนำโดยฟลั๊กซ์แม่เหล็ก (magnetic flux) ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าสลับ จากขดลวดอีกขดหนึ่ง ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางตรงกันข้าม และลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นนี้จะเรียกว่า แรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.25 แรงสนามแม่เหล็ก (a) และแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (b)

ลักษณะการเกิดแรงดูดได้จากรูปที่ 2.25 ซึ่งจะเห็นความแตกต่างระหว่างแรงสนามแม่เหล็กกับแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และเมื่อนำมาพิจารณาในเครื่องจักรไฟฟ้าแบบเชิงเส้น จะเห็นว่าแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กนั้นจะพยายามดึงโรเตอร์ (Rotor) กับสเตเตอร์ (Stator) เข้าหากัน ทำให้เกิดแรงทางกลที่ตัวแม่เหล็กของโรเตอร์กับสเตเตอร์ สำหรับแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดแรงผลักกันระหว่างขดลวดของโรเตอร์จะเกิดแรงสนามแม่เหล็กเช่นกัน โดยจะเกิดในแนวรัศมี ทำให้แรงจากสนามแม่เหล็กไม่มีผลเนื่องจากความสมมาตรทางโครงสร้างทำให้แรงที่เกิดขึ้น หักล้างกันหมดไป การทำให้เครื่องกลไฟฟ้าแบบเชิงเส้นเคลื่อนที่ได้วิธีหนึ่งก็คือ ใช้ล้อ เพื่อแยกไม่ให้โรเตอร์กับสเตเตอร์ดูดติดกัน และใช้แรงจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่แต่จะเกิดปัญหาคือถ้าระยะห่างระหว่างโรเตอร์กับตัวสเตเตอร์ห่างกันมาก จะทำให้เกิดการโค้งงอได้ แต่ถ้านำเหล็กที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์ออกให้เหลือส่วนที่เป็นตัวนำ ดังนั้นแรงสนามแม่เหล็กจะหายไป และสามารถใช้ตัวนำที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

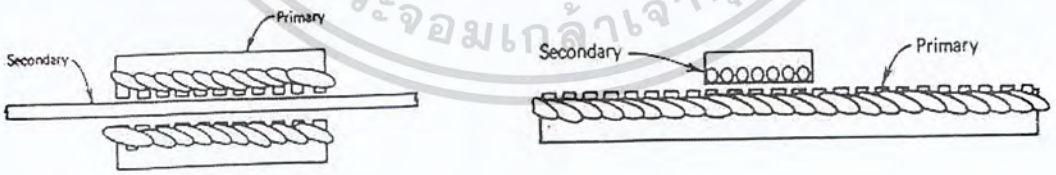
ลักษณะเป็นแผ่นแทน ก็จะทำให้เกิดแต่แรงผลัก จากผลนี้ทำให้เกิดการพัฒนาเป็นเครื่องจักรไฟฟ้าแบบเชิงเส้นที่ไม่ต้องใช้ล้อ เพราะมีแรงที่ทำให้โรเตอร์กับสเตเตอร์แยกกันได้

ข้อแตกต่างที่สอง คือจากรูปที่ 2.24 เห็นได้ว่าเมื่อมีการเคลื่อนที่ในแนวนอน อิทธิพลของสเตเตอร์ต่อโรเตอร์ที่ปลายด้านหนึ่งจะหมดไป ซึ่งทำให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ (Travelling magnetic field) ที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง ตลอดความยาวของเครื่องจักรไฟฟ้าทำให้เกิด ทรานเซียน (Transient) ขึ้น และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ผลปลายสุด (End Effect) ด้วยเหตุนี้ทำให้คุณลักษณะของ เครื่องจักรไฟฟ้าแบบเชิงเส้น แตกต่างจาก เครื่องจักรไฟฟ้าแบบชนิดหมุน ทำให้ทฤษฎีของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบเชิงเส้นยุ่งยากแต่อย่างไรก็ตาม เราสามารถละเลยผลปลายสุดได้ เมื่อเครื่องจักรไฟฟ้าแบบเชิงเส้นนั้นมีจำนวนโพลพีช (pole pitch) ของส่วนที่สั้นมากกว่า 4 โพลพีช แต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถทำได้ ดังนั้นผลปลายสุดจึงยังมีอยู่เสมอ

2.3.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น (Linear Induction Motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นที่เป็นที่รู้จักกันมากที่สุด คือมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นหลายเฟส ซึ่งในมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบชนิดหมุน สนามแม่เหล็กในช่องว่าง (Air gap) จะเป็นสนามเคลื่อนที่ แต่ในมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นนั้นจะแตกต่างกันออกไปกล่าวคือ จะประกอบด้วย ส่วนประกอบแรงเคลื่อนที่ด้านหน้า (Forward) ส่วนประกอบแรงเคลื่อนที่ด้านหลัง (Backward) และส่วนประกอบแรงผลัก (Pulsating) ซึ่งเกิดมาจากความไม่ต่อเนื่องของวงจรแม่เหล็ก แต่อย่างไรก็ดีส่วนประกอบแรงเคลื่อนที่ด้านหน้ามีบทบาทมากกว่า และเป็นตัวสร้างแรงที่ต้องการ

โดยการพิจารณาความยาวของปฐมภูมิ (Primary) และทุติยภูมิ (secondary) แล้วมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นอาจเป็นชนิดลัดวงจรทางด้านปฐมภูมิ หรือลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิ และอาจมีปฐมภูมิ 2 ข้าง หันหน้าเข้าหากัน (Double Side LIM : DSLIM) หรือมีขดปฐมภูมิเพียงข้างเดียว (Single side LIM : SLIM) ดังแสดงในรูปที่ 2.26

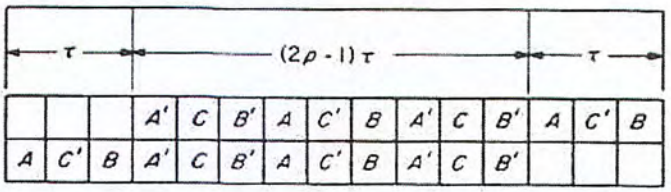


รูปที่ 2.26 ขดปฐมภูมิ 2 ข้าง, ขดปฐมภูมิ 1 ข้าง

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นอาจประกอบด้วยทุติยภูมิที่เป็นแผ่นตัวนำ ซึ่งบางครั้งอาจจะประกบด้วยวัสดุที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กไว้ทางด้านหลัง ซึ่งรู้จักกันในชื่อของแบคไอออน (Back Iron) หรืออาจจะมีลักษณะเป็นแท่งตัวนำฝังอยู่บนวัสดุแม่เหล็กซึ่งจะเรียกว่า แลดเดอร์ (Ladder) ส่วนที่เป็นลักษณะของลวดพันอยู่พบเห็นไม่บ่อยนัก โลหะเหลว

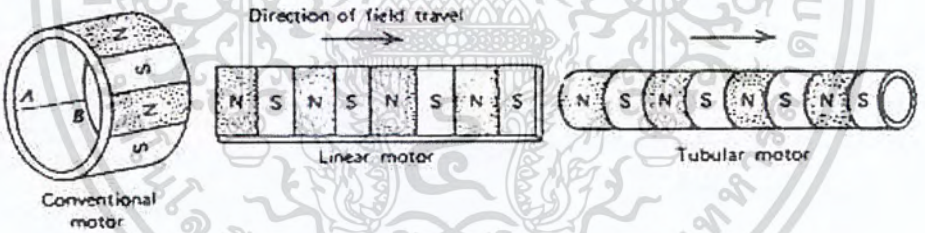
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจนำมาเป็นทุติยภูมิได้ ส่วนปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นอาจมี 1, 2 หรือ 3 เฟสก็ได้ และในลักษณะของปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นจะมีลักษณะคล้ายกับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงหมุน แต่ต่างกันตรงที่ปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นจะมีการลงขดลวด (Half-filled end slot) ดังรูปที่ 2.27



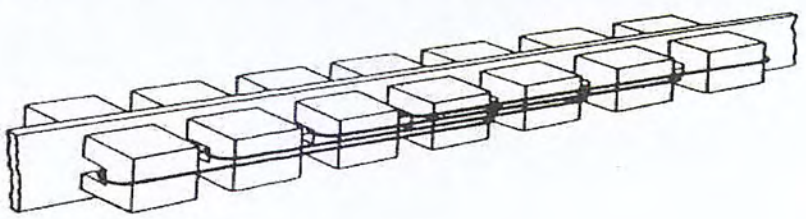
รูปที่ 2.27 การลงขดลวดปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น

ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น ได้มาจากการตัด และคลี่มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นออกทำให้เกิดเป็นลักษณะ แฟลท แอล ไอ เอ็ม (Flat LIM) ถ้าเรามัวนส่วนของแฟลทไพรมะรี่ (Flat Primary) รอบแกนที่ขนานไปกับทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.28 จะได้ลักษณะโครงสร้างที่เป็นทรงกระบอกปลายสุด และสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ไปตามรูกลวงของปฐมภูมิ เรียกมอเตอร์ใหม่นี้ว่า เทอร์โบล่ามอเตอร์ (Tubular motor) ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดข้อหนึ่งของเทอร์โบล่า คือไม่มีผลของปลายสุด (End connection)



รูปที่ 2.28 การพัฒนาของเทอร์โบล่ามอเตอร์

ทั้งแฟลทไพรมะรี่และเทอร์โบล่า เป็นจำพวกที่เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กอยู่ในทิศทางของการเคลื่อนที่ วงจรแม่เหล็กไฟฟ้า อาจดัดแปลงให้ทางเดินของฟลั๊ก (Flux Path) อยู่ในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แกนเหล็กรูปตัว ซี ประกบคู่ (TFLIM) และขดลวดแบบกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การประยุกต์ใช้งานของระบบเหนี่ยวนำแบบเชิงเส้น (LMES)

ก่อนที่จะมีมอเตอร์แบบเชิงเส้นนั้น มอเตอร์แบบเชิงหมุนและอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น เช่น เกียร์, ชุดเฟือง ได้ถูกนำมาใช้ให้เกิดการทำงาน ในแบบเชิงเส้น ข้อดีที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดของมอเตอร์แบบเชิงเส้น คือไม่ต้องใช้ชุดเกียร์ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบเชิงหมุนแล้ว มอเตอร์แบบเชิงเส้นนั้นคงทนและเชื่อถือได้ดีกว่า และมีข้อดีอื่นๆ อีก คือ

- มีอัตราเร่งและอัตราหน่วงสูง และการสึกกร่อนของล้อและทางวิ่งน้อยกว่า
- การป้องกันทางกล ทางไฟฟ้า และความสามารถในการทนต่อสภาพเลวร้าย
- ความสะดวกในการซ่อมบำรุง และสับเปลี่ยน
- ความสามารถในการสร้างแรงขับดันโดยปราศจากการสัมผัสกันทางกล
- ความสะดวกในการควบคุมแรงขับดัน และความเร็ว
- การที่มีแรงตั้งฉากของ (Normal force) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ใน Levitation

มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นได้ถูกนำไปใช้งานหลายรูปแบบ แต่รูปแบบหนึ่งที่นำไปใช้กันอย่างกว้างขวางและเป็นที่น่าสนใจ คือ การประยุกต์ใช้ในการขนส่งทางบกด้วยความเร็วสูง หรือความเร็วปานกลาง ในการประยุกต์ใช้งานความเร็วสูง มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นต้องให้แรงขับดัน และแรงยกเพื่อยกพาหนะให้ลอยอยู่ในอากาศ หรือในบางตัวอย่างอาจจะใช้เพียงแค่สร้างแรงขับดันเท่านั้น และพาหนะถูกรองรับไว้ด้วยล้อหรือเบาะอากาศ (Air Cushion) ก็ได้

ลักษณะเฉพาะของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเชิงเส้นสำหรับงานที่ต้องการความเร็วต่ำ คือแฟลท แอล ไอ เอ็ม ใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งถูกนำไปใช้ในงานที่มีช่วงการเคลื่อนที่สั้นๆ (Short Stroke) มีระยะ 0.5 - 2 เมตร

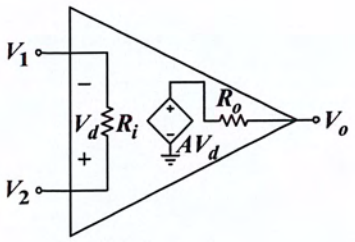
2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของออปแอมป์ (Operational Amplifiers) [4]

ออปแอมป์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีการทำงานเป็นแบบ Voltage-controlled voltage source ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับสัญญาณได้ ดังนี้

- รวมสัญญาณ (sum signal)
- อนุพันธ์สัญญาณ (differentiate signal)
- อินทิเกรตสัญญาณ (Integrate signal)
- ขยายสัญญาณ (Amplify signal)

ภายในตัวออปแอมป์เมื่อพิจารณาถึงวงจรภายใน ในสภาวะที่ไม่เป็นอุดมคติ (non-ideal) จะประกอบไปด้วยวงจรสมมูล ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

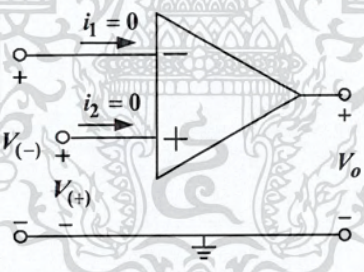


รูปที่ 2.30 วงจรสมมูลของ non-Ideal Op amp

เมื่อพิจารณาถึงวงจรสมมูล ดังรูปที่ 2.30 สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุต และแรงดันเอาท์พุต ดังนี้

$$V_0 = AV_d = A(V_2 - V_1) \tag{2.7}$$

ซึ่งแหล่งจ่ายแรงดัน จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อ มีแรงดันตกคร่อมที่ R_i ซึ่งจะเกิดขึ้นจากแรงดันอินพุต V_1 และ V_2 นั่นเอง
และสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกระแส และแรงดันได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.31 ออปแอมป์ทางอุดมคติ

ดังนั้นกระแสที่ไหลเข้าออปแอมป์ทางด้านอินพุตจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$i_1 = 0, i_2 = 0 \text{ หรือ } i_1 = i_2 \tag{2.8}$$

และแรงดันที่ขาบวก และขาลบจะมีค่าเท่ากัน

$$V_{(+)} = V_{(-)} \tag{2.9}$$

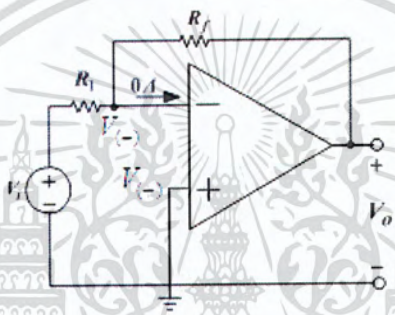
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหา $V_{(+)}$ และ $V_{(-)}$ ง่ายๆ ด้วยการสังเกตที่วงจรถ้าขั้วใดขั้วหนึ่งต่อลงกราวด์ค่าแรงดันตกคร่อมจะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือถ้าเกิดต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน ค่าแรงดันตกคร่อมที่ขั้วก็จะมีค่าเท่ากับค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น

เราจะเห็นแล้วว่าสมการเริ่มคำนวณง่ายขึ้น แต่ก็คงสงสัยต่อไปว่าจะคำนวณหาค่าแรงดันเอาท์พุตได้อย่างไรในสภาวะอุดมคตินี้ เราสามารถหาสมการของแรงดันอินพุต และเอาท์พุตได้จากทฤษฎีของ Kirchhoff's Current Laws (KCL) มาช่วยในการคำนวณหาสมการความสัมพันธ์นั้น ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ ดังนี้

2.4.1 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส คือวงจรออปแอมป์ที่กลับสัญญาณอินพุตให้มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิม



รูปที่ 2.32 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

พิจารณาจากรูปด้านบนเราจะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุต คือ

$$V_{(-)} = 0 = V_{(+)}$$

(ขั้วบวกของออปแอมป์ต่อลงกราวด์ แรงดันที่ขั้วมันจึงมีค่าเท่ากับศูนย์)

พิจารณาที่โนด $V_{(-)}$ จาก KCL; $$\frac{V_{(-)} - V_i}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0$$

เมื่อแทนค่า $V_{(-)} = 0$ ในสมการข้างต้น จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{-V_i}{R_1} - \frac{V_o}{R_f} = 0 \qquad (2.10)$$

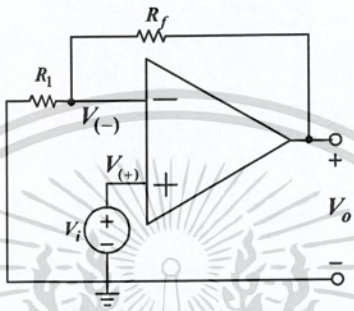
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$-\frac{R_f}{R_1}$ ซึ่ง $\frac{R_f}{R_1}$ คือค่า Voltage gain

จะเห็นได้ว่าค่า Voltage gain มีค่าติดลบซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงวงจรดังกล่าวทำหน้าที่กลับสัญญาณ

2.4.2 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส คือวงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ Voltage gain มีค่าเป็นบวก หรือให้ค่าเอาท์พุตคงค่าเครื่องหมายเหมือนเดิม



รูปที่ 2.33 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

พิจารณาจากรูปจะได้ $V_{(-)} = V_i = V_{(-)}$

(ขั้วบวกของ Op amp ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน แรงดันที่ขั้วจึงมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น)

พิจารณาที่โนด $V_{(-)}$ จาก KCL; $\frac{V_{(-)}}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0$

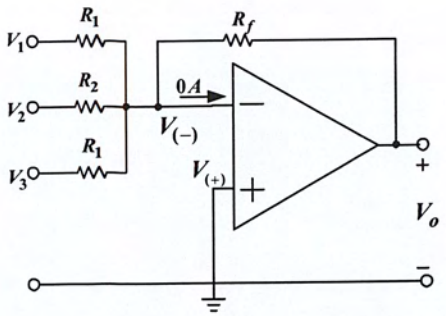
เมื่อแทนค่า $V_{(-)} = V_i$ ในสมการข้างต้น จะได้

$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i - V_o}{R_f} = 0 \qquad (2.11)$$

2.4.3 วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ คือวงจรออปแอมป์ที่รวมอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไปมารวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ

พิจารณาจากรูป(สังเกตที่ขั้วบวก)จะได้

$$V_{(+)} = 0 = V_{(-)}$$

พิจารณาที่โนด $V_{(-)}$ จาก KCL;

$$\frac{V_{(-)} - V_1}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_2}{R_2} + \frac{V_{(-)} - V_3}{R_3} + \frac{V_{(-)} - V_o}{R_f} = 0$$

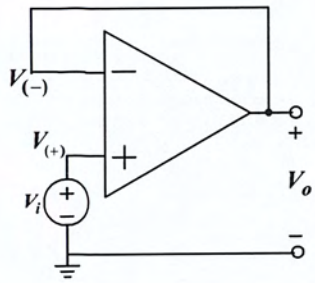
เมื่อแทนค่า $V_{(-)} = 0$ ในสมการข้างต้น จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาท์พุต คือ

$$-\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} - \frac{V_3}{R_3} - \frac{V_o}{R_f} = 0 \qquad (2.12)$$

2.4.4 วงจรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน (Voltage Follower (Buffer)

วงจรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน จะมีแรงดันทางด้านเอาท์พุตเท่ากับแรงดันทางด้านอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



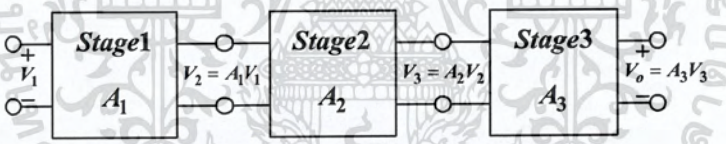
รูปที่ 2.35 The voltage follower

พิจารณาจากรูปจะได้ $$V_{(+)} = V_i = V_{(-)}$$

และ $$V_{(-)} = V_o \qquad (2.13)$$

2.4.5 การต่อวงจรออปแอมป์แบบแคสเคด (Cascaded Op Amp Circuit)

การต่อแบบแคสเคดจะเป็นการต่ออนุกรมออปแอมป์ตั้งแต่ 2 วงจรขึ้นไป โดยค่าเอาท์พุตจะเป็นค่าอินพุตของอีกวงจรหนึ่งต่อไปเรื่อยๆ (เอาท์พุตของวงจรออปแอมป์ตัวแรกจะเป็นอินพุตของออปแอมป์วงจรที่สอง)



รูปที่ 2.36 วงจรออปแอมป์ต่ออนุกรมกัน 3 วงจร

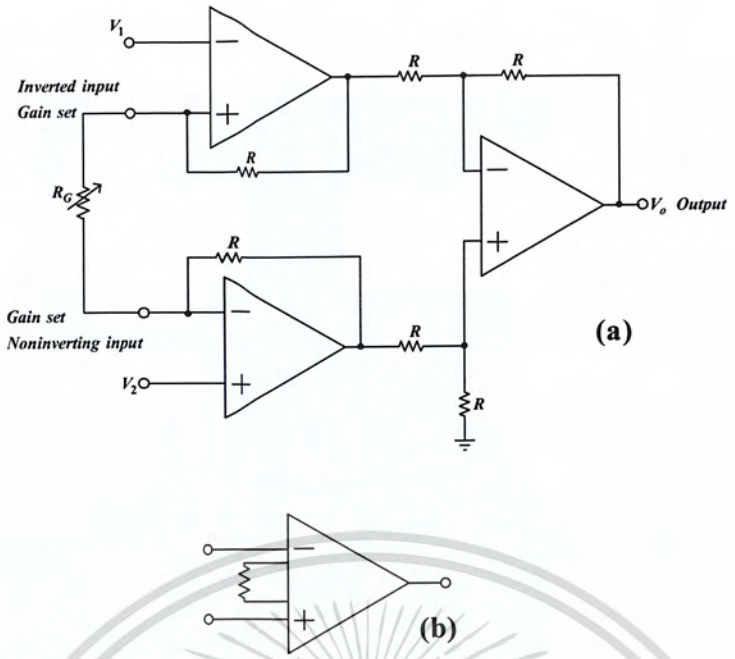
เมื่อพิจารณาจากรูปจะเห็นได้ว่าค่า Voltage gain ของวงจรมีค่าเท่ากับ

$$A = A_1A_2A_3 \qquad (2.14)$$

2.4.6 วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม (Instrumentation Amplifiers)

วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม คือวงจรออปแอมป์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณที่ได้จากการวัดซึ่งใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วๆไป จะมีรูปวงจร ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 (a) วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรมโดยปรับเกนด้วยตัวต้านทานภายนอก (b) รูปวงจรรวม

วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรมจะมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาท์พุตและแรงดันอินพุตเป็น

$$V_0 = A_v(V_2 - V_1) \qquad (2.15)$$

สรุป

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส คือวงจรออปแอมป์ที่กลับสัญญาณอินพุตให้มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิม

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส คือวงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ voltage gain มีค่าเป็นบวก หรือให้ค่าเอาท์พุตคงค่าเครื่องหมายเหมือนเดิม

วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ คือวงจรออปแอมป์ที่รวมอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไปมารวมกัน

วงจรขยายสัญญาณแบบเปรียบเทียบ คือวงจรที่ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบความแตกต่าระหว่างสองอินพุต

วงจรขยายสัญญาณแบบตามแรงดัน จะมีแรงดันทางด้านเอาท์พุตเท่ากับแรงดันทางด้านอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง (DC High Voltage) [5]

แรงดันสูงกระแสตรงอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ขณะเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง มีการเก็บสะสมประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆกับพื้นดิน ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน ในทางปฏิบัติเราสร้างแรงดันสูงกระแสตรงขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ได้โดย

1. เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสถิต (Electrostatic generator)
2. เปลี่ยนแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรง ด้วยเรกติฟายเออร์
3. ลักษณะของแรงดันกระแสตรงอาจจะกำหนดหรืออธิบายได้ด้วย
   - ขั้ว คือ ขั้วบวกหรือขั้วลบ
   - ค่าเฉลี่ย
   - ค่าสูงสุด
   - แฟกเตอร์คลื่นระลอก (Ripple factor)

2.6 วงจรเรกติฟายเออร์สร้างแรงดันกระแสตรง [5]

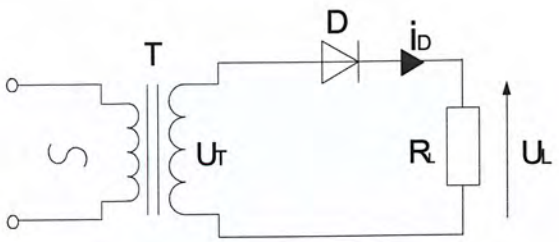
วงจรเรกติฟายเออร์สำหรับเรียงกระแสสร้างแรงดันกระแสตรง ทั้งแรงดันต่ำและแรงดันสูง จะมีทั้งวงจรพื้นฐานเป็นแบบวงจรเรกติฟายเออร์ครึ่งคลื่นหรือวงจรเรกติฟายเออร์เต็มคลื่นจะต่อวงจร เรกติฟายเออร์แบบไหน สิ่งที่สำคัญที่ต้องพิจารณา คือความเรียบของกระแสแสดงด้วยค่าแฟกเตอร์คลื่นระลอก (Ripple factor)

ในทางปฏิบัติจะใช้ตัวเก็บประจุกรองกระแส ทำให้รูปคลื่นที่เรียงแล้วเรียบขึ้น กรณีที่มีตัวจ่ายกระแสสลับแรงดันไม่สูงนัก จะสร้างแรงดันกระแสตรงสูงมากขึ้นได้ โดยใช้วงจรเรกติฟายเออร์พื้นฐานมาต่อขั้นบันได

2.7 วงจรเรกติฟายเออร์ครึ่งคลื่นธรรมดา [5]

