การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

Improvement and Development of A Compact Rice Grain Stimulator Using Electric Field

โดย

นาย กฤษฎา แซ่จึง
นาย ณัฐชนน เอกวิริยะกิจ
นาย ทักษ์ดนัย เขียวเขิน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2554

การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก
Improvement and Development of A Compact Rice Grain Stimulator Using Electric Field

โดย

นาย กฤษฎา แซ่จึง
นาย ณัฐชนน เอกวิริยะกิจ
นาย ทักษ์ดนัย เขียวเขิน

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2554

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

1. นาย กฤษฎา แซ่จึง
2. นาย ณัฐชนน เอกวิริยะกิจ
3. นาย ทักษ์ดนัย เขียวเขิน

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

นาย กฤษฎา แซ่จึง
นาย ณัฐชนน เอกวิริยะกิจ
นาย ทักษ์ดนัย เขียวเขิน
รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ โดยได้ทำการออกแบบและปรับปรุงชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้มีขนาดเล็กลงจากเดิมประมาณ 30% โดยสามารถบรรจุข้าวได้ 20-25 กิโลกรัมเช่นเดิม และได้ทำการปรับปรุงวงจรการควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวใหม่ให้ใช้งานได้สะดวก โดยได้ทำการปรับปรุงเซนเซอร์การตรวจจับระดับแรงดันที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการแสดงผลการทำงานของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกแก่ผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF A COMPACT RICE GRAIN STIMULATOR USING ELECTRIC FIELD

Kritsada Saechueng
Nutchanon Akeviriyakit
Takdanai Kheawkhoen
Assoc.Prof.Siriwat Potivejkul Supervisor
Year 2011

ABSTRACT

This paper presents the improvement and development of a compact rice grain stimulator using electric field. The efficiency and user interface of the developed stimulator are improved from the previous version. The size plated electrode is reduced with the same volume contain of 20-25 kg. The sensor circuit using to measure voltage is improved to be more convenient and more stable. The development shows that the operation of the controller of a compact rice grain stimulator can be use easier and more convenient than the previous version.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล และดร.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไปถึงคุณปุณยวีร์ ฉายศิริ ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณธำรงศักดิ์ คงสุวรรณ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำงานของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

ขอขอบคุณคุณกฤษณ์ กิจวัฒนา ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบอุปกรณ์และให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรมPLC

ขอขอบคุณพี่ๆนักศึกษาปริญญาโทห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบอุปกรณ์มาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกคน ที่ช่วยแก้ไขปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
1.7 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานสนามไฟฟ้า	5
2.1.1 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า	5
2.1.2 ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า	6
2.1.3 ความเครียดสนามไฟฟ้า (electric field stress)	7
2.1.4 ศักย์ไฟฟ้า (electric potential)	8
2.1.5 ลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้า	9
2.1.5.1 สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	9
2.1.5.2 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ	10
2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า	12
2.2.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า	12
2.2.1.1 ขดลวด	12
2.2.1.2 แกนเหล็ก	12
2.2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า	13
2.3 ทฤษฎีพื้นฐานของ PLC	14
2.3.1 ประวัติของ PLC	14
2.3.2 การควบคุมงานของ PLC	15
2.3.3 ข้อแตกต่างระหว่าง PLC กับ computer ทั่วไป	15
2.3.4 โครงสร้างภายในของ PLC	16
2.3.4.1 ภาคอินพุต (input section)	16
2.3.4.2 ภาคเอาท์พุต (output section)	17
2.3.4.3 ตัวประมวลผล (CPU)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4.4 หน่วยความจำ (memory)	18
2.3.4.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply)	18
2.3.5 ตัวอย่างการควบคุมการทำงานของ PLC	18
2.3.6 การเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรม	19
2.3.6.1 คำสั่ง LOAD และLOAD NOT	19
2.3.6.2 คำสั่ง AND, AND NOT	19
2.3.6.3 คำสั่ง OR, OR NOT	20
2.3.6.4 คำสั่ง OUT, OUT NOT	20
2.3.6.5 การใช้คำสั่ง END หรือ FUN 01	20
2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	21
2.4.1 ความหมายและชนิดของ PIC	21
2.4.2 การเลือกใช้งาน PIC ในแต่ละกลุ่ม	23
2.4.2.1 หลักการเลือกใช้งาน PIC	23
2.4.2.2 คุณสมบัติของไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล PIC ในแต่ละกลุ่ม	23
2.4.3 การต่อใช้งานเบื้องต้นของ PIC	24
2.4.3.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	24
2.4.3.2 วงจรรีเซ็ตของ PIC	24
2.4.4 โครงสร้างขาสัญญาณของไมโครคอลโทรลเลอร์ PIC16F877	25
2.4.5 หลักการเขียนภาษาซี	26
2.4.5.1 โครงสร้างของภาษาซี	26
2.4.5.2 ฟังก์ชัน if	26
2.4.5.3 ฟังก์ชัน switch	26
2.4.5.4 ฟังก์ชัน for	27
2.4.5.5 ฟังก์ชัน do while	27
2.4.5.6 ฟังก์ชัน while	27
2.4.5.7 ฟังก์ชัน goto	27
2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	28
2.5.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	28
2.5.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	28
2.5.2.1 สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator)	28
2.5.2.2 โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor)	29
2.6 ออปแอมป์ (Operational Amplifiers)	30
2.6.1 นิยามของออปแอมป์ในอุดมคติ	30
2.6.2 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)	31
2.6.3 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)	32
2.7 การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง (DC High Voltage)	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 เทคนิคการวัดทางด้านไฟฟ้าแรงสูง	33
2.9 ตัวแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)	34
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง	37
3.1 การออกแบบชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว	37
3.1.1 การคำนวณค่าแรงดันที่ใช้	37
3.1.2 การออกแบบเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว	38
3.2 การควบคุมแรงดัน	41
3.3 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน	42
3.4 การออกแบบการใช้งาน PIC กับจอแสดงผล LCD	44
3.4.1 การเลือกใช้ PIC กับจอแสดงผล LCD แทนจอแสดงผลเดิม	44
3.4.2 การออกแบบการทำงานของ PIC กับจอแสดงผล LCD	45
3.4.3 การเขียนคำสั่งภาษาซีของ PIC	45
3.4.4 การจำลองการทำงานของ PIC ใน Proteus	48
3.5 การออกแบบการใช้งาน PLC	50
3.5.1 การออกแบบการทำงานของ PLC	50
3.5.2 การออกแบบโปรแกรม PLC	52
3.6 One Line Diagram ของวงจรควบคุม	62
3.7 การออกแบบตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	64
3.7.1 หน้าตู้และการแสดงผล	64
3.7.2 อินพุทและเอาท์พุทของตู้	65
3.8 รายการอุปกรณ์ของชุดควบคุม	67
3.9 การออกแบบโวลท์เตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทาน	67
3.9.1 องค์ประกอบภาคแรงสูง	67
3.9.2 องค์ประกอบภาคแรงต่ำ	67
3.10 การออกแบบวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากไฟลบเป็นไฟบวก	69
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	70
4.1 บทนำ	70
4.2 การทดสอบชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว	70
4.2.1 วิธีการทดลอง	70
4.2.2 ผลการทดลอง	71
4.2.2.1 ขณะเริ่มเปิด Breaker Control	71
4.2.2.2 ขณะกดปุ่มเริ่มต้น	72
4.2.2.3 ขณะเริ่มนับเวลาถอยหลัง	74
4.2.2.4 ขณะนับเวลาเสร็จสิ้น	75
4.2.2.5 ขณะเกิด Emergency	77
4.2.2.6 ขณะกดปุ่มรีเซ็ท	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การทดสอบการขึ้นแรงดันสูงร่วมกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว	80
4.4 การทดสอบจ่ายแรงดันสูงของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า	82
4.4.1 วงจรในการทดสอบ	82
4.4.2 ผลการทดสอบ	84
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	85
5.1 สรุปผลการทดลอง	85
5.2 ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก	
ประวัติผู้เขียน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ทิศของสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบจุดประจุบวกและจุดประจุลบ	6
2.2 เส้นฟลักซ์ไฟฟ้าและความหนาแน่น	7
2.3 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆ	9
(ก) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (Uniform Filed)	9
(ข) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Sightly Nonuinform Field)	9
(ค) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (Highly Nonuniform Field)	9
2.4 สนามไฟฟ้ากระจายเปรียบเทียบของอิเล็กโตรดลักษณะต่างๆ	11
2.5 หม้อแปลงไฟฟ้า	13
2.6 ลักษณะโครงสร้างของ PLC	16
2.7 อุปกรณ์อินพุท (input devices)	17
2.8 อุปกรณ์เอาต์พุต (output devices)	18
2.9 การเขียนคำสั่งแลดเดอร์ END	20
2.10 โครงสร้างหลักๆของ PIC	21
2.11 ชิพแบบ OTP	22
2.12 ชิพแบบ EPROM	22
2.13 ชิพแบบ EEPROM	22
2.14 ตำแหน่งขาต่างๆของ PIC16F877	25
2.15 วงจรสมมูลของ non-Ideal Op amp	30
2.16 ออปแอมป์ทางอุดมคติ	31
2.17 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	31
2.18 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส	32
2.19 ระบบวัดทั่วไปทางด้านไฟฟ้าแรงสูง	34
2.20 วงจรแบบง่ายของตัวแบ่งแรงดัน	35
3.1 เพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเครื่องเก่า	36
3.2 ส่วนที่ใช้บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าว	38
3.3 ส่วนฐานใช้สำหรับดึงเข้า-ออก	39
3.4 ส่วนที่ใช้ช่วยในการบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวลงกระสอบ	39
3.5 ชุดเพลทที่ใช้บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ออกแบบ	40
3.6 ชุดเพลทที่ประกอบสร้างจริง	40
3.7 ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลท	41
3.8 ไดอะแกรมการทำงาน	42
3.9 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน	43
3.10 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันที่ปรับปรุงขึ้น	43
3.11 กล่องวงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน	44
3.12 หน้าจอแสดงผลของตู้ควบคุมเดิม	45
3.13 วงจรของ PIC กับจอแสดงผล LCD	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 วงจรของ PIC ที่สร้างขึ้น	49
3.15 กล่องของวงจร PIC ที่สร้างขึ้น	50
3.16 จำลองการทำงานของ PLC	51
3.17 พีแอลซีและโมดูล	52
3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ	53
3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)	54
3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)	55
3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)	56
3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)	57
3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)	58
3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)	59
3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)	60
3.19 One Line Diagram ของวงจรควบคุม	62
3.20 การออกแบบหน้าตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	64
3.21 หน้าตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	65
3.22 หลังตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	66
3.23 ตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ	66
3.24 โวลท์เตจดิไวเดอร์อัตราส่วนแรงดัน 1000:1	68
3.25 โวลท์เตจดิไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง	68
3.26 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากไฟลบเป็นไฟบวก	69
3.27 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากไฟลบเป็นไฟบวกที่สร้างขึ้น	69
4.1 วงจรทดสอบชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว	70
4.2 Free-Body Diagram ขณะเริ่มเปิด Breaker	71
4.3 การแสดงผลการทำงานขณะเริ่มเปิด Breaker	72
4.4 Free-Body Diagram ขณะกดปุ่มเริ่มต้น	73
4.5 การแสดงผลการทำงานขณะกดปุ่มเริ่มต้น	73
4.6 Free-Body Diagram ขณะเริ่มนับเวลาถอยหลัง	74
4.7 การแสดงผลการทำงานขณะเริ่มนับเวลาถอยหลัง	75
4.8 Free-Body Diagram ขณะนับเวลาเสร็จสิ้น	76
4.9 การแสดงผลการทำงานขณะนับเวลาเสร็จสิ้น	76
4.10 Free-Body Diagram ขณะเกิด Emergency	77
4.11 การแสดงผลการทำงานขณะเกิด Emergency	78
4.12 Free-Body Diagram ขณะกดปุ่มรีเซ็ท	79
4.13 การแสดงผลการทำงานขณะกดปุ่มรีเซ็ท	79
4.14 วงจรทดสอบการขึ้นแรงดันสูงร่วมกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว	80
4.15 วงจรในการทดสอบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 การต่อวงจรทดสอบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า	83
4.17 การนำเมล็ดพันธุ์ข้าวใส่ในชุดเพลทที่กระตุ้น	83
5.1 เครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 วิธีการดำเนินงานโครงงาน	3
4.1 ผลการทดสอบขึ้นแรงดันจากหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบ	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และประชากรส่วนใหญ่ก็ยังมีอาชีพเกษตรกรรม อีกทั้งประเทศไทยยังเป็นประเทศอันดับต้นๆที่มีการส่งออกข้าวเป็นหลัก จึงต้องมีการพัฒนาเกี่ยวกับคุณภาพและผลผลิตให้มากขึ้นตามความต้องการของประชาชนที่มีมากขึ้นด้วย ซึ่งต่อมาได้มีการวิจัยและทดลองการเพิ่มผลผลิตข้าวโดยการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก พบว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าจะมีรากงอกยาวขึ้นกว่าเดิมประมาณ 1.2-1.5 เท่าของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ทำให้ต้นข้าวโตเร็วขึ้น และการตั้งของลำต้นแข็งแรง ส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น รายได้ของเกษตรกรก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะเป็นผลดีต่อทั้งเกษตรกรและประเทศไทยในอนาคตได้

ต่อมาได้มีการสร้างชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก[1] และได้มีการพัฒนาชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า[2] โดยนำไปใช้ร่วมกับชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว แต่เนื่องจากชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กยังมีปัญหาเกี่ยวกับวงจรและการใช้งาน รวมไปถึงส่วนของชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวยังมีความยากในการใช้งานอยู่ จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า และส่วนของชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้มีเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้น เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้งานและสามารถนำไปใช้งานได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อปรับปรุงชุดเพลทของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. ออกแบบและปรับปรุงชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าให้ใช้งานได้มีเสถียรภาพขึ้น
3. ปรับปรุงระบบป้องกันของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างปลอดภัย
4. ก่อให้เกิดงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
5. สามารถนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก
2. ปรับปรุงชุดเพลทของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก
3. ปรับปรุงชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก และทดสอบการใช้งาน
4. ทดสอบการใช้งานของชุดควบคุมร่วมกับชุดเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก
2. ตรวจสอบปัญหาที่เกิดกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กและหาแนวทางแก้ไข
3. ทำการออกแบบและจัดซื้ออุปกรณ์เพื่อแก้ไขในส่วนที่เกิดปัญหา
4. ประกอบสร้างชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กที่ออกแบบไว้และทำการทดสอบ
5. ทดสอบการใช้งานจริงของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวร่วมกับชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว
6. สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดสอบ
7. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินงานโครงงาน

วิธีการดำเนินงาน	พ.ศ. 2554							พ.ศ. 2555			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก											
2. ตรวจสอบปัญหาที่เกิดกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กและหาแนวทางแก้ไข											
3. ทำการออกแบบและจัดซื้ออุปกรณ์เพื่อแก้ไขในส่วนที่เกิดปัญหา											
4. ประกอบสร้างชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กที่ออกแบบไว้และทำการทดสอบ											
5. ทดสอบการใช้งานจริงของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวร่วมกับชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว											
6. สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดสอบ											
7. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์											

แผนการดำเนินงาน ◄- - -► ดำเนินการจริง ◄———►

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถปรับปรุงชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กให้ใช้งานได้เสถียรขึ้น
2. สามารถนำชุดเพลทและชุดควบคุมของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กไปติดตั้งบนรถเคลื่อนย้ายให้สะดวกในการใช้งาน
3. สามารถนำเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กไปใช้ได้จริงในงานด้านเกษตรกรรม
4. สามารถนำความรู้และทักษะต่างๆที่ได้จากการทำโครงงานนี้ไปใช้ในอนาคตต่อไป
5. สามารถนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้

1.7 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในปีการศึกษา 2552 [1] มีการออกแบบสร้างชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยในชุดต้นแบบนี้จะประกอบไปด้วยชุดแผ่นเพลทของเครื่องกระตุ้น หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น โวลท์เตจดิไวเดอร์ และความต้านทานน้ำ โดยนำไปทดสอบเมล็ดพันธุ์ข้าว 2 ชนิดคือ ชนิดที่พึ่งเกี่ยวและชนิดพร้อมปลูก ซึ่งจากการทดสอบจะพบว่าอัตราการงอกและความยาวรากของเมล็ดพันธุ์ข้าวจะมีค่ามากที่สุดเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสม่ำเสมอที่มีค่าสนามไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3kV/cm และระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ที่ 20 นาที

ในปีการศึกษา 2553 [2] ได้มีการออกแบบและสร้างชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก เพื่อนำไปใช้งานร่วมกับชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งในการออกแบบสร้างตู้ควบคุมได้มีการใช้ PLC และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้งาน โดยจะใช้วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันร่วมกับ PLC ในการรักษาระดับแรงดันให้อยู่ที่ 12-13 kV และยังใช้ PLC ในการควบคุมการทำงานต่างๆอีกเช่น ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ การแสดงผลการทำงานที่หน้าตู้ควบคุม เป็นต้น โดยในปีการศึกษานี้ได้มีการนำไปทดสอบกับเมล็ดพันธุ์ข้าว 3 ชนิด โดยข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ใช้เวลากระตุ้น 20 นาที ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ใช้เวลากระตุ้น 22 นาที และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิใช้เวลากระตุ้น 24 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานสนามไฟฟ้า [1-3]

สนามไฟฟ้า หมายถึง “บริเวณโดยรอบประจุไฟฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้าสามารถส่งอำนาจไปถึง” หรือ “บริเวณที่เมื่อนำประจุไฟฟ้าเข้าไปวางแล้วจะเกิดแรงกระทำบนประจุไฟฟ้านั้น” ตามจุดต่างๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้า ย่อมมีความเข้มของสนามไฟฟ้าต่างกัน จุดที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้า จะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงกว่าจุดที่อยู่ห่างไกลออกไป นอกจากนั้น ณ จุดต่างๆ ในบริเวณสนามไฟฟ้าย่อมจะปรากฏศักย์ไฟฟ้ามีค่าต่างๆ กันด้วย ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าชนิดเดียวกันกับศักย์ไฟฟ้าอันเกิดจากประจุไฟฟ้าที่เป็นเจ้าของสนามไฟฟ้า จุดที่อยู่ใกล้ประจุไฟฟ้าจะมีศักย์สูงกว่าจุดที่อยู่ไกลออกไป

สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (Electric and Magnetic Field : EMFs) จะหมายถึงเส้นสมมติที่เขียนขึ้นเพื่อแสดงอาณาเขตและความเข้มของเส้นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างวัตถุที่มีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า (เรียกว่า สนามไฟฟ้า) และที่เกิดขึ้นโดยรอบวัตถุที่มีกระแสไฟฟ้าไหล (เรียกว่า สนามแม่เหล็ก) ในกรณีกล่าวถึงทั้ง สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กพร้อมกันมักจะเรียกรวมว่า สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field: EMF) หรือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ

1. เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ สนามแม่เหล็กโลก คลื่นรังสีจากแสงอาทิตย์คลื่นฟ้าผ่า คลื่นรังสีแกมมา เป็นต้น

2 เกิดขึ้นจากการสร้างของมนุษย์ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