วงจรที่ใช้สร้างแรงดันสูงกระแสตรงที่ง่ายที่สุดเป็นแบบเรียงกระแสของครึ่งหนึ่งของคลื่นที่ป้อนเข้าไปอาจจะเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบจะขึ้นอยู่กับขั้วของไดโอดที่ต่อไว้ ดังรูปที่ 2.38 เป็นวงจรเรียงกระแสช่วงครึ่งบวก วงจรประกอบด้วยหม้อแปลงแรงสูง T เป็นตัวจ่ายแรงดันรูปคลื่นไซน์ มีค่าแรงดันทางด้านจ่ายกำลังออกเท่ากับ U_T ต่อผ่านไดโอด D เรียงกระแสจ่ายให้กับโหลด R_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 วงจรเรกติฟายเออร์

2.8 เทคนิคการวัดทางด้านไฟฟ้าแรงสูง [5]

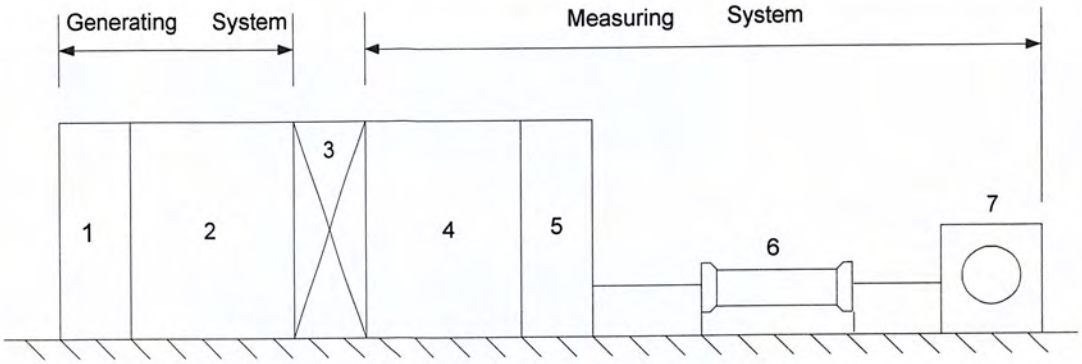
เป็นที่ทราบกันดีว่าไฟฟ้าแรงสูงนั้นมีอันตรายมาก แต่ก็มีความจำเป็นที่จะต้องนำเอาระบบแรงดันสูงมาใช้ การวัดแรงดันสูงมีข้อแตกต่างจากการวัดแรงดันต่ำ คืออุปกรณ์ตัวชี้ (Indicators) และผู้สังเกตจะต้องอยู่ห่างจากจุดที่ต้องการวัดมากพอที่จะไม่เกิดอันตราย และต้องอาศัยการฉนวนที่ถูกต้อง และเหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันที่วัด ถ้าแรงดันสูงมากขึ้นระยะการฉนวน และระยะห่างของผู้วัดจากจุดที่ต้องการวัดจะต้องมากขึ้น การวัดแรงดันสูงจึงจำเป็นจะต้องใช้เทคนิคบางประการ โดยอาศัยอุปกรณ์และเครื่องมือวัดช่วย เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และปลอดภัยแก่ผู้วัด คุณสมบัติที่ต้องการของเครื่องวัด ได้แก่ ความถูกต้อง ความไวต่อสัญญาณวัด และความเชื่อถือได้ของเครื่องวัดนั้น

เทคนิคการวัดแรงดันสูงนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันที่วัดแล้วยังขึ้นอยู่กับชนิดของแรงดันที่วัดอีกด้วย โดยแบ่งชนิดของแรงดันเป็น 3 ชนิด คือแรงดันกระแสตรง แรงดันกระแสสลับ และแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Voltage) ซึ่งสามารถใช้เทคนิคการวัดแรงดันสูง วิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

- โวลต์มิเตอร์แบบอิเลคโตรสแตติกส์ (Electrostatic Voltmeter)
- ช่องว่างทรงกลม (Sphere Gap)
- อิมพีแดนซ์ต่ออันดับ (Series Impedance)
- ตัวแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

เทคนิคการวัดแรงดันสูงทั้งสี่วิธีนี้ วิธีวัดโดยใช้ตัวแบ่งแรงดันเป็นวิธีที่นิยมมากเพราะวัดได้ง่าย อ่านค่าได้โดยตรง และที่สำคัญ คือสามารถทราบรูปคลื่นแรงดันที่วัดได้ การวัดวิธีนี้ โดยทำการแบ่งแรงดันลงมาเพื่อวัด จะต้องคำนึงถึง ความผิดพลาดของค่าที่วัดได้ และความผิดเพี้ยน (Distortion) ของสัญญาณขาเข้า ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของตัวแบ่งแรงดันเอง ดังนั้นระบบวัดที่ดี จะต้องพัฒนาเพื่อให้ได้ค่าจากการวัดที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ รูปที่ 2.39 แสดงระบบวัดทางด้านไฟฟ้าแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 ระบบวัดทั่วไปทางด้านไฟฟ้าแรงสูง

เมื่อ 1.เครื่องกำเนิดแรงดัน (Voltage Generator)
2.สายต่อไปยังวัสดุทดสอบ (Lead to Test Object)
3.วัสดุทดสอบ (Test Object)
4.สายต่อไปยังตัวแบ่งแรงดัน (Lead to Voltage Divider)
5.ตัวแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)
6.เคเบิลวัด (Measuring Cable)
7.เครื่องวัด (Recording Instrument)
8.ระบบดินของระบบวัด (Ground Return of Measuring System)

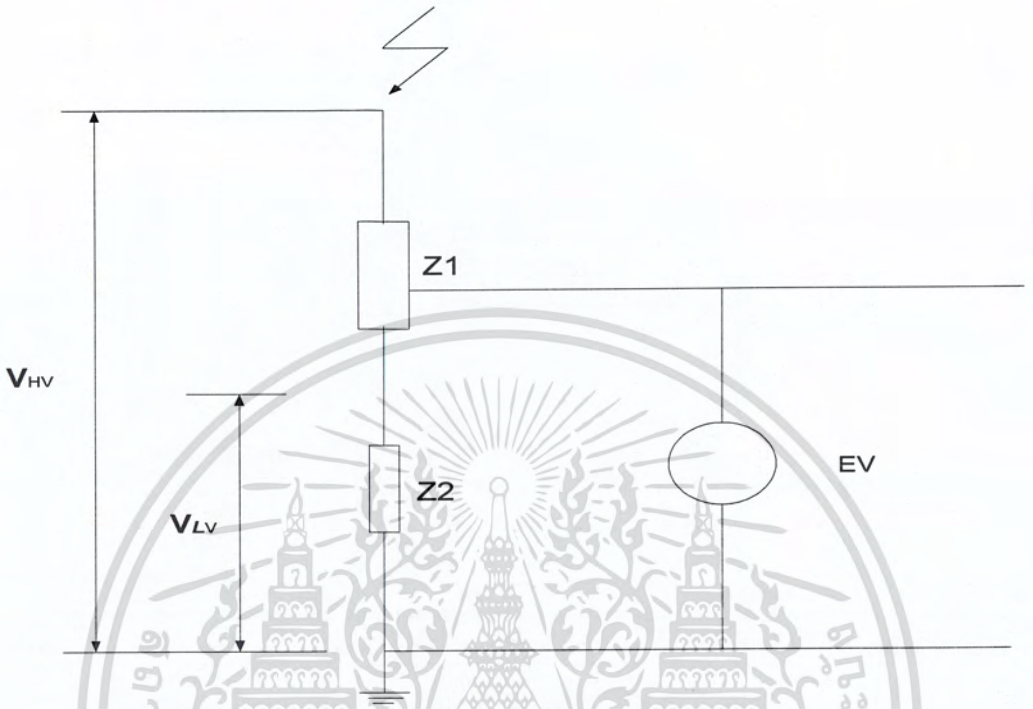
เนื่องจากที่ระดับแรงดันสูง ความต้องการระยะห่างฉนวนจะต้องมากตาม ดังนั้น ตัวแบ่งแรงดันโดยทั่วไป จึงไม่สามารถต่อโดยตรงกับวัสดุทดสอบ จำเป็นจะต้องมีสายต่อระหว่างกัน สำหรับที่ความถี่สูง สเตรย์คาปาซิแตนซ์ (Stray Capacitance) สู่ดินและความเหนี่ยวนำของสายต่อแรงสูงจะเป็นส่วนสำคัญที่จะต้องคำนึงถึง เพราะจะทำให้แรงดันที่วัสดุทดสอบมีค่าแตกต่างจากแรงดันที่ตัวแบ่งแรงดัน

2.9 ตัวแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) [5]

ตัวแบ่งแรงดันเป็นอุปกรณ์สำหรับใช้วัดแรงดัน หลักการของการวัดก็คือจะแบ่งทอนแรงดันสูงๆ ออกเป็นแรงดันต่ำพอที่จะใช้โวลต์มิเตอร์ หรือเครื่องวัดแบบอื่นวัดได้ โดยต่ออิมพีแดนซ์ภาคแรงสูงเข้ากับแรงดันที่จะวัดแล้วแบ่งเอาแรงดัน ที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ภาคแรงต่ำแต่เพียงส่วนน้อยออกมาวัดฉะนั้นตัวแบ่งแรงดันจึงแบ่งออกเป็นภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำ ปลายข้างหนึ่งของภาคแรงสูงจะต่ออยู่กับสายต่อแรงสูงที่จะวัด ส่วนอีกปลายหนึ่งของภาคแรงสูงจะต่ออยู่กับปลายหนึ่งของภาคแรงต่ำ และอีกปลายหนึ่งของภาคแรงต่ำมักจะต่อลงดิน ตรงรอยต่อระหว่างภาคแรงสูงกับภาคแรงต่ำนี้เอง จะเป็นจุดที่ต่อออกมาเข้าเครื่องวัด เครื่องวัดที่จะนำมาต่อเข้ากับตัวแบ่งแรงดันนี้ จะต้องเป็นเครื่องวัดที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดนั่น คือจะต้องมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์ทางขาเข้าสูงมากๆ เช่น อิเลคโตรสแตติกส์โวลต์มิเตอร์ กล่าวคืออิมพีแดนซ์ของเครื่องวัดจะต้องไม่มีผลกระทบต่ออัตราส่วนแรงดัน (Voltage Ratio) ของตัวแบ่งแรงดัน รูปที่ 2.40 แสดงวงจรแบบง่ายของตัวแบ่งแรงดัน



รูปที่ 2.40 วงจรแบบง่ายของตัวแบ่งแรงดัน

เมื่อ Z_1 คือ อิมพีแดนซ์ภาคแรงสูง
Z_2 คือ อิมพีแดนซ์ภาคแรงต่ำ
V_{HV} คือ แรงดันที่ต้องการวัด
V_{LV} คือ แรงดันที่แบ่งออกมาวัด
EV คือ เครื่องมือวัดอิมพีแดนซ์

จากความสัมพันธ์ทางไฟฟ้า อาจคำนวณหาแรงดันที่ต้องการวัดได้จากสมการ

$$V_{HV} = \frac{(Z_1+Z_2)}{Z_2} \times V_{LV} \qquad (2.16)$$

ในการวัดแรงดันสูงด้วยตัวแบ่งแรงดัน ความเที่ยงตรงของการวัดแรงดันสูงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของอิมพีแดนซ์ ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความถี่เปลี่ยน และความเที่ยงตรงของเครื่องวัด ปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ผลของการวัดผิดพลาดได้ก็คือองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไม่เป็นเชิงเส้น เช่น ผลกระทบจากความร้อน โดยความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะหมดไป เมื่ออิมพีแดนซ์ Z_1 และ Z_2 เป็นวัตถุ หรือสารประเภทเดียวกัน ซึ่งอิมพีแดนซ์ที่ใช้ทำตัวแบ่งแรงดันอาจเป็นความต้านทาน หรือคาปาซิเตอร์ก็ได้ โดยถ้าเป็นตัวแบ่งแรงดันแบบความต้านทานจะใช้วัดแรงดันสูงกระแสตรง และยังสามารถวัดแรงดันกระแสสลับได้ในย่านไม่เกิน 20-30 kV และสำหรับตัวแบ่งแรงดันแบบคาปาซิเตอร์จะใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

2.10 ฉนวนของตัวแบ่งแรงดันแบบความต้านทาน [5]

ในที่นี้จะกล่าวถึงการฉนวนของความต้านทานภาคแรงสูงเท่านั้น เนื่องจากทางภาคแรงต่ำไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคการฉนวนเท่าใด เพราะว่าเป็นไฟฟ้าแรงดันต่ำ การฉนวนแบบทั่วไปก็เพียงพอแล้ว การฉนวนของความต้านทานภาคแรงสูง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.10.1 การฉนวนภายนอก หมายถึง ระยะฉนวนระหว่างอิเล็กโทรดแรงสูง และอิเล็กโทรดแรงต่ำ ซึ่งอาศัยอากาศรอบกระบอกฉนวนด้านนอกเป็นฉนวน ดังนั้นกระบอกฉนวนจะต้องมีคุณสมบัติการฉนวนที่ดี คือมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูง ทนต่อปฏิกิริยาทางเคมี มีขีดจำกัดอุณหภูมิสูง มีค่าตัวประกอบการสูญเสียกำลังงาน (Dissipation Factor) ต่ำ เป็นต้น และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองจะต้องเพียงพอที่จะทนแรงดันใช้งาน โดยไม่เกิดการวาบไฟตามผิว (Flashover)

2.10.2 การฉนวนภายใน หมายถึงฉนวนของตัวความต้านทานที่ประกอบเป็นความต้านทานภาคแรงสูงของตัวแบ่งแรงดันในกระบอกฉนวน ฉนวนเหลวจะมีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นฉนวนแรงดันสูง กล่าวคือจะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าฉนวนที่เป็นแก๊สที่ความดันบรรยากาศอีกทั้งยังมีความคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าสูง เป็นผลให้มีการควบคุมโคโรน่าดีสชาร์จที่อาจจะเกิดขึ้น ทั้งยังมีคุณสมบัติพิเศษกว่าฉนวนแข็ง คือฉนวนเหลวสามารถซึมเข้าไปตามช่องว่างทั่วปริมาตรที่ต้องการฉนวน และฉนวนเหลวสามารถกลับคืนสู่สภาพการเป็นฉนวนได้หลังจากดิสชาร์จผ่านไปแล้ว ข้อดีอีกประการหนึ่งของฉนวนเหลว ก็คือสามารถถ่ายเทความร้อน จากจุดที่สะสมความร้อนได้ดี และเร็ว อย่างไรก็ตาม แม้ฉนวนเหลวจะมีข้อดีหลายอย่างดังกล่าวมาแล้ว แต่ฉนวนเหลวจะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับฉนวนแข็ง เพราะว่าฉนวนเหลวที่ใช้ในเชิงการค้าโดยทั่วไปมักจะไม่บริสุทธิ์ เพื่อแก้ปัญหานี้ อาจทำได้โดยการนำคุณสมบัติที่ดีของฉนวนแข็งและฉนวนเหลวมาประยุกต์ใช้วิธีดังกล่าว คือการจัดวางตัวความต้านทานย่อยบนแผ่นอะครีลิคใส แล้วใช้ฉนวนน้ำมันหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 คุณสมบัติที่ต้องพิจารณาของฉนวนเหลว

1. ความถ่วงจำเพาะของเหลว
2. การจุดติดไฟ (จุดติดไฟสูงย่อมหมายถึงโอกาสการเกิดการไหม้ย่อมมีน้อย)
3. ความหนืด (ความหนืดต่ำย่อมหมายถึงการระบายความร้อนได้ดี)
4. ความเป็นกรด (ซึ่งแสดงถึงปริมาณส่วนที่เป็นกรดผสมอยู่ในของเหลว)
5. แฟกเตอร์พลังงานสูญเปล่า (จะเป็นตัวชี้ให้ทราบว่าเกิดพลังงานสูญเปล่าเพียงใด)

2.10.4 คุณสมบัติที่ต้องพิจารณาของฉนวนแข็ง

1. ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (Dielectric Strength)
2. ค่าเปอร์มิตติวิตี้ (ε)
3. แฟกเตอร์พลังงานสูญเปล่าในไดอิเล็กตริก (tg δ)
4. ความคงทนต่อแรงกล
5. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี, ความร้อน

2.11 พื้นฐานเครื่องมือวัด [5]

การวัด คือกระบวนการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนที่ไม่ทราบค่าและถือว่าเป็นมาตรฐาน ในการวัดถ้าหากค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากเท่าใดก็แสดงว่าการวัดนั้นมีความแม่นยำสูง อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะใช้เครื่องมือวัดที่มีประสิทธิภาพดีเยี่ยมขนาดไหนก็ตามก็ไม่จำเป็นว่าค่าที่วัดได้จะตรงกับค่าจริงเสมอไป

2.11.1 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการวัด

ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Error)

$$e = | Y_n - X_n | \qquad (2.17)$$

e คือค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์

Y_n คือค่าจริง

X_n คือค่าที่อ่านจากเครื่องวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 ความผิดพลาดเชิงระบบ (Percent of Error)

แบ่งเป็น 2 ชนิดที่สำคัญ คือ

1. ความผิดพลาดโดยเครื่องมือวัด (Instrumental Error)

เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากโครงสร้างทางกลของการใช้เครื่องมือวัด เช่น การปรับตั้งที่ผิดพลาดตั้งแต่ต้นก็ทำให้การอ่านค่าสูง หรือต่ำเกินความความเป็นจริง

2. ความผิดพลาดในสภาพแวดล้อม (Environmental Error)

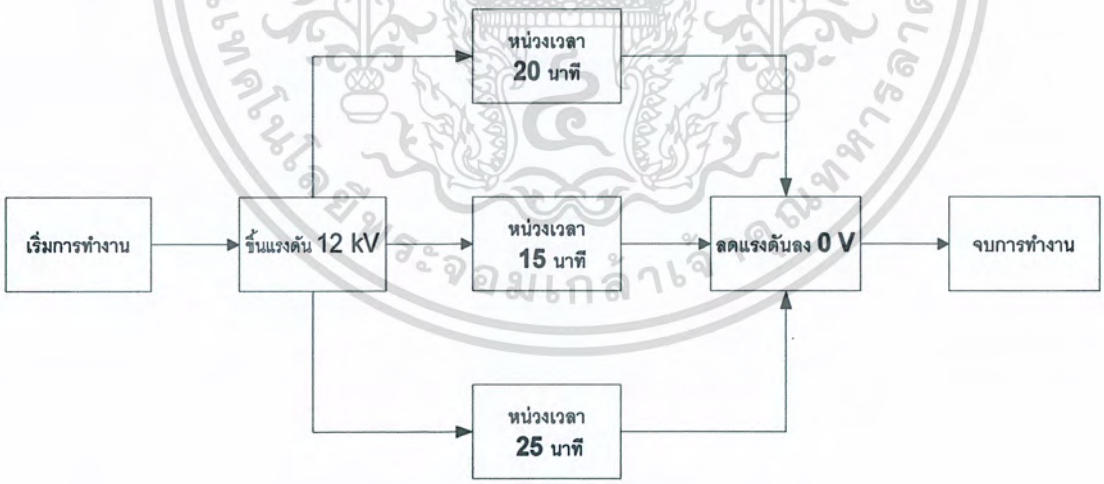
เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยภายนอกเครื่องวัด เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,ความดันอากาศ ,สนามไฟฟ้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและสร้าง

3.1 การควบคุมแรงดัน

ลักษณะการทำงานของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก จะใช้สนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า 3 kV/cm ซึ่งการขึ้นแรงดันจำเป็นต้องมีเทคนิคเพื่อควบคุมให้ได้แรงดันตามต้องการ โดยการขึ้นแรงดันให้กับเพลทกระเมล็ดพันธุ์ตุ้นข้าวนั้น จำเป็นต้องขึ้นแรงดันรวมทั้งหมด 12kV เทคนิคที่เรานำมาใช้ในการควบคุมและขึ้นแรงดันคือ การควบคุมมอเตอร์เพื่อขับหม้อแปลงอัตโนมัติ แบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล ประกอบด้วยพีแอลซี (Programmable Logic Controllers) ซึ่งสามารถขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยตรงซึ่งหน้าคอนแทคสามารถทนแรงดันได้ 10A ร่วมกับเซนเซอร์ตรวจวัดแรงดันที่มีเอาท์พุท 2 เอาท์พุท ที่ใช้ในการรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในพิกัดที่ต้องการแบบอัตโนมัติ และหม้อแปลงอัตโนมัติ ซึ่งมีพิกัด 0 – 220V, 6kVA โดยหม้อแปลงอัตโนมัติจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงแรงดันพิกัด 220V/15kV, 15kVA วิธีการขึ้น และควบคุมแรงดันดังกล่าวเป็นวิธีที่มีเสถียรภาพ และยังสามารถรักษาระดับแรงได้อย่างแม่นยำ ต่างกับวิธีการสับสวิทช์เพื่อขึ้นแรงดันโดยตรง ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันเกิน (Over Shoot) ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง และมีความอันตรายต่อผู้ใช้งาน



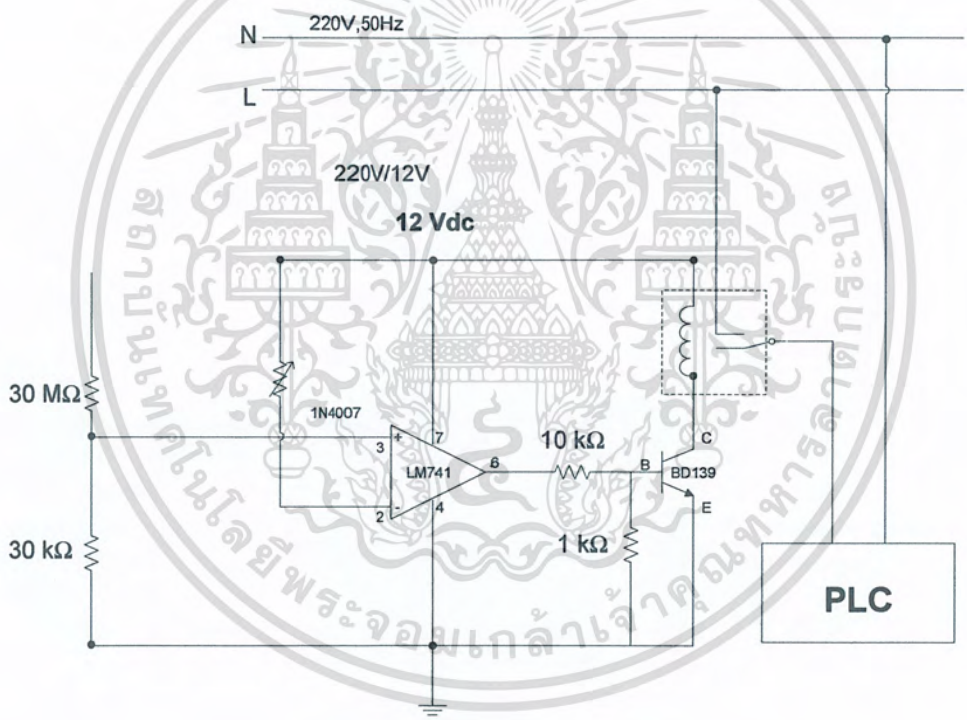
รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติมีหลักการทำงาน คือพีแอลซีเป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด ตั้งเวลา ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดัน มีเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันเมื่อแรงดันสูงขึ้นถึงจุดที่ตั้งค่าไว้

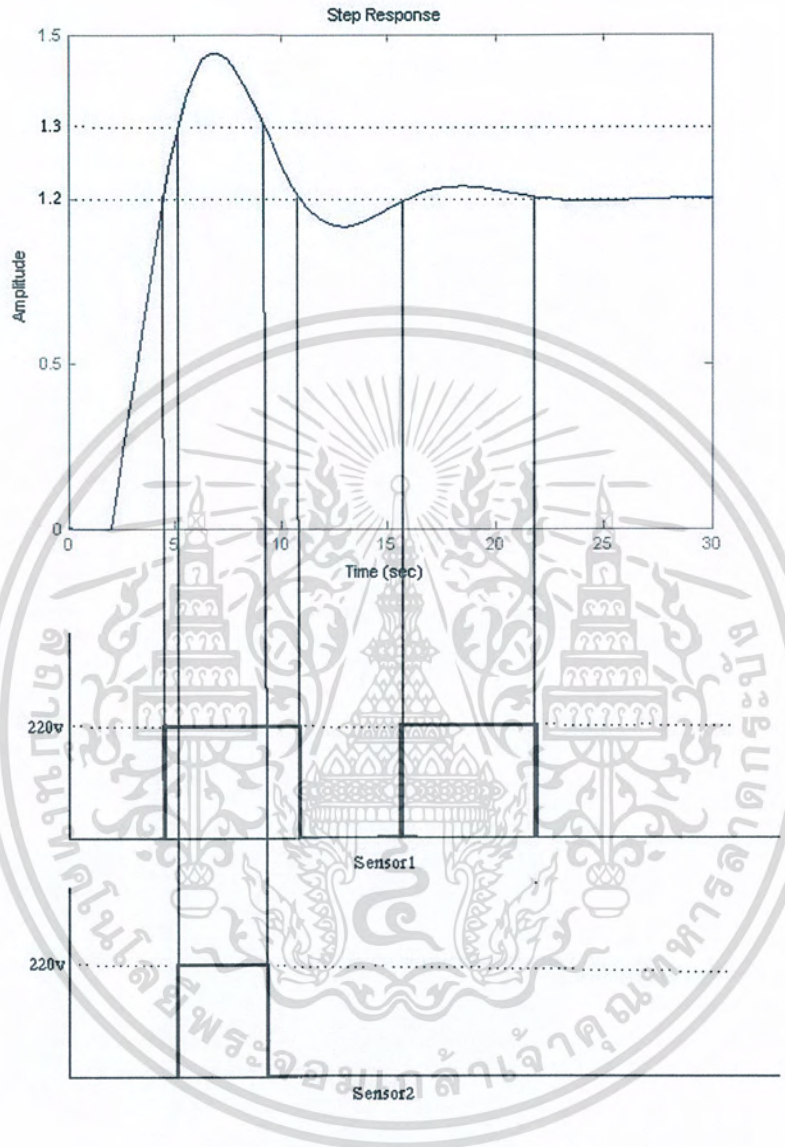
3.2 เซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน