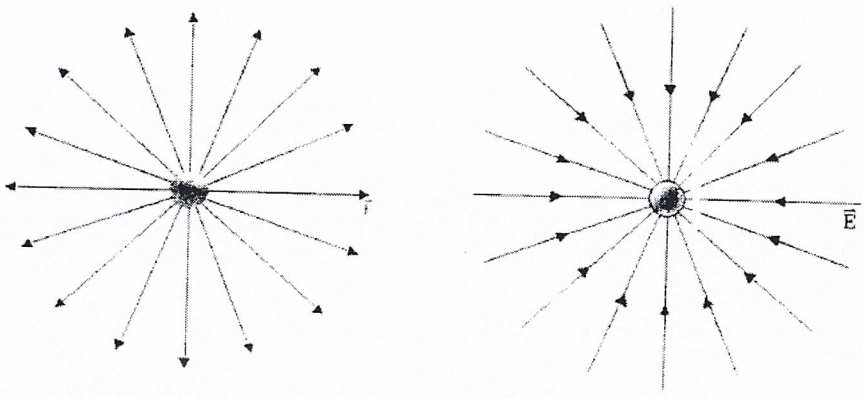
- แบบจงใจคือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จงใจสร้างให้เกิดขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลักที่จะใช้ประโยชน์โดยตรงจากคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้ เช่น ให้สามารถส่งไปได้ในระยะไกลๆ ด้วยการส่งสัญญาณของระบบสื่อสารสัญญาณเรดาร์ คลื่นโทรศัพท์ คลื่นโทรทัศน์และ คลื่นวิทยุ และการใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อน เป็นต้น

- แบบไม่จงใจคือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ โดยไม่ได้มีวัตถุประสงค์หลักที่จะใช้ประโยชน์โดยตรงจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเช่น ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (สายส่งไฟฟ้า) รวมถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

2.1.1 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า

ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าจะเป็นไปตามกฎของคูลอมบ์คือแปรผันกับระยะทางกำลังสองยิ่งห่างจากประจุไฟฟ้ามากจำนวนเส้นแรงก็จะยิ่งเบาบาง ความเข้มของสนามไฟฟ้าจะน้อย แต่บริเวณใกล้ประจุจำนวนเส้นแรงจะมากทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้ามากตาม สำหรับทิศทางสนามไฟฟ้าของประจุบวกจะมีทิศทางพุ่งออกจากประจุบวก และสนามไฟฟ้าของประจุลบจะมีทิศทางพุ่งเข้าหาประจุลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ทิศของสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบจุดประจุบวกและจุดประจุลบ

เมื่อนำเอาประจุทดสอบเข้าใกล้ประจุ จะเกิดแรงกระทำต่อประจุทดสอบ จึงนิยามสนามไฟฟ้าว่าคือแรงต่อประจุทดสอบที่จุดนั้นดังสมการ 2.1

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i}{4\pi\varepsilon r_i^2} \qquad (2.1)$$

เมื่อ E = ความเข้มสนามไฟฟ้า (N/C)
q = ประจุไฟฟ้า (C)
ε = เปอร์มิตติวิตี้ของตัวกลาง = $\varepsilon_0\varepsilon_r$
ε_0 = เปอร์มิตติวิตี้ของสุญญากาศหรือที่ว่าง = 8.854×10^{-12} F/m
ε_r = เปอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ (ไม่มีหน่วย)
N = จำนวนประจุทั้งหมด
r = ระยะระหว่างประจุไฟฟ้ากับประจุทดสอบ

หน่วยของสนามไฟฟ้าเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C) โดยทิศทางของสนามไฟฟ้าคือทิศทางของแรงประจุ q โดยถ้าประจุทดสอบเป็นบวกสนามไฟฟ้ามีทิศเดียวกับแรง และถ้าประจุทดสอบเป็นลบมีทิศตรงข้ามกับแรง ดังนั้นจะเห็นว่าประจุบวกส่งสนามไฟฟ้าออกตามแนวรัศมี และประจุลบส่งสนามไฟฟ้าเข้าตามแนวรัศมี

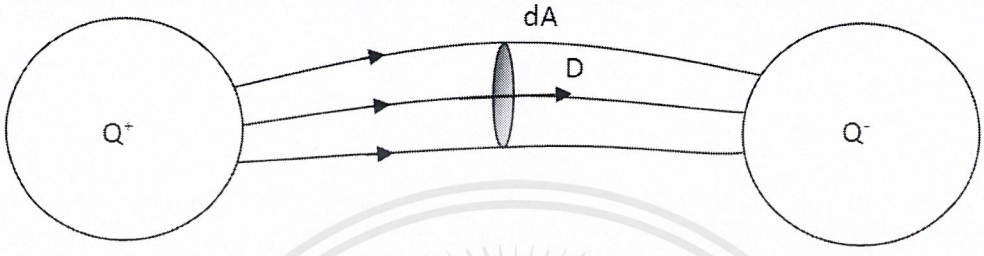
2.1.2 ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า

ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า (D) หรือเรียกว่าดีสเพลสเม้นท์ไฟฟ้า (electric displacement) เป็นเวคเตอร์ หมายถึงจำนวนเส้นฟลักซ์ (Ψ) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ตั้งฉากกับแนวที่คิด และโดยเหตุที่จำนวนเส้นฟลักซ์ และจำนวนคูลอมบ์ของประจุมีค่าเท่ากัน (Gauss's law) ฉะนั้นหน่วยของความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้าจึงเป็นคูลอมบ์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ตั้งฉากดังสมการ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{D} = \frac{d\Psi}{dA} \tag{2.2}$$

โดยทั่วไปถือว่าเส้นฟลักซ์ไฟฟ้าเริ่มต้นจากประจุบวกและไปสิ้นสุดที่ประจุลบ ฉะนั้นทิศทางของเวคเตอร์ $\vec{D}$ ณ จุดใดๆก็คือแนวเส้นสัมผัสนั่นเองดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เส้นฟลักซ์ไฟฟ้าและความหนาแน่น

จำนวนเส้นฟลักซ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่ A จึงคำนวณได้

$$\Psi = \oint \vec{D} \cdot d\vec{A} \tag{2.3}$$

เมื่อ $\vec{D}$ คือ เวคเตอร์ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า ณ พื้นที่ $d\vec{A}$
และโดยอาศัยกฎของเกาส์ (Gauss law) ที่กล่าวว่า จำนวนฟลักซ์ไฟฟ้าที่พุ่งออกจากปริมาตรใดๆที่หุ้มด้วยพื้นที่ปิดจะมีค่าเท่ากับจำนวนประจุอิสระเป็นคูลอมบ์นั่นคือ

$$\oint \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q_{f,in} \tag{2.4}$$

เมื่อ $Q_{f,in}$ คือ ประจุอิสระทั้งหมดที่อยู่ภายในปริมาตรหุ้มด้วยพื้นที่ปิด ประจุไฟฟ้าเป็นตัวทำให้เกิดเส้นฟลักซ์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า ฉะนั้นความหนาแน่นของเส้นฟลักซ์ไฟฟ้าจึงมีความสัมพันธ์กับความเครียดสนามไฟฟ้า

2.1.3 ความเครียดสนามไฟฟ้า (electric field stress)

ตามกฎของคูลอมบ์ ถ้าใช้นิยามความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า จะเขียนได้ว่า

$$F = \left(\frac{D}{\varepsilon}\right) Q \tag{2.5}$$

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า แรงกระทำบนประจุ Q เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแฟกเตอร์ $\frac{D}{\varepsilon}$ ซึ่งมีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C) กล่าวคือเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยประจุ เป็นแรงในสนามไฟฟ้าหรือเรียกว่าความเครียดสนามไฟฟ้า (E) ซึ่งนิยามด้วยความสัมพันธ์ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \frac{D}{\varepsilon} \tag{2.6}$$

โดยกฎของคูลอมบ์ จึงเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ว่า

$$F = QE \tag{2.7}$$

จะเห็นได้ว่าแรงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดสนามไฟฟ้า บางทีก็เรียกว่าความเข้มสนามไฟฟ้า มีหน่วยเป็น V/mm, kV/cm, kV/m เป็นต้น ในทำนองเดียวกัน ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในตัวนำไอโซโทรปิกเชิงเส้น เป็นสัดส่วนกับสนามไฟฟ้า ซึ่งเขียนได้ว่า

$$\vec{J} = \sigma\vec{E} \tag{2.8}$$

เมื่อ $\vec{J}$ คือ ความหนาแน่นของกระแสนำ เป็นเวคเตอร์ มีหน่วยเป็น A/m^2

σ คือ สภาพนำของตัวนำ มีหน่วยเป็น S/m

ความเครียดสนามไฟฟ้าถือเป็นพารามิเตอร์สำคัญของการฉนวนอุปกรณ์ หรือระบบไฟฟ้าแรงสูง ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะเนื่องมาจากความ ล้มเหลวของฉนวน อันเกิดจากความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนนั่นเอง

2.1.4 ศักย์ไฟฟ้า (electric potential)

ถ้าประจุ Q อยู่ในสนามไฟฟ้า E จะเกิดแรงกระทำต่อประจุนั้นดังสมการ 2.7 ฉะนั้นการเคลื่อนที่ประจุในสนามไฟฟ้าย่อมจะต้องเกิดเป็นงานขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นงานที่ทำออกไปเพื่อเคลื่อนประจุ หรือเป็นงานที่ได้มา ดังเช่น เคลื่อนประจุจากจุด A ไปยัง B งานที่ทำไปหรือได้มาคือ

$$W = Q\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{s} \tag{2.9}$$

ถ้าหากนำประจุ Q นี้เคลื่อนที่ไปในสนามไฟฟ้าสถิตจนครบรอบเป็นวงปิด โดยไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทาง จะพบว่าเมื่อเคลื่อนที่ครบรอบแล้วผลลัพธ์จะไม่มีการทำงานหรือได้งานมา นั่นก็คือ

$$W = Q\oint \vec{E}\cdot d\vec{s} = 0 \tag{2.10}$$

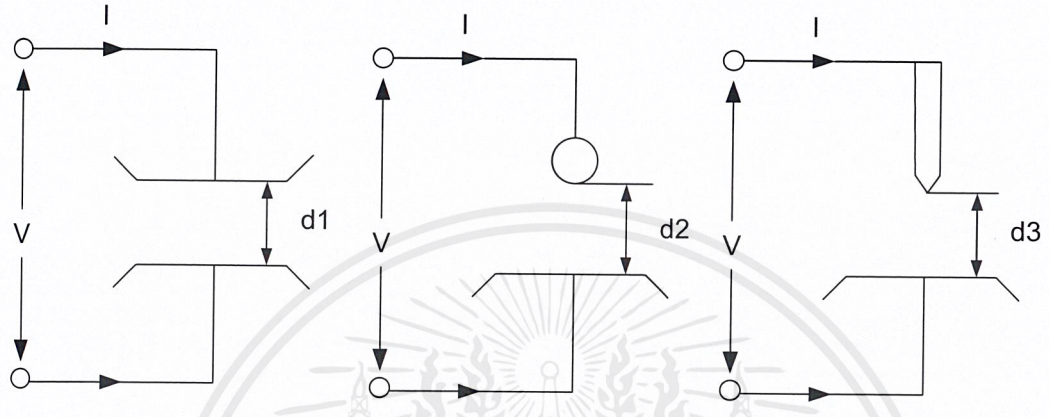
งานที่ทำเพื่อเคลื่อนประจุจากจุด A ไปยัง B ถ้าคิดต่อหนึ่งหน่วยประจุ Q ค่าที่ได้เรียกว่าความต่างศักย์ระหว่างจุด A กับ B จะได้

$$V_{AB} = \int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{s} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้า

โดยทั่วไปลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้าอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอและสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ชนิดไม่สม่ำเสมอนี้แบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย และแบบไม่สม่ำเสมอสูง สนามไฟฟ้าจะเป็นแบบไหนขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของอิเล็กโตรดดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆ
(ก) สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ (Uniform Filed)
(ข) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Sightly Nonuinform Field)
(ค) สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (Highly Nonuniform Field)

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดลักษณะต่างๆที่วางอยู่ในอากาศดังรูปที่ 2.3 พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์จะไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะจัดระยะ d_1, d_2 และ d_3 ให้เท่ากันก็ตาม ค่าแรงดันที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์สามารถวัดหาได้ง่าย ฉนวนแต่ละชนิดจะมีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ามิใช่ตายตัวค่าใดค่าหนึ่ง ส่วนใหญ่จะเป็นค่าสถิติ หรือค่าโดยประมาณ มักกำหนดหรือระบุด้วยค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_{max} ที่เกิดขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งระหว่างอิเล็กโทรดในขณะที่การเบรกดาวน์เริ่มเกิดขึ้นซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอีกหลายประการ

2.1.5.1 สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หมายถึง สนามไฟฟ้าเท่ากันทุกจุด ดังเช่นในช่องระหว่างอิเล็กโตรดระนาบ-ระนาบ ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$E_{max} = E = \frac{V}{d} \qquad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V คือ แรงดันที่ป้อนเข้าไประหว่างอิเล็กโตรด หน่วย โวลท์ (V)
d คือ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด หน่วย เซนติเมตร (cm)
E คือ ความเครียดสนามไฟฟ้า ณ จุดใดๆระหว่างอิเล็กโตรด (V/cm)
E_{max} คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด (V/cm)

นั่นหมายความว่าเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะเกิดเบรกดาวน์หรือสปาร์กทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด (ซึ่งเท่ากันทุกจุด) ถึงค่าที่กำหนดค่าหนึ่งโดยประมาณ และกระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในทันทีทันใด ค่ากระแสเบรกดาวน์นี้จะถูกจำกัดด้วยค่าอิมพีแด็นซ์ของตัวจ่าย และวงจรภายนอกเท่านั้น ซึ่งก่อนจะเกิดเบรกดาวน์นั้นค่ากระแสนี้จะวัดไม่ได้ และค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะจะเกิดเบรกดาวน์นี้ก็คือค่าความคงทนทางไฟฟ้า (dielectric strength) หรือความคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าของการฉนวนนั่นเอง ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.13

$$E_b = \frac{V_b}{d} \tag{2.13}$$

เมื่อ E_b คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ
V_b คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์หรือความคงทนทางไฟฟ้าของฉนวน

อย่างไรก็ตามค่า E_b นี้ ของไดอิเล็กตริกชนิดหนึ่งก็มีค่าไม่คงตัวเสมอไป เพราะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ แม้แต่ความหนา หรือระยะห่าง d ที่ไม่เท่ากัน ค่า E_b ก็ไม่เท่ากัน ฉะนั้นในมาตรฐานที่กำหนดค่าความคงทนทางไฟฟ้าของฉนวน มักจะกำหนดความหนาของไดอิเล็กตริกไว้ด้วยเสมอ

2.1.5.2 สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าแต่ละจุดมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดนั้น ความแตกต่างกัน ณ จุดต่างๆ จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะแห่งเรขาคณิตของอิเล็กโตรดที่มีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอมากหรือน้อย เช่น สนามไฟฟ้าในรูปที่ 2.3 (ข) จะเห็นว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด E_{max} จะเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโตรดทรงกลม ซึ่งอาจคำนวณได้จากสมการ 2.14

$$E_{max} = \frac{V}{d.\eta^*} \tag{2.14}$$

เมื่อ η^* คือ แฟคเตอร์สนามไฟฟ้า (Filed Utilization Factor)

$$\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{max}} \quad ; 0 < \eta^* \leq 1 \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงอาจกล่าวได้ว่า η^* ก็คือ ดรรชนีแสงให้ทราบว่าอิเล็กโตรดนั้นมีลักษณะสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากน้อยเพียงใด และโดยอาศัยแฟกเตอร์สนามไฟฟ้านี้เอง จึงสามารถคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ของฉนวนในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยได้คือ

$$E_b = \frac{V_b}{d.\eta^*} \qquad (2.16)$$

แสดงว่าอิเล็กโตรดที่มีค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าลดลง ค่าแรงดันเบรกดาวน์ก็จะลดลง สมการที่ 2.16 นี้ใช้ได้เฉพาะกรณีที่อิเล็กโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย หรือใช้กรณีที่ไม่มีโคโรนา (Colona) คือไม่มีดีสชาร์จนำหน้า (Predischarge) เกิดก่อนเบรกดาวน์ กล่าวคือ ก่อนเกิดเบรกดาวน์จะไม่ปรากฏว่ามีกระแสไหลระหว่างอิเล็กโตรดเลย และลักษณะสนามไฟฟ้าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะเกิดเบรกดาวน์ทันทีที่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงถึงค่าความคงทน คือ $E_{max} = E_b$

ในกรณีที่อิเล็กโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (highly nonuniform field) ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับผิวอิเล็กโทรดที่มีผิวน้อยที่สุด เช่น ปลายแหลมในรูปที่ 2.3 (ค) เมื่อระยะห่างออกจากผิวอิเล็กโทรด ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังเส้นกราฟความเครียดสนามไฟฟ้ากระจายเปรียบเทียบในรูปที่ 2.4 อิเล็กโทรดแบบนี้ถึงแม้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าถึงค่าวิกฤตแล้วก็ตาม จะยังไม่เกิดการเบรกดาวน์ แต่จะเกิดโคโรนาขึ้น



รูปที่ 2.4 สนามไฟฟ้ากระจายเปรียบเทียบของอิเล็กโตรดลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณที่ผิวอิเล็กโตรดเป็นบริเวณที่มีความเครียดไฟฟ้าสูงสุด ส่วนบริเวณอื่นๆที่ห่างออกไปจะมีความเครียดสนามไฟฟ้าลดลงและโคโรนาไม่เกิด ฉะนั้นในแกประหว่างอิเล็กโตรดจะเกิดดีสชาร์จที่ไม่สมบูรณ์ เรียกว่า ดิสชาร์จบางส่วน (partial discharge = PD) ปรากฏการณ์อาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วงๆ จึงทำให้มีกระแสไหลในวงจรที่ป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโตรด กระแสนี้จะเกิดขึ้นและวัดได้ก่อนเกิดเบรกดาวน์ เรียกว่ากระแสโคโรนา หรือกระแสพรีดีสชาร์จ

การเกิดโคโรนาจะทำให้สนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตเปลี่ยนไป เพราะมีประจุค้าง (space charge) ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะคำนวณจากสมการ 2.14 ไม่ได้ อย่างไรก็ตามสมการ 2.14 นี้อาจใช้คำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าที่แรงดันโคโรนาเริ่มเกิดได้ เพราะสนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตยังไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ

$$E_i = \frac{V_i}{d.\eta^*} \qquad (2.17)$$

เมื่อ E_i คือ ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่โคโรนาเริ่มเกิด

V_i คือ แรงดันไฟฟ้าป้อนที่โคโรนาเริ่มเกิด (Colona Inception Voltage)

2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า [4-5]

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกวงจรไฟฟ้าหนึ่งโดยที่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลง นั่นก็หมายความว่า หม้อแปลงไฟฟ้านั้นสามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าได้ คือเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าและยังสามารถเพิ่มหรือลดกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย แต่ไม่สามารถเพิ่มหรือลดความถี่ของไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้าจะใช้ได้แต่กับไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น

2.2.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ

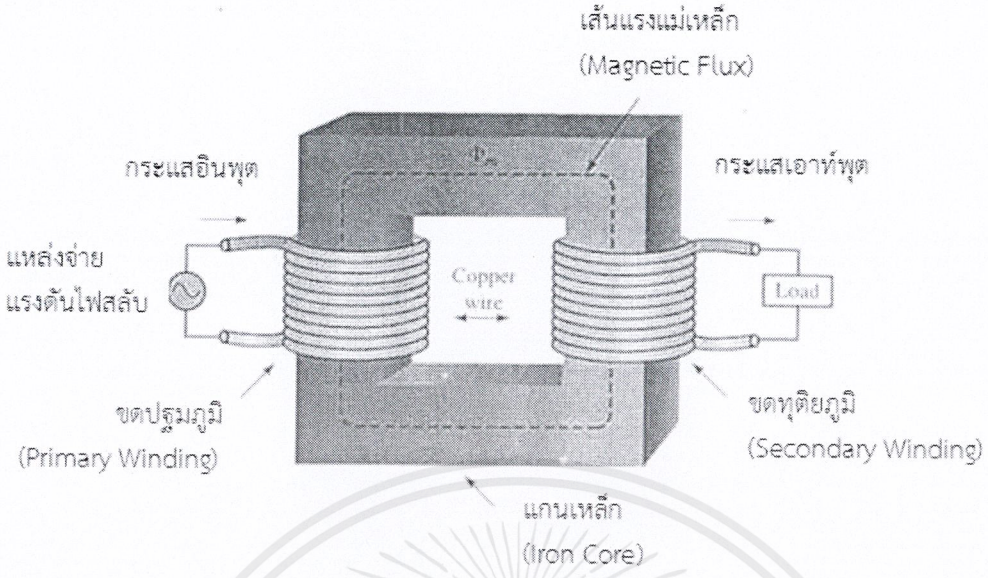
2.2.1.1 ขดลวด

หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวด2ขด คือ ขดลวดที่ทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าเข้ามาเราเรียกขดลวดนี้ว่า ขดลวดปฐมภูมิหรือขดอินพุต ส่วนขดลวดอีกขดหนึ่ง คือ ขดลวดที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกไปให้กับโหลด เราเรียกขดลวดนี้ว่า ขดลวดทุติยภูมิหรือขดเอาต์พุต