การทำงานของเซนเซอร์จะทำงานเมื่อมีการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างขา 2 กับขา 3 ของออปแอมป์ที่ใช้ คือ (LM741) เมื่อพีแอลซีสั่งให้มอเตอร์ขับหม้อแปลงอัตโนมัติเพิ่มแรงแรงดันจนถึงค่าที่ตั้งไว้ จะมีแรงดันเอาท์พุทออกมาจากโวลเตจดิไวเดอร์ ผ่านมายังออปแอมป์ ถ้าแรงดันที่ขา 3 มากกว่าแรงดันที่ขา 2 ทำให้ออปแอมป์ทำงาน และคอลย์รีเลย์ 12Vdc ทำงาน สั่งให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ทำงานทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติหยุดจ่ายแรงดัน



รูปที่ 3.2 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน

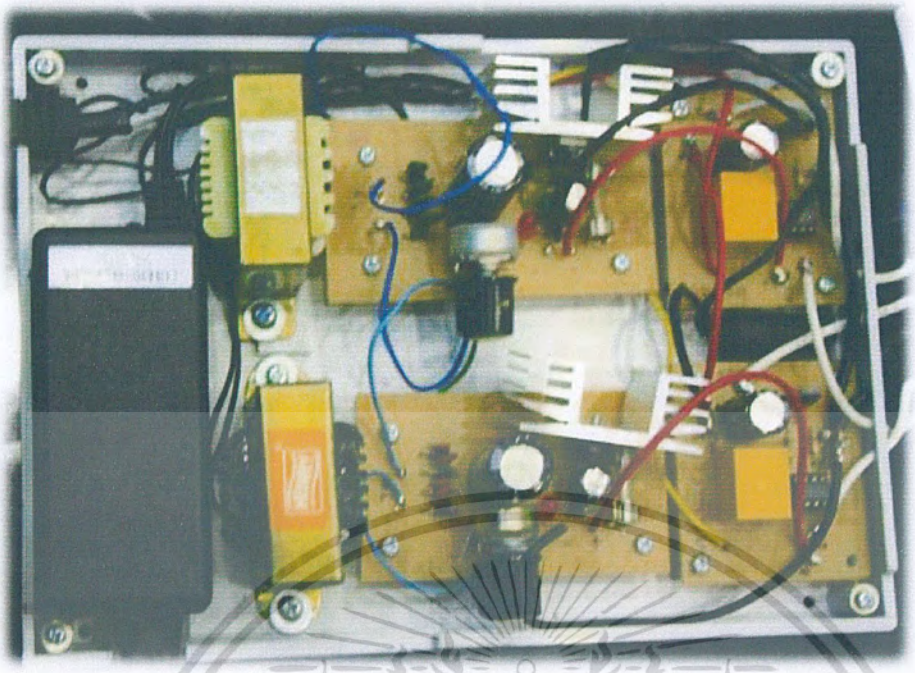
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปการทำงานเซนเซอร์

ลักษณะการทำงานของเซนเซอร์คือมีเอาท์พุท 2 เอาท์พุท เพื่อส่งสัญญาณไฟ 220V ไปยัง พีแอลซี ให้พีแอลซีรักษาระดับแรงดันให้อยู่ระหว่าง 12kV – 13kV ในช่วงที่กำลังกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เซนเซอร์ 1

รูปที่ 3.5 เซนเซอร์ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบการใช้งานพีแอลซี

3.3.1 การเลือกใช้พีแอลซี

เลือกใช้พีแอลซี LOGO! Siemens รุ่น 230RC และ Module LOGO! Siemens รุ่น DM8 230RC เนื่องจากคุณลักษณะที่สามารถทนต่อกระแสได้ถึง 10A มีความไวสูง สามารถต่อเข้ากับมอเตอร์กระแสสลับได้โดยตรง และในส่วนของโมดูลเพิ่มเติมสามารถทนกระแสได้ 3A ใช้เพื่อนำมาช่วยแสดงสัญญาณต่างๆ เช่น ไฟสัญญาณบอกสถานะ หรือการนับเวลาหน้าตู้

รูปที่ 3.6 พีแอลซี

รูปที่ 3.7 โมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

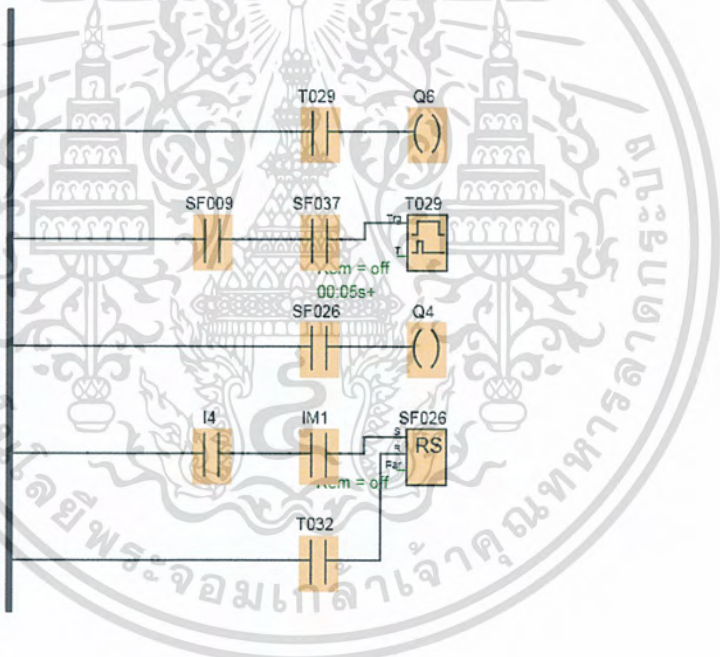
3.3.2 หลักการออกแบบโปรแกรมพีแอลซี

ในการออกแบบโปรแกรมซึ่งนำมาใช้ในการทำงานร่วมกับไฟฟ้าแรงสูง จึงมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบโปรแกรม คือ

1. ความปลอดภัยขณะใช้งาน
2. ความปลอดภัยของอุปกรณ์
3. ง่ายต่อการใช้งาน สำหรับเกษตรกร หรือผู้ที่ไม่มีความรู้ทางด้านไฟฟ้า

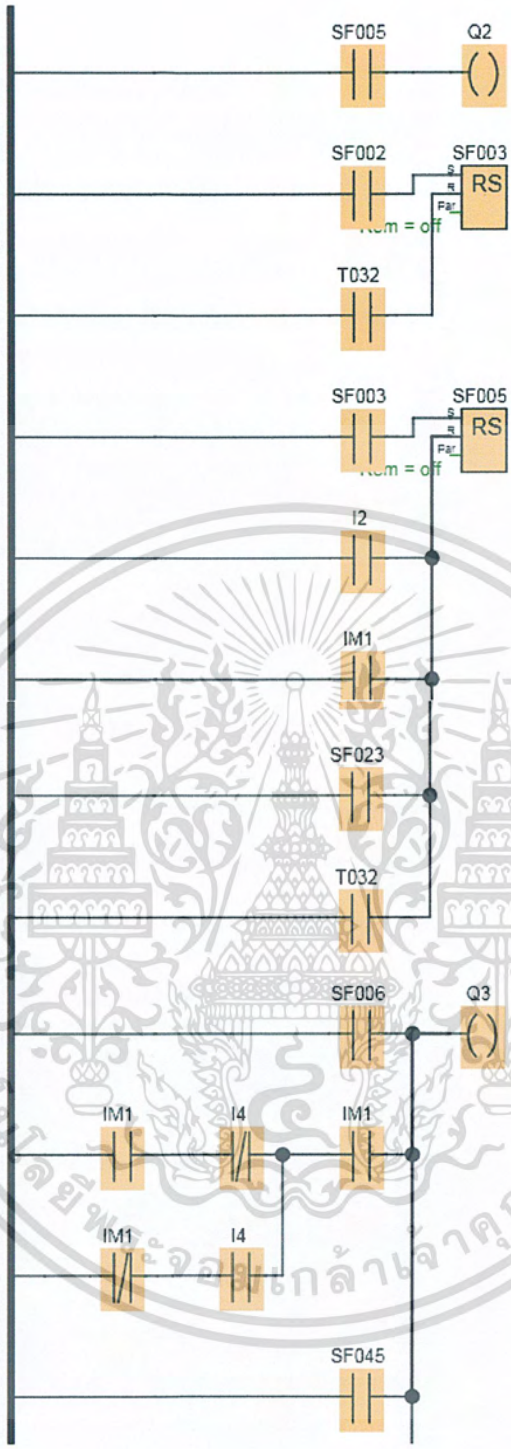
โปรแกรมที่นำมาใช้ในการออกแบบเพื่อใช้กับพี่แอลซี คือLOGO! Comfort V6.1 ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะที่ใช้ในการเขียนแรดเดอร์ไดอะแกรมภายในพีแอลซี และยังสามารถจำลองกรทำงานก่อนที่จะถ่ายโอนข้อมูลดังกล่าวเข้าไปภายในพีแอลซี

3.3.3 การออกแบบโปรแกรมพีแอลซี



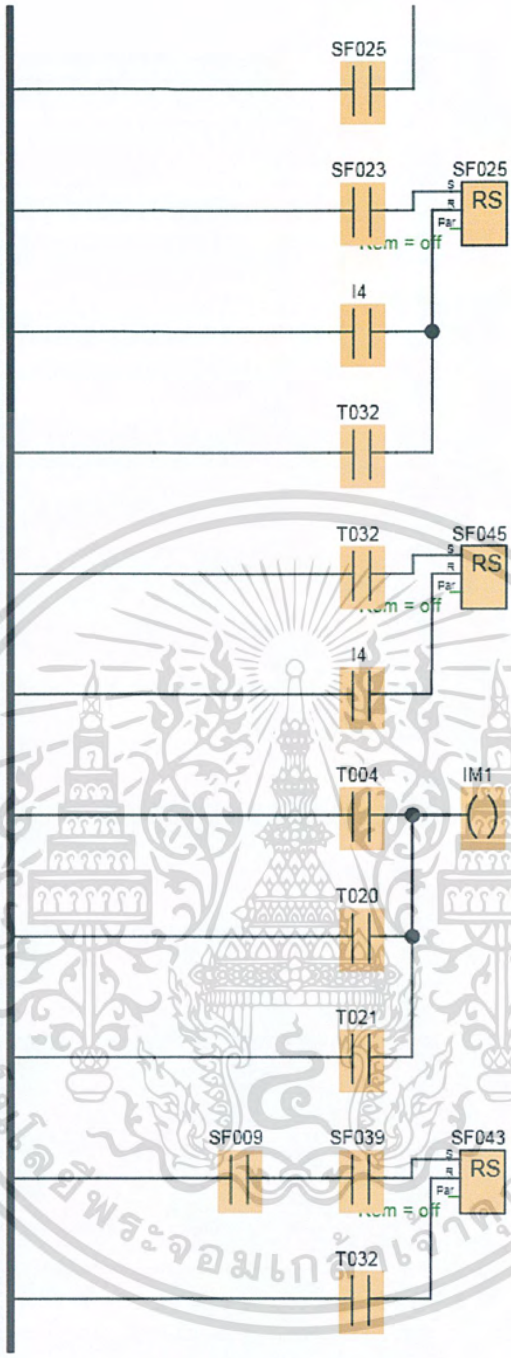
รูปที่ 3.8 โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



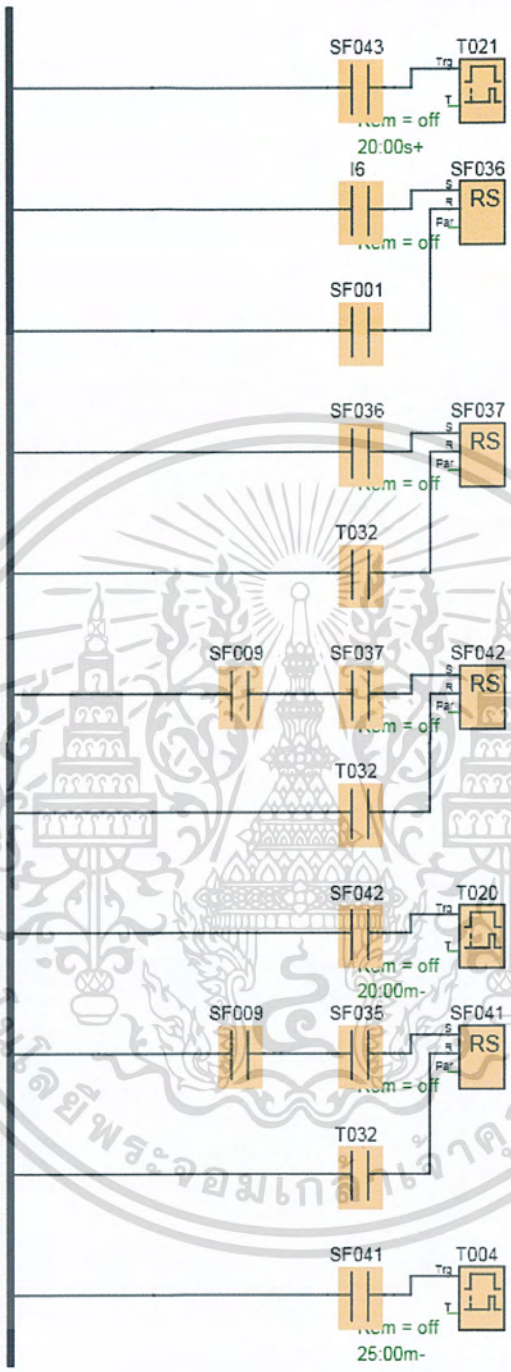
รูปที่ 3.8 โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



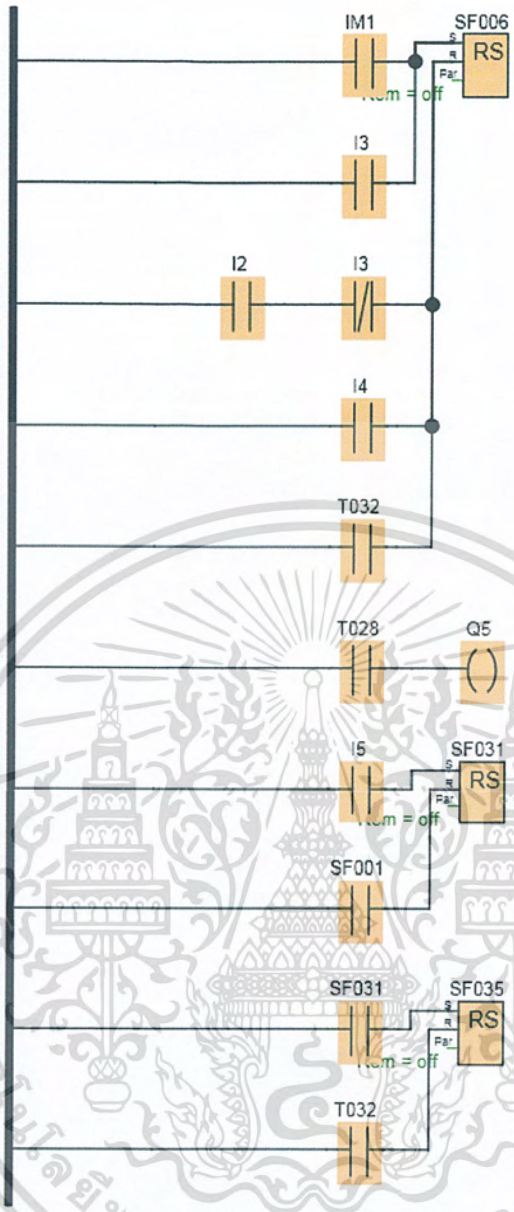
รูปที่ 3.8 โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



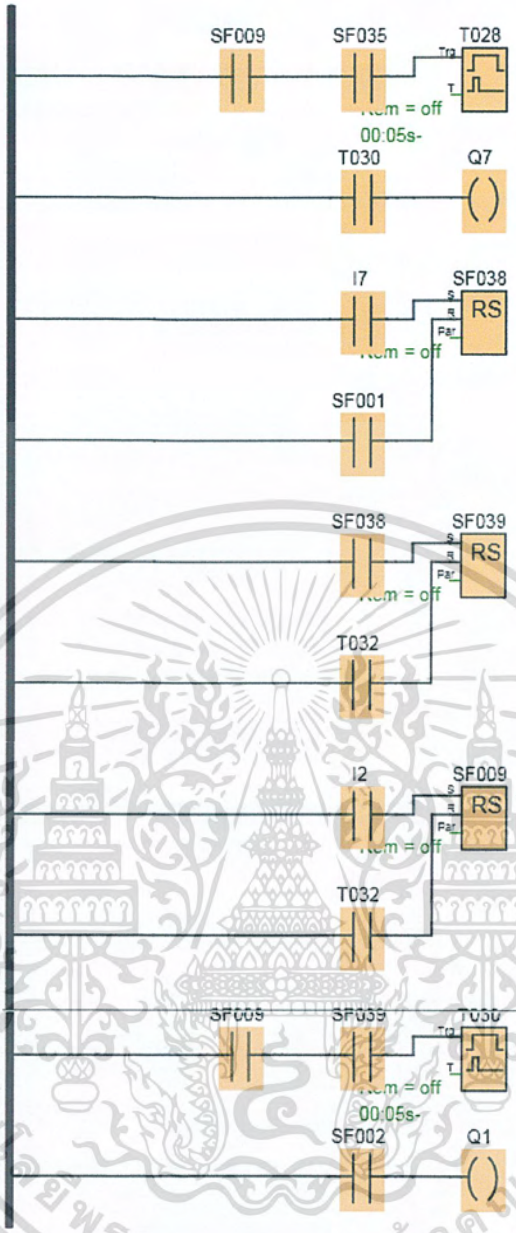
รูปที่ 3.8 โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



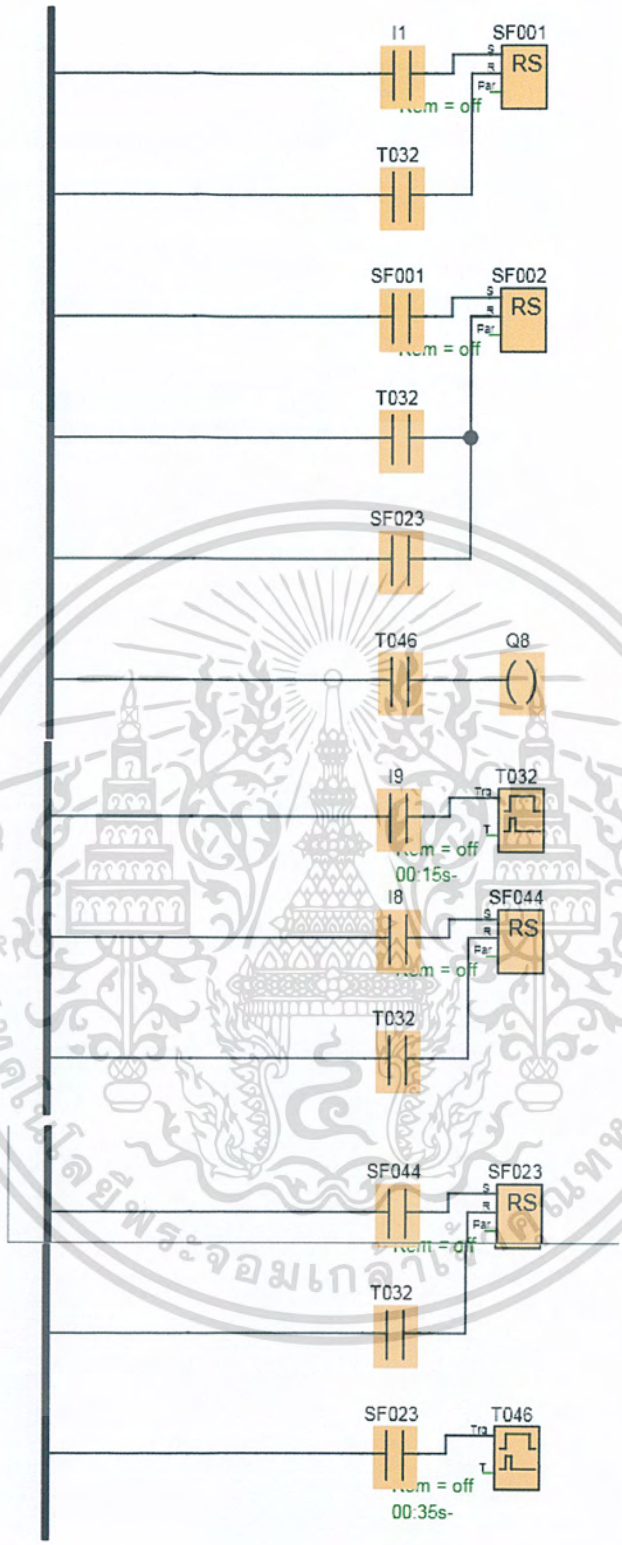
รูปที่ 3.8 โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โปรแกรมพีแอลซีที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input :

I1 : Start

I2 : Sensor Low Voltage

I3 : Sensor High Voltage

I4 : Limit Switch

I5 : Selecter1

I6 : Selecter2

I7 : Selecter3

I8 : Emergency

I9 : Reset

Output :

Q1: Work Lamp

Q2 : Forward Motor

Q3 : Reward Motor

Q4 : Finite Lamp

Q5 : Counter1

Q6 : Counter2

Q7 : Counter3

Q8 : Emergency

3.4 การเลือกใช้มอเตอร์

การเลือกมอเตอร์ที่จะนำมาขับหม้อแปลงอัตโนมัติ จำเป็นต้องเลือกพิกัดกำลังและความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสม ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการควบคุม ปรับเพิ่มหรือลดแรงดัน อย่างมีเสถียรภาพ โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนของความเร็วรอบของมอเตอร์ และพิกัดกำลังของมอเตอร์

3.4.1 ความเร็วรอบของมอเตอร์

ความเร็วรอบของมอเตอร์มีหลักการเลือกคือ ความเร็วรอบจะต้องมีความเหมาะสมกับหม้อแปลงอัตโนมัติเพื่อ

1. มีเสถียรภาพในการรักษาระดับแรงดันให้คงที่
2. ป้องกันการเกิดแรงดันเกินขณะขึ้นแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 พิกัดกำลังของมอเตอร์

$$P = \tau\omega \quad \text{Watt}$$

$$P = (F \times r)(2\pi f) \quad \text{Watt}$$

$$P = (180 \times 0.01)(2\pi \times 0.33) \quad \text{Watt}$$

$$P = (1.8)(2.073) \quad \text{Watt}$$

$$P = 3.73 \quad \text{Watt}$$

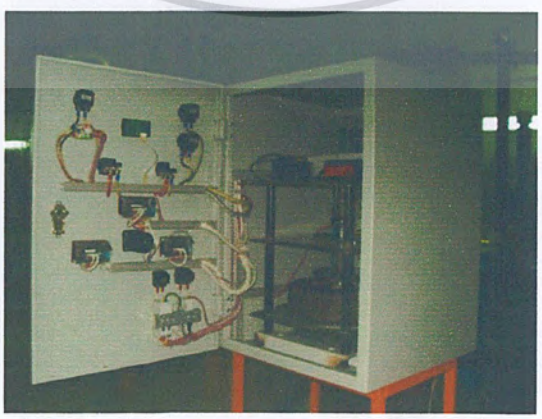
ดังนั้น จึงเลือกใช้มอเตอร์ซึ่งมีกำลังสูงกว่า 2 ถึง 3 เท่าในการขับหม้อแปลงอัตโนมัติ โดยมอเตอร์ที่เรานำมาใช้ คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมีแคปสตาร์ท ซึ่งใช้ในการกลับทิศทางการหมุน พิกัด 220 โวลต์ 14 วัตต์ 10 รอบต่อนาที

3.5 การออกแบบตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ

3.5.1 ขนาดตู้ การออกแบบตู้ควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวได้คำนึงถึง 2 ส่วนหลักๆ คือ

ก. ความเหมาะสมในการติดตั้งหม้อแลงอัตโนมัติไว้ภายใน โดยจะมีปัจจัยการระบายความร้อน โดยตู้นั้นจะต้องเป็นตู้ที่ปิดมิดชิด และระดับของการป้องกัน (IP degree of protection) ตามมาตรฐาน DIN 40050/1980 และIEC 529

ข. ต้องป้องกันฝุ่นจากข้าวเปลือกได้ เนื่องจากภายในตู้มีอุปกรณ์ที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ และแมกเนติกซ์สวิทช์อยู่ หากมีฝุ่นละอองจากข้าวเข้าไปภายในตู้อาจทำให้เกิดความเสียหายกับชุดควบคุมได้



รูปที่ 3.9 ตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 หน้าตู้และการแสดงผล

การออกแบบหน้าตู้ ได้ออกแบบให้สามารถใช้งานโดยมีการจัดเรียงหลอดไฟแสดงสถานะ การทำงานอย่างเป็นขั้นตอน รวมทั้งมีหน้าจอนับถอยหลังเพื่อแสดงเวลาที่เหลือสำหรับการทำงานในแต่ละครั้ง โดยได้ทำการติดตั้งถึง 3 จอ ซึ่งจะแสดงเวลาในการกระตุ้นข้าว 3 ชนิด คือปทุมธานี1 ขาวดอกมะลิ และสุพรรณบุรี1 ข้าวแต่ละชนิดเป็นข้าวที่เป็นตัวแทนข้าวที่ปลูกเพื่อส่งออก จึงเป็นข้าวพันธุ์ที่มีความสำคัญในการทำรายได้ให้แก่ประเทศ โดยข้าว 3 ชนิดมีระยะเวลาในการกระตุ้นที่แตกต่างกัน

รูปที่ 3.10 หน้าตู้ควบคุม

3.5.3 อินพุทและเอาท์พุทของตู้

สายไฟฟ้าเข้าตู้จะมีอยู่ 2 ชุดได้แก่ ไฟฟ้ากระแสสลับ 220V ไฟฟ้ากระแสตรง 12V จากดิไวเดอร์ และสายไฟออกจากตู้มี 2 ชุด คือไฟฟ้าจากหม้อแปลงอัตโนมัติเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 0 – 250V และสายดิน โดยการจัดวางตำแหน่งของสายจะออกแบบการวางสายให้เหมาะสมกับการวางอุปกรณ์ภายในตู้ และมีระยะห่างจากกันเพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณระหว่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 หลังตู้คอนโทรล

3.6 รายการอุปกรณ์ของชุดควบคุม

- หลอด LED	220V	4 หลอด
- Magnetic Contactor	30A	1 ตัว
- Relay 4 NO 4 NC	220V	5 ตัว
- Push Button Switch	220V	2 ตัว
- Limit Switch	220V	2 ตัว
- Emergency Switch	220V	1 ตัว
- CT + Over Current Relay ratio 1:5		220V 1 ตัว
- Digital Voltmeter	0-220V	1 ตัว
- Motor AC	14 W	1 ตัว
- ตู้ Control		1 ชุด
- Variac	7kVA 0-230V	1 ตัว
- หางปลา		200 ตัว
- สายรัดสายไฟ		2 ถุง
- รางใส่สายไฟ (รังผึ้ง)		2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

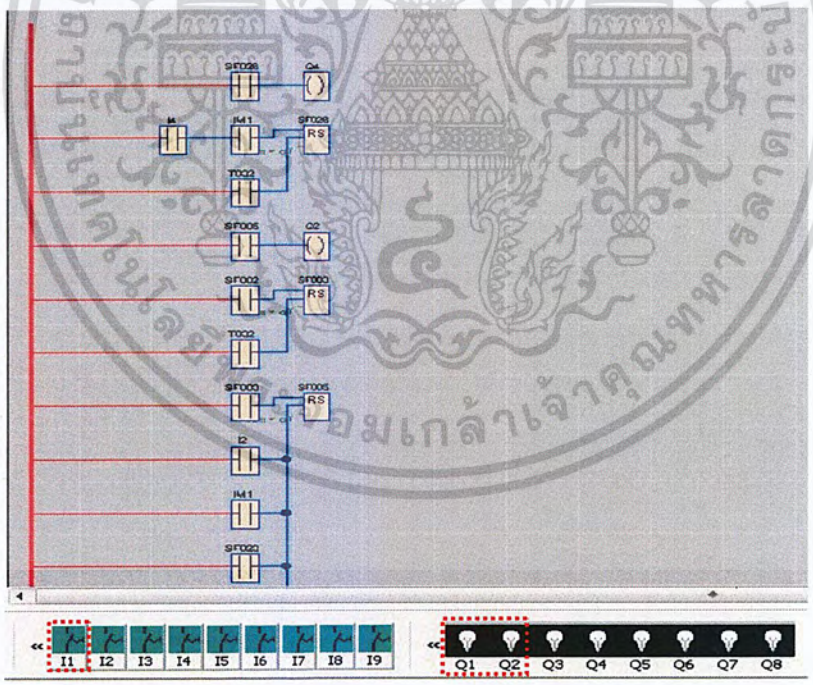
บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานของ PLC ทำงานร่วมกับแมคเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของชุดควบคุมแรงดันและการสร้างวงจรขับรีเลย์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว ให้แรงดันคงที่โดยการทดลองจ่ายแรงดันและวัดขนาดของแรงดันในขณะที่ยังไม่ใส่เมล็ดพันธุ์ข้าวเปรียบเทียบกับตอนที่ใส่เมล็ดพันธ์ข้าว ซึ่งจ่ายแรงดันอินพุตค่าต่างๆกัน นอกจากนี้ยังมีระบบป้องกันเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

4.2 การทดสอบ PLC

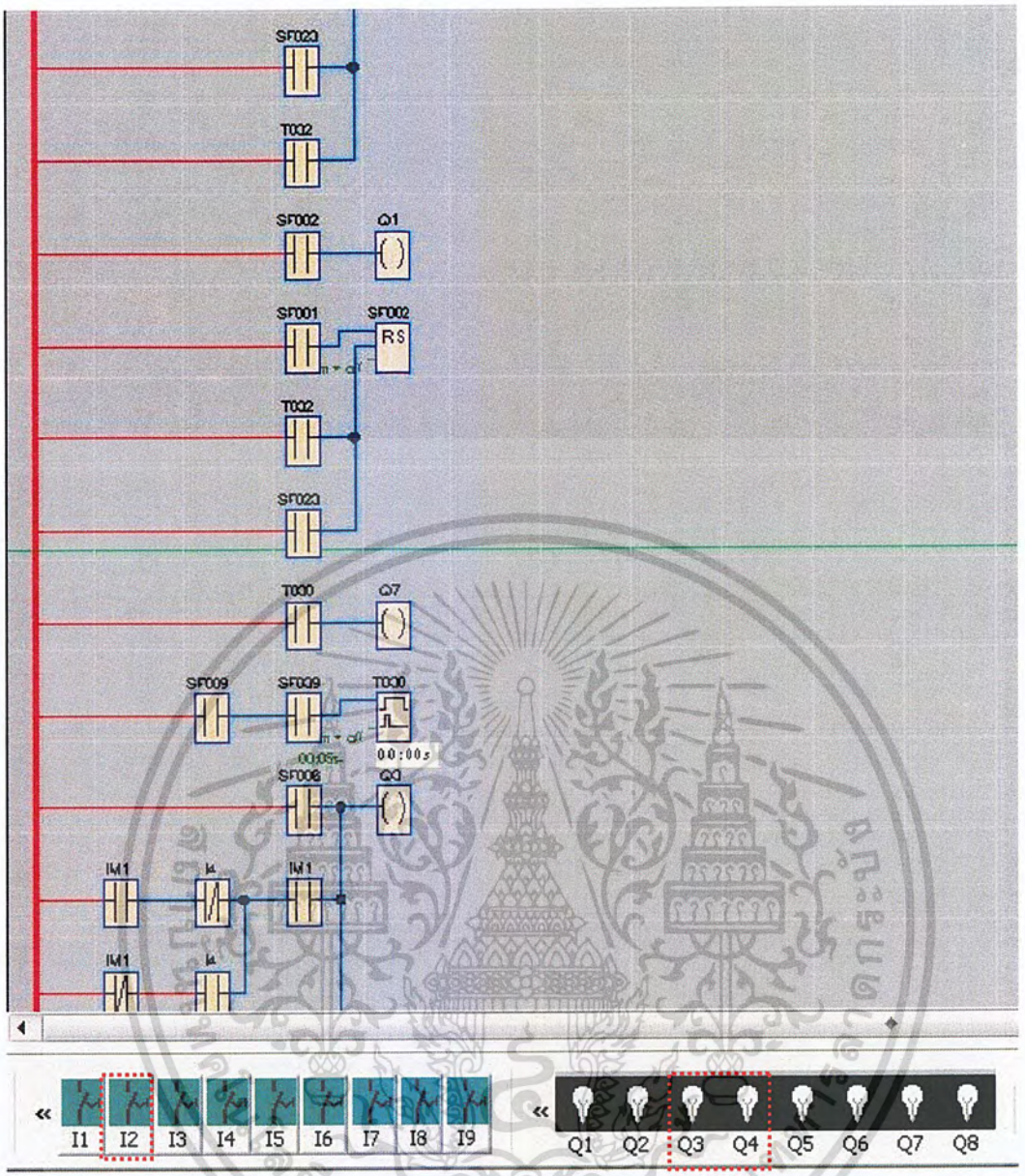
PLC ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดควบคุมแรงดันเพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่คงที่ ซึ่ง PLC ต้องทำงานตามเงื่อนไขโปรแกรมที่เขียนไว้โดยการทดลองใส่อินพุตและดูผลการทำงานของ PLC ตามเงื่อนไขต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.1 Ladder Diagram ขณะเริ่มทำงาน

จากรูปที่ 4.1 เมื่อกดเริ่มต้น (I_1) เริ่มการทำงานโดยมอเตอร์ขับหม้อแปลงอัตโนมัติจนกระทั่งแรงดันถึง 12 kV ทำให้เซนเซอร์ทำงาน (Q_2) และไฟแสดงสถานะกำลังทำงานติด (Q_1)

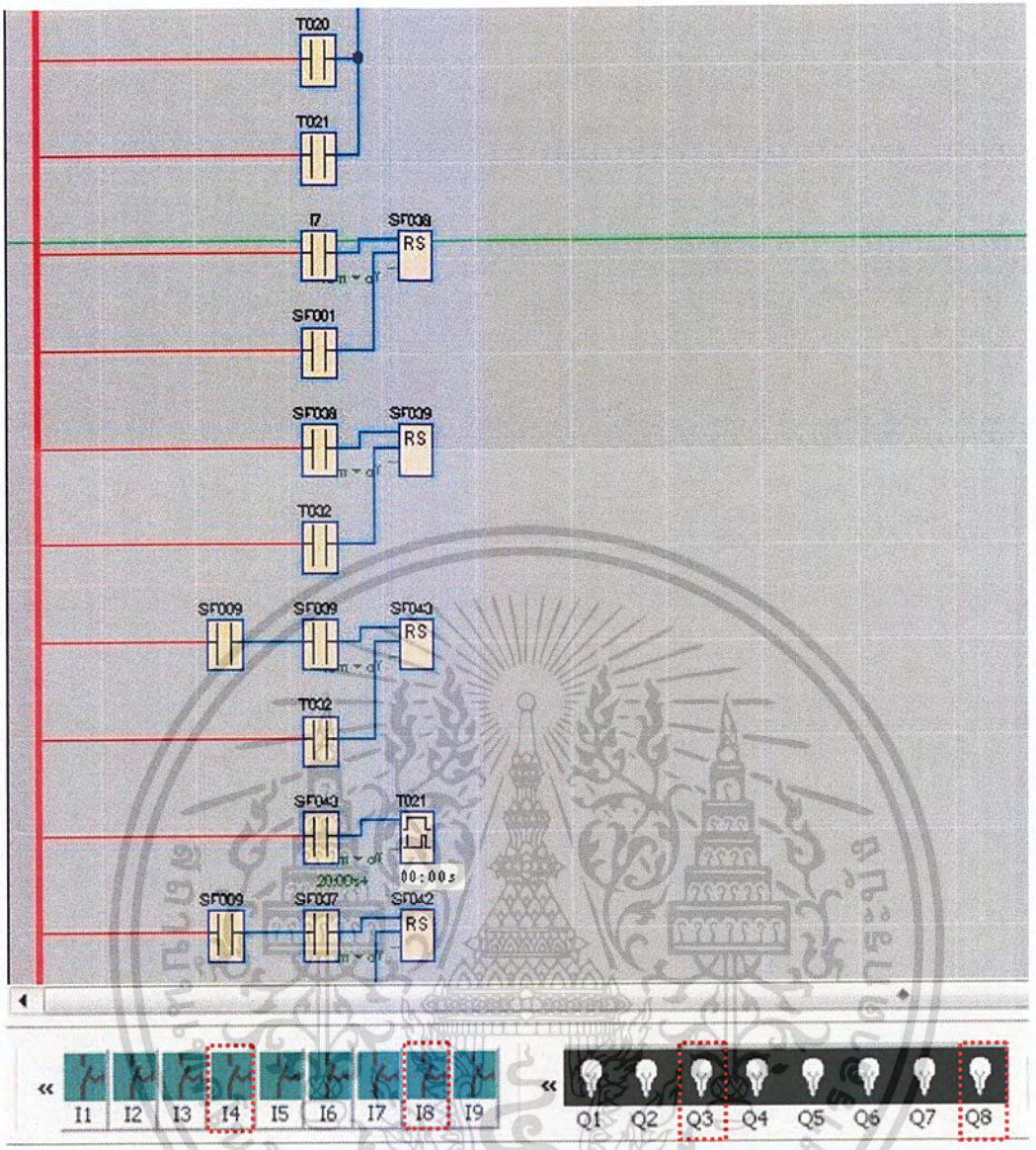
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 Ladder Diagram สำหรับนับเวลา

จากรูปที่ 4.2 PLC ทำหน้าที่เป็นไทม์เมอร์ตั้งเวลา เมื่อครบตามเวลาที่ตั้งค่าไว้ ทดลองโดยกดที่อินพุต (I_2) PLC จะควบคุมให้มอเตอร์ขับหม้อแปลงอัตโนมัติลดแรงดันลงจนเป็นศูนย์โวลท์ (Q_3) และไฟแสดงสถานะเสร็จสิ้นการทำงานติด (Q_4)

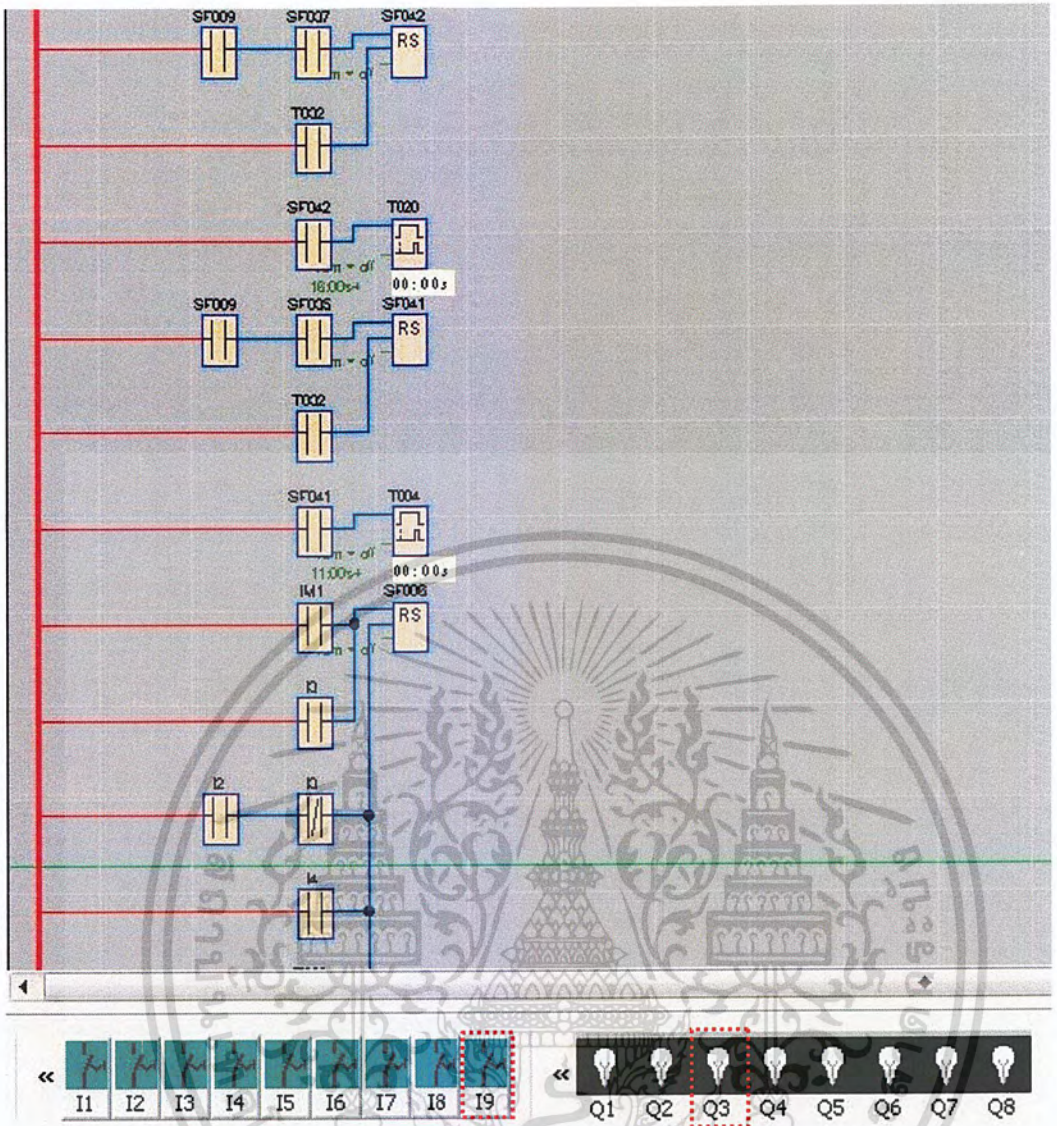
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 Ladder Diagram สำหรับกรณีฉุกเฉิน

จากรูปที่ 4.3 ในกรณีที่เซนเซอร์ไม่ทำงานทำให้แกนของมอเตอร์ชนลิมิตสวิตช์ (I_4) หรือในกรณีที่เกิดกระแสเกิน (I_8) หรือกดปุ่มฉุกเฉิน (I_8) PLC จะควบคุมให้มอเตอร์ขับหม้อแปลงอัตโนมัติลดแรงดันลงจนเป็นศูนย์โวลท์ (Q_3) และไฟแสดงสถานะฉุกเฉินติด (Q_8)

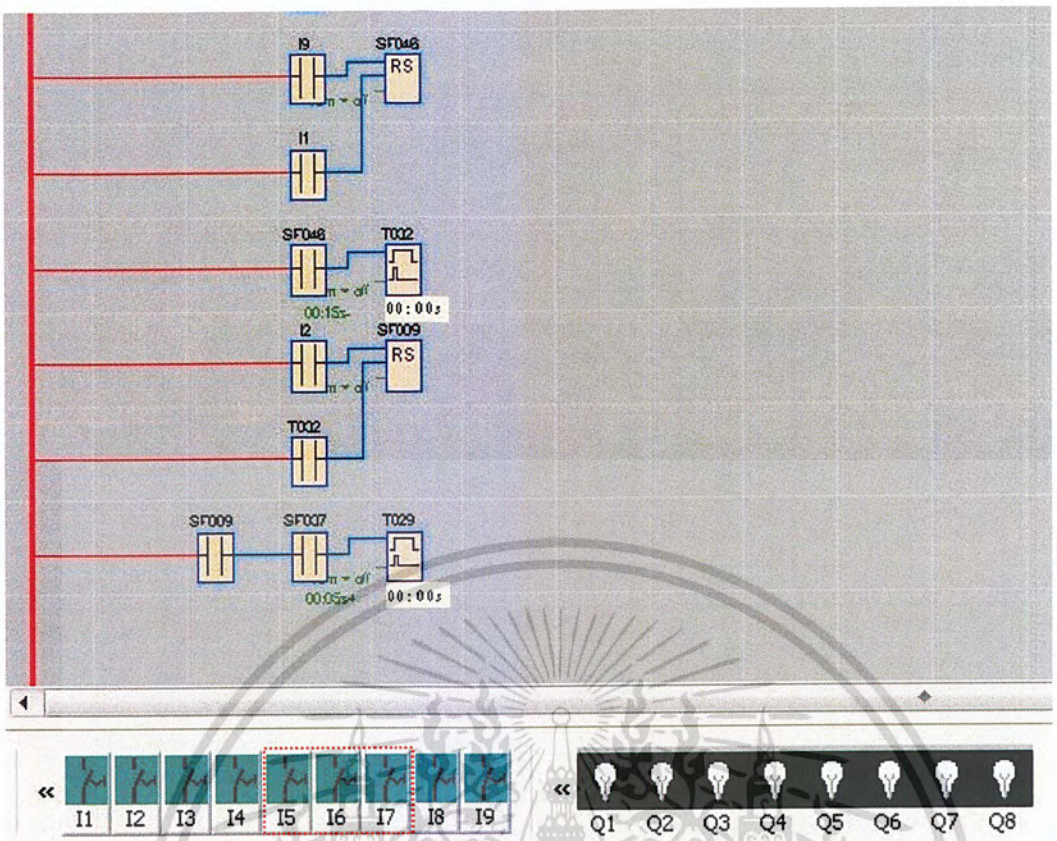
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 Ladder Diagram การทำงานของปุ่มรีเซ็ท

จากรูปที่ 4.4 ในกรณีที่เครื่องกระตุ่นเมล็ดพันธุ์ข้าวกำลังทำงานอยู่ แล้วมีการกดกดปุ่มรีเซ็ท (I_9) PLC จะควบคุมให้มอเตอร์ขับหม้อแปลงอัตโนมัติลดแรงดันลงจนเป็นศูนย์โวลท์ (Q_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 Ladder Diagram ของ Selector Switch

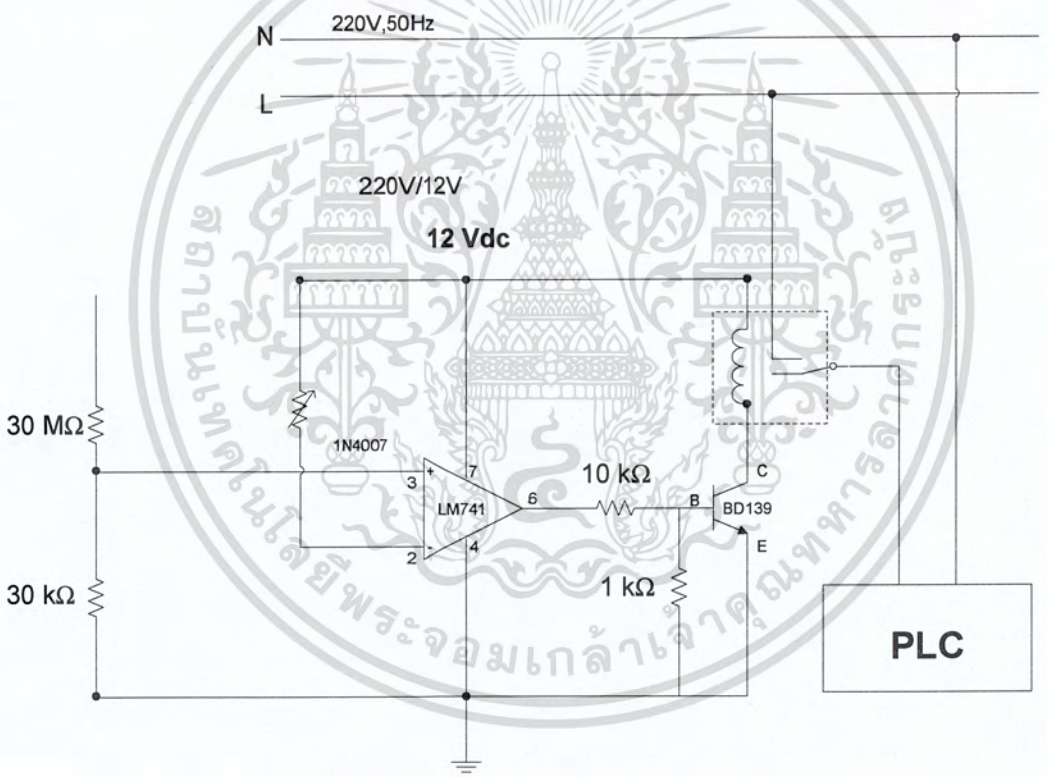
จากรูปที่ 4.5 ในกรณีเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวกำลังทำงานอยู่ การปรับ Selector Switch (I_5, I_6, I_7) จะไม่มีผลต่อการทำงานของเครื่อง ดังนั้นจึงไม่มีเอาต์พุตตัวใดทำงาน เนื่องจากเป็นสวิตช์ที่ใช้เลือกพันธุ์ก่อนที่จะเริ่มทำการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดัน

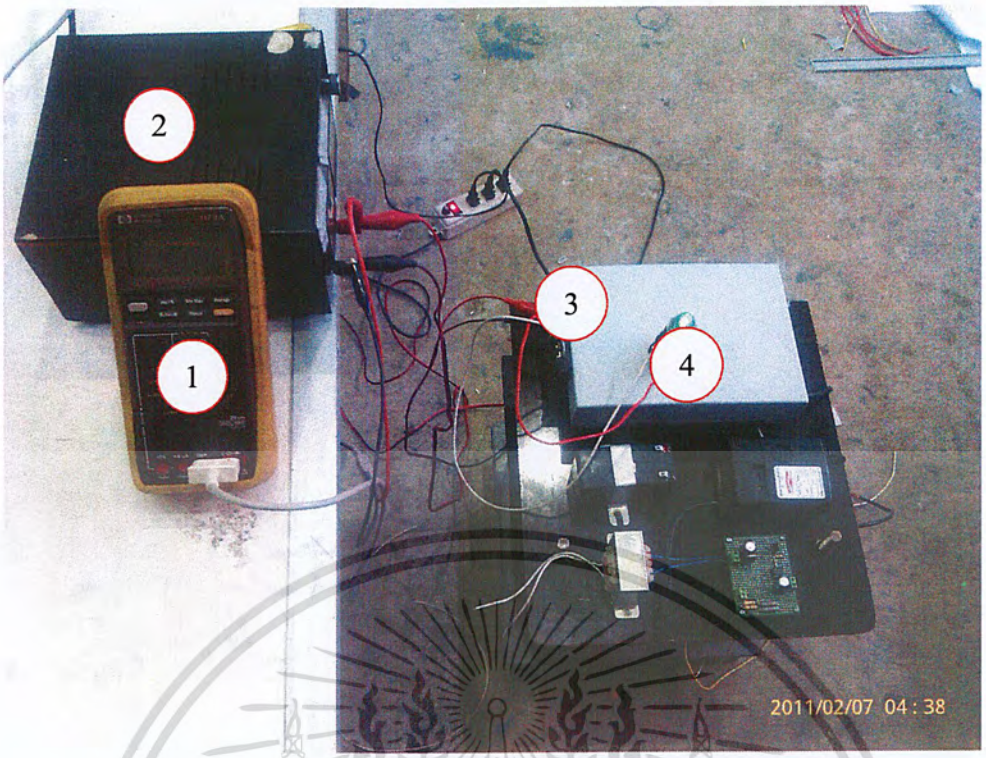
4.3.1 วิธีการทดลอง

การทำงานของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กเป็นการกระตุ้นด้วยแรงดันสูงกระแสตรงขั้วลบ เซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดันจะทำงานเมื่อมีการเปรียบเทียบแรงดันของออปแอมป์ (LM741) ระหว่างขาที่ 2 ซึ่งเป็น Inverting Input และขาที่ 3 ซึ่งเป็น Non-Inverting Input เมื่อแรงดันที่ขา 3 มีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงที่ขา 2 ของออปแอมป์ ก็จะมีแรงดันไปไบแอสทรานซิสเตอร์เพื่อให้รีเลย์ทำงานส่งสัญญาณไปยัง PLC การจำลองการทำงานของเซนเซอร์เพื่อทดสอบการทำงานว่าเป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้น โดยตั้งค่าแรงดันอ้างอิงไว้ที่ 12 V และจ่ายแรงดันเข้าที่ขา 3 ของออปแอม์เปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ใช้หลอดไฟแสดงแทนการทำงานของ PLC ทำการเพิ่มแรงดันที่ขา 3 ของออปแอมป์ตั้งแต่ 11.5V-13.4V เพื่อดูการทำงานของเซนเซอร์ และบันทึกข้อมูลลงในตาราง