2.2.1.2 แกนเหล็ก

แกนเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ และเป็นแผ่นเหล็กที่มีส่วนผสมของซิลิกอน แกนเหล็กอาจจะทำเป็นแผ่นยาวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือเป็นรูปตัว L มาเรียงเข้าด้วยกัน แกนเหล็กที่เป็นแผ่นยาวสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะขดเป็นวงรอบขดลวด แกนเหล็กนี้จะมีความต้านทานแม่เหล็กต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 หม้อแปลงไฟฟ้า

2.2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า

เครื่องมือสิ่งหนึ่งที่มีประโยชน์มากที่สุดในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ และมีความสะดวกสบายในการที่จะเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า โดยการใช้เครื่องกลไฟฟ้าที่อยู่กับที่ เครื่องมือนั้นก็คือ หม้อแปลงไฟฟ้า เพราะหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ไม่มีสิ่งใดเคลื่อนที่เลย ดังนั้นค่าบำรุงรักษาจึงต่ำและเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดเดียวที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าก็อาศัยหลักการพื้นฐานคือ สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปตัดกับตัวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำนั้น

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำบนขดลวดเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์

$$e(t) = - N \frac{d\varphi}{dt} \qquad (2.18)$$

เมื่อป้อนแรงดันกระแสสลับรูปคลื่นไซน์ให้กับขดลวดทางด้านกำลังไฟฟ้าเข้าจะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กเป็นรูปคลื่นไซน์

$$\varphi(t) = \varphi_{max} \sin\omega t \qquad (2.19)$$

ฉะนั้นแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดอีกชุดหนึ่งด้านจ่ายกำลังไฟฟ้าออกเปลี่ยนไปตามเวลา คือ

$$e(t) = - N\omega\varphi_{max} \cos\omega t \qquad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$E = \frac{2}{\sqrt{2}} \pi f N \varphi_{max} \tag{2.21}$$

$$E = 4.44 f N \varphi_{max} \tag{2.22}$$

โดยที่ $\varphi_{max} = B_{max} A$
จะได้สมการพื้นฐานของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดของหม้อแปลงคือ

$$E = 4.44 f N B_{max} A \tag{2.23}$$

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานของ PLC [2]

การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรม และช่วยงานด้านอุตสาหกรรมเป็นระบบอัตโนมัติในยุคปัจจุบันมีบทบาทมากได้มีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรม และช่วยงานอุตสาหกรรมมากขึ้น จากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้คอมพิวเตอร์มีขนาดเล็กลงมีขีดความสามารถสูงขึ้น และที่สำคัญคือราคาถูกลงทำให้มีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานอุตสาหกรรมด้านต่างๆ กว้างขวางซึ่งก็ก่อให้เกิดการพัฒนาทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟท์แวร์ จนเกิดการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานอุตสาหกรรมใหม่ๆ เช่นงานในการควบคุมอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรม และนิยมใช้คอมพิวเตอร์เฉพาะงานอุตสาหกรรมที่เรียกว่า Programmable Logic Controller หรือที่เรียกย่อๆ ว่า PLC โดยมีการเขียนโปรแกรมสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม

PLC ย่อมาจาก Programmable Logic Controller หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอัตโนมัติสามารถโปรแกรมได้ PLC ถูกสร้าง และพัฒนาแทนวงจรรีเลย์มีการพัฒนาให้ PLC มีการประมวลผลที่เร็วมากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของ Microprocessor มีราคาถูก สามารถใช้งานอย่างอเนกประสงค์ และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย

2.3.1 ประวัติของ PLC

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 โดยสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมผ่านทาง 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)
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

2.3.2 การควบคุมงานของ PLC

1. งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (sequence control) เช่นการทำงานของระบบรีเลย์แบบต่างๆ รวมถึงการทำงานในระบบกึ่งอัตโนมัติ และระบบอัตโนมัติ หรือการทำงานที่เป็นกระบวนการของเครื่องจักรกลต่างๆ

2. งานที่ควบคุมสมัยใหม่ (sophisticated control) เช่น การทำงานด้านคณิตศาสตร์ บวก ลบ คูณ หาร การควบคุมอุณหภูมิการควบคุมความดันการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์หรือสเตปเปอร์มอเตอร์

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

2.3.3 ข้อแตกต่างระหว่าง PLC กับ computer ทั่วไป

PLC เป็นคอมพิวเตอร์เฉพาะประเภทหนึ่งจึงมีโครงสร้างเหมือนคอมพิวเตอร์แต่มีแตกต่างกันดังต่อไปนี้คือ

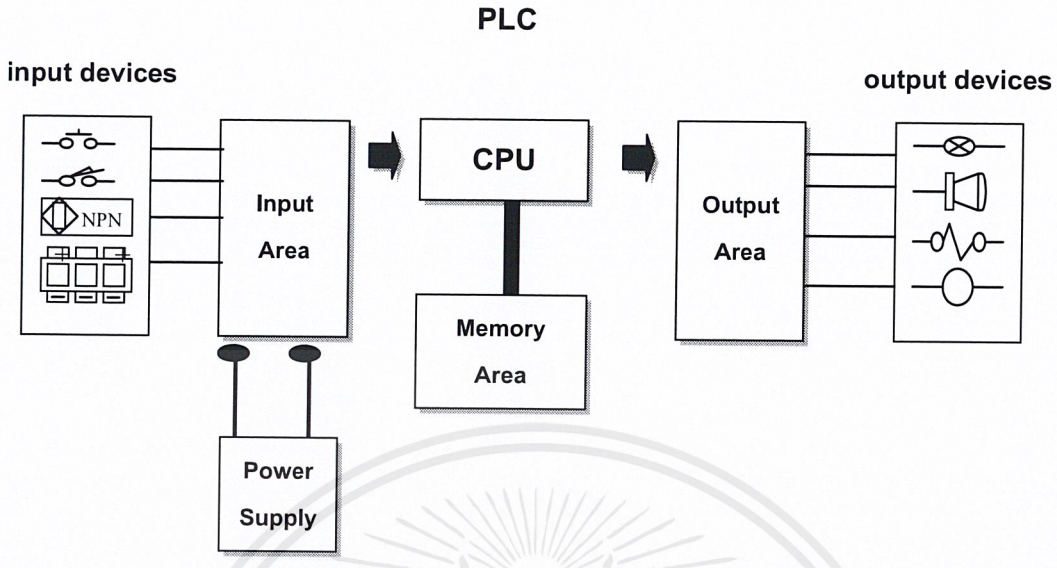
1. PLC ถูกออกแบบมาให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆของโรงงานอุตสาหกรรมเช่น ความร้อน ความเย็น ระบบไฟฟ้ารบกวน การสั่นสะเทือน การกระแทก

2. การใช้โปรแกรมเบื้องต้นของ PLC นี้จะไม่ยุ่งยากมากนักเหมือนของคอมพิวเตอร์ซึ่งมีระบบตรวจสอบตัวเองทำให้ใช้งานได้ง่ายและบำรุงรักษาง่าย

3. PLC ทำงานตามที่โปรแกรมเอาไว้เพียงโปรแกรมเดียวเท่านั้น ทำให้ไม่ยุ่งยาก ส่วนคอมพิวเตอร์จะทำงานตามโปรแกรมหลายๆ โปรแกรมพร้อมกันจึงมีความยุ่งยากกว่า

4. PLC ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกชนิดมีทั้งแบบอนาล็อก และแบบลอจิก (on - off)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของ PLC

2.3.4 โครงสร้างภายในของ PLC

ลักษณะโครงสร้างภายในของ PLC ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ดังนี้

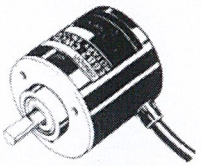
1. ภาคอินพุต (input section)
2. ตัวประมวลผล (CPU)
3. หน่วยความจำ (memory)
4. ภาคเอาต์พุต (output section)
5. แหล่งจ่ายไฟ (power supply)

2.3.4.1 ภาคอินพุต (input section)

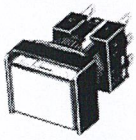
อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามา และทำการส่งข้อมูลที่ได้ต่อไปยังตัวประมวลผล (CPU) เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป โดยข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณอินพุทนี้ได้มาจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เซนเซอร์ (sensor), สวิตช์ (switch) และเอนโค๊ดเดอร์ (encoder) เป็นต้น

สัญญาณอินพุตส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณแบบรีเลย์, พัลส์, แรงดัน หรือกระแสไฟฟ้าสัญญาณเหล่านี้จะถูกส่งมาจากอุปกรณ์อินพุทต่างๆ เมื่อ PLC ได้รับสัญญาณอินพุทมาแล้วจะนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลต่อไป

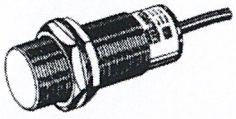
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ROTARY ENCODER (a)



SWITCH (b)

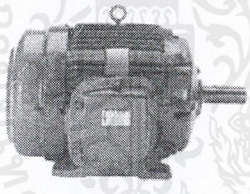


PROXIMITY SENSOR (c)

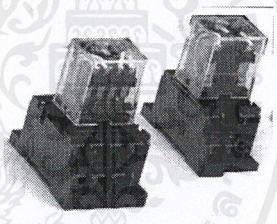
รูปที่ 2.7 อุปกรณ์อินพุท (input devices)

2.3.4.2 ภาคเอาท์พุต (output section)

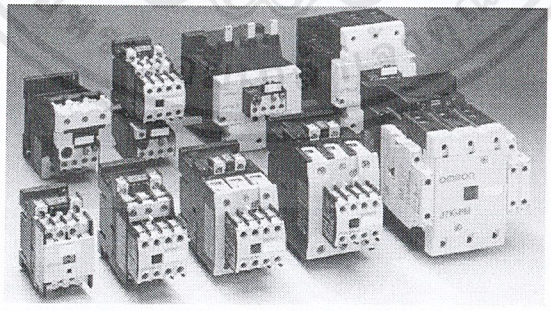
อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก เช่น มอเตอร์ (Motor), รีเลย์ (relay) และแมคเนติกรีเลย์โดยที่มีการส่งสัญญาณที่ออกมาจากภาคเอาท์พุทของ PLC เป็นเอาท์พุทแบบรีเลย์ หรือเป็นเอาท์พุทแบบทรานซิสเตอร์ ก่อนทีสัญญาณจะผ่านไปยังอุปกรณ์เอาท์พุตได้ต้องผ่าน Buffer relay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



MOTOR (a)



RELAY (b)



MAGNETIC RELAY (c)

รูปที่ 2.8 อุปกรณ์เอาต์พุต (output devices)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.3 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

2.3.4.4 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 ที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียน และลบโปรแกรมสามารถใช้งานได้เหมือนกับ RAM แต่ไม่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่สำรอง แต่ราคาจะแพงกว่าเนื่องจากรวมคุณสมบัติของ ROM และRAM ไว้ด้วยกัน

2.3.4.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power supply)

ทำหน้าที่ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า และรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ CPU Unit หน่วยความจำและหน่วยอินพุท / เอาท์พุท ความสามารถของ PLC

2.3.5 ตัวอย่างการควบคุมการทำงานของ PLC

PLC สามารถควบคุมงานได้ 3 ลักษณะ คือ

1. งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (Sequence control) เช่น
   - การทำงานของระบบรีเลย์
   - การทำงานของไทเมอร์ เคาน์เตอร์
   - การทำงานของ P.C.B. card
   - การทำงานในระบบกึ่งอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติ
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- information handling

3. การควบคุมเกี่ยวกับงานอำนวยการ ตัวอย่าง เช่น
   - งานสัญญาณเตือน
   - งานต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ (RS-232C/RS422)
   - งานควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมแบบต่างๆ
   - LAN (local area network)
   - WAN (wide area network)

2.3.6 การเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรม

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

2.3.6.1 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

2.3.6.2 คำสั่ง AND, AND NOT

สัญลักษณ์แลดเดอร์ 

อ่านว่า AND เขียนเป็นคำสั่งบูลีนว่า AND

สัญลักษณ์แลดเดอร์ 

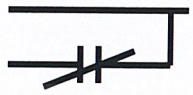
อ่านว่า AND NOT เขียนเป็นคำสั่งบูลีนว่า AND NOT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.3 คำสั่ง OR, OR NOT

สัญลักษณ์แลดเดอร์ 

อ่านว่า OR เขียนเป็นบูลีนว่า OR

สัญลักษณ์แลดเดอร์ 

อ่านว่า OR NOT เขียนเป็นบูลีนว่า OR NOT

2.3.6.4 คำสั่ง OUT, OUT NOT

เป็นคำสั่งที่สั่งให้ OUT PUT ภายนอกทำงาน หรือไม่ทำงาน

สัญลักษณ์แลดเดอร์ 

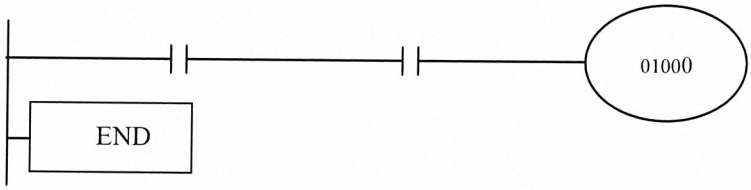
อ่านว่า OUT เขียนเป็นบูลีนว่า OUT แสดงว่ายังไม่ทำงาน

สัญลักษณ์แลดเดอร์ 

อ่านว่า OUT NOT เขียนเป็นบูลีนว่า OUT NOT แสดงว่าทำงานอยู่

2.3.6.5 การใช้คำสั่ง END หรือ FUN 01

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



รูปที่ 2.9 การเขียนคำสั่งแลดเดอร์ END

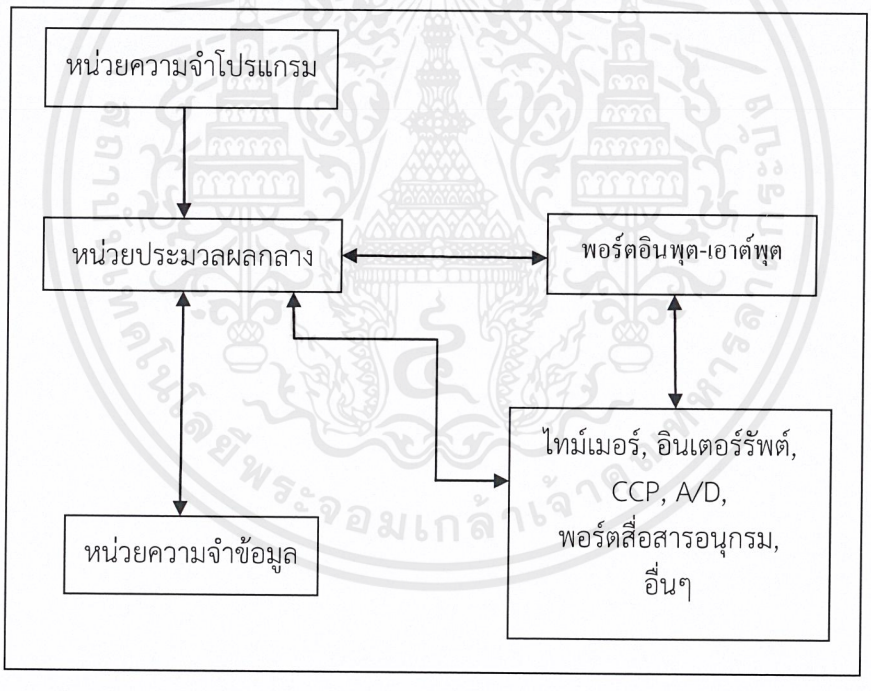
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC [7-8]

2.4.1 ความหมายและชนิดของ PIC

PIC ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดย บริษัท ไมโครชิพ (Microchip Technology, Inc.) ชื่อนี้ถูกใช้ครั้งแรกในปี คศ.1977 PIC เบอร์แรกที่ผลิตออกมาก็คือ PIC1650 ซึ่งมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมไม่ต่างจาก PIC ในปัจจุบันมากนัก แนวคิดของการสร้าง PIC คือพยายามรวมเอาทุกอย่างไว้ในชิพตัวเดียวไม่ว่าจะเป็น หน่วยประมวลผลกลาง, หน่วยความจำโปรแกรม, หน่วยความจำข้อมูล, EEPROM, CCP เป็นต้น

PIC เป็นไมโครคอลโทรลเลอร์ที่มีสถาปัตยกรรมแบบฮาวาร์ด (Havard Architecture) หรือที่เรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) คือ มีการทำงานที่มีจำนวนชุดคำสั่งน้อย แต่ละคำสั่งจะทำงานแบบง่าย ๆ ทำให้ความเร็วในการทำงานแต่ละคำสั่งสูง ในปัจจุบัน PIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลที่เป็นยอดนิยมตระกูลหนึ่ง เพราะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ประสิทธิภาพสูง ราคาถูก และก็ยังมีให้เลือกใช้มากมายหลายเบอร์อีกด้วย ลักษณะโครงสร้างหลัก ๆ ของ PIC แสดงดังรูปที่ 2.10

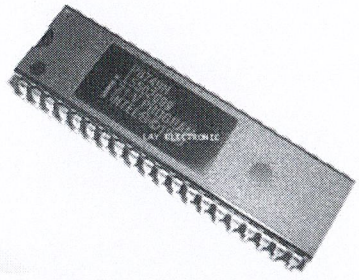


รูปที่ 2.10 โครงสร้างหลักๆของ PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC แบ่งออกตามชนิดของหน่วยความจำโปรแกรมได้ 3 ประเภท คือ

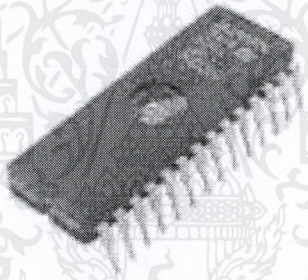
1. OTP (One-Time Programmable) เป็นชิพประเภทที่มีราคาถูกที่สุด แต่สามารถทำการโปรแกรมได้แค่ครั้งเดียวเท่านั้น ซึ่งชิพประเภทนี้จะใช้ในกรณีที่พัฒนาโปรแกรมจนไม่พบจุดบกพร่องของโปรแกรมอีกแล้วและต้องการใช้งานจำนวนมาก ๆ เพราะมีราคาที่ถูก เช่น PIC12C509, PIC12C672, PIC16C84, PIC16C74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



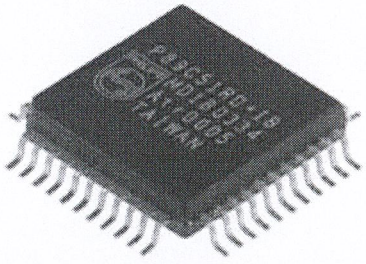
รูปที่ 2.11 ชิพแบบ OTP

2. EPROM (Erasable Programmable ROM) เป็นชิพอีกประเภทที่เมื่อเขียนโปรแกรมเข้าไปแล้วสามารถทำการลบโปรแกรมเดิมได้ด้วยแสง UV (Ultra Violet) ดังนั้นที่ด้านบนของชิพจะมีกรอบกระจกเพื่อให้แสดง UV สามารถส่องผ่านเข้าไปในตัวชิพได้ ชิพแบบนี้เบอร์ของชิพจะมีตัวอักษร JW เขียนกำกับอยู่ ชิพประเภทนี้ ยกตัวอย่างเช่น PIC16C57/JW, PIC16C72A/JW, PIC16C74/JW