รูปที่ 4.6 วงจรเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 วงจรการทดสอบเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดัน

เมื่อ 1. คือ โวลท์มิเตอร์ 2. คือ แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง

3. คือ เซนเซอร์ตรวจสอบแรงดัน 4. คือ หลอดไฟแสดงแทนการทำงานของ PLC

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดัน

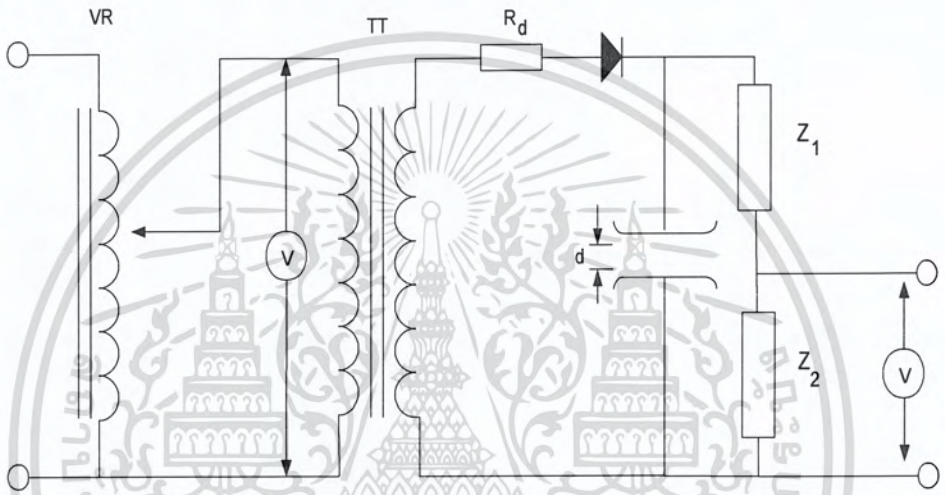
แรงดันอินพุตที่ขา 3	แรงดันอ้างอิงที่ขา 2	เซนเซอร์ 1	เซนเซอร์ 2
11.5	12		
12.0	12		
12.2	12	✓	
12.4	12	✓	
12.6	12	✓	
12.8	12	✓	
13.0	12	✓	✓
13.2	12	✓	✓
13.4	12	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบจ่ายแรงดันกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

4.4.1 วิธีการทดลอง

ต่อวงจรการทดลองเพื่อทดสอบการขึ้นแรงดันของตู้ควบคุมและเพื่อเปรียบเทียบค่าของแรงดันเอาต์พุตในขณะที่ไม่ใส่เมล็ดพันธุ์ข้าวและใส่เมล็ดพันธุ์ข้าวโดยจ่ายแรงดันด้านอินพุตที่ค่าเท่ากัน การทดสอบจ่ายแรงดันเพื่อกระตุ้นเมล็ดพันพันข้าวต้องการแรงดันเอาต์พุต 12 kV จ่ายไปยังแผ่นเพลทเพื่อกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นเพลท 4 เซนติเมตร จะทำให้ได้ค่าสนามไฟฟ้า 3 kV/cm ซึ่งจากงานวิจัย [1] ที่ปีที่ผ่านมาให้ผลการเจริญเติบโตของข้าวสูงที่สุด



รูปที่ 4.8 วงจรในการทดลอง

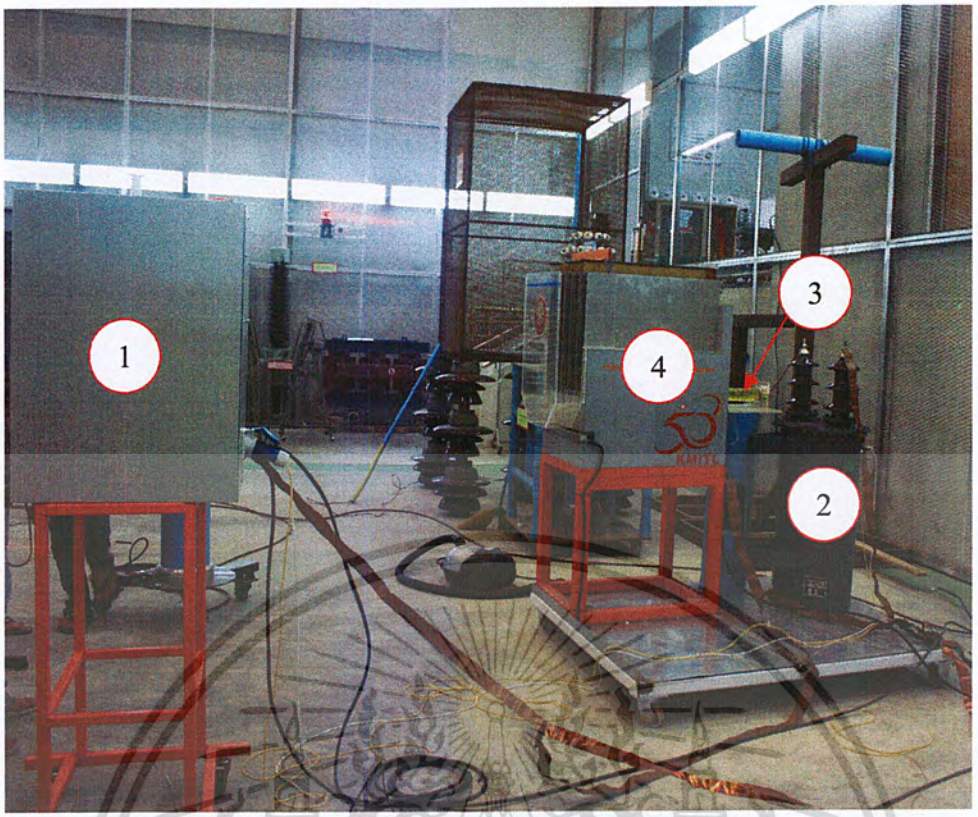
4.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้ควบคุมแรงดันชุดควบคุมเรื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กที่ได้ทำการออกแบบและสร้างไว้

2. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง โดยมีส่วนประกอบหลักประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า ไดโอดสำหรับเรียงกระแส สามารถสร้างแรงดันสูงกระแสตรงได้ได้สูงสุด 15 kV และพิกัดกระแสสูงสุด 1 A สามารถเลือกขั้วแรงดันได้ทั้งแบบขั้วบวกกับกราวด์และขั้วลบกับกราวด์ แต่ในที่นี้ใช้การกระตุ้นแบบขั้วลบกับกราวด์

3. ชุดอัดประจุไฟฟ้าส่วนประกอบหลักประกอบด้วย แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง และแผ่นระนาบอิเล็กโทรดอัดประจุ ชนิดแผ่นทองแดงหนา 2 มิลลิเมตร กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ในการทดสอบใช้ระยะห่างระหว่างแผ่นระนาบ 4 เซนติเมตร โดยจ่ายแรงดัน 12 kV ทำให้ได้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า 3 kV/cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ

เมื่อ 1. คือ ตู้ควบคุมแรงดัน 2. คือ หม้อแปลงแรงดัน
3. คือ ไดโอดเรียงกระแส 4. คือ ชุดแผ่นเพลทกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

ผลการทดลองจ่ายแรงดันเข้าที่อินพุตค่าต่างกันและบันทึกค่าแรงดันเพื่อเปรียบเทียบขณะที่ใส่เมล็ดพันธุ์ข้าวและไม่ใส่เมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตมีผลดังตารางดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจ่ายแรงดันด้านอินพุต

	INPUT(V)	OUTPUT(kV)		INPUT(V)	OUTPUT(kV)
NO-LOAD	138.3	9.43	**LOAD**	138.3	8.81
	151.2	10.30		151.8	9.67
	165.6	11.30		168.3	10.72
	179.2	12.22		180.7	11.47
	190.0	12.95		190.0	12.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าการเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก เนื่องจากชุดควบคุมมีพิกัดแรงดันด้านอินพุตและเอาต์พุตซึ่งได้จากการคำนวณอัตราส่วนของหม้อแปลงดังนี้

พิกัดแรงดันด้านอินพุต 220 V
พิกัดแรงดันด้านเอาต์พุต 15 kV

เพื่อหาขนาดของแรงดันที่ทำให้เอาต์พุตมีค่าประมาณ 12 kV มีการคำนวณดังนี้

$$\frac{220V}{15000V} = \frac{V_1}{12000V} \qquad (4.1)$$

ดังนั้นจะได้ V_1 = 176 โวลท์

โดย V_1 : แรงดันด้านอินพุต
V_2 : แรงดันด้านเอาต์พุต

จากการคำนวนต้องจ่ายแรงดันอินพุต 176 V เพื่อให้แรงดันเอาต์พุต 12 kV แต่จากการทดลองต้องจ่ายแรงดันสูงถึง 190 V เพื่อให้ได้แรงดันขณะกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ 12.11 kV และนำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการปรับตำแหน่งของลิมิตสวิตช์ เพื่อใช้ในการการหยุดขึ้นแรงดันเมื่อเซนเซอร์ตรวจสอบระดับแรงดันไม่ทำงานเพื่อทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

นอกจากนี้ยังมี Over Current Relay เพื่อทำหน้าที่ในการตัดวงจรทั้งหมดเมื่อเกิดกระแสเกิน หรือเกิดการเบรคดาวน์ระหว่างแผ่นเพลทกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวทำให้มีความน่าเชื่อถือและเกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงเรื่องชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก ในปีการศึกษา 2553 แบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ส่วนการออกแบบตู้ควบคุม 2. ส่วนการเก็บผลการทดลองการปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าลงแปลงนาจริง ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

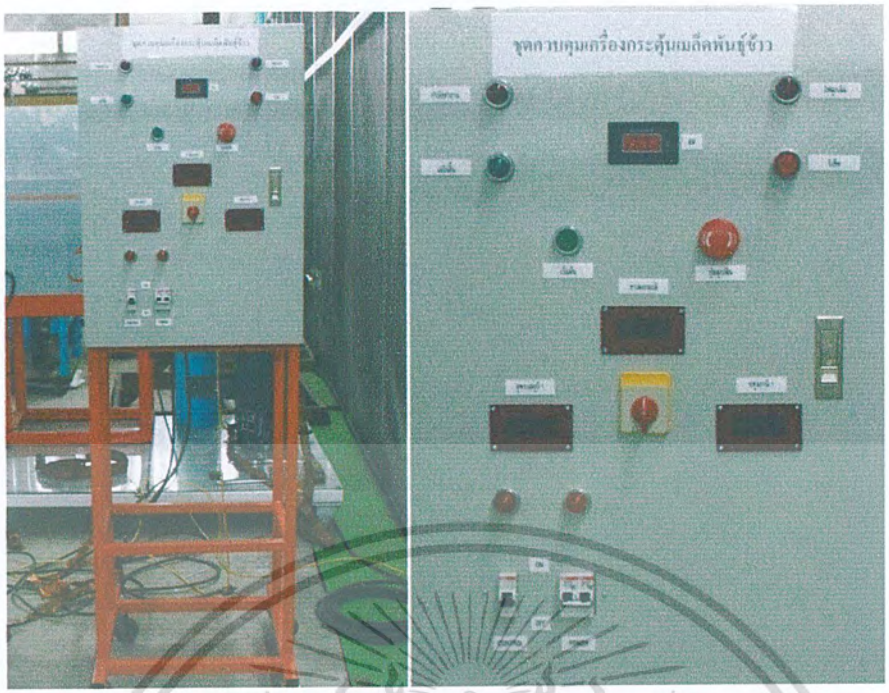
1. เลือกใช้ PLC เป็นตัวควบคุมการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีวงจร Cap Start ในการขึ้นและลงแรงดัน เพื่อขับหม้อแปลงอัตโนมัติอีกทีหนึ่ง และสามารถเลือกชนิดพันธุ์ข้าวได้ 3 ชนิด คือ พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ หลังจากนั้นหน่วงเวลาไว้ตามที่เมล็ดข้าวแต่ละพันธุ์ใช้ในการกระตุ้น เครื่องจะทำงานโดยอัตโนมัติจนจบขั้นตอนจึงนำเมล็ดพันธุ์ข้าวออก รอการเพาะปลูกต่อไป

2. สามารถติดตั้งตู้ควบคุมให้ใช้งานร่วมกับชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ได้ออกแบบไว้แล้วในปีการศึกษาที่ผ่านมาได้

3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ และพัฒนาให้ชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวพร้อมชุดควบคุม ติดตั้งบนรถเคลื่อนย้ายได้สะดวกต่อไปได้

4. ในส่วนการทดลองปลูกจริง สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิจัยเมล็ดพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ ระยะเวลาในการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า และที่สำคัญ ได้ทราบกรณีศึกษาว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแล้วนำไปเพาะปลูกทันที จะมีผลอย่างไรต่อผลผลิตเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการกระตุ้นแล้ว มีระยะเวลาพักตัว (ไม่ได้นำไปหว่านทันทีจะมีผลอย่างไรต่อผลผลิต) โดยมีหนังสือรายงานประกอบซึ่งอยู่ในภาคผนวกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ตู้ควบคุมที่เสร็จสมบูรณ์ พร้อมขาตั้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบสร้างตู้ควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งสามารถเลือกชนิดพันธุ์ข้าวที่ต้องการกระตุ้นได้แล้วนั้นเรายังสามารถประยุกต์ใช้เครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวพร้อมตู้ควบคุม กับเมล็ดพันธุ์ชนิดอื่นได้ เช่น ถั่วเขียว ข้าวโพด เป็นต้น กรณีมีการศึกษาวิจัยต่อไปว่าสนามไฟฟ้ามีผลต่อเมล็ดพันธุ์พืชดังกล่าวหรือไม่ เพียงแค่เราป้อนข้อมูลที่ใช้ เช่น แรงดันไฟฟ้า เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น ให้กับ PLC ก็จะสามารถใช้งานเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์นี้ได้เหมือนกับการกระตุ้นข้าวทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] นายปากร ศรีธรรม นายประสงค์ ศรีละครดี, การประกอบสร้างหม้อแปลงทดสอบพิกัด 200kV 10kVA และชุดควบคุม, **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลดกระบัง, 2549.

[2] บุญเลิศ สงวนวัฒนา, "คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม", http://tech.kpru.ac.th/techno/images/good/2.doc

[3] ธวัชชัย อัตถวิบูลกุล, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC MOTOR), แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยช่างกลประทุมวัน, กรุงเทพมหานคร, 2545
ฟ้า, มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

[4] พิศมัย สุภัทรานนท์กุล, ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพมหานคร, 2545

[5] นายจุฑา แย้มเพริศศรี ชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก, **ปริญญานิพนธ์วิศกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
บทความวิชาการ

ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

The Controller of Mini Rice Grain Activator using Electric field

กฤษณ์ กิจวัฒนา เกรียงศักดิ์ ประกิ่ง ธำรงศักดิ์ คงสุวรรณ์ ธีระพล พิเคช
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2329-8330

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ นำเสนอการพัฒนาการออกแบบชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กโดยการใช้ PLC ในการควบคุมแรงดันในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบอัตโนมัติ จากการทดสอบพบว่าชุดควบคุมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามที่ออกแบบไว้ โดยสามารถเลือกชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่จะกระตุ้นได้ทั้งหมด 3 ชนิด ซึ่งมีเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นต่างกันซึ่งเพิ่ม -ลดแรงดันจะเป็นไปแบบอัตโนมัติ มีระบบป้องกันในกรณีกระแสเกินซึ่งจะตัดแรงดันออกจากวงจรทันที

คำสำคัญ : ตู้ขึ้นแรงดันอัตโนมัติ

Abstract

This paper presents the design and development of the controller of compact rice grain activator using electric field. A Programable Logic Control (PLC) is employed to control of magnetic contactor and timer relay voltage level of the voltage regulator. The controller is designed to increase the voltage gradually from 0V-12kV and maintains the voltage at 12 kV for 20 minutes to control uniform electric field intensity of 3 kV/cm. After the activated process is finished, the voltage is decreased to 0 volt automatically. For the controller is connected to Mini Grain Activator using Electric field. The over current relay was installed to protect over current in the activated process.

KEY WORD : Controller using PLC

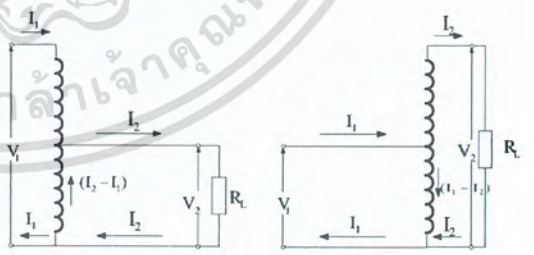
1. บทนำ

เนื่องจากงานวิจัยและการทดลองเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวโดยการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า[1]และนำไปปลูกในแปลงทดลองได้ผลผลิตออกมาเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งความยาวรากของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นนั้นมีความยาวเพิ่มขึ้นประมาณ 1.2-1.5 เท่าของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ทำให้ต้นข้าวโตเร็ว รวมทั้งผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นผลดีต่อประเทศไทยในอนาคต จึงได้มีการสร้างชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กขึ้นมา[1] แต่เนื่องจากเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กยังคงมีขั้นตอนการใช้งานที่ยุ่งยาก จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบ ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กขึ้นมา โดยมีขั้นตอนการใช้งานง่าย สะดวก และปลอดภัย เกษตรกรสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดอันตราย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หม้อแปลงไฟฟ้าร่วมขดลวด

หม้อแปลงไฟฟ้าร่วมขดลวด หรือหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวดเพียงชุดเดียว ทำหน้าที่เป็นทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสองขดลวดแต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า มีขนาดเล็ก นิยมใช้เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้า ที่รู้จักกันคือ วาริแอค (Variac) หรือ สไลด์เรกกูเลเตอร์ (Slide regulator) [2]



รูปที่ 1 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้

2.2 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC

2.2.1 ภาคอินพุต

ทำหน้าที่รับข้อมูล และส่งข้อมูลนำไปประมวลผลข้อมูลที่หน่วยประมวลผล

2.2.2 ตัวประมวลผล

ทำหน้าที่คำนวณและควบคุมโดยรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ทำการประมวลผลและเก็บข้อมูล โดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำและส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เอาท์พุท

2.2.3 หน่วยความจำ

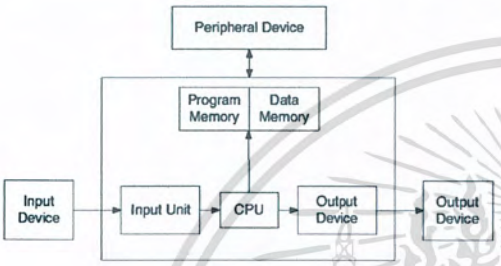
ทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน ขนาดของหน่วยความจำจะถูกแบ่งออกเป็นบิต

2.2.4 ภาคเอาท์พุท

ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก

2.2.5 แหล่งจ่ายไฟ

ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ CPU หน่วยความจำ และหน่วยอินพุท/เอาท์พุท



รูปที่ 2 โครงสร้างพื้นฐาน PLC

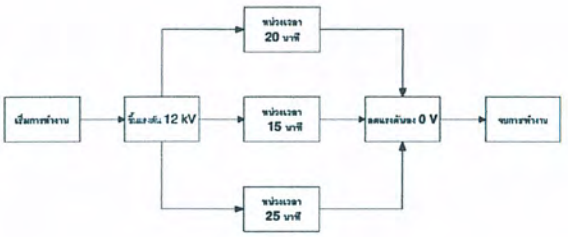
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) เป็นมอเตอร์แบบสตาร์ทด้วย Capacitor ซึ่ง Capacitor และขดลวดต่ออยู่กับวงจรตลอดเวลาทั้งในขณะเริ่มหมุนและขณะขับโหลด มอเตอร์แบบนี้มีแรงบิดสูงสามารถต่อเพลาของมอเตอร์กับหม้อแปลงปรับค่าได้โดยตรง มอเตอร์แบบนี้สามารถกลับทางหมุนได้ง่ายโดยการกลับขดลวดชุดใดชุดหนึ่งเท่านั้น

3. การออกแบบและสร้าง

3.1 การควบคุมแรงดัน

ลักษณะการทำงานของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก จะใช้สนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า 3kV/cm ซึ่งการขึ้นแรงดันจำเป็นต้องมีเทคนิคเพื่อควบคุมให้ได้แรงดันตามต้องการ ตู้คอนโทรลแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมแมบิลลอจิกคอนโทรล ประกอบด้วย พีแอลซีซึ่งสามารถขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยตรง เซนเซอร์ตรวจวัดแรงดัน หม้อแปลงอัตโนมัติ ซึ่งมีพิกัด 0 – 220V, 6 kVA โดยหม้อแปลงอัตโนมัติจะจ่ายกำลังให้กับหม้อแปลงแรงดันพิกัด 220V/15kV, 15kVA

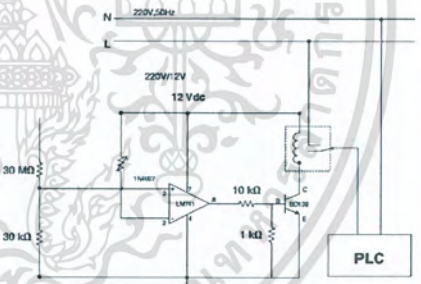


รูปที่ 3 ไดอะแกรมการทำงาน

หลักการทำงานของตู้คอนโทรลอัตโนมัติมีหลักการทำงานคือ พีแอลซีเป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด ตั้งเวลา ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดัน มีเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันเมื่อแรงดันสูงขึ้นถึงจุดที่ตั้งค่าไว้

3.2 เซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน

การทำงานของเซนเซอร์จะทำงานเมื่อมีการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างขา 2 กับขา 3 ของออปแอมป์ (LM741) เมื่อพีแอลซีสั่งให้มอเตอร์ขับหม้อแปลงอัตโนมัติเพิ่มแรงแรงดันจนถึงค่าที่ตั้งไว้ จะมีแรงดันเอาท์พุทออกมาจากโวลเตจดิไวเดอร์ ผ่านมายังออปแอมป์ ถ้าแรงดันที่ขา 3 มากกว่าแรงดันที่ขา 2 ทำให้ออปแอมป์ทำงาน และคอลย์รีเลย์ 12Vdc ทำงาน สั่งให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ทำงานทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติหยุดจ่ายแรงดัน



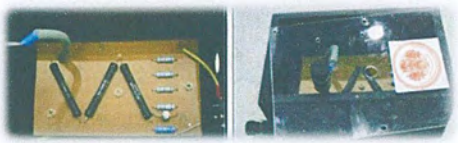
รูปที่ 4 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน

3.4 โวลเตจดิไวเดอร์

ทำหน้าที่แบ่งแรงดันเพื่อลดทอนแรงดันลงมาเพื่อให้วัดที่โวลมิเตอร์ สามารถวัดได้ และเป็นอินพุทของเซนเซอร์ โวลเตจดิไวเดอร์ที่ออกแบบ เป็นโวลเตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทาน มีความต้านทานแรงสูง 10 MΩ ต่ออนุกรมกัน 3 ตัว ความต้านทาน 120 kΩ ต่อขนานกัน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัว และมีความต้านทาน Matching ขนาด 50 Ω และมีตัวป้องกันหาก เกิดการ Break down โดยมีอัตราส่วน 1000:1



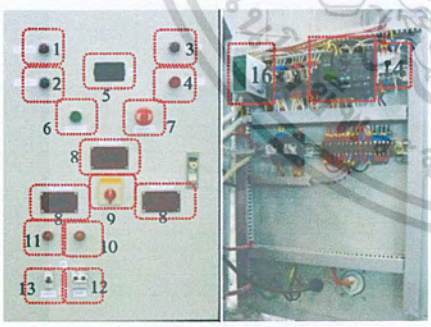
รูปที่ 5 โวลเตจดิไวเดอร์

3.5 การออกแบบตู้

ขนาดตู้ที่ออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของอุปกรณ์ที่ ประกอบอยู่ภายในตู้ จึงออกแบบให้ตู้มีขนาด 50x50x70 เซนติเมตร ด้านหน้าและหลังสามารเปิด-ปิด ได้

รูปที่ 6 ขนาดของตู้คอนโทรล

3.6 ส่วนต่างๆของตู้คอนโทรล



รูปที่ 7 ส่วนต่างๆ ของตู้คอนโทรล

1. ไฟแสดงสถานะกำลังทำงาน
2. ไฟแสดงสถานะทำงานเสร็จสิ้น
3. ไฟแสงสถานะฉุกเฉิน
4. ปุ่มรีเซ็ท
5. โวลท์มิเตอร์
6. ปุ่มกดเริ่มทำงาน
7. ปุ่มฉุกเฉิน
8. หน้าจอแสดงเวลา
9. สวิตช์เลือกพัธุ์ข้าว
10. ไฟแสดงสถานะ Main Power ON
11. ไฟแสดงสถานะ Control ON
12. Circuit Breaker Main Power
13. Circuit Breaker Control
14. Magnetic contactor
15. PLC
16. Over Current Relay

4.การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบเซนเซอร์

จำลองการทำงานของเซนเซอร์ โดยปรับแรงดันค่าต่างๆ ตั้งแต่ 11-13.4 โวลท์ เทียบกับแรงดันอ้างอิง 12 V

รูปที่ 8 วงจรการทดสอบเซนเซอร์

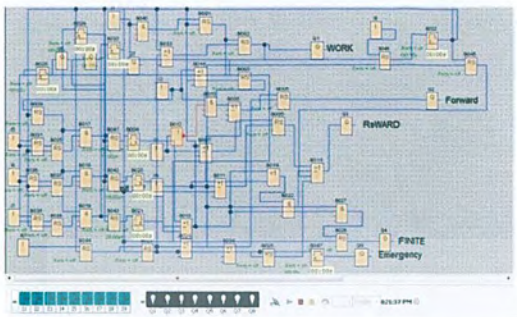
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเซนเซอร์

แรงดันป้อนเข้า	แรงดันอ้างอิง	เซนเซอร์ 1	เซนเซอร์ 2
11.5 V	12 V		
12.0 V	12 V		
12.2 V	12 V	✓	
12.4 V	12 V	✓	
12.6 V	12 V	✓	
12.8 V	12 V	✓	
13.0 V	12 V	✓	✓
13.2 V	12 V	✓	✓
13.4 V	12 V	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การจำลองการทำงานของคอมพิวเตอร์

โดยการทดลองใส่อินพุตให้กับ PLC ทดสอบว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ มีบล็อคไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 9 การจำลองการทำงานของ PLC ด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการทดสอบการทำงานของ PLC เป็นไปตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ มีการป้องกันระบบจากการกดปุ่มซ้ำซ้อนหรือเปลี่ยน Selector Switch ในขณะที่เครื่องทำงาน ทำให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพ และเกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

4.3 การทดสอบจ่ายแรงดันกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

รูปที่ 10 การทดสอบกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

1. ตู้ควบคุมแรงดัน
2. เพลทกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว
3. หม้อแปลงแรงดัน
4. ไดโอดเรียงกระแส
5. โวลเตจดิไวเดอร์

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบชุดกระตุ้นเมล็ดพันข้าว

	INPUT	OUTPUT		INPUT	OUTPUT
No load	138.3	9.43	Load	138.3	8.81
	151.2	10.30		151.8	9.67
	165.6	11.30		168.3	10.72
	179.2	12.22		180.7	11.47
	190.0	12.95		190.0	1211

5. สรุป

บทความฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบชุดควบคุมแรงดันของชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งได้สร้างขึ้นในปีที่ผ่านมาโดยชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวนั้น มีพิกัดการใช้งานที่ 12kV, 50Hz, 30 mA โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าพิกัดกำลัง 15kVA, 50Hz, 1A เป็นแหล่งจ่ายให้ชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวดังกล่าว จึงได้มีการพัฒนาออกแบบชุดควบคุมแรงดัน โดยเลือกใช้หม้อแปลงปรับค่าได้มีพิกัด 220 Vac, 50Hz, 30A เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าและในส่วนของวงจรควบคุมเลือกใช้ แมคเนติกคอนแทคเตอร์พิกัด 220V, 50Hz, 10A และ PLC ซึ่งทำหน้าที่ขับมอเตอร์ได้โดยตรง บริเวณด้านหน้าตู้มีปุ่มกดและหลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน ผลที่ได้คือทำให้เกิดความง่าย และความปลอดภัยในการใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล , ดร.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท นายปุณยวีร์ ทองเขียว พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท และเพื่อนๆที่ช่วยให้คำปรึกษา รวมทั้งห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] นายจุฑา แย้มเพริศศรีและคณะ, "ชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ด พันข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก ", ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต , สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552

[2] เอกสารประกอบการบรรยาย ธนากร น้ำหอมจันทร์และคณะ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับปรับค่าได้ควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

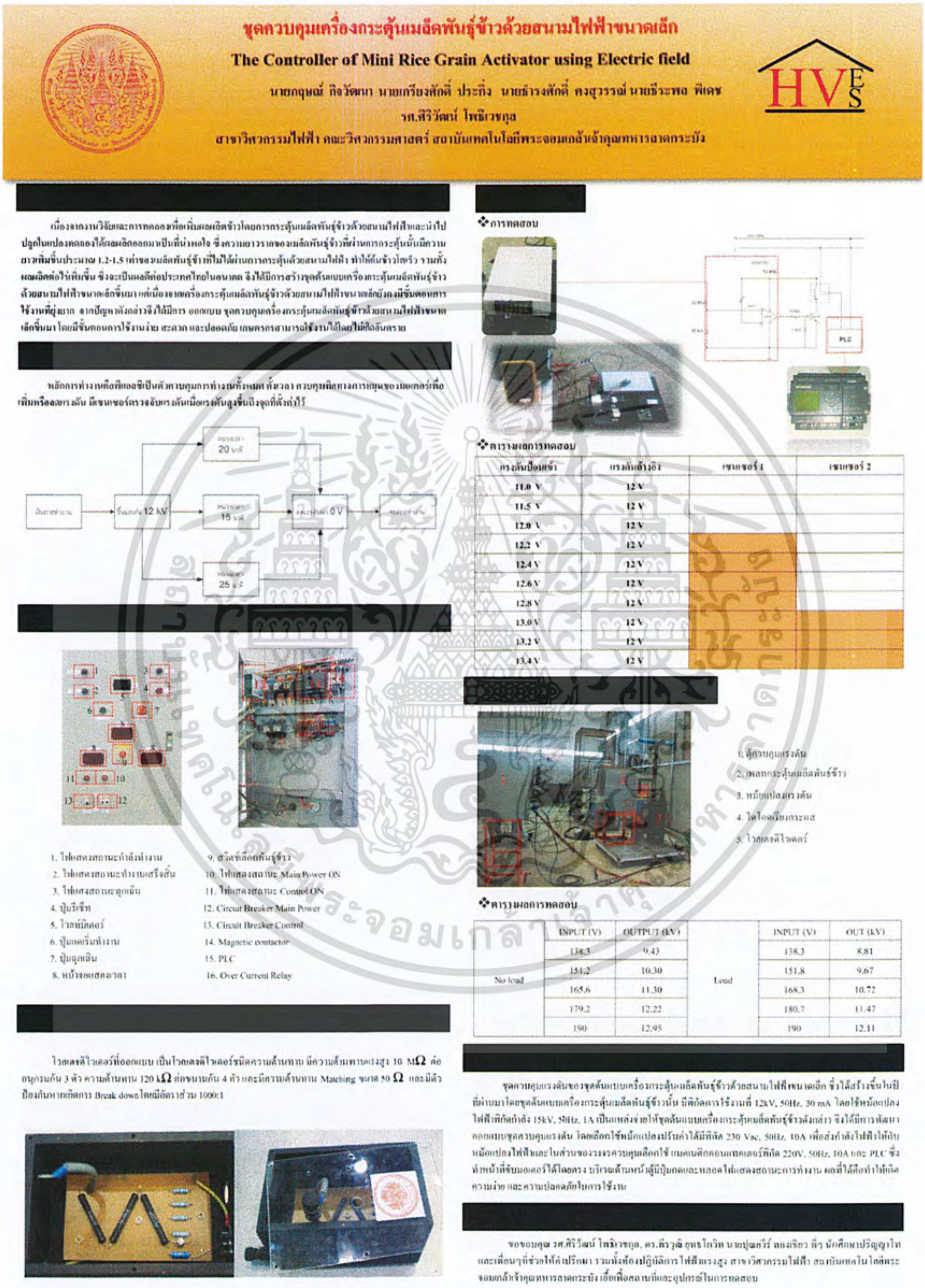
[3] ธวัชชัย อัตถวิบูลกุล มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC MOTOR) แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน, กรุงเทพมหานคร, 2545

[4] พิศมัย สุภัทรานนท์ , ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี , ซีเอ็ด ยูเคชั่น , กรุงเทพมหานคร, 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

Poster



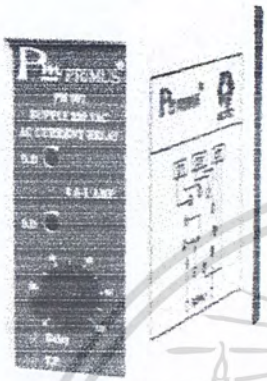
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลอุปกรณ์

PM-001

Current Relay



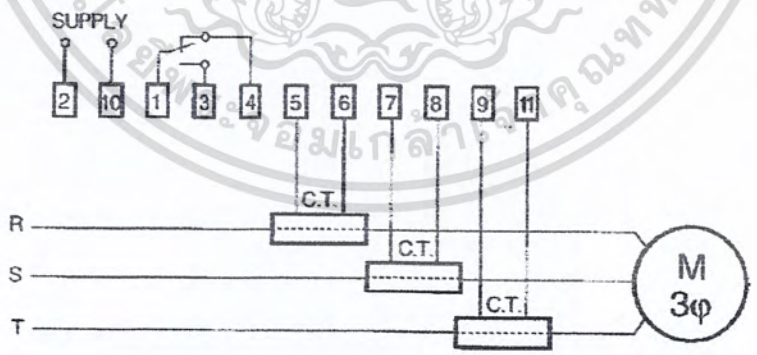
คุณสมบัติทั่วไป

- รีเลย์สำหรับตรวจจับกระแส AC ย่านวัดตรวจจับตั้งแต่ 0.5 ถึง 5 A
- สามารถต่อใช้งานได้กับมอเตอร์ทุกขนาดในกรณีที่กระแสเกิน 5 A ก็ต่อร่วมกับ Current Transformer ได้
- สามารถปรับตำแหน่ง setpoint ของกระแส เมื่อกระแสเกินที่ตั้งไว้รีเลย์จะตัดวงจรออก
- มีปุ่มปรับสำหรับหน่วงเวลาช่วงสตาร์ท (S.D.) และปุ่มปรับสำหรับหน่วงเวลาการทำงาน (O.D.)
- มี LED แสดงรีเลย์เอาต์พุตทำงาน และ LED แสดงเมื่อกระแสเกิน (Trip)

ข้อมูลทางเทคนิค

แรงดันไฟเลี้ยง	: 110, 220, 380 VAC ±10%	รีเลย์คอนแทค	: 10 A / 250 VAC
ความถี่	: 45 – 75 Hz	ปุ่มปรับหมุน	
กินไฟ	: 2.5 VA	ตั้งค่ากระแส	สเกล 0 ถึง 100%
อุณหภูมิการทำงาน	: –20 °C ถึง 60 °C	หน่วงเวลาสตาร์ท (S.D.)	สเกล 5 ถึง 70 sec
การบอกแสดง	: LED สีเขียว (รีเลย์ทำงาน)	หน่วงเวลาทำงาน (O.D.)	สเกล 0.2 ถึง 15 sec
	LED สีแดง (เกิดการ Trip)	ค่าฮีสเตอร์รีซิส	: 7%

ไดอะแกรมการต่อ



การทำงาน

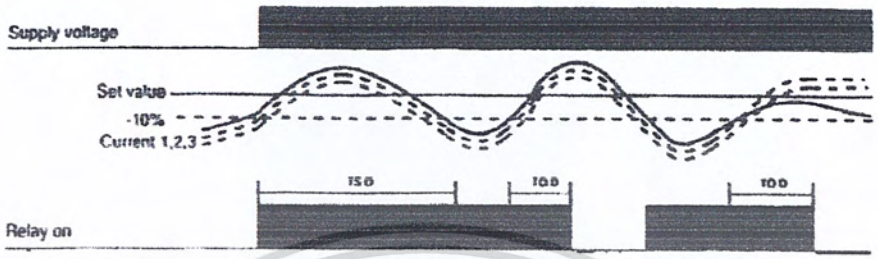
Current Relay จะรับอินพุตจาก C.T. 5 A จำนวน 3 ตัว, 2 ตัว หรือ 1 ตัวก็ได้ แล้วแต่ว่าจะต้องการเช็คกระแสกี่เฟส เมื่อเริ่มทำงานมันจะหน่วงเวลาให้ 5 – 70 วินาที (S.D.) เพื่อป้องกันการตัดวงจรในช่วงสตาร์ท อันเนื่องมาจากกระแสสตาร์ทจะสูงกว่าปกติ เมื่อครบเวลาที่ตั้งแล้วมันจะเริ่มจับกระแสที่เข้ามอเตอร์ ถ้าหากมีความผิดปกติเกี่ยวกับมอเตอร์ ในลักษณะใดก็ตาม จะทำให้กระแสสูงเกินกว่าปกติและจะตัดวงจรภายในเวลา 0.2 – 15 วินาที (O.D.) ซึ่งสามารถปรับให้ช้าหรือเร็วได้ตามต้องการเช่นกัน โดยจะมีประโยชน์ในกรณีที่กระแสเกินในช่วงสั้นๆ และไม่ต้องการให้ตัดวงจร ก็สามารถยืดเวลาออกไปโดยไม่ต้องหยุดมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

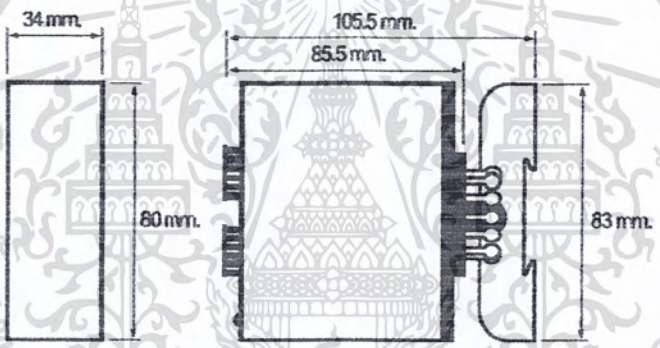
PM-001

Current Relay

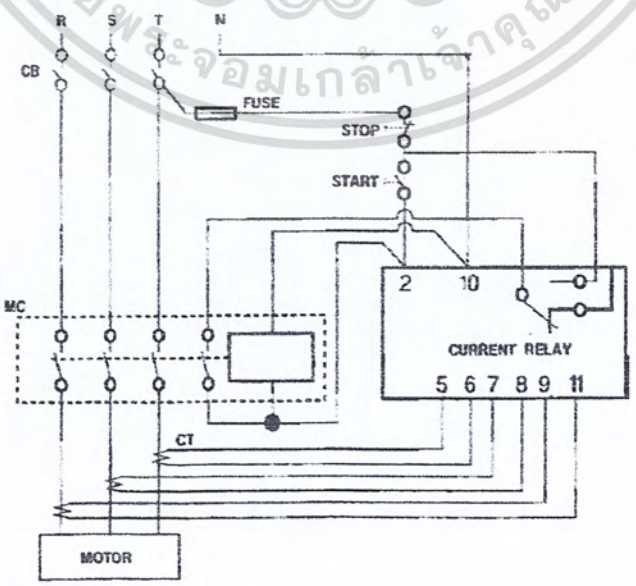
กราฟของการทำงาน



ขนาดของรีเลย์



วงจรการต่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BD135
BD139

NPN SILICON TRANSISTORS

- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES

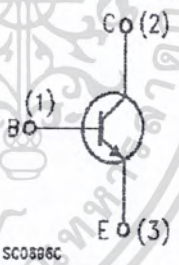
SOT-32

DESCRIPTION

The BD135 and BD139 are silicon epitaxial planar NPN transistors in Jedec SOT-32 plastic package, designed for audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi compementary circuits.

The complementary PNP types are BD136 and BD140 respectively.

INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



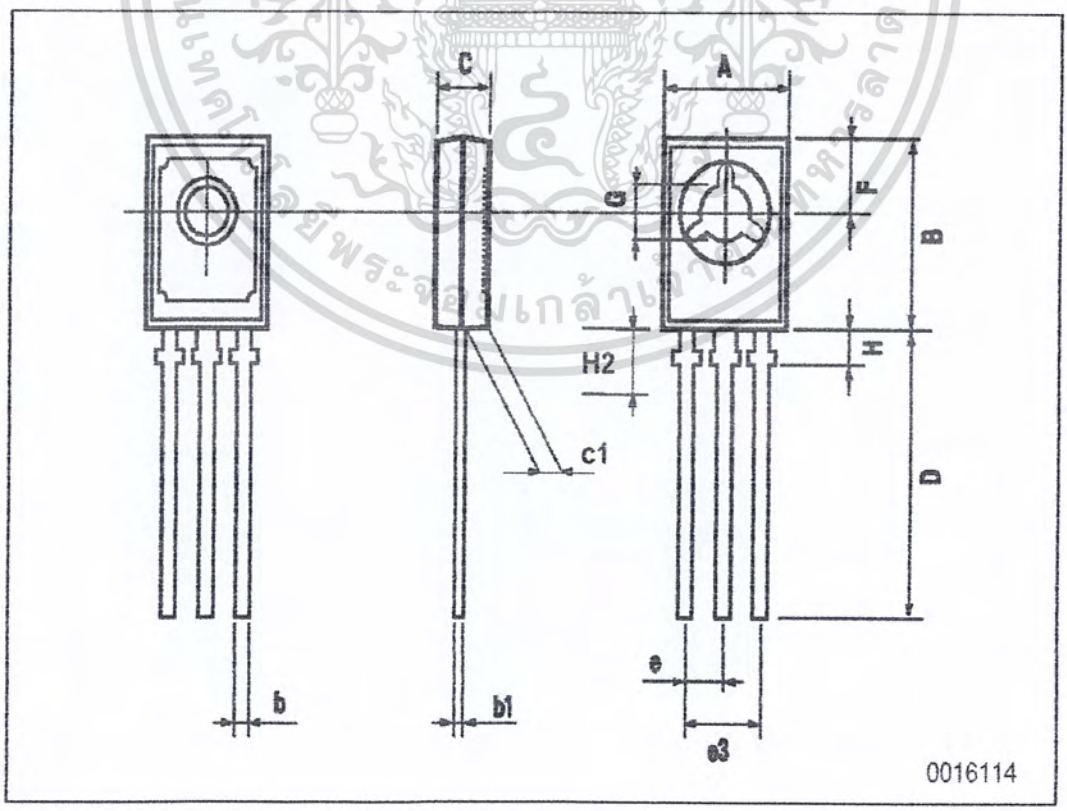
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		BD135	BD139	
V_{CBO}	Collector-Base Voltage (I_E = 0)	45	80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage (I_B = 0)	45	80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage (I_C = 0)	5		V
I_C	Collector Current	1.5		A
I_{CM}	Collector Peak Current	3		A
I_B	Base Current	0.5		A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25\ ^oC$	12.5		W
P_{tot}	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25\ ^oC$	1.25		W
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150		^oC
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150		^oC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOT-32 (TO-126) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	7.4		7.6	0.291		0.307
B	10.5		10.8	0.413		0.445
b	0.7		0.9	0.028		0.035
b1	0.49		0.75	0.019		0.030
C	2.4		2.7	0.040		0.106
c1	1.0		1.3	0.039		0.050
D	15.4		16.0	0.606		0.629
e		2.2			0.087	
e3	4.15		4.65	0.163		0.183
F		3.8			0.150	
G	3		3.2	0.118		0.126
H			2.54			0.100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL DATA

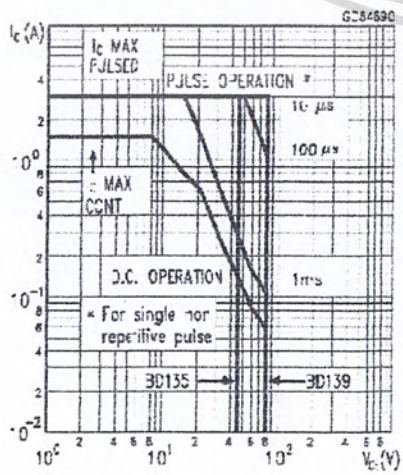
$R_{thj\text{-}case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	10	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{case} = 25 °C unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-off Current (I_E = 0)	V_{CB} = 30 V V_{CB} = 30 V T_C = 125 °C			0.1 10	µA µA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current (I_C = 0)	V_{EB} = 5 V			10	µA
$V_{CEO(sus)}$*	Collector-Emitter Sustaining Voltage	I_C = 30 mA for **BD135** for **BD139**	 45 80			 V V
$V_{CE(sat)}$*	Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = 0.5 A I_B = 0.05 A			0.5	V
V_{BE}*	Base-Emitter Voltage	I_C = 0.5 A V_{CE} = 2 V			1	V
h_{FE}*	DC Current Gain	I_C = 5 mA V_{CE} = 2 V I_C = 0.5 A V_{CE} = 2 V I_C = 150 mA V_{CE} = 2 V	25 25 40		 250	
h_{FE}	h_{FE} Groups	I_C = 150 mA V_{CE} = 2 V for BD139 group 10	 63		 160	

* Pulsed: Pulse duration = 300 µs, duty cycle 1.5 %

Safe Operating Area



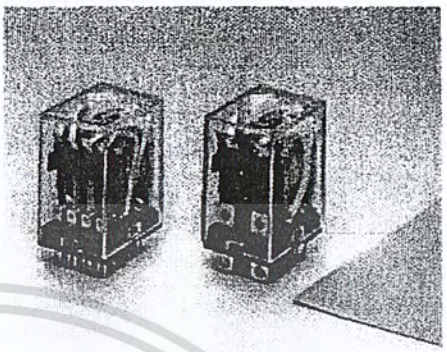
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OMRON

General-purpose Relay | MY

An Improved Miniature Power Relay with Many Models for Sequence Control and Power Applications

- A wide range of relay variations including ones with operation indicators, high-capacity capability, built-in diodes, etc.
- Arc barrier standard on 3- and 4-pole relays.
- Withstand voltage: 2,000 VAC.



Ordering Information

Type	Contact form	Plug-in socket/solder terminals		PCB terminals	Upper-mounting/ solder terminals
			With indicator		
Standard	SPDT	*MY1	—	*MY1-02	MY1F
	DPDT	MY2	MY2N	MY2-02	MY2F
	DPDT (bifurcated)	MY2Z	MY2ZN	MY2Z-02	MY2ZF
	3PDT	MY3	MY3N	MY3-02	MY3F
	4PDT	MY4	MY4N	MY4-02	MY4F
	4PDT (bifurcated)	MY4Z	MY4ZN	MY4Z-02	MY4ZF
With built-in diode (DC only)	DPDT	MY2-D	MY2N-D2	—**	—
	DPDT (bifurcated)	MY2Z-D	MY2ZN-D2	—	—
	3PDT	MY3-D	MY3N-D2	—	—
	4PDT	MY4-D	MY4N-D2	—	—
	4PDT (bifurcated)	MY4Z-D	MY4ZN-D2	—	—
With built-in CR (AC only)	DPDT	MY2-CR	MY2N-CR	—	Not available.
	DPDT (bifurcated)	MY2Z-CR	—	—	
	3PDT	MY3-CR	—	—	
	4PDT	MY4-CR	MY4N-CR	—	
	4PDT (bifurcated)	MY4Z-CR	—	—	
With test button	DPDT	MY2I4	MY2I4N	—	—
	4PDT	MY4I4	MY4I4N	—	—

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Socket Hold-down Clip Pairing

Relay type	Poles	Front-connecting sockets (rail-/screw-mounted)		Back-connecting sockets			
				Solder/wire-wrap terminals		PCB terminals	
		Socket	Clip	Socket	Clip	Socket	Clip
Standard, bifurcated contacts, operation indicator, built-in diode, high-capacity, high-sensitivity, or high-humidity	1, 2	PYF08A-N, PYF08A-E, PYF08A	PYC-A1	PY08(QN)	PYC-P	PY08(QN)	PYC-P
	3	PYF11A		PY11(QN)		PY11(QN)	
	4	PYF14A-N, PYF14A-E, PYF14A		PY14(QN)		PY14(QN)	
MY2N-D4	4	PYF14A-N, PYF14A-E, PYF14A	Y92H-3	PY14(QN)	PYC-1	PY08(QN)	PYC-1
Test button	1, 2	PYF08A-N, PYF08A-E, PYF08A	PYC-A1	PY08(QN)	PYC-P2	PY08(QN)	PYC-P2
	3	PYF11A		PY11(QN)		PY11(QN)	
	4	PYF14A-N, PYF14A-E, PYF14A		PY14(QN)		PY14(QN)	
CR circuit	1, 2	PYF08A-N, PYF08A-E, PYF08A	Y92H-3	PY08(QN)	PYC-1	PY08(QN)	PYC-1
	3	PYF11A		PY11(QN)		PY11(QN)	
	4	PYF14A-N, PYF14A-E, PYF14A		PY14(QN)		PY14(QN)	

Specifications

■ Coil Ratings

Rated voltage		Rated current		Coil resistance	Inductance (reference value)		Must operate	Must release	Max. voltage	Power consum. (Approx.)
		50 Hz	60 Hz		Arm. OFF	Arm. ON	% of rated voltage			
AC	6 V	214.1 mA	183 mA	12.2 Ω	0.04 H	0.08 H	80% max.	30% min.	110%	1.0 to 1.2 VA (60 Hz)
	12 V	106.5 mA	91 mA	46 Ω	0.17 H	0.33 H				
	24 V	53.8 mA	46 mA	180 Ω	0.69 H	1.30 H				
	50 V	25.7 mA	22 mA	788 Ω	3.22 H	5.66 H				
	100/110 V	11.7/12.9 mA	10/11 mA	3,750 Ω	14.54 H	24.6 H				0.9 to 1.1 VA (60 Hz)
	110/120 V	9.9/10.8 mA	8.4/9.2 mA	4,430 Ω	19.20 H	32.1 H				
	200/220 V	6.2/6.8 mA	5.3/5.8 mA	12,950 Ω	54.75 H	94.07 H				
	220/240 V	4.8/5.3 mA	4.2/4.6 mA	18,790 Ω	83.50 H	136.40 H				
DC	6 V	150 mA		40 Ω	0.17 H	0.33 H		10% min.		0.9 W
	12 V	75 mA		160 Ω	0.73 H	1.37 H				
	24 V	36.9 mA		650 Ω	3.20 H	5.72 H				
	48 V	18.5 mA		2,600 Ω	10.60 H	21.00 H				
	100/110 V	9.1/10 mA		11,000 Ω	45.60 H	86.20 H				

Note: See notes under next table on next page.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High-sensitivity Relays

Power supply ratings					Input ratings			
Voltage	Current	Coil resistance	Max. voltage*	Power consum.	Input voltage	Must operate	Must release	Power consum.
					% of rated voltage			
24 VDC	36.9 mA	650 W	110%	Approx. 900 mW	2 to 12 V	2 V max.	1 V min.	0.5 to 52 mW

Note: 1. The rated current and coil resistance are measured at a coil temperature of 23°C with tolerances of +15%/–20% for rated currents and ±15% for DC coil resistance.