รูปที่ 2.12 ชิพแบบ EPROM

3. EEPROM (electronically erasable programmable ROM) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าแบบแฟลช (Flash) เป็นชิพอีกประเภทท่สามารถเขียนและลบโปรแกรมด้วยไฟฟ้าและสามารถลบและเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง ทำให้ชิพประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดใน 3 ประเภท ชิพประเภทนี้ก็ยกตัวอย่างเช่น PIC12F510, PIC16F84, PIC16F877, PIC18F1220, PIC18F4331, PIC24HJ12Gp201, PIC32MX340F128H



รูปที่ 2.13 ชิพแบบ EEPROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การเลือกใช้งาน PIC ในแต่ละกลุ่ม

2.4.2.1 หลักการเลือกใช้งาน PIC มีหลักการดังต่อไปนี้

1. ต้องการพอร์ตอินพุต-เอาต์พุตทั้งหมดกี่พอร์ต
2. ต้องการหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลแบบไหน ขนาดเท่าใด
3. ต้องการความเร็วในการทำงานสูงแค่ไหน
4. ต้องการฟังก์ชั่นพิเศษอะไรของ PIC บ้าง
5. ต้องการ PIC ที่มีตัวถังแบบใด
6. ต้องการให้ PIC ทำงานแบบ Low-voltage Operation หรือไม่

2.4.2.2 คุณสมบัติของไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล PIC ในแต่ละกลุ่ม

ซึ่งไมโครคอลโทรลเลอร์แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มคือ

1. ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล PIC16C5X

เป็นชิพที่ผลิตออกมายุคแรกๆ เหมาะกับงานที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน มีคำสั่งใช้งานที่เป็นภาษาแอสเซมบลี 33 คำสั่ง มี I/O, Timer และ Watchdog แต่ไม่มี I^2C หรือ Serial ซึ่งต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาเอง ชิปในกลุ่มนี้มีหลายเบอร์ แต่ละเบอร์จะมีจำนวนขาและขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลต่างกัน

2. ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล PIC16CXXX

จากข้อจำกัดหลายๆอย่างของ PIC16C5X บริษัทไมโครชิปจึงได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงจนเป็นตระกูล PIC16CXXX โดยเป็นชิปแบบ 18 ขา มีคำสั่งภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง มี Timer เพิ่มขึ้น บางเบอร์มีมากกว่า 1 ตัว มีพอร์ต I2C และพอร์ต USART ทำให้สมารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้สะดวกขึ้น เขียนโปรแกรมควบคุมง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังได้ทำการเพิ่มขนาดของหน่วยความจำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย

3. ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล PIC12CXXX และ PIC12FXXX

เป็นชิปขนาดเล็กที่มีเพียง 8 ขาเท่านั้น ซึ่งเหมาะกับงานเล็กๆ มีคำสั่งภาษาแอสเซมบลี 33 และ 35 คำสั่งสำหรับจุดเด่นของ PIC กลุ่มนี้คือ มีสัญญาณนาฬิกาหรืออสซิลเลเตอร์ ขนาด 4 MHz อยู่ภายในชิปทำให้ไม่ต้องต่ออสซิลเลเตอร์ภายนอก และมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบ EEPROM แต่ส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมยังเป็นแบบ OTP และ EPROM หลังจากได้ผลิต PIC16FXXX แล้วทางบริษัทไมโครชิปก็ได้ผลิต PIC12FXXX ขึ้นมาซึ่งเป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้หลายครั้ง

4. ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล PIC17CXXX

PIC17CXXX เป็นชิปทีออกมาพร้อมกับ PIC16CXXX แต่ต่างกันที่ PIC17CXXX จะมีความสามารถสูงกว่า มีจำนวนขามากกว่า มีคำสั่งภาษาแอสเซมบลี 58 คำสั่ง มีคำสั่งการคูณ หาร รวมทั้งขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและยังสามารถต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ด้วย

5. ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล 16FXXX

เป็น PIC ที่ได้รับความนิยมมาก เพราะเป็นชิปรุ่นแรกที่หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช และมีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ง่าย ซึ่ง PIC เบอร์ PIC16FXXX สนับสนุนการทำงานแบบอินเซอร์กิตดีบักเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(In Circuit Debugger) ทำให้ไม่ต้องซื้ออีพรอมอีมูเลเตอร์ (EPROM Emulator) ซึ่งมีราคาแพง มีคำสั่งภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง และมีวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D) ขนาด 10 บิตอยู่ภายในด้วย

6. ไมโครคอลโทรลเลอร์ตระกูล 18CXXX และ PIC18FXXX

เป็น PIC อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับความนิยม เนื่องจาก PIC18CXXX และ PIC18FXXX มีความสามารถมากและใหญ่กว่าเบอร์ PIC16FXXX ไม่ว่าจะเป็นคำสั่งภาษาแอสเซมบลีที่มีถึง 77 คำสั่ง หรือหน่วยความจำโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้สมารถรองรับการเขียนโปรแกรมภาษาซีได้

2.4.3 การต่อใช้งานเบื้องต้นของ PIC

โดยวงจรพื้นฐานจะประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายไฟ +5 V ป้อนเข้าขา V_{DD} และ G หรือ 0 ป้อนเข้าขา V_{SS}
2. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาป้อนเข้าขา OSC1 และ OSC2
3. วงจรรีเซ็ตแบบ POR ป้อนเข้าขา MCLR

ส่วนขาอื่นๆ ขึ้นอยู่กับการออกแบบใช้งาน

2.4.3.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวควบคุมจังหวะการทำงาน ดังนั้นหากต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานต้องต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาหรือออสซิลเลเตอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ก็เช่นกัน โดย PIC สามารถเลือกใช้ออสซิลเลเตอร์ภายในหรือภายนอกได้ สำหรับออสซิลเลเตอร์ภายในจะเป็นประเภท RC ออสซิลเลเตอร์ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แต่ถ้าเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ภายนอก ความถี่จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ภายนอกที่มาต่อ

2.4.3.2 วงจรรีเซ็ตของ PIC

การรีเซ็ตเป็นการทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตั้งแต่ต้นโปรแกรม (ถ้าเป็นคอมพิวเตอร์ก็คือตั้งแต่เริ่มบูตระบบ) การรีเซ็ตจะใช้ในกรณีที่เริ่มต้นการทำงานของวงจรใหม่ๆ (ตั้งแต่เปิดไฟเลี้ยงเข้าวงจร) หรือในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานอยู่แล้วเกิด error หรืออาการแฮ้งค์ (Hang) โดยวิธีการรีเซ็ตมีด้วยกันทั้งหมด 6 วิธี

1. การรีเซ็ตแบบ POR (Power – on Reset) เป็นการรีเซ็ตแบบอัตโนมัติ เมื่อเปิดไฟเลี้ยงเพื่อเริ่มต้นการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในครั้งแรก โดยสภาวะรีเซ็ตจะเกิดเมื่อระดับแรงดันไฟเลี้ยง V_{DD} เพิ่มขึ้นจนถึงระดับ threshold

2. การรีเซ็ตโดยใช้ขา MCLR เป็นสภาวะ เป็นสภาวะการรีเซ็ตเมื่อป้อนสัญญาณแอ็คทีฟ LOW เข้าที่ขา MCLR เป็นการรีเซ็ตโดยผู้ใช้งาน

3. การรีเซ็ตโดยใช้ Watchdog Timer (WDT) เป็นการรีเซ็ตแบบอัตโนมัติขณะทำงานเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดการแฮ้งค์ เป็นการรีเซ็ตด้วยการทำงานของไทเมอร์ของวงจร Watchdog โดยที่ไทเมอร์จะเริ่มนับไปเรื่อยๆตั้งแต่จ่ายไฟกับวงจร ไปจนถึงค่าสูงสุด ก็จะส่งสัญญาณไปรีเซ็ตไมโครคอลโทรลเลอร์ ในการทำงานปกติไมโครคอลโทรลเลอร์จะหยุดการทำงานไทเมอร์ของ Watchdog ภายในเวลาที่กำหนดอยู่ตลอดเวลา(ไทเมอร์จะเริ่มทำงานใหม่)

4. การรีเซ็ตแบบ Brown out Reset (BOR) เป็นสภาวะการรีเซ็ตแบบอัตโนมัติ เมื่อระดับแรงดัน V_{DD} ต่ำกว่าระดับแรงดันที่กำหนดไว้

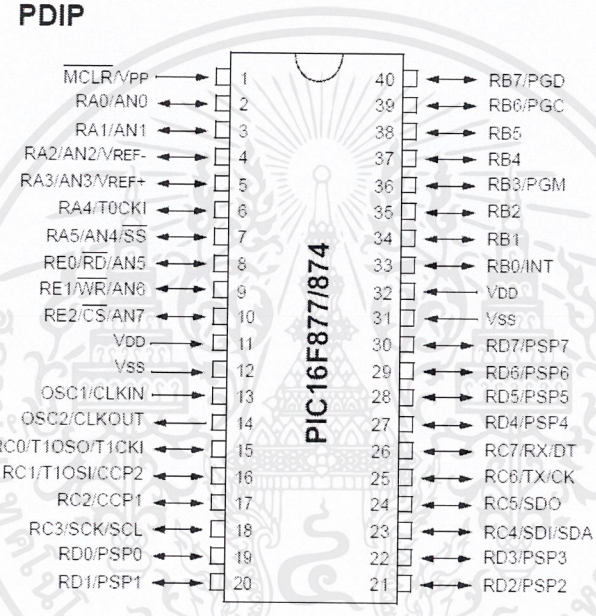
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การรีเซ็ตโดยโปรแกรม เป็นสภาวะการรีเซ็ต เมื่อกระทำคำสั่ง RESET

6. การรีเซ็ตเมื่อ stack เกิดสภาวะ Full และ Underflow

จากการรีเซ็ตตามที่ได้กล่าวมา สามารถจัดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือการรีเซ็ตด้วยซอฟแวร์และการรีเซ็ตของฮาร์ดแวร์ ในการต่อวงจรใช้งานจริงจะต้องมีการรีเซ็ตแบบฮาร์ดแวร์ที่อาจจะเป็นแบบ POR หรือ แบบการใช้ขา MCLR ก็ได้ ส่วนในการรีเซ็ตแบบอื่นๆ จะมีหรือไม่มีก็ได้ โดยจะเป็นส่วนช่วยเสริมการทำงานของไมโครคอลโทรลเลอร์ให้มีเสถียรภาพดียิ่งขึ้น

2.4.4 โครงสร้างขาสัญญาณของไมโครคอลโทรลเลอร์ PIC16F877



รูปที่ 2.14 ตำแหน่งขาต่างๆของ PIC16F877

1.MCLR/V_{pp} : Master Clear (Reset) Input / Programming Voltage Input ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณรีเซ็ต (Reset) เมื่อขานี้ได้รับลอจิก 0 ไมโครคอลโทรลเลอร์จะถูกรีเซ็ต และทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณรับแรงดัน ขณะทำการบันทึกโปรแกรมลงหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์

2. VDD : Posituve Supply (+2.00 V ถึง +5.5 V) ทำหน้าที่เป็นขาไฟเลี้ยงของไมโครคอลโทรลเลอร์

3. VSS : Ground ทำหน้าที่เป็นขากราวน์

4. OSC1/CLKIN : Oscillator Crystal Input / External Clock Source Input

5. OSC2/CLKOUT : Oscillator Crystal Output / External Clock Source Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. RA0 – RA5 : พอร์ต A มีจำนวน 6 ขา เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง (Bi-direction I/O Port) คือเป็นได้ทั้งพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตใช้ในการส่งและรับข้อมูล

7. RB0 – RB7 : พอร์ต B มีจำนวน 8 ขา ขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้บางขายังทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตจากการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt) จากภายนอกด้วย

8. RC0 – RC7 : พอร์ต C มีจำนวน 8 ขา 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล

9. RD0 – RD7 : พอร์ต D มีจำนวน 8 ขา 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล

10. RE0 – RE2 : พอร์ต E มีจำนวน 3 ขา เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล

2.4.5 หลักการเขียนภาษาซี

2.4.5.1 โครงสร้างของภาษาซี

โครงสร้างของภาษาซีจะประกอบไปด้วยส่วนหัวโปรแกรม (Header Files) และส่วนของตัวโปรแกรม ไฟล์ส่วนหัวโปรแกรมเป็นไฟล์ที่มีส่วนขยายเป็น .h ใช้ร่วมในการคอมไพล์โปรแกรม

รูปแบบ #include<ชื่อไฟล์.h>

ส่วนของตัวโปรแกรมจะเริ่มต้นด้วยฟังก์ชัน void main() ซึ่งเป็นฟังก์ชันหลักของโปรแกรม โดยภายในฟังก์ชัน main() จะประกอบไปด้วยชุดคำสั่งและฟังก์ชันต่างๆ

```
รูปแบบ  void main()
        {
         ชุดคำสั่ง;
        }
```

2.4.5.2 ฟังก์ชัน if

ฟังก์ชัน if เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อตัดสินใจว่าจะทำงานในเงื่อนไขหรือทางเลือกใด ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจะทำงานตามคำสั่งที่กำหนดในฟังก์ชัน if

```
รูปแบบ
    if(ตัวแปร ตัวกระทำเปรียบเทียบ ค่าคงที่หรือตัวแปร)
    {
     ชุดฟังก์ชัน
    }
```

2.4.5.3 ฟังก์ชัน switch

ฟังก์ชัน switch ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลเหมาะสำหรับเปรียบเทียบข้อมูลหลายๆทางเลือก ใช้เปรียบเทียบข้อมูลกับค่าคงที่ ตัวอักษรหรือตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ

```
switch(v)
{
 case 1  : ชุดฟังก์ชันที่1 break;
 case 2  : ชุดฟังก์ชันที่2 break;
 default : ชุดฟังก์ชันที่5
}
```

2.4.5.4 ฟังก์ชัน for

ฟังก์ชัน for เป็นฟังก์ชันวนลูปหรือวนรอบใช้ในการเขียนโปรแกรมที่มีลักษณะการทำงานวนรอบซ้ำๆกัน เพื่อลดขนาดของโปรแกรม

รูปแบบ

```
for(ค่าเริ่มต้น;เงื่อนไข;การเพิ่มค่าหรือลดค่า)
{
 ชุดฟังก์ชัน
}
```

2.4.5.5 ฟังก์ชัน do while

ฟังก์ชัน do while เป็นฟังก์ชันวนลูปเพื่อใช้เขียนโปรแกรมที่มีลักษณะการทำงานวนรอบซ้ำๆกัน โดยจะทำชุดฟังก์ชันก่อนจากนั้นจะตรวจสอบเงื่อนไข ถ้าเป็นจริงก็จะทำฟังก์ชันในลูปต่อ แต่ถ้าเป็นเท็จจะออกจากการวนรอบ

รูปแบบ

```
do
{
 ชุดฟังก์ชัน
} while(เงื่อนไข);
```

2.4.5.6 ฟังก์ชัน while

ฟังก์ชัน while เป็นฟังก์ชันวนลูปใช้ในการเขียนโปรแกรมที่มีลักษณะการทำงานวนรอบซ้ำๆกัน การทำงานเริ่มจากตรวจสอบเงื่อนไขก่อน ถ้าเป็นจริงจะทำงานชุดฟังก์ชันภายในปีกกาเปิดและปิด แต่ถ้าเป็นเท็จจะออกจากลูป while

รูปแบบ

```
while(ตรวจสอบเงื่อนไข)
{
 ชุดฟังก์ชัน
}
```

2.4.5.7 ฟังก์ชัน goto

ฟังก์ชัน goto เป็นฟังก์ชันทำหน้าที่กระโดไปยังตำแหน่งหรือบรรทัดที่กำหนดเพื่อข้ามการทำงาน หรือใช้ในการวนรอบการทำงาน