2. Performance characteristic data are measured at a coil temperatures of 23°C.
3. The must operate and must release voltages for High-sensitivity Relays was measured at the rated power supply voltage.
4. AC coil resistance and impedance are provided as reference values (at 60 Hz).
5. Power consumption drop was measured for the above data. When driving transistors, check leakage current and connect a bleeder resistor if required.

■ Contact Ratings

Item	Single-, double- or three-pole		Four-pole and High-sensitivity		High-capacity	
	Resistive load (cosf = 1)	Inductive load (cosf=0.4, L/R=7 ms)	Resistive load (cosf = 1)	Inductive load (cosf=0.4, L/R=7 ms)	Resistive load (cosf = 1)	Inductive load (cosf=0.4, L/R=7 ms)
Rated load	5 A, 220 VAC 5 A, 24 VDC	2 A, 220 VAC 2 A, 24 VDC	3 A, 220 VAC 3 A, 24 VDC	0.8 A, 220 VAC) 1.5 A, 24 VDC	7 A, 220 VAC 7 A, 24 VDC	3.5 A, 220 VAC 3.5 A, 24 VDC
Carry current	5 A		3 A		7 A	
Max. switching voltage	250 VAC 125 VDC		250 VAC 125 VDC		250 VAC 125 VDC	
Max. switching current	5 A	5 A	3 A	3 A	7 A	7 A
Max. switching capacity	1,100 VA 120 W	440 VA 48 W	660 VA 72 W	176 VA 36 W	1,540 VA 168 W	770 VA 84 W
Min. permissible load*	Standard type: 100 mA, 5 VDC Bifurcated type: 100 µA, 1 VDC		Standard and high sensitivity types: 1 mA, 1 VDC Bifurcated type: 100 µA, 1 VDC		—	

*Note: P level: $\lambda_{60} = 0.1 \times 10^{-6}$/operation, reference value

■ Characteristics

Item	All relays but High-sensitivity Relays	High-sensitivity Relays
Contact resistance	50 mΩ max.	
Operate time	20 ms max.	
Release time	20 ms max.	
Max. operating frequency	Mechanical: 18,000 operations/hr Electrical: 1,800 operations/hr (under rated load)	
Insulation resistance	1,000 MΩ min. (at 500 VDC)	
Dielectric withstand voltage	2,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min (1,000 VAC between contacts of same polarity)	1,500 VAC, 50/60 Hz for 1 min (1,000 VAC between contacts of same polarity)
Vibration resistance	Destruction: 10 to 55 Hz, 1.0-mm double amplitude Malfunction: 10 to 55 Hz, 1.0-mm double amplitude	
Shock resistance	Destruction: 1,000 m/s^2 (approx. 100G) Malfunction: 200 m/s^2 (approx. 20G)	
Life expectancy	See following table.	
Ambient operating temperature*	Single- and double-pole standard, bifurcated-contact, test-button, and high-humidity relays: –55°C to 70°C (with no icing) All other relays: –55°C to 60°C (with no icing)	
Ambient operating humidity	35% to 85%	
Weight	Approx. 85 g	

Note: The values given above are initial values.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Life Expectancy Characteristics

Relays	Mechanical life (at 18,000 operations/hr)	Electrical life (at 1,800 operations/hr under rated load)
Normal, High-humidity, With test button (except relays with operation indicator), With CR	AC 50,000,000 operations min. DC: 100,000,000 operations min.	1-,2-,3-pole: 500,000 operations min. 4-pole: 200,000 operations min.
High-capacity	AC 50,000,000 operations min. DC: 100,000,000 operations min.	500,000 operations min.
With operation indicator or built-in diode	AC 50,000,000 operations min. DC: 100,000,000 operations min.	1-,2-,3-pole: 500,000 operations min. 4-pole: 200,000 operations min.
With bifurcated contacts	2-pole: 50,000,000 operations min. 4-pole: 20,000,000 operations min.	2-pole: 200,000 operations min. 4-pole: 100,000 operations min.
High-sensitivity	100,000,000 operations min.	200,000 operations min.

Note: See following tables for real load life expectancies.

■ Life Expectancies Under Real Loads

MY2

Rated voltage	Load type	Conditions	Operating frequency	Electrical life
100 VAC	AC motor	50 W, 100 VAC single-phase with 2.8-A inrush current, 0.4-A carry current	ON for 2 s, OFF for 30 s	100,000 operations
		50 W, 100 VAC single-phase with 1.6-A inrush current, 1-A carry current	ON for 1 s, OFF for 30 s	300,000 operations
	AC solenoid	24 W with 1-A carry current	ON for 1.5 s, OFF for 1.5 s	4,000,000 operations

MY2E

Rated voltage	Load type	Conditions	Operating frequency	Electrical life
24 VDC	AC lamp	300 W with 50-A inrush current, 3-A carry current	ON for 5 s, OFF for 55 s	55,000 operations

MY4

Rated voltage	Load type	Conditions	Operating frequency	Electrical life
100 VAC	AC solenoid	50 VA with 2-A inrush current, 0.7A carry current	ON for 1 s, OFF for 3 s	25,000 operations
	DC magnetic switch	25 W with L/R = 40 ms , 0.2-A carry current		
	AC magnetic switch	35 VA with 1.5-A inrush current, 0.35-A carry current		500,000 operations
24 VDC	DC solenoid	40 W with L/R = 10 ms, 1.6-A carry current	ON for 0.5 s, OFF for 1.5 s	5,000,000 operations
		30 W with L/R = 10 ms with 0.34-A carry current	ON for 0.5 s, OFF for 1.5 s	6,000,000 operations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Approved by Standards

Some MY Relays are available in models meeting various safety standards. When ordering, you must specify the desired standards. Refer to *Ordering Information* for specific models. Note that the rating recognized by the various standards sometimes vary from the ratings of the individual relays.

UL 508 Recognitions (File No. 41515)

No. of poles	Coil ratings	Contact ratings
2	6 to 240 VAC 6 to 120 VDC	5 A, 120 VAC resistive load 5 A, 28 VDC resistive load 5 A, 240 VAC inductive load
3		5 A, 28 VDC resistive load 5 A, 240 VAC inductive load
4	6 to 240 VAC 6 to 120 VDC	3 A 28 VDC resistive load 3 A 120 VAC inductive load 1.5 A, 240 VAC inductive load 5 A, 240 VAC inductive load (between contacts of same polarity) 5 A, 28 VDC resistive load (between contacts of same polarity) 0.2 A, 120 VDC

CSA 22.2 No. 0 and No.14 (File No. LR31928)

Model	No. of poles	Coil ratings	Contact ratings
MY□	2, 3	6 to 240 VAC 6 to 120 VDC	5 A, 28 VDC resistive load 5 A, 240 VAC inductive load
	4		3 A, 28VDC resistive load 3 A, 240 VAC inductive load 5 A, 240 VAC inductive load (between contacts of same polarity) 5 A, 28 VDC resistive load (between contacts of same polarity) 0.2 A, 120 VDC

SEV

Model	No. of poles	Coil ratings	Contact ratings
MY□	2, 3	6 to 100 VDC 6 to 220 VAC	5 A, 200 VAC 5 A, 24 VDC

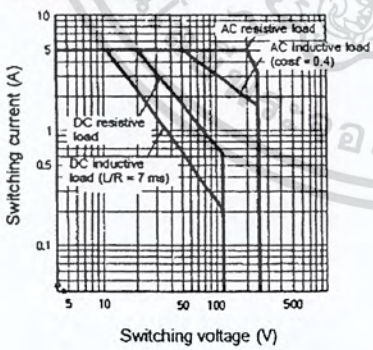
LR (No. 563KOB-204524)

Model	No. of poles	Coil ratings	Contact ratings
MY□-LR	2	6 to 240 VAC 6 to 120 VDC	2 A, 30 VDC inductive load 2 A, 200 VAC inductive load
	4		1.5 A, 30 VDC inductive load 0.8 A, 200 VAC inductive load 1.5 A, 115 VAC inductive load

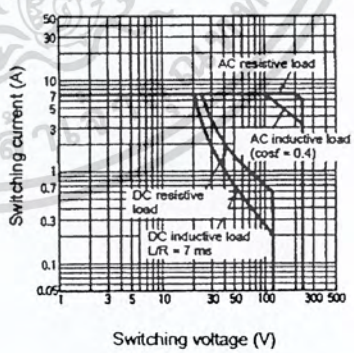
Engineering Data

■ Maximum Switching Capacity

MY1, MY2, MY3

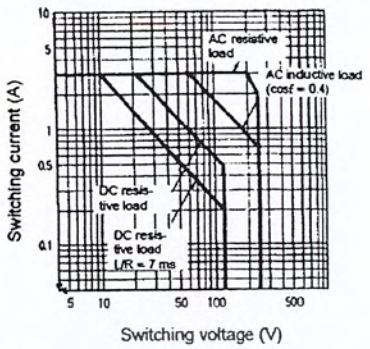


MY2-Y



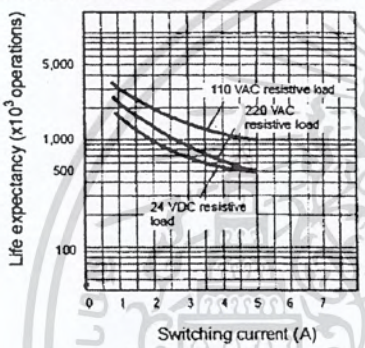
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MY4, MY4Z

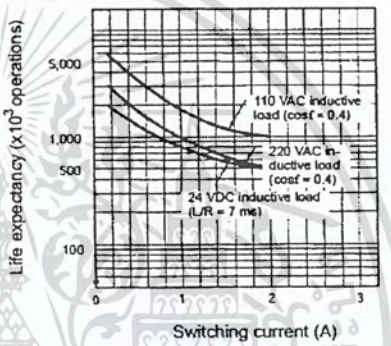


■ Life Expectancy

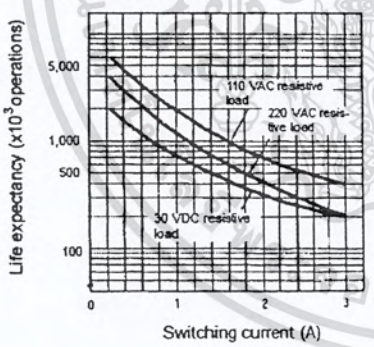
MY1, MY2, MY3 (Resistive Loads)



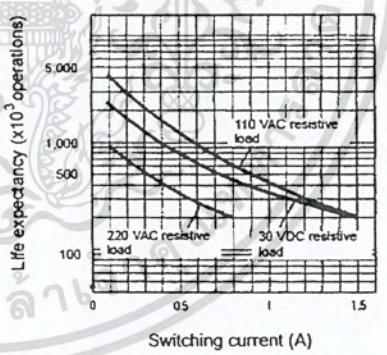
MY1, MY2, MY3 (Inductive Loads)



MY4 (Resistive Loads)

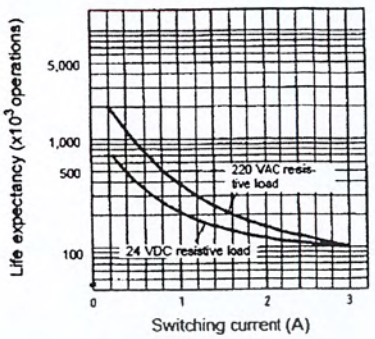


MY4 (Inductive Loads)

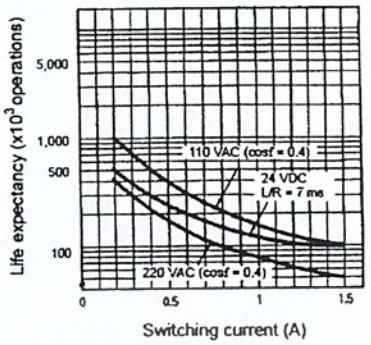


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

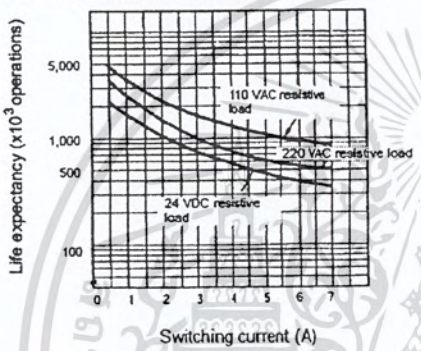
MY4Z (Resistive Loads)



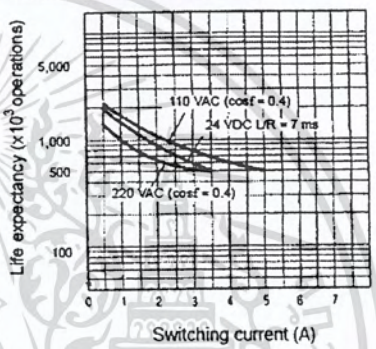
MY4Z (Inductive Loads)



MY2-Y (Resistive Loads)



MY2-Y (Inductive Loads)



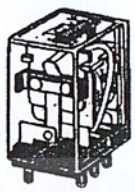
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

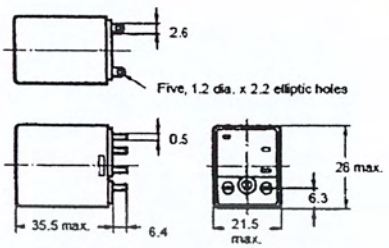
Dimensions

Note: All units are in millimeters unless otherwise indicated.

■ Relays with Solder Terminals

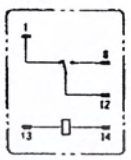
MY1



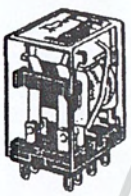


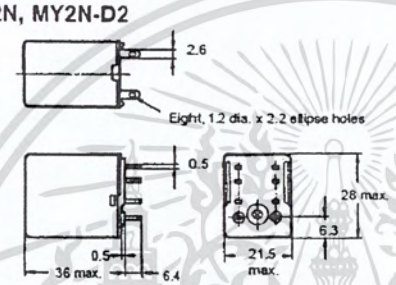
Terminal arrangement/internal connectio (bottom view)

MY1



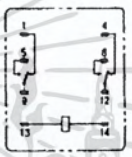
MY2, MY2-TU, MY2N, MY2N-D2



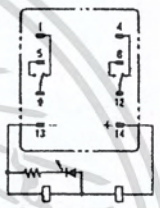


MY2N

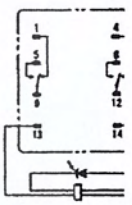
Standard



DC type

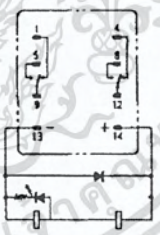


AC type



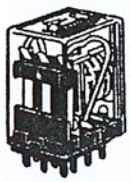
Note: 1. AC type is equipped with a coil disconnec self-diagnostic function.
2. Pay due attention as DC type has polarity.

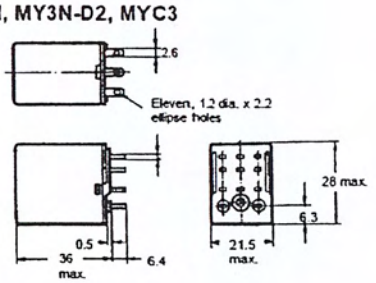
MY2N-D2



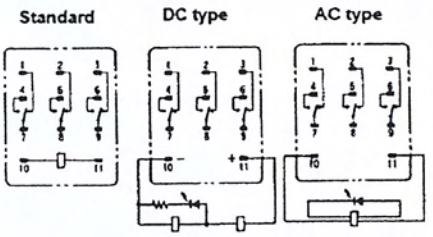
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MY3, MY3-TU, MY3N, MY3N-D2, MYC3



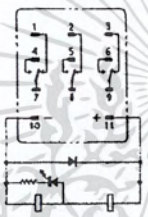


MY3N

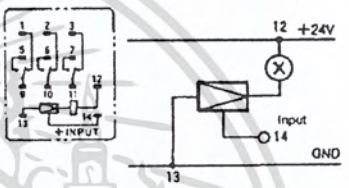


Note: 1. AC type is equipped with a coil disconnection self–diagnostic function.
2. Do not reverse the polarity of DC relays.

MY4N-D2



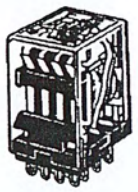
MYC3

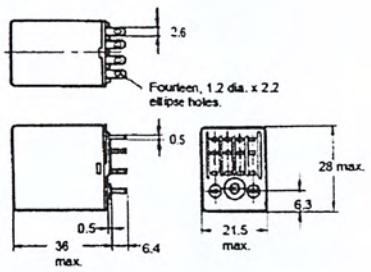


Note: The MYC3 High–sensitivity Relay incorporates a semi–conductor. A surge–absorb element should be attached to it if the relay is used with a load that can generate noise, or a surge current cannot be avoided in the circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MY4, MY4-TU

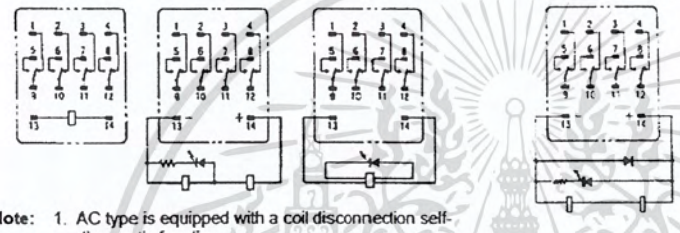




Terminal arrangement/internal connections (bottom view)

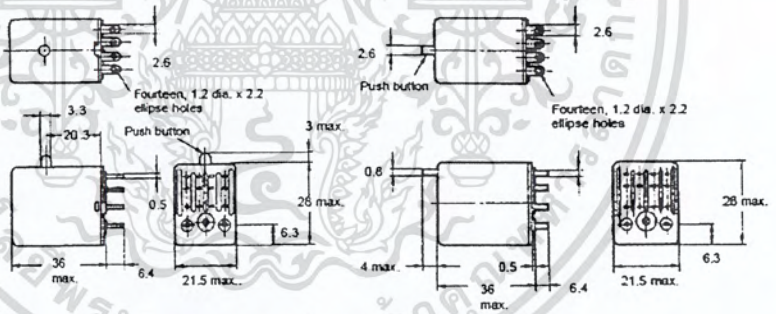
MY4N **MY4N-D2**

Standard **DC type** **AC type**



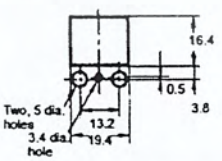
Note: 1. AC type is equipped with a coil disconnection self-diagnostic function.
2. Do not reverse the polarity of DC relays.

MY□I4 **MY□I**



Note: 1. Mount the relay with a socket.
2. The above dimensions are for -G type relays (with mounting studs).
3. Test button
I4: AC with red push button
DC with blue push button

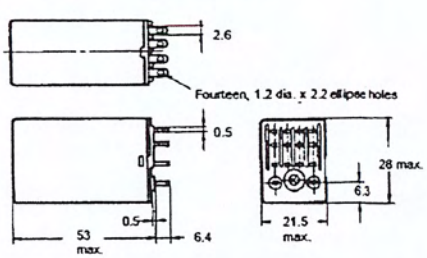
Mounting holes



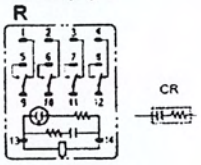
Note: The terminal arrangement and internal connections of the above relays are as same as these of MY□ relays.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

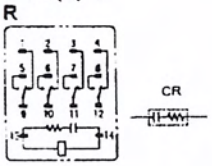
MY□(N)-CR, MY□(Z)-CR, MY4N-D4



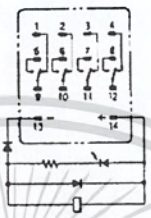
MY□(N)-CR



MY□(Z)-CR



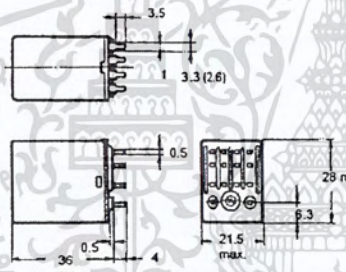
MY4N-D4



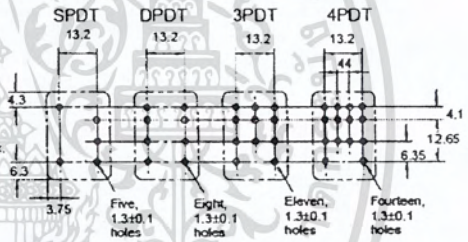
■ Relays with PCB Terminals

MY□-02

MY4-02 (4PDT)



PC board mounting holes



Note: 1. The figures in the parentheses are for MY4-02.
2. The above dimensions also apply to the SPDT, DPDT, and 3PDT relays.
4. The internal connections of the above relays are as same as these of MY□ relays.

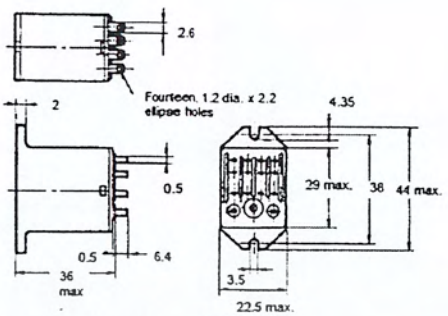
Note: The tolerance is ±0.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

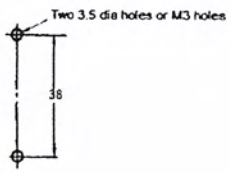
■ Upper-mounting Relays

MY□F

MY4F



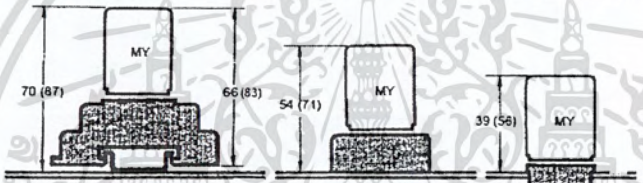
Mounting holes



Note: 1. The above dimensions also apply to the SPDT, DPDT, and 3PDT relays.
2. The internal connections of the above relays are as same as these of MY□ relays.

■ Mounting Height with Socket

DIN rail/surface–mounting socket | **Back-mounting socket**



PYF□A(-E) PYF08M PY□

Note: 1. The PTF-A can be rail–mounted or screw-mounted.
2. For the MY□-CR (CR circuit built-in type) model, figure in the parentheses apply.
3. PYC-P hold down clip should be used with PYF08M.

■ Sockets

PYF08A-E

PYF08A-N

PYF14A-N

PY14

PY14-Y1

PY14QN(2)

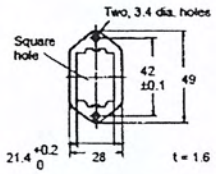
PY14QN(2)-Y1

PY14-02

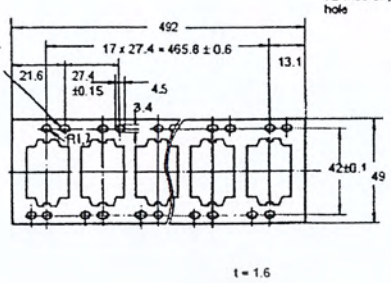
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mounting Plates for Sockets

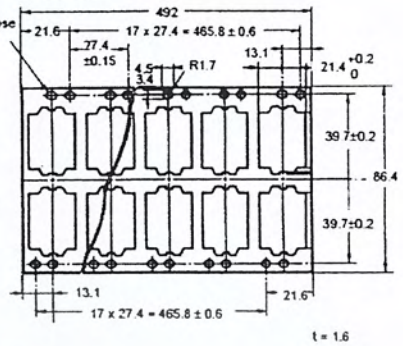
PYP-1



PYP-18

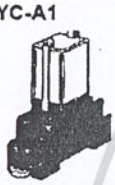


PYP-36

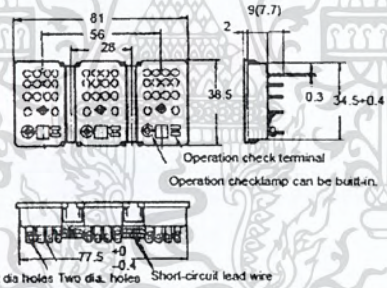


Hold-down Clips

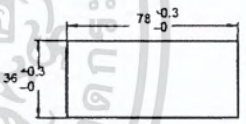
Hold-down clips are used to hold relays to sockets and prevent them from coming loose due to vibration or shock.