รูปแบบ

```
goto Label;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ [10]

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ หมายถึง มอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือขดลวดในสเตเตอร์และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบ ๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรปิดหรือขดลวดกรงกระรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่จองสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดจะพลังงานกลสามารถนำไปขับภาระที่ต้องการหมุนได้

2.5.1 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ มอเตอร์อะซิงโครนัสและมอเตอร์ซิงโครนัส ซึ่งที่กล่าวในบทนี้จะเป็นมอเตอร์อะซิงโครนัส ที่เรียกว่ามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ ซึ่งจะมีขนาดตั้งแต่เล็ก ๆไปจนถึงขนาดหลายร้อยแรงม้า มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ชนิด 1 เฟสและชนิดที่เป็นมอเตอร์ 3 เฟส มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำนั้นส่วนมากแล้วจะหมุนด้วยความเร็วคงที่แต่ก็มีบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ เช่น มอเตอร์สลิปริงหรือมอเตอร์ชนิดขดลวดพัน ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ โรเตอร์ไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าโดยตรงแต่จะได้จากการเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงเรียกว่ามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. มอเตอร์ชนิดกรงกระรอก ซึ่งมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ 1 เฟสและชนิด 3 เฟส
2. มอเตอร์ชนิดขดลวดพันหรือชนิดวาวนด์หรือมอเตอร์สลิปริง ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส

โดยทั่วไป มอเตอร์ทุกประเภทจะมีส่วนประกอบหลัก หรือส่วนประกอบเบื้องต้นคล้ายกันคือสเตเตอร์หรือตัวที่อยู่กับที่และโรเตอร์หรือตัวหมุน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของรายละเอียดของส่วนประกอบปลีกย่อยอื่นๆ

2.5.2 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.5.2.1 สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator) จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งจะประกอบด้วยโครงของมอเตอร์ แกนเหล็กสเตเตอร์ และขดลวด

1. โครงมอเตอร์ (Frame or Yoke) จะทำด้วยเหล็กหล่อทรงกระบอกกลวง ฐานส่วนล่างจะเป็นขาตั้ง มีกล่องสำหรับต่อสายไฟอยู่ด้านบนหรือด้านข้าง โครงจะทำหน้าที่ยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับที่ผิวด้านนอกของโครงมอเตอร์ จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นครีบ เพื่อช่วยในการระบายความร้อน

ในกรณีที่เป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก ๆ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อ แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ โครงจะทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว ซึ่งจะทำให้มอเตอร์มีขนาดเล็กกะทัดรัดมากขึ้น แต่ถ้าใช้เหล็กหล่อก็จะให้มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก นอกจากนี้แล้วโครงของมอเตอร์ยังอาจทำด้วยเหล็กหล่อเหนียวม้วนเป็นแผ่นม้วนรูปทรงกระบอก แล้วเชื่อมติดกันให้มีความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ มีลักษณะกลม เจาะตรงกลางและเซาะร่องภายในโดยรอบ แผ่นเหล็กชนิดนี้เรียกว่า ลามิเนท ซึ่งจะถูกเคลือบด้วยซิลิกอน เหล็กแต่ละแผ่นจะมีความหนาประมาณ 0.025 นิ้ว หลังจากนั้นจึงนำไปอัดเข้าด้วยกันจนมีความหนาที่เหมาะสมเรียกว่าแกนเหล็กสเตเตอร์

3. ขดลวด (Stator Winding) จะมีลักษณะเป็นเส้นลวดทองแดงเคลือบฉนวนที่เรียกว่า อีนาเมล (Enamel) พันอยู่ในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์ตามรูปแบบต่าง ๆ ของการพันมอเตอร์

2.5.2.2 โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor) มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะมีโรเตอร์ 2 ชนิด คือ โรเตอร์แบบกรงกระรอกและโรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ ซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้คือ แกนเหล็ก โรเตอร์ ขดลวด ใบพัด และเพลา ดังจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

1. โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) จะประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆ ที่เรียกว่าแผ่นเหล็กลามิเนท ซึ่งจะเป็นแผ่นเหล็กชนิดเดียวกันกับสเตเตอร์ มีลักษณะเป็นแผ่นกลม ๆ เซาะร่องผิวภายนอกเป็นร่องโดยรอบ ตรงกลางจะเจาะรูสำหรับสวมเพลา และจะเจาะรูรอบ ๆ รูตรงกลางที่สวมเพลาทั้งนี้เพื่อช่วยให้ในการระบายความร้อน และยังทำให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบาลง เมื่อนำแผ่นเหล็กไปสวมเข้ากับแกนเพลาแล้วจะได้เป็นแกนเหล็กโรเตอร์ หลังจากนั้นก็จะใช้แท่งตัวทองแดงหรือแท่งอลูมิเนียมหล่ออัดเข้าไปในร่องของแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปวางทั้งสองด้านด้วย วงแหวนตัวนำทั้งนี้เพื่อให้ขดลวดครบวงจรไฟฟ้าหรืออาจนำแกนเหล็กสเตเตอร์เข้าไปในแบบพิมพ์แล้วฉีดอะลูมิเนียมเหลวเข้าไปในร่อง ก็จะได้อลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่องจนเต็มและจะได้ขดลวดตัวนำแบบกรงกระรอกฝังอยู่ในแกนเหล็ก

ขดลวดในโรเตอร์นั้นจะเป็นลักษณะของตัวนำที่เป็นแท่งซึ่งอาจใช้ทองแดง หรืออลูมิเนียมประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะคล้ายกรงนกหรือกรงกระรอก

2. โรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ (Wound Rotor) โรเตอร์ชนิดนี้จะมีส่วนประกอบคล้ายๆ กับโรเตอร์แบบกรงกระรอก คือ มีแกนเหล็กที่เป็นแผ่นลามิเนทอัดเข้าด้วยกันแล้วสวมเข้าที่เพลา แต่จะแตกต่างกันตรงที่ขดลวด จะเป็นเส้นลวดชนิดที่หุ้มด้วยน้ำยาฉนวนอีนาเมลพันลงไปในร่องสล็อตของโรเตอร์จำนวน 3 ชุด ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับที่พันบนสเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟสแล้วต่อวงจรขดลวดเป็นแบบสตาร์ โดยนำปลายทั้ง 3 ที่เหลือต่อเข้ากับวงแหวนตัวนำ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถต่อวงจรของขดลวดของโรเตอร์เข้ากับตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ที่อยู่ภายนอกตัวมอเตอร์ เพื่อการปรับค่าความต้านทานของโรเตอร์ ซึ่งจะสามารถควบคุมความเร็วของโรเตอร์ได้

3. ฝาครอบ (End Plate) ส่วนมากจะทำด้วยเหล็กหล่อ เจาะรูตรงกลางและคว้านเป็นรูกลมใหญ่เพื่ออัดแบริ่งหรือตลับลูกปืนรองรับแกนเพลาของโรเตอร์

4. ฝาครอบใบพัด (Fan End Plate) จะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กเหนียวขึ้นรูปให้มีขนาดสวมฝาครอบได้พอดี มีรูเจาะเพื่อระบายอากาศ และยึดติดกับฝาครอบด้านที่มีใบพัด ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟสและมอเตอร์ 1 เฟสขนาดใหญ่

5. ใบพัด (Fan) จะทำด้วยเหล็กหล่อ มีลักษณะเท่ากันทุกครีบเท่ากันทุกครีบ จะสวมยึดอยู่บนเพลาด้านตรงข้ามกันกับเพลางาน ใบพัดนี้จะช่วยในการระบายอากาศและความร้อนได้มากทีเดียวใบพัดนี้ส่วนใหญ่จะมีในมอเตอร์ 3 เฟสและมอเตอร์ 1 เฟสขนาดย่อยถึงขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับฝาครอบใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

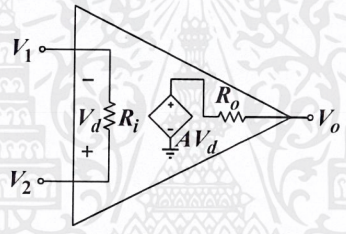
6. สลักเกลียว (Bolt) จะทำด้วยเหล็กเหนียวจะมีลักษณะเป็นเกลียวตลอด ถ้าเป็นมอเตอร์ 3 เฟส จะประกอบด้วยสลักเกลียว 8 ตัว ทำหน้าที่ยึดฝาครอบให้ติดกับโครง ถ้าเป็นมอเตอร์ 1 เฟสขนาดเล็กเช่น มอเตอร์สปลิตเฟสจะเป็นสลักเกลียวยาวตลอดความยาวของตัวมอเตอร์ ทำเกลียวเฉพาะด้านปลายและมีน็อตขันยึดไว้ ดังนั้นจึงมีเพียง 4 ตัว

2.6 ออปแอมป์ (Operational Amplifiers) [2]

ออปแอมป์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีการทำงานเป็นแบบ Voltage-controlled voltage souce ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับสัญญาณได้ดังนี้

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

ภายในตัวออปแอมป์เมื่อพิจารณาถึงวงจรภายใน ในสภาวะที่ไม่เป็นอุดมคติ (non-ideal) จะประกอบไปด้วยวงจรสมมูล ดังรูป



รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลของ non-Ideal Op amp

เมื่อพิจารณาถึงวงจรสมมูล ดังรูปที่ 2.15 สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาท์พุต ดังนี้

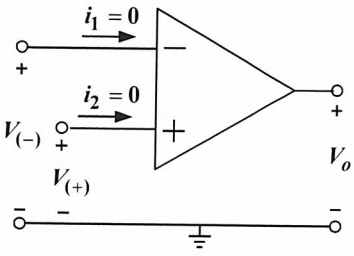
$$V_0 = AV_d = A(V_2-V_1) \qquad (2.24)$$

ซึ่งแหล่งจ่ายแรงดัน จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อ มีแรงดันตกคร่อมที่ R_1 ซึ่งจะเกิดขึ้นจากแรงดันอินพุตV_1 และ V_2 นั่นเอง เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์วงจรออปแอมป์จะใช้คุณลักษณะทางอุดมคติในการวิเคราะห์วงจร

2.6.1 นิยามของออปแอมป์ในอุดมคติ

การพิจารณาออปแอมป์ทางอุดมคติจะกำหนดให้อัตราขยายลูปเปิด A มีค่าอนันต์ ความต้านทานอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ และความต้านทานเอาท์พุตมีค่าเป็นศูนย์และสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ออปแอมป์ทางอุดมคติ

ดังนั้นกระแสที่ไหลเข้าออปแอมป์ทางด้านอินพุตจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$i_1 = 0 \text{ และ } i_2 = 0 \tag{2.25}$$

และแรงดันที่ขาบวกและขาลบจะมีค่าเท่ากัน

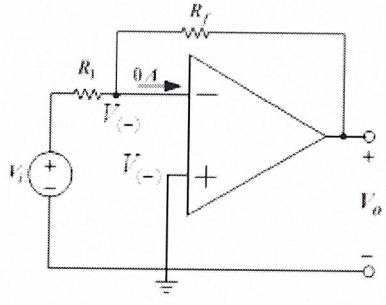
$$V_{(+)} = V_{(-)} \tag{2.26}$$

เราสามารถหา $V_{(+)}$, $V_{(-)}$ ง่ายๆด้วยการสังเกตที่วงจรถ้าขั้วใดขั้วหนึ่งต่อลงกราวด์ค่าแรงดันตกคร่อมก็จะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือถ้าเกิดต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน ค่าแรงดันตกคร่อมที่ขั้วก็จะมีค่าเท่ากับค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น

เราจะเห็นแล้วว่าสมการเริ่มคำนวณง่ายขึ้น แต่ก็คงสงสัยต่อไปว่าจะคำนวณหาค่าแรงดันเอาท์พุตได้อย่างไรในสภาวะอุดมคตินี้ เราสามารถหาสมการของแรงดันอินพุตและเอาท์พุตได้จากทฤษฎีของ Kirchhoff's Current Laws (KCL) มาช่วยในการคำนวณหาสมการความสัมพันธ์นั้น

2.6.2 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่กลับสัญญาณอินพุตให้มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิม



รูปที่ 2.17 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูป 2.17 เราจะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันอินพุต คือ

$$V_{(+)} = 0 = V_{(-)} \tag{2.27}$$

(ขั้วบวกของออปแอมป์ต่อลงกราวด์ แรงดันที่ขั้วมันจึงมีค่าเท่ากับศูนย์)

พิจารณาที่โนด $V_{(-)}$ จาก KCL; $\dfrac{V_{(-)} - V_i}{R_1} + \dfrac{V_{(-)} - V_0}{R_f} = 0$

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

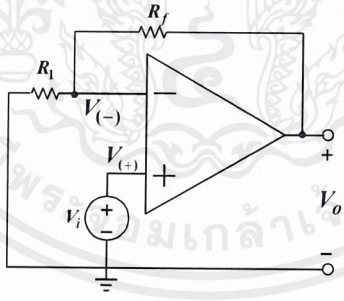
$$\frac{-V_i}{R_1} - \frac{V_0}{R_f} = 0 \tag{2.28}$$

ซึ่ง $-\dfrac{R_f}{R_1}$ คือ ค่า voltage gain

จะเห็นได้ว่าค่า voltage gain มีค่าติดลบซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงวงจรดังกล่าวทำหน้าที่กลับสัญญาณ

2.6.3 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ voltage gain มีค่าเป็นบวก หรือให้ค่าเอาท์พุตคงค่าเครื่องหมายเหมือนเดิม



รูปที่ 2.18 วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

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

(ขั้วบวกของ Op amp ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน แรงดันที่ขั้วมันจึงมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายนั้น)

พิจารณาที่โนด $V_{(-)}$ จาก KCL; $\dfrac{V_{(-)}}{R_1} + \dfrac{V_{(-)} - V_0}{R_f} = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i - V_0}{R_f} = 0 \qquad (2.29)$$

2.7 การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง (DC High Voltage) [1]

แรงดันสูงกระแสตรงอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ขณะเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง มีการเก็บสะสมประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆกับพื้นดิน ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน ในทางปฏิบัติเราสร้างแรงดันสูงกระแสตรงขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ได้โดย

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

2.8 เทคนิคการวัดทางด้านไฟฟ้าแรงสูง [1]

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

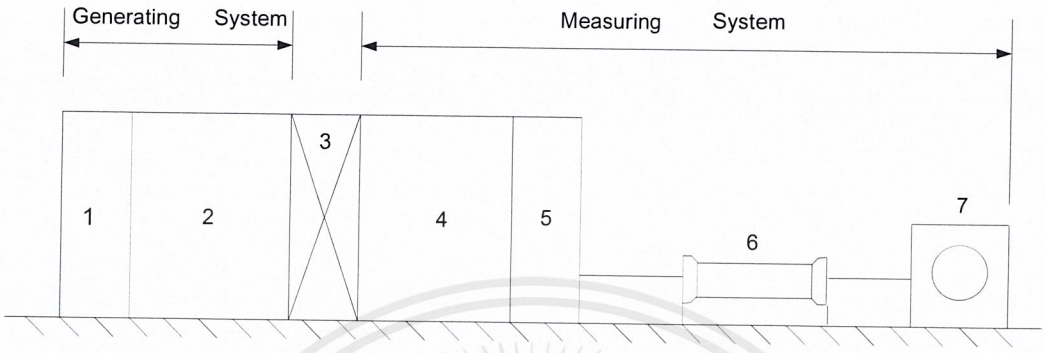
เทคนิคการวัดแรงดันสูงนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันที่วัดแล้วยังขึ้นอยู่กับชนิดของแรงดันที่วัดอีกด้วย โดยแบ่งชนิดของแรงดันเป็น 3 ชนิด คือแรงดันกระแสตรง แรงดันกระแสสลับ และแรงดันอิมพัลส์ (Impulse Voltage) ซึ่งสามารถใช้เทคนิคการวัดแรงดันสูง วิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

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

เทคนิคการวัดแรงดันสูงทั้งสี่วิธีนี้ วิธีวัดโดยใช้ตัวแบ่งแรงดันเป็นวิธีที่นิยมมาก เพราะวัดได้ง่าย อ่านค่าได้โดยตรง และที่สำคัญ คือสามารถทราบรูปคลื่นแรงดันที่วัดได้ การวัดวิธีนี้ โดยทำการแบ่งแรงดันลงมาเพื่อวัด จะต้องคำนึงถึง ความผิดพลาดของค่าที่วัดได้ และความผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Distortion) ของสัญญาณขาเข้า ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของตัวแบ่งแรงดันเอง ดังนั้นระบบวัดที่ดี จะต้องพัฒนาเพื่อให้ได้ค่าจากการวัดที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ รูปที่ 2.19 แสดงระบบวัดทางด้านไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 2.19 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)

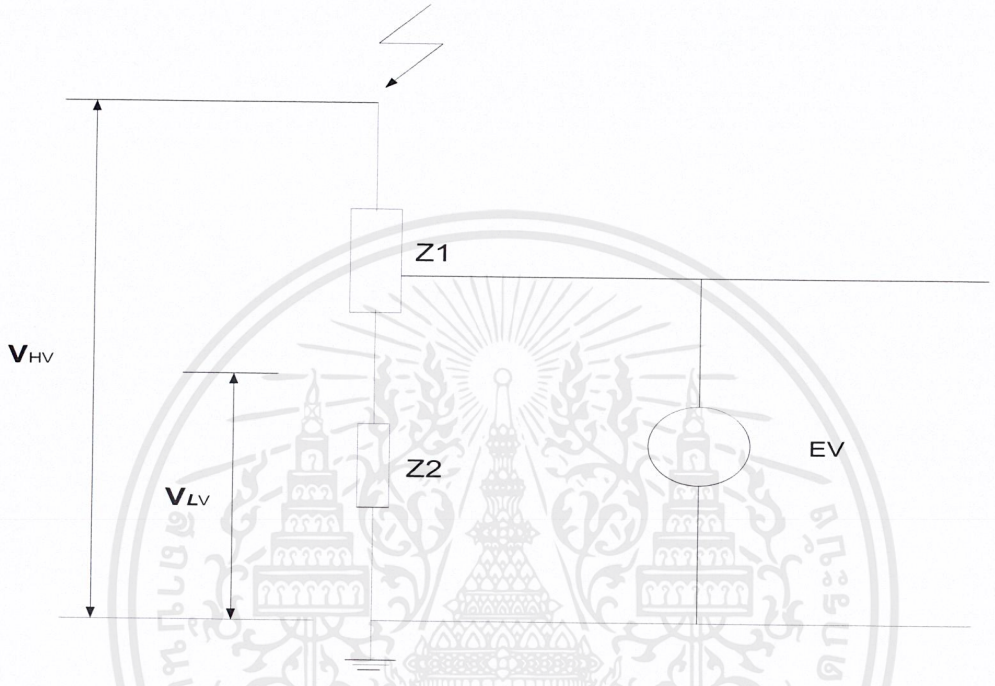
เนื่องจากที่ระดับแรงดันสูง ความต้องการระยะห่างฉนวนจะต้องมากตาม ดังนั้นตัวแบ่งแรงดันโดยทั่วไป จึงไม่สามารถต่อโดยตรงกับวัสดุทดสอบ จำเป็นจะต้องมีสายต่อระหว่างกัน สำหรับที่ความถี่สูง สเตรย์คาปาซิแตนซ์ (Stray Capacitance) สู่ดินและความเหนี่ยวนำของสายต่อแรงสูงจะเป็นส่วนสำคัญที่จะต้องคำนึงถึง เพราะจะทำให้แรงดันที่วัสดุทดสอบมีค่าแตกต่างจากแรงดันที่ตัวแบ่งแรงดัน

2.9 ตัวแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) [1]

ตัวแบ่งแรงดันเป็นอุปกรณ์สำหรับใช้วัดแรงดัน หลักการของการวัดก็คือจะแบ่งทอนแรงดันสูงๆ ออกเป็นแรงดันต่ำพอที่จะใช้โวลต์มิเตอร์ หรือเครื่องวัดแบบอื่นวัดได้ โดยต่ออิมพีแดนซ์ภาคแรงสูงเข้ากับแรงดันที่จะวัดแล้วแบ่งเอาแรงดัน ที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ภาคแรงต่ำแต่เพียงส่วนน้อยออกมาวัดฉะนั้นตัวแบ่งแรงดันจึงแบ่งออกเป็นภาคแรงสูงและภาคแรงต่ำ ปลายข้างหนึ่งของภาคแรงสูงจะต่ออยู่กับสายต่อแรงสูงที่จะวัด ส่วนอีกปลายหนึ่งของภาคแรงสูงจะต่ออยู่กับปลายหนึ่งของภาคแรงต่ำ และอีกปลายหนึ่งของภาคแรงต่ำมักจะต่อลงดิน ตรงรอยต่อระหว่างภาคแรงสูงกับภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงต่ำนี้เอง จะเป็นจุดที่ต่อออกมาเข้าเครื่องวัด เครื่องวัดที่จะนำมาต่อเข้ากับตัวแบ่งแรงดันนี้ จะต้องเป็นเครื่องวัดที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดนั่น คือจะต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ทางขาเข้าสูงมากๆ เช่น อิเลคโตรสแตติกส์โวลต์มิเตอร์ กล่าวคืออิมพีแดนซ์ของเครื่องวัดจะต้องไม่มีผลกระทบต่ออัตราส่วนแรงดัน (Voltage Ratio) ของตัวแบ่งแรงดัน รูปที่ 2.20 แสดงวงจรแบบง่ายของตัวแบ่งแรงดัน



รูปที่ 2.20 วงจรแบบง่ายของตัวแบ่งแรงดัน

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

จากความสัมพันธ์ทางไฟฟ้า อาจคำนวณหาแรงดันที่ต้องการวัดได้จากสมการ

$$V_{HV} = \frac{(Z_1+Z_2)}{Z_2} \times V_{LV} \qquad (2.30)$$

ในการวัดแรงดันสูงด้วยตัวแบ่งแรงดัน ความเที่ยงตรงของการวัดแรงดันสูงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของอิมพีแดนซ์ ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความถี่เปลี่ยน และความเที่ยงตรงของเครื่องวัด ปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ผลของการวัดผิดพลาดได้ก็คือ องค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ผลกระทบจากความร้อน โดยความผิดพลาดดังกล่าวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะหมดไป เมื่ออิมพีแดนซ์ Z_1 และ Z_2 เป็นวัตถุ หรือสารประเภทเดียวกัน ซึ่งอิมพีแดนซ์ที่ใช้ทำตัวแบ่งแรงดันอาจเป็นความต้านทาน หรือคาปาซิเตอร์ก็ได้ โดยถ้าเป็นตัวแบ่งแรงดันแบบความต้านทานจะใช้วัดแรงดันสูงกระแสตรง และยังสามารถวัดแรงดันกระแสสลับได้ในย่านไม่เกิน 20-30 kV และสำหรับตัวแบ่งแรงดันแบบคาปาซิเตอร์จะใช้วัดแรงดันสูงกระแสสลับเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและประกอบสร้าง

3.1 การออกแบบชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว [1]

เนื่องจากชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเครื่องเก่าดังรูปที่ 3.1 ยังใช้งานได้ยากเกินไปเนื่องจากมีความยากลำบากในการบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวและการนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นแล้วออกจากชุดเพลท เพราะชุดเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวของเดิมมีความสูงมากเกินไป และเมล็ดพันธุ์ข้าวไม่สามารถไหลลงด้านหน้าได้อย่างสะดวกทำให้ยากในการนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นออก จึงได้มีการออกแบบชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวใหม่ ซึ่งจะช่วยให้ใช้งานได้สะดวกขึ้น



รูปที่ 3.1 เพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเครื่องเก่า

3.1.1 การคำนวณค่าแรงดันที่ใช้

จากการศึกษาพบว่าอัตราการงอกและความยาวรากของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นจะมีค่ามากเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสม่ำเสมอให้กับเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ค่าสนามไฟฟ้าอยู่ในช่วง 3 kV/cm และระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่กระตุ้น

จากการออกแบบอิเล็กโทรดที่ใช้จะเป็นแบบระนาบที่ให้ค่าสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ จากสมการของอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะได้ว่า

$$E_{avg} = \frac{V}{d} \tag{3.1}$$

โดยที่ E_{avg} คือ ค่าสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด (V/cm)
V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไประหว่างอิเล็กโทรด (V)
d คือ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดค่าระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (d=4 cm) จากสมการที่ 3.1 ทำการคำนวณหาค่าแรงดันที่จะป้อนที่ค่าสนามไฟฟ้า 3 kV/cm

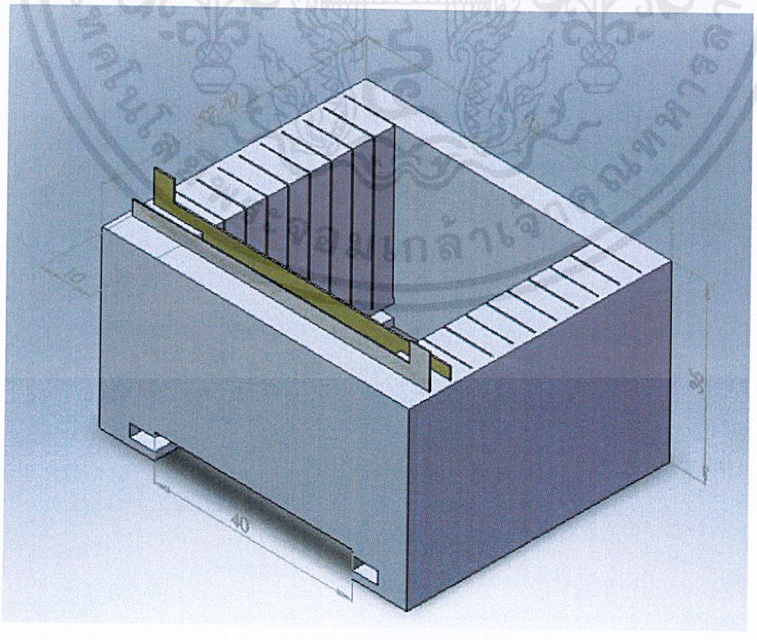
$$V = E_{avg} \cdot d$$
$$= 3 \text{ kV/cm} \times 4 \text{ cm}$$
$$= 12 \text{ kV}$$

ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวแต่ละครั้งจะกระตุ้นครั้งละประมาณ 20-25 kg เนื่องจากเป็นปริมาณที่ใช้ในการปลูกข้าว 1 ไร่เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพตามที่ต้องการ โดยข้าวปริมาตร 1,000 cm^3 จะมีน้ำหนักประมาณ 0.55 kg ดังนั้นข้าว 25 kg จะมีปริมาตรประมาณ 45,454.54 cm^3 โดยปริมาตรของส่วนที่ใช้บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ได้ออกแบบคือ 42.7cm x 40cm x 30cm = 51,240 cm^3

3.1.2 การออกแบบเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

โดยในการออกแบบเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวใหม่นั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆด้วยกัน ได้แก่

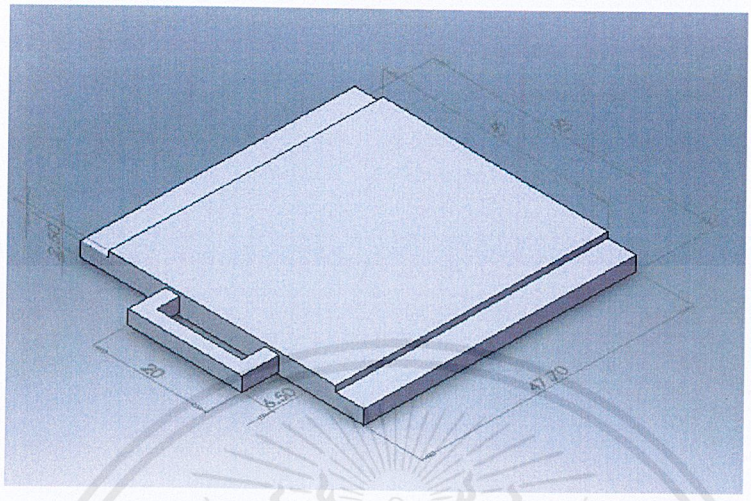
1. ส่วนที่ใช้บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าว เป็นส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวที่จะกระตุ้นโดยมีขนาด 52.7 cm x 62 cm x 35 cm และมีช่องสำหรับใส่แผ่นเพลท โดยวัสดุที่ใช้ในการออกแบบเป็นพีวีซีซึ่งมีความคงทนและมีคุณสมบัติเป็นฉนวน โดยส่วนที่บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวจะห่างจากขอบของแผ่นเพลทเข้ามาด้านละ 10 cm ดังรูปที่ 3.2 เนื่องจากบริเวณขอบของแผ่นเพลทจะมีค่าสนามไฟฟ้าไม่คงที่จนถึงระยะประมาณ 10 cm จึงจะมีค่าสนามไฟฟ้าเริ่มคงที่



รูปที่ 3.2 ส่วนที่ใช้บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าว

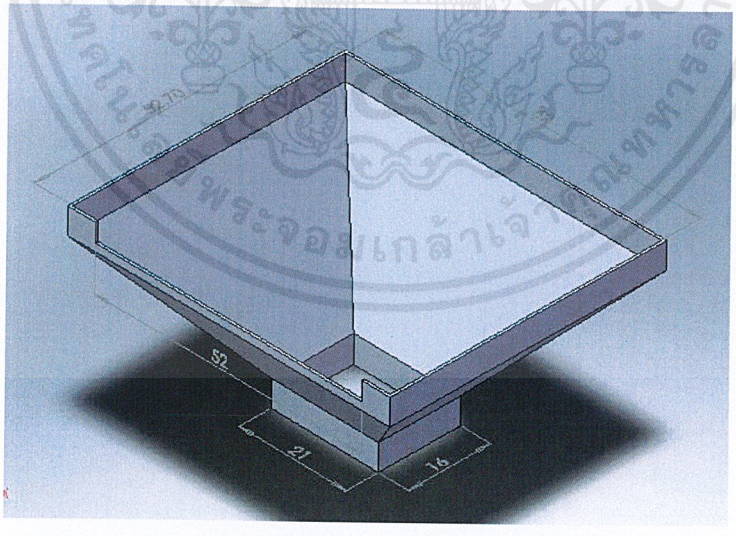
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนฐานใช้สำหรับดึงเข้า-ออก เป็นส่วนที่ใช้เป็นฐานและดึงออกเมื่อต้องการนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นแล้วออกจากชุดเพลท โดยมีขนาด 47.7 cm x 50 cm และมีส่วนที่เป็นที่จับไว้ใช้ดึงดังรูปที่ 3.3



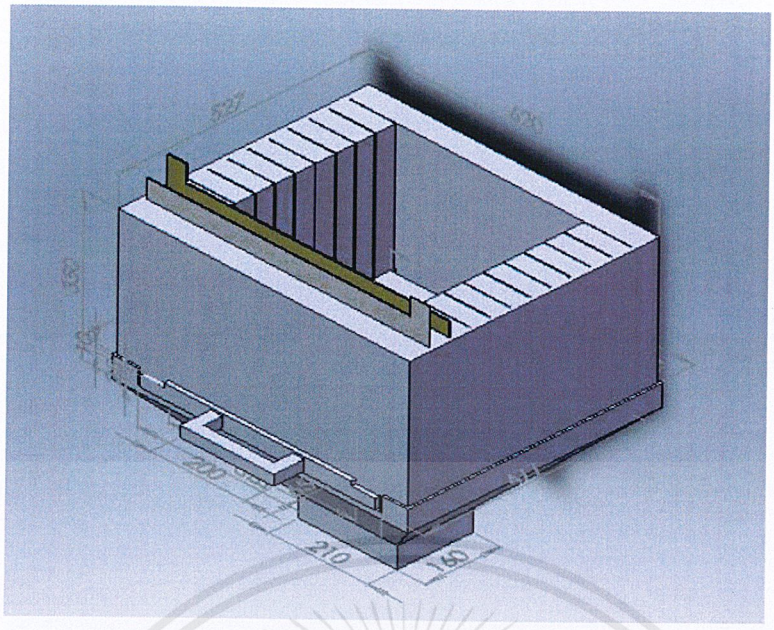
รูปที่ 3.3 ส่วนฐานใช้สำหรับดึงเข้า-ออก

3. ส่วนที่ใช้ช่วยในการบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวลงกระสอบ เป็นส่วนที่ช่วยในการบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังจากผ่านการกระตุ้นลงกระสอบซึ่งจะไปยึดติดที่ด้านล่างของส่วนเพลทที่ใช้บรรจุข้าว มีขนาดของปล้องที่ใช้กรอกข้าว 15 cm x 20 cm ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ส่วนที่ใช้ช่วยในการบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวลงกระสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

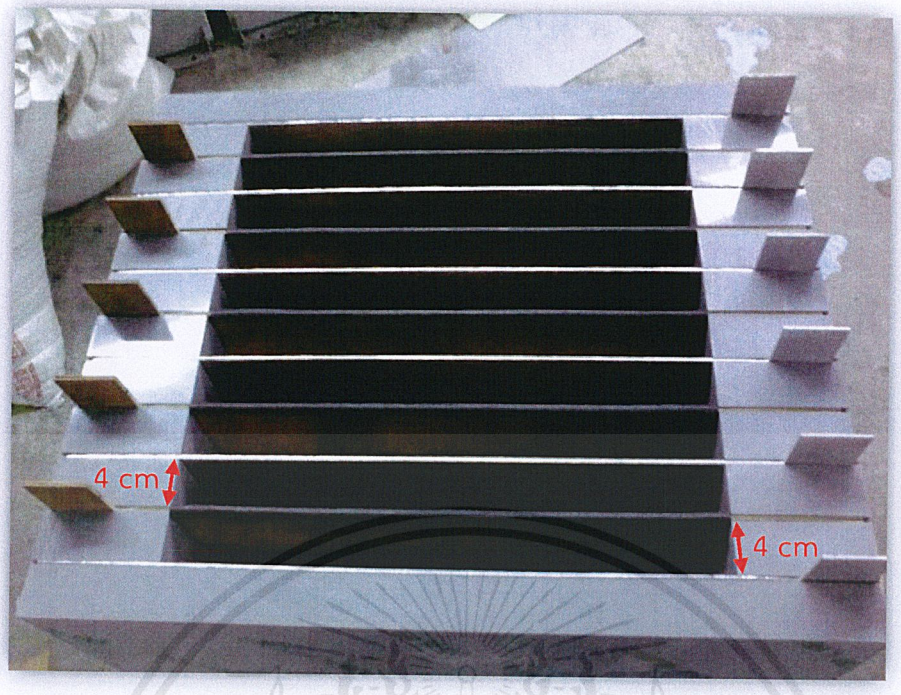


รูปที่ 3.5 ชุดเพลทที่ใช้บรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ออกแบบ



รูปที่ 3.6 ชุดเพลทที่ประกอบสร้างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



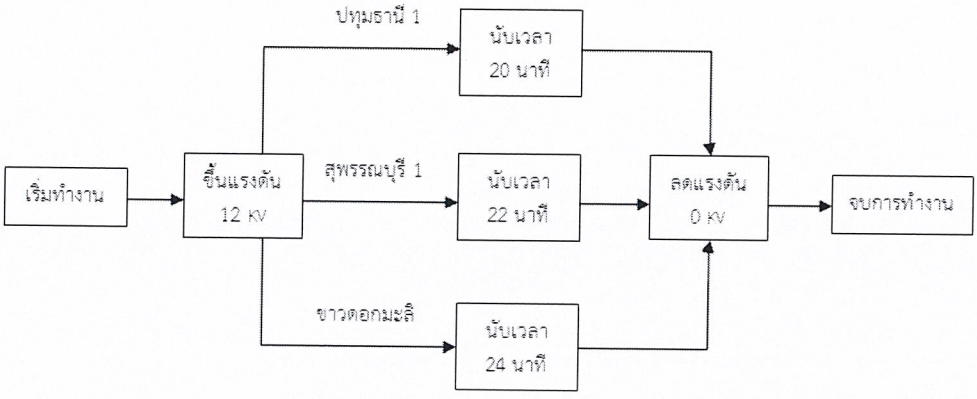
รูปที่ 3.7 ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลท

แผ่นเพลทที่ใช้ในการออกแบบจะเป็นแผ่นทองแดงซึ่งใช้ต่อกับไฟด้านแรงสูง และแผ่นอลูมิเนียมซึ่งใช้ต่อกับกราวน์ โดยมีระยะระหว่างแผ่นเพลททั้งสองห่างกัน 4 cm

3.2 การควบคุมแรงดัน

ลักษณะการทำงานของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก จะใช้สนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า 3 kV/cm ซึ่งจะต้องมีการควบคุมแรงดันไว้ที่ 12 kV เพื่อให้ได้ค่าสนามไฟฟ้าตามที่ต้องการ โดยหลักการที่ได้นำมาใช้ในการควบคุมแรงดันคือ มีการตรวจจับแรงดันโดยเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันที่รับค่ามาจากโวลท์เตจดิไวเดอร์ เมื่อถึงค่าแรงดันที่ตั้งค่าไว้แล้ว พีแอลซีซึ่งเป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด ตั้งเวลา ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อเพิ่มหรือลดแรงดัน ก็จะทำงานแล้วไปควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อขับหม้อแปลงอัตโนมัติให้สามารถหยุดที่แรงดันตามพิกัดที่กำหนดไว้ โดยหม้อแปลงอัตโนมัติที่ใช้มีพิกัด 0 – 220 V, 6 kVA ซึ่งหม้อแปลงอัตโนมัติก็จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงแรงดันสูงต่อไป ซึ่งวิธีการควบคุมแรงดันดังกล่าวนี้เป็นวิธีที่มีเสถียรภาพ และยังสามารถรักษาระดับแรงดันได้อย่างแม่นยำ และยังปลอดภัยแก่ผู้ใช้งานอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมการทำงาน

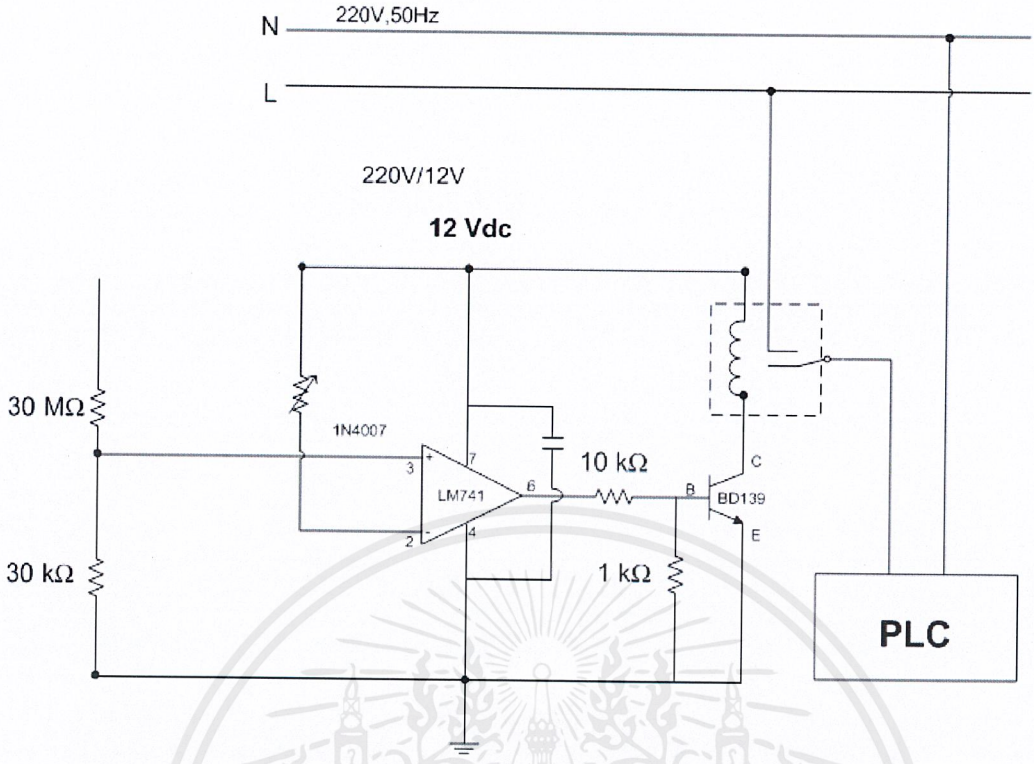
3.3 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน [2]

เนื่องจากเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันของเดิมยังมีปัญหาในการใช้งานคือ เมื่อระบบทำงานไปชั่วครู่แล้วออปแอมป์จะเกิดการเสียหาย ซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในตู้ควบคุมหรือเกิดจากไฟกระชากที่เข้าสู่วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน จึงได้มีการปรับปรุงวงจรเซนเซอร์ใหม่

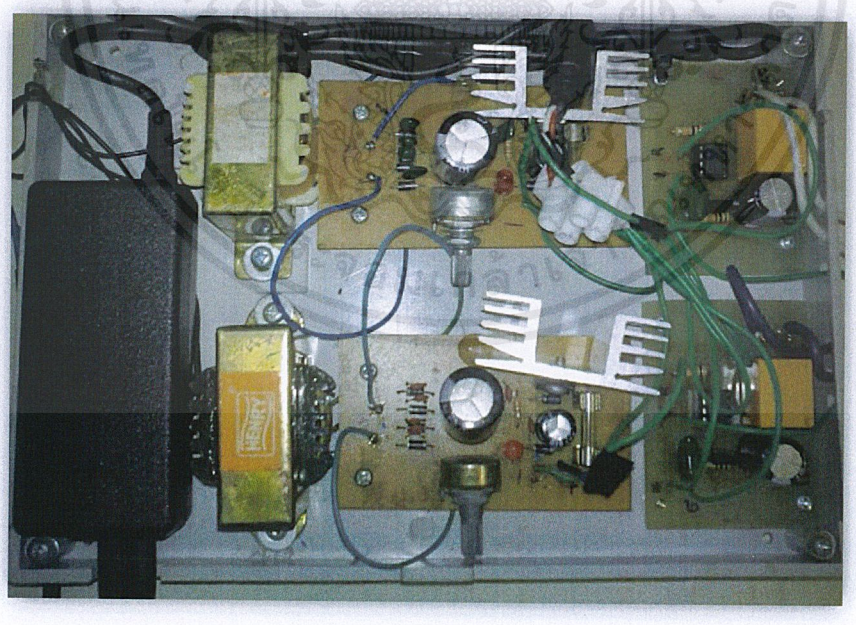
หลักการทำงานของวงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันที่ใช้คือ มีการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างขา 2 กับขา 3 ของออปแอมป์ ซึ่งออปแอมป์ที่ใช้ คือ LM741 เมื่อ PLC สั่งให้มอเตอร์ขับหม้อแปลงอัตโนมัติเพิ่มแรงดันจนถึงค่าที่ตั้งไว้ จะมีแรงดันเอาท์พุทออกมาจากโวลท์เตจดิไวเดอร์ผ่านมายังออปแอมป์ ถ้าแรงดันที่ขา 3 มากกว่าแรงดันอ้างอิงที่ขา 2 ทำให้ออปแอมป์ทำงาน ก็จะมีแรงดันไปไบแอสทรานซิสเตอร์เพื่อให้รีเลย์ทำงานส่งสัญญาณไปยัง PLC ไปสั่งให้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติหยุดจ่ายแรงดัน โดยเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันจะมี 2 เอาท์พุทเพื่อรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในช่วง 12 kV – 13 kV

โดยเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันที่ทำขึ้นใหม่ได้มีการใส่ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิคเข้ามาในวงจรเพื่อช่วยในการป้องกันไฟกระชากและสัญญาณรบกวน แล้วจึงนำไปทดลองการจ่ายแรงดันร่วมกับแหล่งจ่ายไฟ DC ซึ่งสามารถใช้งานได้ตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

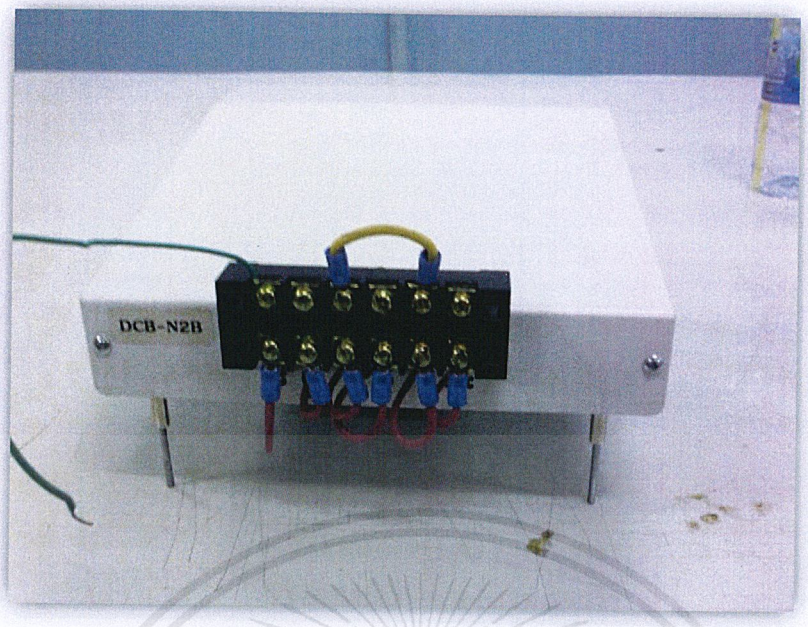


รูปที่ 3.9 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน



รูปที่ 3.10 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันที่ปรับปรุงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 กล่องวงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน

3.4 การออกแบบการใช้งาน PIC กับจอแสดงผล LCD

3.4.1 การเลือกใช้ PIC กับจอแสดงผล LCD แทนจอแสดงผลเดิม

เนื่องจากจอแสดงผลการนับเวลาของตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติเดิม มีการแสดงผลการนับเวลาของพันธุ์ข้าว 3 ชนิดโดยแบ่งการแสดงผลเป็น 3 หน้าจอ ซึ่งแต่ละหน้าจอแสดงผลจะมีวงจรเพื่อให้ทำงานแสดงเวลานับถอยหลัง จึงต้องใช้ถึง 3 วงจรเพื่อมาต่อแสดงผลให้กับหน้าจอ ทำให้มีการประยุกต์ใช้จอแสดงผล LCD แทนเพื่อแสดงผลการทำงาน ซึ่งประโยชน์จากการใช้จอแสดงผล LCD ได้แก่

1. ใช้วงจรในการควบคุมการแสดงผลการทำงานเพียงวงจรเดียว โดยใช้ PIC เพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน
2. เพื่อความสะดวกในการดูผลการทำงาน จากเดิมที่ต้องดูว่าหน้าจอไหนแสดงผลการทำงาน เมื่อใช้เพียงหน้าจอเดียวทำให้สังเกตได้ง่ายขึ้น
3. ประหยัดค่าใช้จ่ายขึ้น ซึ่งการใช้ PIC กับจอแสดงผล LCD จะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้วงจรและจอแสดงผล 3 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 หน้าจอแสดงผลของตู้ควบคุมเดิม

3.4.2 การออกแบบการทำงานของ PIC กับจอแสดงผล LCD

PIC ที่ใช้งานคือ PIC16F877 นำไปใช้งานร่วมกับจอแสดงผล LCD 16x2 ซึ่งจะแสดงผลการทำงาน 16 บิต 2 บรรทัด โดยจะใช้แสดงชื่อพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการกระตุ้น และแสดงเวลานับถอยหลังของพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด โดยส่วนของวงจรหลักๆได้แก่ วงจรรีเซ็ต วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา อินพุทจากสวิตช์ 3 ตัวซึ่งเชื่อมต่อกับ PLC และเอาท์พุทออก LCD โดยมีการเขียนภาษาซีโดยใช้โปรแกรม PIC C Compiler แล้วนำไปทดสอบในโปรแกรม Proteus เพื่อนำมาต่อใช้งานจริง

หลักการทำงานของ PIC ที่เขียนโปรแกรมไว้จะมีการกดสวิตช์เลือกพันธุ์ข้าวที่จะกระตุ้น โดยจะมีสวิตช์เลือกพันธุ์ข้าว 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะใช้เวลาในการกระตุ้นที่แตกต่างกัน แล้วจอแสดงผล LCD จะแสดงชื่อพันธุ์ข้าวบรรทัดแรก และแสดงเวลานับถอยหลังในบรรทัดที่ 2

3.4.3 การเขียนคำสั่งภาษาซีของ PIC