Connection to socket		Connection to mounting plate	For relays with test buttons	For relays with CR circuits	
PYC-A1	PYC-P	PYC-S	PYC-P2	Y92H-3	PYC-1
					

PY14-3 (for 4PDT)
with operation check terminal



Mounting holes



■ Safety Standards for Sockets

Item	Standards	File No.
PYF08A (-E), PYF11A	UL508	E87929
PYF14A (-E)	CSA22.2	LR31928

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

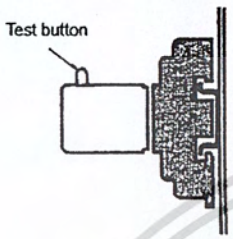
Precautions

■ Connections

Do not reverse polarity when connecting DC-operated relays with built-in diodes or indicators or high-sensitivity DC-operated relays.

■ Mounting

- Whenever possible, mount relays so that it is not subject to vibration or shock in the same direction as that of contact movement.
- The test button should be be pointed upwards when mounting (refer to the right figure).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
รายงานการวิจัยการเพิ่มผลผลิตข้าว
โดยการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Engineering Dept., Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1 Soi Chalongkung 1 Ladkrabang Bangkok 10520 Tel. 0-2329-8000 ext. 3925

หนังสือรับรองผลการวิจัย

ชื่อ	นายพยุง โพธสุธน		
ที่อยู่	หมู่ 4 ต.ศรีประจันต์ อ.ศรีประจันทร์ จ.สุพรรณบุรี 72140		
โครงการวิจัย	การเพาะปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า		
ชนิดเมล็ดพันธุ์	ปทุมธานี 1		
จำนวนเมล็ดพันธุ์	40 กระสอบ (น้ำหนักรวม 1,000 กิโลกรัม)		
ค่าสนามไฟฟ้า	4 kV/cm	**ระยะห่างระหว่างเพลท**	20 เซนติเมตร
แรงดัน	แรงสูงกระแสตรง ขั้วลบ	**เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น**	15 นาที
วิธีการทดสอบ	*การทดสอบที่ 1* กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ด้วยสนามไฟฟ้า จำนวน 40 กระสอบ *การทดสอบที่ 2* ปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวภายใน 10 วัน หลังผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า *การทดสอบที่ 3* ปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า มาเป็นเวลา 30 วัน		
วันที่ทำการรับรอง	25 กุมภาพันธ์ 2554		
ผลการทดสอบ	รายละเอียดปรากฏในหน้าต่อไป		

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าหนังสือรับรองฉบับนี้เป็นความจริงทุกประการ

(นายพยุง โพธสุธน)
ผู้รับรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High Voltage Engineering Laboratory, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง 600 kV, 10 mA
2. โวลท์เตจดิไวเดอร์วัดแรงดันพิกัด 100 kV อัตราการลดทอนแรงดัน 1000 : 1 V
3. ชุดเพลทกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า (ระยะห่างเพลท 20 ซม.)
4. มัลติมิเตอร์ (Fluke รุ่น 179 TRUE RMS Multimer)

การทดสอบที่ 1 กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ด้วยสนามไฟฟ้า จำนวน 40 กระสอบ

วันที่ทำการทดสอบ วันที่ 5 กันยายน 2553

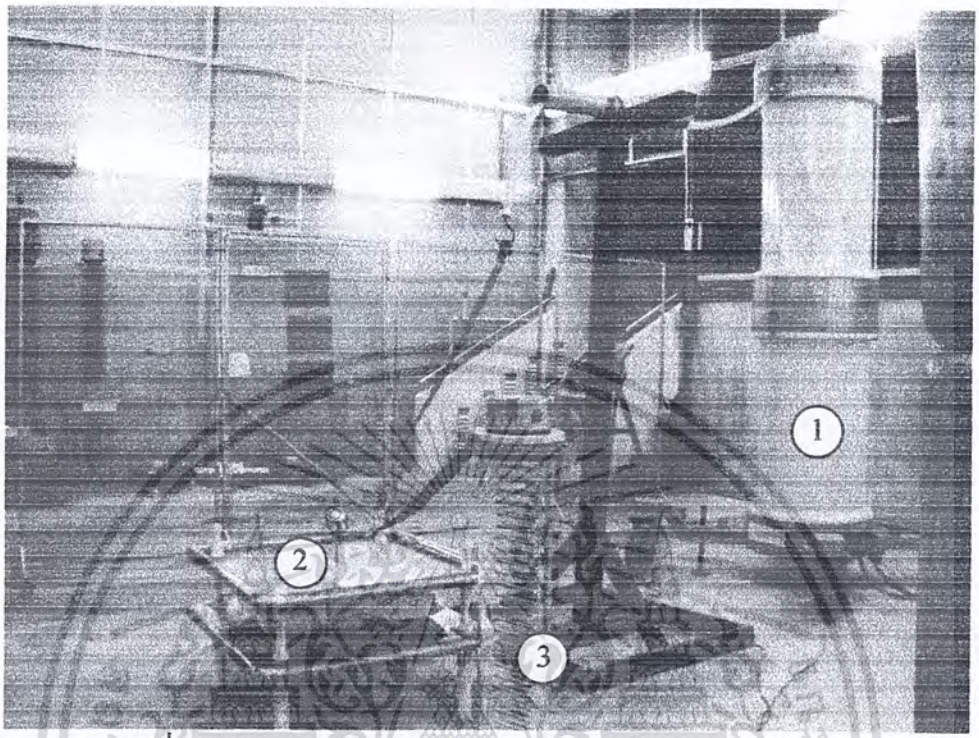
สถานที่ทำการทดสอบ ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวที่จะทำการกระตุ้น จำนวน 40 กระสอบ ดังรูปที่ 1
2. ทำการต่อวงจรการทดสอบ ดังรูปที่ 2
3. นำกระสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวบรรจุในชุดเพลทกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว ทีละ 1 กระสอบ
4. จากนั้นจ่ายแรงดันสูงกระแสตรง 80 kV ไปยังชุดเพลททกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว เป็นเวลา 15 นาที
5. เมื่อครบเวลา 15 นาที นำกระสอบออกจากชุดเพลทกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว วางพักไว้รอการนำไปเพาะปลูก
6. จากนั้นนำกระสอบถัดไปมาทำซ้ำตามข้อ 3 – 5 จนครบทุกกระสอบ

รูปที่ 1 กระสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวที่นำมากระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 วงจรการทดสอบการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

1. เครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง พิกัด 600 kV 2.ชุดเพลทกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว 3. โวลท์เตจดิไวเดอร์

รูปที่ 3 การกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

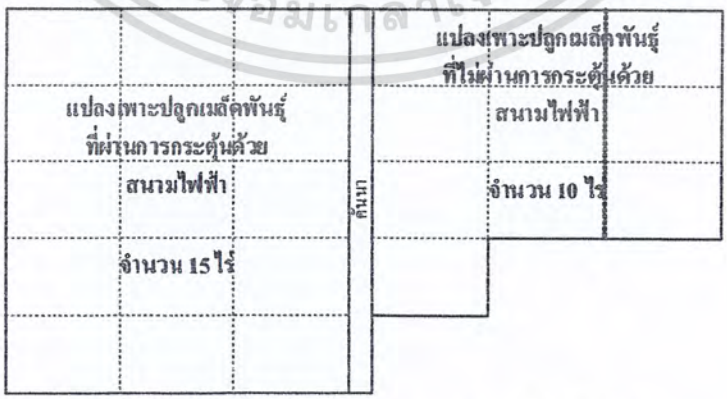
การทดสอบที่ 2 ปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวภายใน 10 วัน หลังผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า

วันที่ทำการทดสอบ วันที่ 14 กันยายน 2553

สถานที่ทำการทดสอบ หมู่ 4 ต.ศรีประจันต์ อ.ศรีประจันทร์ จ.สุพรรณบุรี 72140

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมแปลงนาในการเพาะปลูกจำนวน 25 ไร่ โดยแบ่งออกเป็นดังนี้
   1.1 แปลงนา จำนวน 15 ไร่ เพื่อใช้ในการปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า
   1.2 แปลงนา จำนวน 10 ไร่ เพื่อใช้ในการปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า
2. ทำการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เตรียมไว้ในแปลงทั้ง 2 โดย
   2.1 หว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า จำนวน 15 กระสอบ น้ำหนักรวมประมาณ 375 กก. (เฉลี่ยต่อไร่ ประมาณ 25 กก./ไร่)
   2.2 หว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า จำนวน 10 กระสอบน้ำหนักรวมประมาณ 250 กก. (เฉลี่ยต่อไร่ ประมาณ 25 กก./ไร่)
3. โดยแปลงนาที่ใช้ในการทดสอบปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวจะอยู่ใกล้เคียงกัน มีสภาวะแวดล้อมเดียวกัน และดูแลเหมือนกันทุกประการ
4. ติดตามผลการทดลองเบื้องต้น โดยการทำการวัดความยาวรากของต้นกล้าในวันที่ 7 ของการเพาะปลูก
5. ทำการวัดผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวเปรียบเทียบเป็นหน่วยน้ำหนักต่อไร่ โดยมีระยะเวลาการเพาะปลูกทั้งหมด 120 วัน (อายุข้าวโดยเฉลี่ย)



รูปที่ 4 แบบแปลงนาที่ใช้ในการเพาะปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบที่ 3 ปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า มาเป็นเวลา 30 วัน

วันที่ทำการทดสอบ วันที่ 10 ตุลาคม 2553

สถานที่ทำการทดสอบ หมู่ 4 ต.ปลายนา อ.ศรีประจันทร์ จ.สุพรรณบุรี 72140

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมแปลงนาในการเพาะปลูกจำนวน 48 ไร่ โดยแบ่งออกเป็นดังนี้
   1.1 แปลงนา จำนวน 25 ไร่ เพื่อใช้ในการปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า
   1.2 แปลงนา จำนวน 23 ไร่ เพื่อใช้ในการปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า
2. ทำการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เตรียมไว้ในแปลงทั้ง 2 โดย
   2.1 หว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า จำนวน 15 กระสอบ น้ำหนักรวมประมาณ 625 กก. (เฉลี่ยต่อไร่ ประมาณ 25 กก./ไร่)
   2.2 หว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า จำนวน 10 กระสอบน้ำหนักรวมประมาณ 575 กก. (เฉลี่ยต่อไร่ ประมาณ 25 กก./ไร่)
3. โดยแปลงนาที่ใช้ในการทดสอบปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวจะอยู่ใกล้เคียงกัน มีสภาวะแวดล้อมเดียวกัน และดูแลเหมือนกันทุกประการ
4. ทำการวัดผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวเปรียบเทียบเป็นหน่วยน้ำหนักต่อไร่ โดยมีระยะเวลาการเพาะปลูกทั้งหมด 120 วัน (อายุข้าวโดยเฉลี่ย)

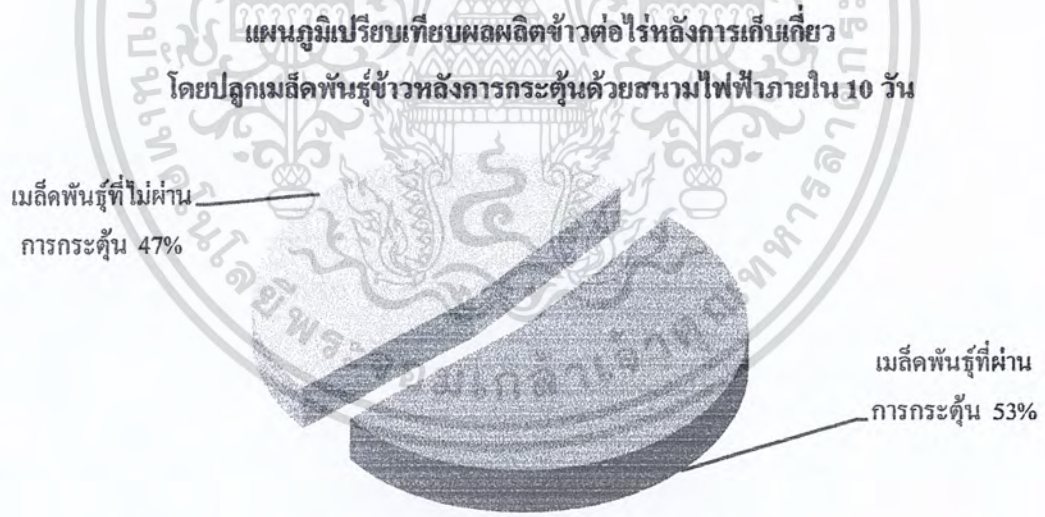
รูปที่ 8 เปรียบเทียบอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวในแปลงนาด้านซ้ายเป็นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

จากการทดสอบที่ 1 เมล็ดพันธุ์ข้าว พันธุ์ปทุมธานี 1 ทั้งหมดที่นำมากระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า จำนวน 40 กระสอบ โดยชุดเพลทมีระยะห่างเท่ากับ 80 ซม. จ่ายแรงดันให้กับชุดเพลท 20 kV ได้ค่าสนามไฟฟ้าเท่ากับ 4 kV/cm. จากการทดสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวทุกกระสอบผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า เป็นเวลา 15 นาที สามารถนำไปเพาะปลูกได้

จากการทดสอบที่ 2 ได้ทำการเก็บเกี่ยวข้าวในวันที่ 15 มกราคม 2554 โดยการแยกเก็บทีละแปลง ซึ่งได้ทำการเก็บเกี่ยวแปลงที่เมล็ดพันธุ์ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อน และเก็บเกี่ยวแปลงที่เมล็ดพันธุ์ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าตาม ซึ่งผลผลิตข้าวออกมาเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกัน กล่าวคือ แปลงเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าเก็บเกี่ยวได้ 800 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนแปลงที่เมล็ดพันธุ์ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าเก็บเกี่ยวได้ 900 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งผลผลิตต่อไรแตกต่างกันประมาณ 6 – 10 % หรือผลผลิตเพิ่มขึ้น 100 กิโลกรัมต่อไร่ จึงเป็นการยืนยันได้ว่าสนามไฟฟ้ามีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของต้นข้าว ทั้งนี้ผลผลิตที่ได้อาจสูงกว่านี้ แต่เนื่องด้วยในระหว่างการเพาะปลูกมีปัญหาทางด้านอุทกภัยบริเวณแปลงนาอยู่หลายวัน ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่กระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว



รูปที่ 9 แผนภูมิเปรียบเทียบผลผลิตข้าวต่อไร่หลังการเก็บเกี่ยว ของการทดสอบที่ 2

จากการทดสอบที่ 3 ได้ทำการเก็บเกี่ยวข้าวในวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2554 โดยการแยกเก็บทีละแปลง ซึ่งได้ทำการเก็บเกี่ยวแปลงที่เมล็ดพันธุ์ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อน และเก็บเกี่ยวแปลงที่เมล็ดพันธุ์ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าตาม ซึ่งผลผลิตข้าวที่เก็บเกี่ยวได้ประมาณ 800 กิโลกรัมต่อไร่เท่ากันทั้งแปลงที่เมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุ์ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า และแปลงที่เมล็ดพันธุ์ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า จากผลการทดสอบมีความเป็นไปได้ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ระยะเวลาหลังจากเมล็ดพันธุ์ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้ามีผลต่อเมล็ดพันธุ์ กล่าวคือเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการกระตุ้น และทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน เมื่อนำไปเพาะปลูก สนามไฟฟ้าอาจไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวแล้ว กรณีที่ 2 เนื่องจากช่วงที่ทำการเพาะปลูกเป็นช่วงที่เข้าสู่ฤดูหนาวพอดี โดยเฉพาะในช่วงที่ต้นข้าวออกรวงนั้นมีอากาศหนาวเย็นมาปะทะต้นข้าว ทำให้เมล็ดพันธุ์ออกรวงไม่สุด และไม่สมบูรณ์ ทำให้ได้ผลผลิตไม่เต็มเม็ดเต็มหน่วย

รูปที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบผลผลิตข้าวต่อไร่หลังการเก็บเกี่ยว ของการทดสอบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 LOGO! installation and wiring

General guidelines

Please note the following guidelines for installing and wiring your LOGO!:

- Always ensure that the wiring of your LOGO! is compliant with current rules and standards. Also, conform with all national and regional regulations when you install and operate the devices. For information on standards and regulations that apply to your specific case, contact your local authorities.
- Always switch off power before you wire or install/remove a module.
- Always use cables with appropriate conductor cross-sections for the relevant current. You can wire LOGO! with cable conductor cross-sections from 1.5 mm^2 to 2.5 mm^2; see Chapter 2.3.
- Do not exceed the screw torque of the terminals. The maximum torque is: 0.5 N/m, see Chapter 2.3.
- Keep the cabling as short as possible. If longer cables are necessary, you should use shielded versions. You should always route your cables in pairs: i.e. one neutral conductor plus one phase conductor or signal line.
- Always keep separate:
  - The AC wiring
  - High-voltage DC circuits with high-frequency switching cycles
  - Low-voltage signal wiring.
  - The EIB bus cable may also be laid in parallel to other signal lines.
- Ensure that the wires are installed with appropriate strain relief.
- Provide a suitable lightning surge arrester for cables installed in hazardous areas.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 Modular LOGO! setup

2.1.1 Maximum setup

Maximum setup of a LOGO! *with* analog inputs (LOGO! 12/24 RC/RCo and LOGO! 24/24o)

LOGO! Basic, 4 digital modules and 3 analog modules (example)

I1.....I6, I7, I8 AI1, AI2	I9...I12	I13...I16	I17...I20	I21...I24	AI3, AI4	AI5, AI6	AI7, AI8
LOGO! Basic	LOGO! DM 8	LOGO! DM 8	LOGO! DM 8	LOGO! DM 8	LOGO! AM 2	LOGO! AM 2	LOGO! AM 2
Q1...Q4	Q5...Q8	Q9...Q12	Q13...Q16				

In addition, you can plug in an analog output module.

Maximum setup of a LOGO! *without* analog inputs (LOGO! 24 RC/RCo and LOGO! 230 RC/RCo)

LOGO! Basic, 4 digital modules and 4 analog modules (example)

I1 . . . . . I8	I9...I12	I13...I16	I17...I20	I21...I24	AI1 , AI2	AI3, AI4	AI5, AI6	AI7, AI8
LOGO! Basic	LOGO! DM 8	LOGO! DM 8	LOGO! DM 8	LOGO! DM 8	LOGO! AM 2	LOGO! AM 2	LOGO! AM 2	LOGO! AM 2
Q1...Q4	Q5...Q8	Q9...Q12	Q13... Q16					

In addition, you can plug in an analog output module.

High-speed/optimal communication performance

For optimal and high-speed communication performance between LOGO! Basic and the various modules, we recommend you install the "digital modules first, then the analog modules" (examples above). (The special function PI controller is an exception: the AI used for the value PV should be on the LOGO! Basic or an analog input module adjacent to the LOGO! Basic).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Connecting LOGO! inputs

Requirements

At the inputs you connect sensor elements such as: momentary switches, switches, light barriers, daylight control switches etc.

Sensor characteristics for LOGO!

	LOGO! 12/24 RC/RCo LOGO! DM8 12/24 R		LOGO! 24/24o LOGO! DM8 24	
	I1 ... I6	I7, I8	I1 ... I6	I7, I8
Signal status 0	< 5 VDC	< 5 VDC	< 5 VDC	< 5 VDC
Input current	< 1.0 mA	< 0.05 mA	< 1.0 mA	< 0.05 mA
Signal status 1	> 8 V DC	> 8 V DC	> 8 V DC	> 8 V DC
Input current	> 1.5 mA	> 0.1 mA	> 1.5 mA	> 0.1 mA

	LOGO! 24 RC/RCo (AC) LOGO! DM8 24 R (AC)	LOGO! 24 RC/RCo (DC) LOGO! DM8 24 R (DC)	LOGO! 230 RC/RCo (AC) LOGO! DM8 230 R (AC)	LOGO! 230 RC/RCo (DC) LOGO! DM8 230 R (DC)
Signal status 0	< 5 V AC	< 5 V DC	< 40 V AC	< 30 V DC
Input current	< 1.0 mA	< 1.0 mA	< 0.03 mA	< 0.03 mA
Signal status 1	> 12 V AC	> 12 V DC	> 79 V AC	> 79 V DC
Input current	> 2.5 mA	> 2.5 mA	> 0.08 mA	> 0.08 mA

	LOGO! DM16 24 R	LOGO! DM16 24	LOGO! DM16 230 R (AC)	LOGO! DM16 230 R (DC)
Signal status 0	< 5 V DC	< 5 V DC	< 40 V AC	< 30 V DC
Input current	< 1.0 mA	< 1.0 mA	< 0.05 mA	< 0.05 mA
Signal status 1	> 12 V DC	> 12 V DC	> 79 V AC	> 79 V DC
Input current	> 2.0 mA	> 2.0 mA	> 0.08 mA	> 0.08 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Technical data

A.1 General technical data

Criterion	Tested in accordance with	Values
LOGO!Basic		
Dimensions (WxHxD)		72 x 90 x 55 mm
Weight		Approx. 190 g
Installation		on a 35 mm profile rail 4 module widths or wall mounting
LOGO! expansion modules DM8..., AM...		
Dimensions (WxHxD)		36 x 90 x 53 mm
Weight		Approx. 90 g
Installation		on a 35 mm profile rail 2 module widths or wall mounting
LOGO! expansion modules DM16...		
Dimensions (WxHxD)		72 x 90 x 53 mm
Weight		Approx. 190 g
Installation		on a 35 mm profile rail 4 module widths or wall mounting
Climatic conditions		
Ambient temperature	Low temperature to IEC 60068-2-1 High temperature to IEC 60068-2-2	
Horizontal installation		0 ... 55 °C
Vertical installation		0 ... 55 °C
Storage/shipping		-40 °C ... +70 °C
Relative humidity	IEC 60068-2-30	From 10 to 95 % no condensation
Air pressure		795 ... 1080 hPa
Pollutants	IEC 60068-2-42 IEC 60068-2-43	SO_2 10 cm^3 /m^3, 4 days H_2S 1 cm^3 /m^3, 4 days

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Criterion	Tested in accordance with	Values
Cycle time		
Cycle time per function		< 0.1 ms
Startup		
Startup time at power-up		typ. 8 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.2 Technical data: LOGO! 230...

	LOGO! 230 RC LOGO! 230 RCo
Power supply	
Input voltage	115...240 V AC/DC
Permissible range	85 ... 265 V AC 100 ... 253 V DC
Permissible mains frequency	47 ... 63 Hz
Power consumption • 115 V AC • 240 V AC • 115 V DC • 240 V DC	 10 ...40 mA 10 ... 25 mA 5 ... 25 mA 5 ... 15 mA
Voltage failure buffering • 115 V AC/DC • 240 V AC/DC	 typ. 10 ms typ. 20 ms
Power loss at • 115 V AC • 240 V AC • 115 V DC • 240 V DC	 1.1 ... 4.6 W 2.4 ... 6.0 W 0.5 ... 2.9 W 1.2 ... 3.6 W
Backup of the real-time clock at 25 °C	typ. 80 h
Accuracy of the real-time clock	typ. ±2 s / day
Digital inputs	
Number	8
Electrical isolation	No

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	LOGO! 230 RC **LOGO! 230 RCo**
Input voltage L1	
• Signal 0	< 40 V AC
• Signal 1	> 79 V AC
• Signal 0	< 30 V DC
• Signal 1	> 79 V DC
Input current at	
• Signal 0	< 0.03 mA
• Signal 1	> 0.08 mA
Delay time at	
• 0 to 1	typ. 50 ms
• 1 to 0	typ. 50 ms
Line length (unshielded)	100 m
Digital outputs	
Number	4
Output type	Relay outputs
Electrical isolation	Yes
In groups of	1
Control of a digital input	Yes
Continuous current I_{th}	max. 10 A per relay
Incandescent lamp load (25000 switching cycles) at	
230/240 V AC	1000 W
115/120 V AC	500 W
Fluorescent tubes with ballast (25000 switching cycles)	10 x 58 W (at 230/240 V AC)
Fluorescent tubes, conventionally compensated (25000 switching cycles)	1 x 58 W (at 230/240 V AC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	LOGO! 230 RC **LOGO! 230 RCo**
Fluorescent tubes, uncompensated (25000 switching cycles)	10 x 58 W (at 230/240 V AC)
Short circuit-proof cos 1	Power protection B16 600A
Short circuit–proof cos 0.5 to 0.7	Power protection B16 900A
Derating	none; across the entire temperature range
Parallel output circuits for power increase	Not permitted
Protection of output relay (if desired)	max. 16 A, characteristic B16
Switching rate	
Mechanical	10 Hz
Ohmic load/lamp load	2 Hz
Inductive load	0.5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายกฤษณ์ กิจวัฒนา เกิดวันที่ 8 ธันวาคม 2531
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสมุทรปราการ
อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ
มีความสนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
และระบบไฟฟ้ากำลัง
ฝึกงานที่บริษัท บริษัท ปตท จำกัด (โรงแยกก๊าซระยอง)

นายเกรียงศักดิ์ ประกิ่ง เกิดวันที่ 4 มกราคม 2532
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนช่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร
มีความสนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
และระบบไฟฟ้ากำลัง
ฝึกงานที่สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง

นายธำรงศักดิ์ คงสุวรรณ์ เกิดวันที่ 30 มิถุนายน 2530
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนช่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร
มีความสนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
และระบบไฟฟ้ากำลัง
ฝึกงานที่บริษัท ซันโยเซมิคอนดักเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

นายธีระพล พิเดช เกิดวันที่ 13 ธันวาคม 2531
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองฉางวิทยา
อำเภอหนองฉาง จังหวัดอุทัยธานี
มีความสนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
และระบบไฟฟ้ากำลัง
ฝึกงานที่บริษัท เอ็มอีซีที จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้