```
#include<16F877.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPUT,NOPROTECT
#use delay (clock=4000000)
#use fast_io(B)
#define use_portb_lcd
#include<lcd.c>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 int i;
 int1 sw_1,sw_2,sw_3;
 char str1[ ]="CHOOSE";
 char str2[ ]="098765432109876543210";
 char str3[ ]="21111111111";
 char str4[ ]="2109876543210987654321O";
 char str5[ ]="2221111111111";
 char str6[ ]="43210987654321098765432l0";
 char str7[ ]="222221111111111";

 void delay_1()
 {
 for (i=0;i<20;i++)
  {
   lcd_gotoxy(9,2);
   lcd_putc(str2[i]);
   if(i<11)
   {
   lcd_gotoxy(8,2);
   lcd_putc(str3[i]);
   }
   delay_ms(60000);
   lcd_gotoxy(1,2);
   lcd_putc("                ");
   }
}

void delay_2()
{
for (i=0;i<22;i++)
 {
  lcd_gotoxy(9,2);
  lcd_putc(str4[i]);
  if(i<13)
  {
  lcd_gotoxy(8,2);
  lcd_putc(str5[i]);
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    delay_ms(60000);
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("                    ");
    }
  }

  void delay_3()
  {
  for (i=0;i<24;i++)
   {
    lcd_gotoxy(9,2);
    lcd_putc(str6[i]);
    if(i<15)
    {
    lcd_gotoxy(8,2);
    lcd_putc(str7[i]);
    }
    delay_ms(60000);
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("                    ");
    }
  }

  void main()
  {
  lcd_init();
  lcd_gotoxy(6,1);
  for (i=0;i<6;i++)
  { lcd_putc(str1[i]);
    delay_ms(300);
  }
  while(1)
  {  sw_1 = input(pin_D0);
     sw_2 = input(pin_D1);
     sw_3 = input(pin_D2);
     if (sw_1 == 0 && sw_2 == 1  && sw_3 == 1)
     { lcd_gotoxy(1,1);
      lcd_putc("                    ");
```

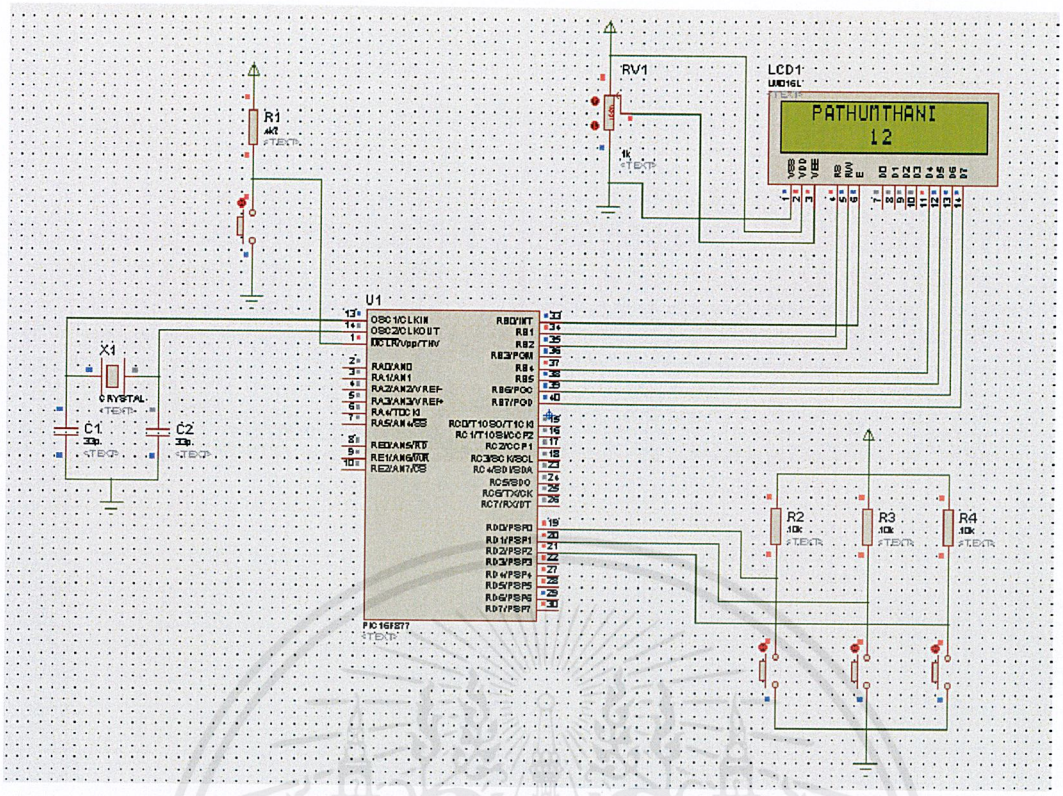
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      lcd_gotoxy(4,1);
      lcd_putc("PATHUMTHANI");
      delay_1();
      lcd_gotoxy(6,2);
      lcd_putc("FINISH");
     }
    else  if (sw_1 == 1 && sw_2 == 0  && sw_3 == 1)
    {
      lcd_gotoxy(1,1);
      lcd_putc("                    ");
      lcd_gotoxy(4,1);
      lcd_putc("SUPHANBURI");
      delay_2();
      lcd_gotoxy(6,2);
      lcd_putc("FINISH");
    }
    else  if (sw_1 == 1 && sw_2 == 1  && sw_3 == 0)
    {
      lcd_gotoxy(1,1);
      lcd_putc("                    ");
      lcd_gotoxy(6,1);
      lcd_putc("DOKMALI");
      delay_3();
      lcd_gotoxy(6,2);
      lcd_putc("FINISH");
    }
}
}
```

3.4.4 การจำลองการทำงานของ PIC ใน Proteus

เมื่อทำการเขียนคำสั่งภาษาซีแล้วก็สามารถนำมาจำลองการทำงานชอง PIC โดยใช้โปรแกรม Proteus ซึ่งต้องทำการต่อวงจรให้ครบทั้งหมดเพื่อที่จะสามารถจำลองการทำงานได้ เมื่อจำลองการทำงานสำเร็จก็ทำการทดสอบโดยการลอง run โปรแกรมที่เขียนไว้ เมื่อถูกต้องตามที่เขียนไว้แล้วก็สามารถนำไปต่อใช้งานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

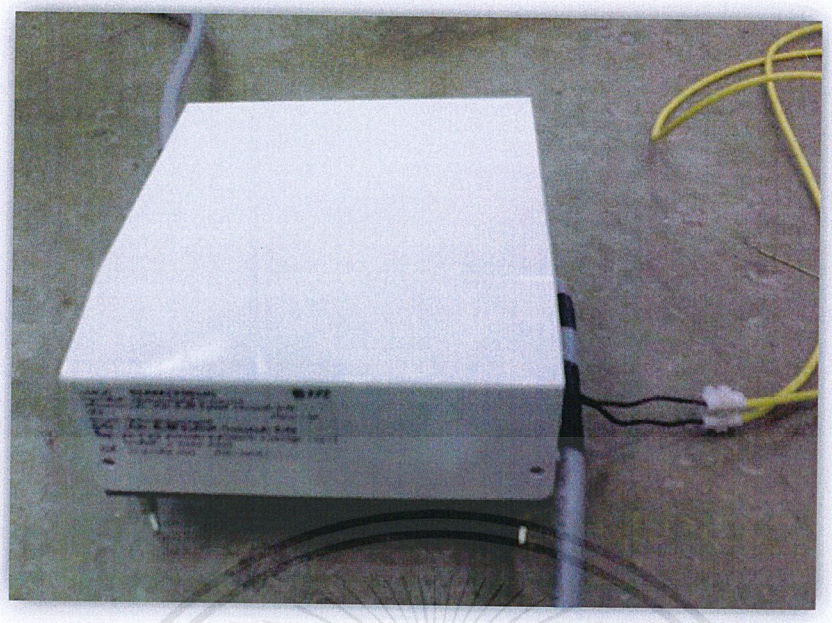


รูปที่ 3.13 วงจรของ PIC กับจอแสดงผล LCD



รูปที่ 3.14 วงจรของ PIC ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 กล่องของวงจร PIC ที่สร้างขึ้น

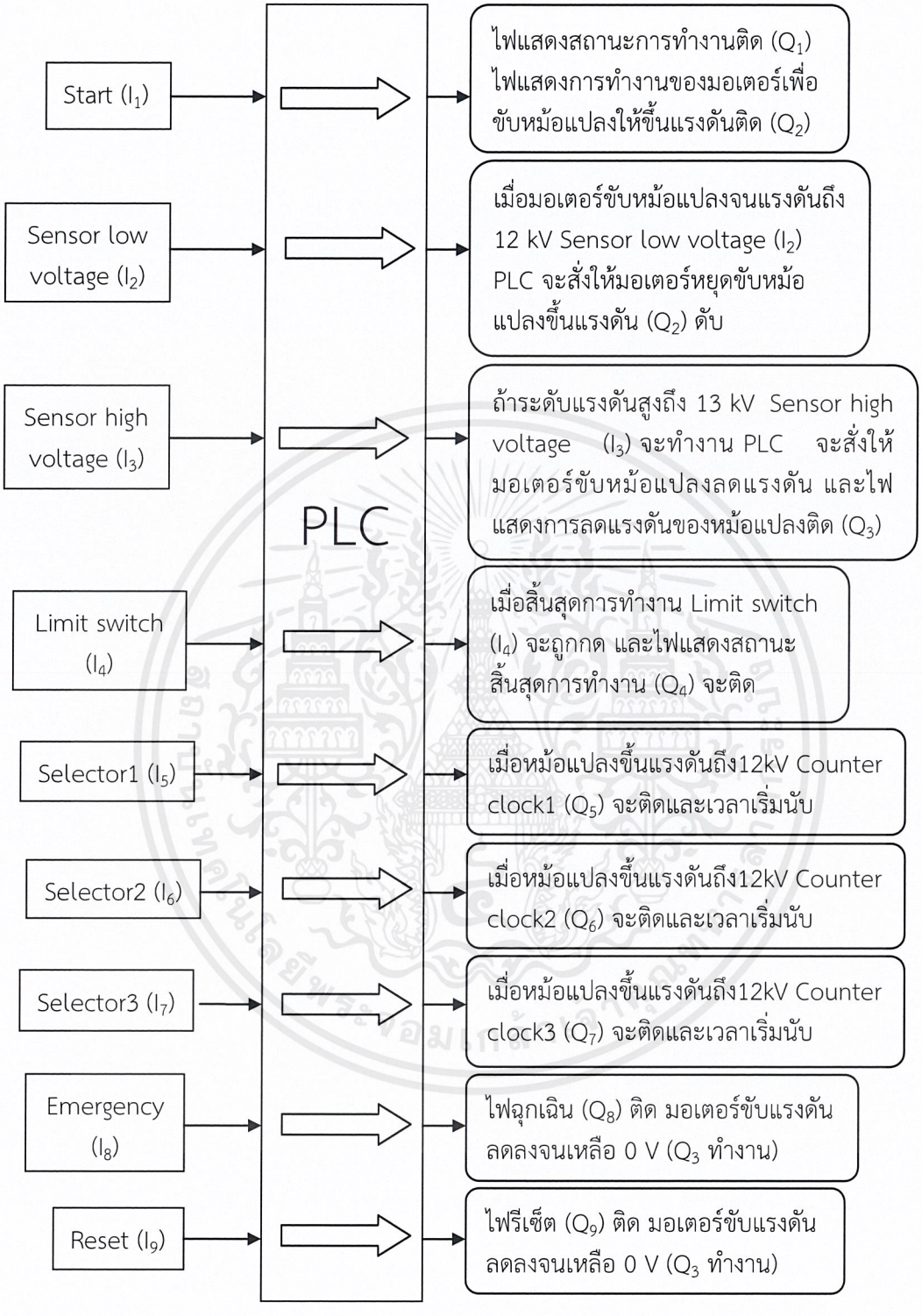
โดยกล่องของวงจร PIC ที่สร้างขึ้นนี้จะเลือกใช้กล่องเหล็กเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนและสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์ต่างๆของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

3.5 การออกแบบการใช้งาน PLC

3.5.1 การออกแบบการทำงานของ PLC

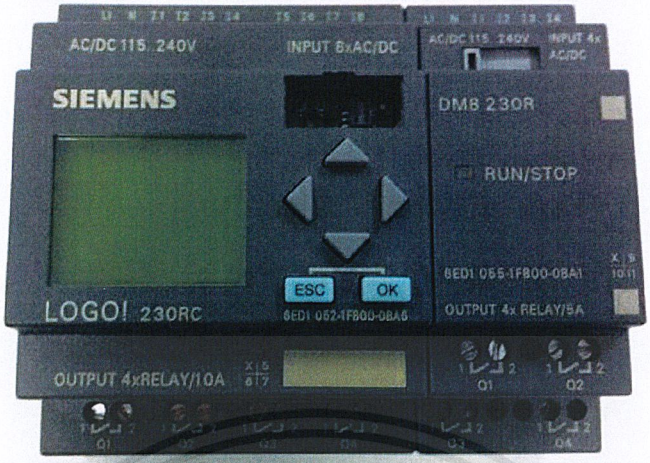
เนื่องจากการพัฒนาและปรับปรุงหน้าจอแสดงผล จากเดิมที่มี 3 หน้าจอได้ถูกพัฒนาให้เหลือเพียงหน้าจอเดียวเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน มีการนำเอาไมโครคอลโทรลเลอร์มาใช้ควบคุมการแสดงผลของหน้าจอ จึงได้มีการเขียนโปรแกรม PLC ขึ้นมาใหม่เพื่อที่จะนำไปใช้งานควบคู่กับไมโครคอลโทรลเลอร์ในการแสดงผลของหน้าจอ รวมไปถึงการควบคุมระบบการทำงานของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กนี้ด้วย โดยมีการเขียน PLC จากโปรแกรม LOGO! Comfort V6.1 ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะที่ใช้ในการเขียนแรดเดอร์ไดอะแกรมภายใน PLC ซึ่ง PLC ที่ใช้คือ LOGO! Siemens รุ่น 230RC และ Module LOGO! Siemens รุ่น DM8 230RC โดยยังสามารถจำลองการทำงานของโปรแกรมก่อนที่จะถ่ายโอนข้อมูลดังกล่าวเข้าไปภายใน PLC ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 จำลองการทำงานของ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

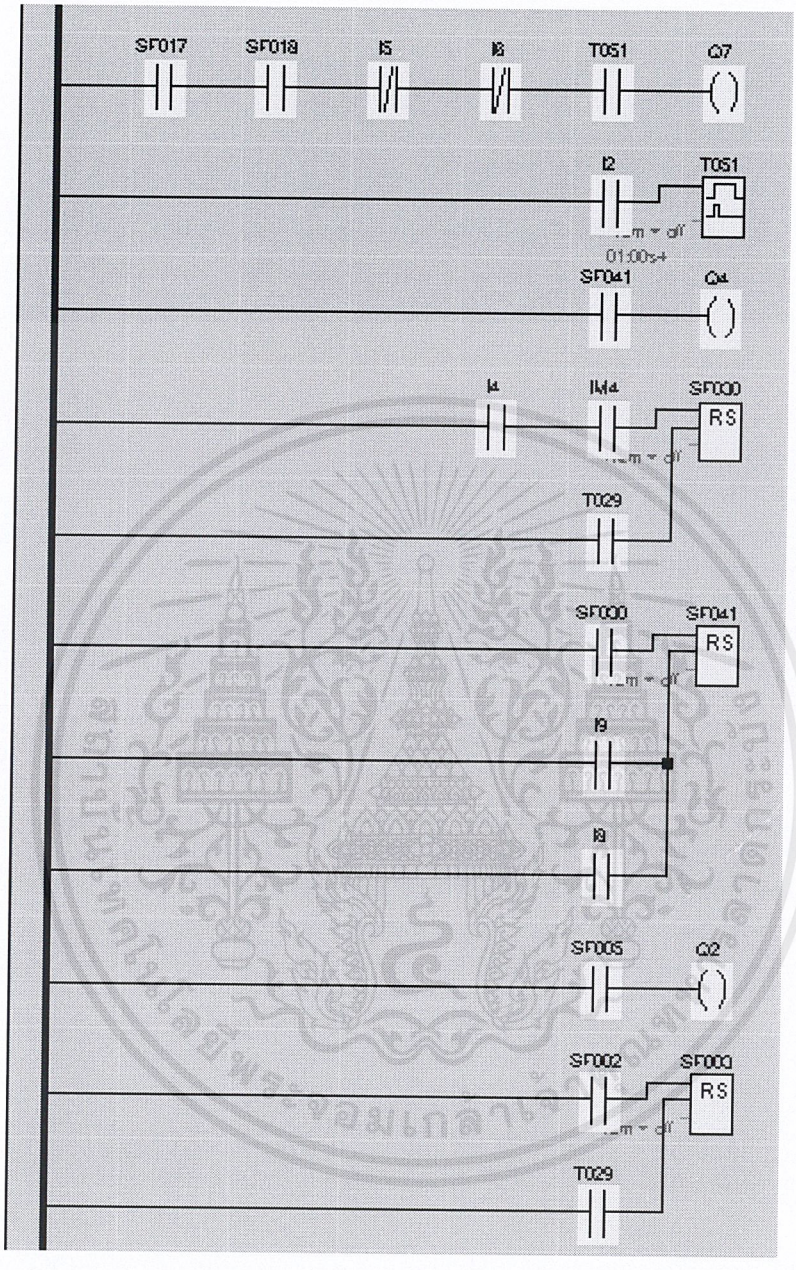


รูปที่ 3.17 พีแอลซีและโมดูล

3.5.2 การออกแบบโปรแกรม PLC

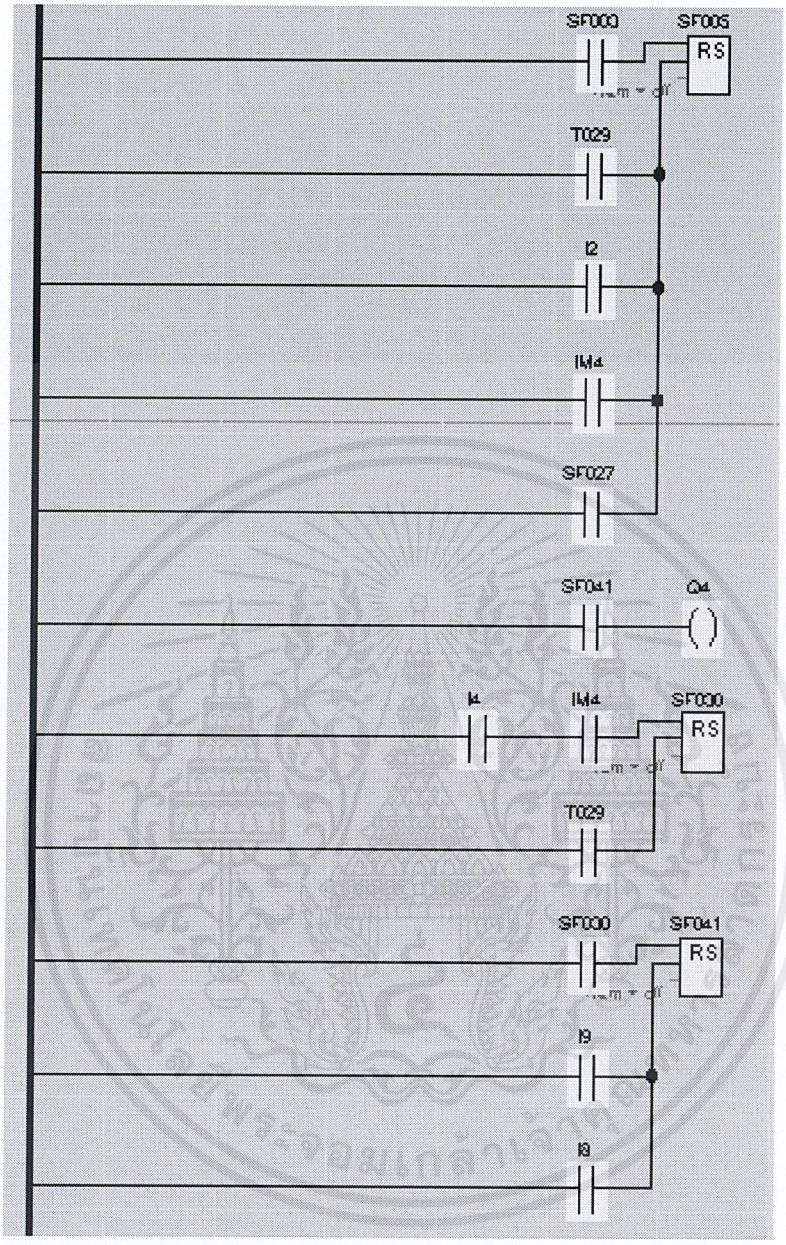
โปรแกรม PLC ที่ออกแบบจะเริ่มต้นการทำงานจาก การกดปุ่มเลือกชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ต้องการกระตุ้น (I_5,I_6,I_7) จากนั้นทำการกดปุ่ม start (I_1) เมื่อกดปุ่ม start แล้ว limit switch (I_4) จะเคลื่อนออก และมอเตอร์จะขับหม้อแปลงอัตโนมัติจนถึงระดับแรงดัน 12 kV ซึ่งช่วงที่มอเตอร์ขับแรงดันขึ้น ไฟแสดงสถานการณ์ทำงานติด (Q_1) และไฟแสดงการขึ้นแรงดันของมอเตอร์ (Q_2) จะทำงาน เมื่อระดับของแรงดันขึ้นถึง 12 kV แล้ว sensor low voltage (I_2) จะทำงาน ตัวนับเวลาจะเริ่มนับ เมื่อการนับเวลาสิ้นสุด PLC จะควบคุมให้มอเตอร์ขับหม้อแปลงอัตโนมัติลดแรงดันลงจนเป็นศูนย์โวลท์ (Q_3) limit switch จะถูกกด และไฟสิ้นสุดการทำงาน (Q_4) จะติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



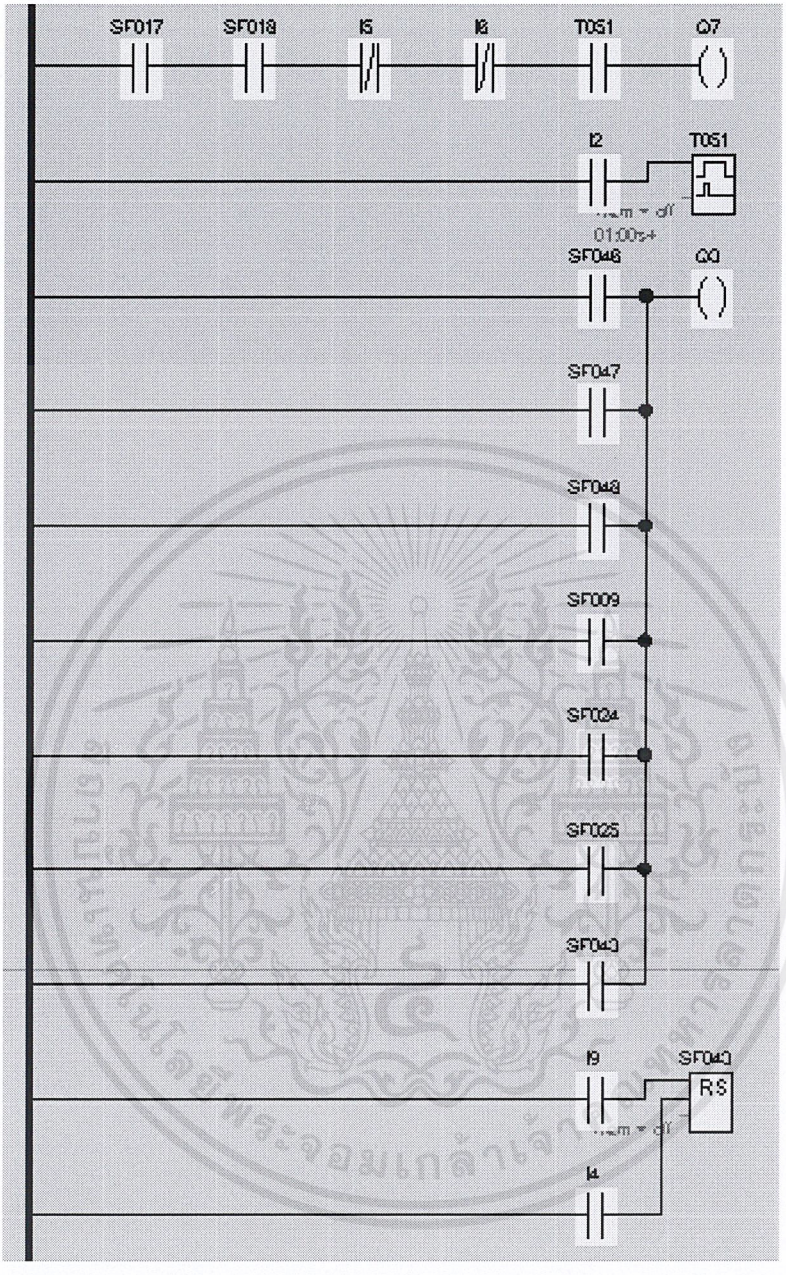
รูปที่ 3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



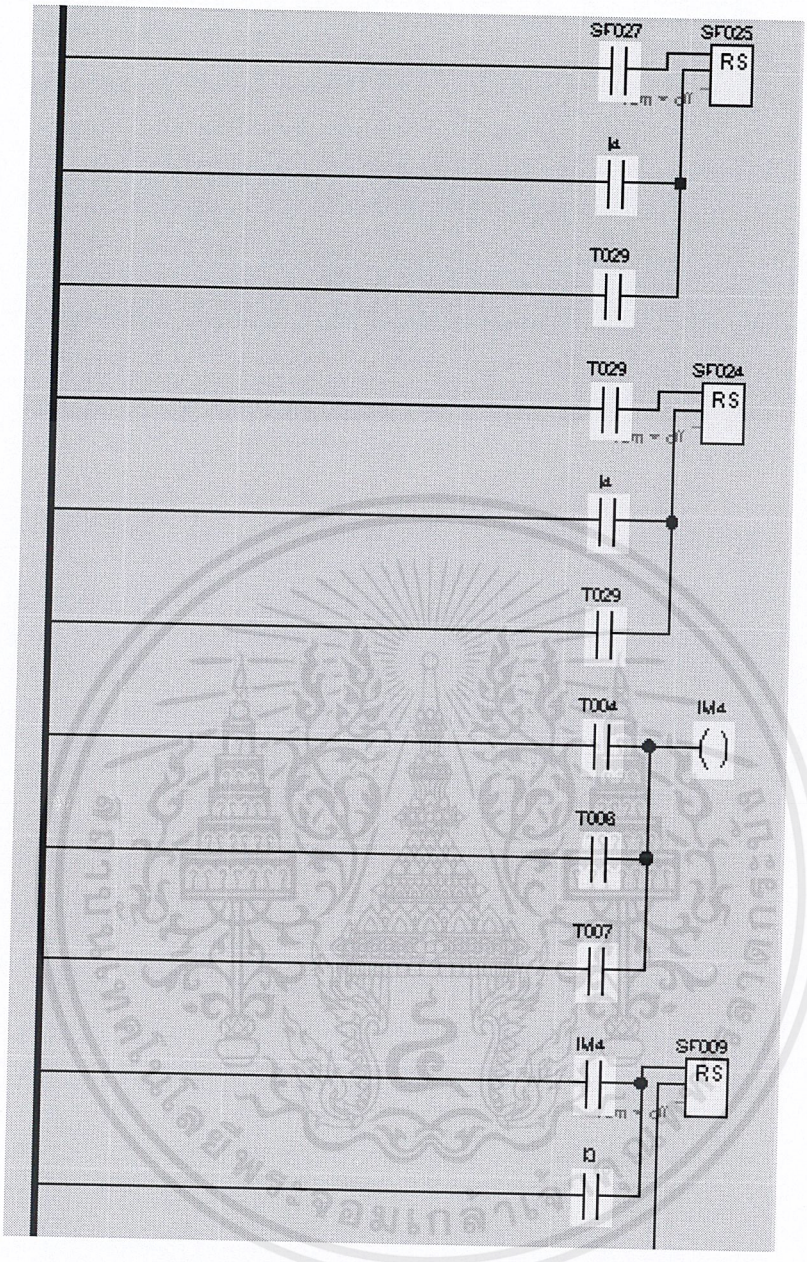
รูปที่ 3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



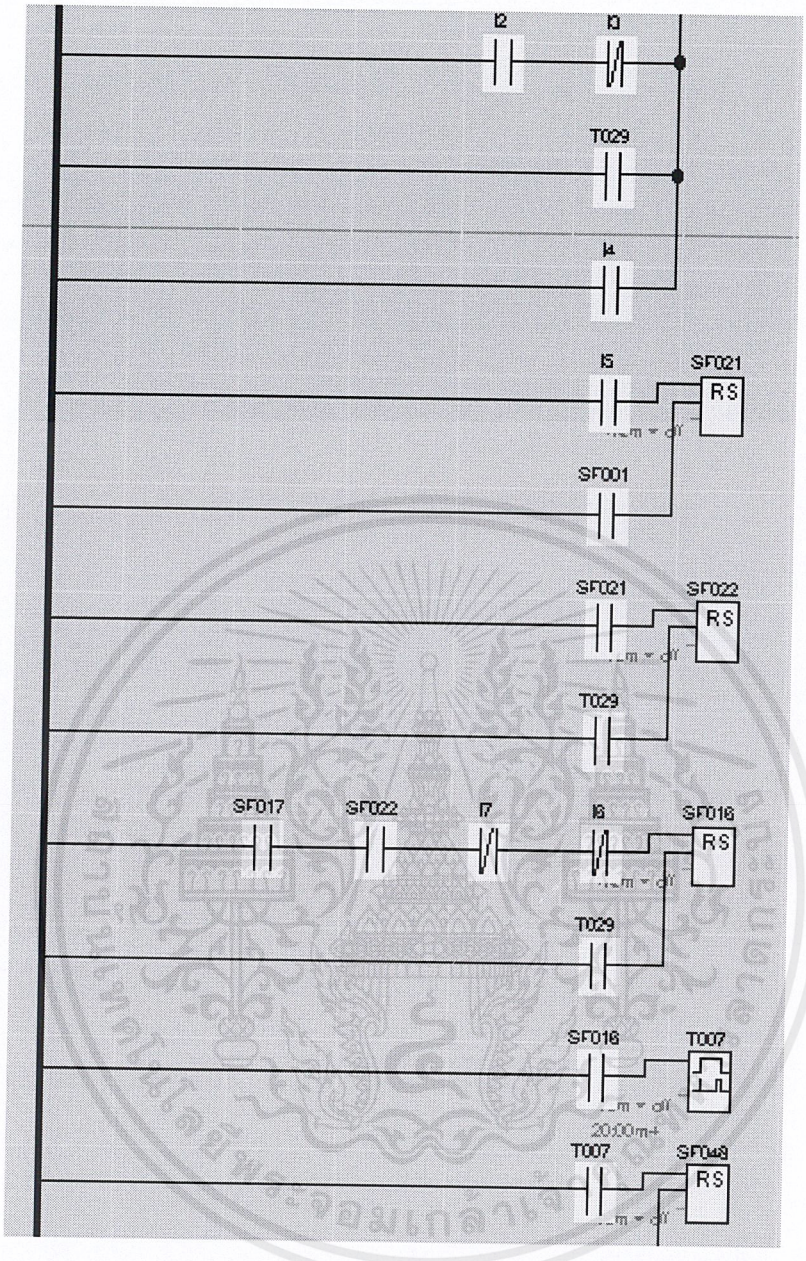
รูปที่ 3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



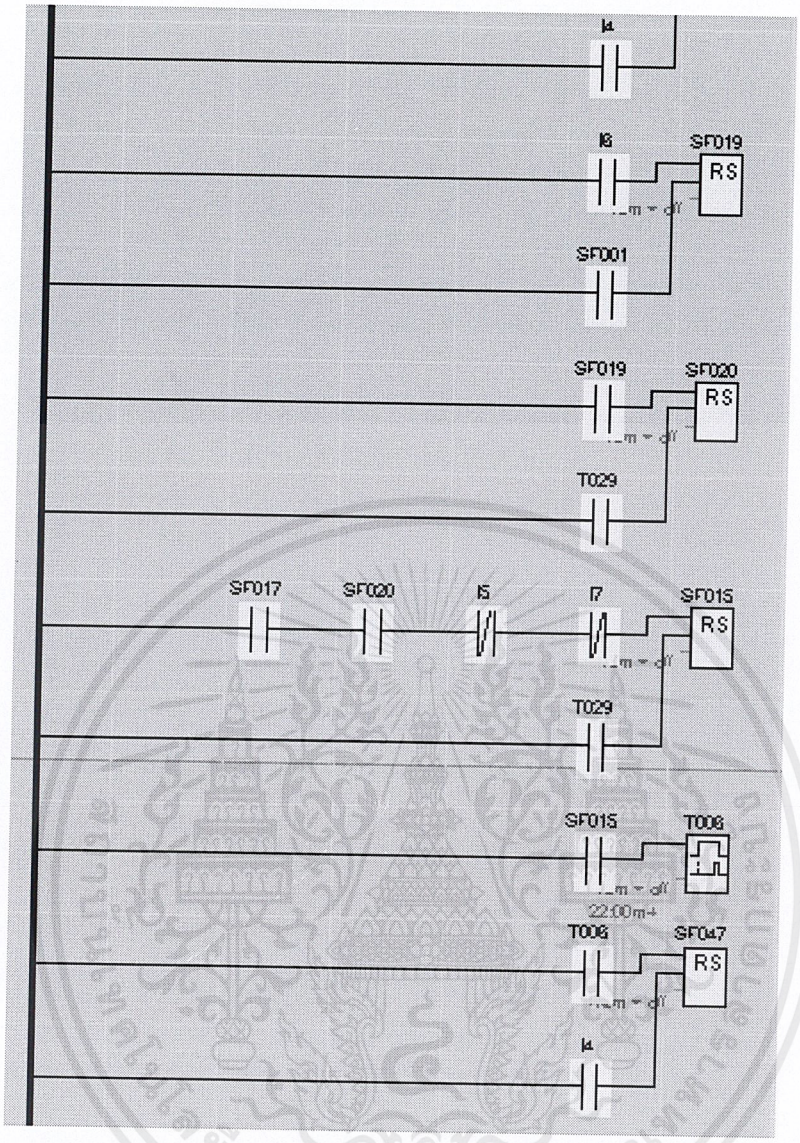
รูปที่ 3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



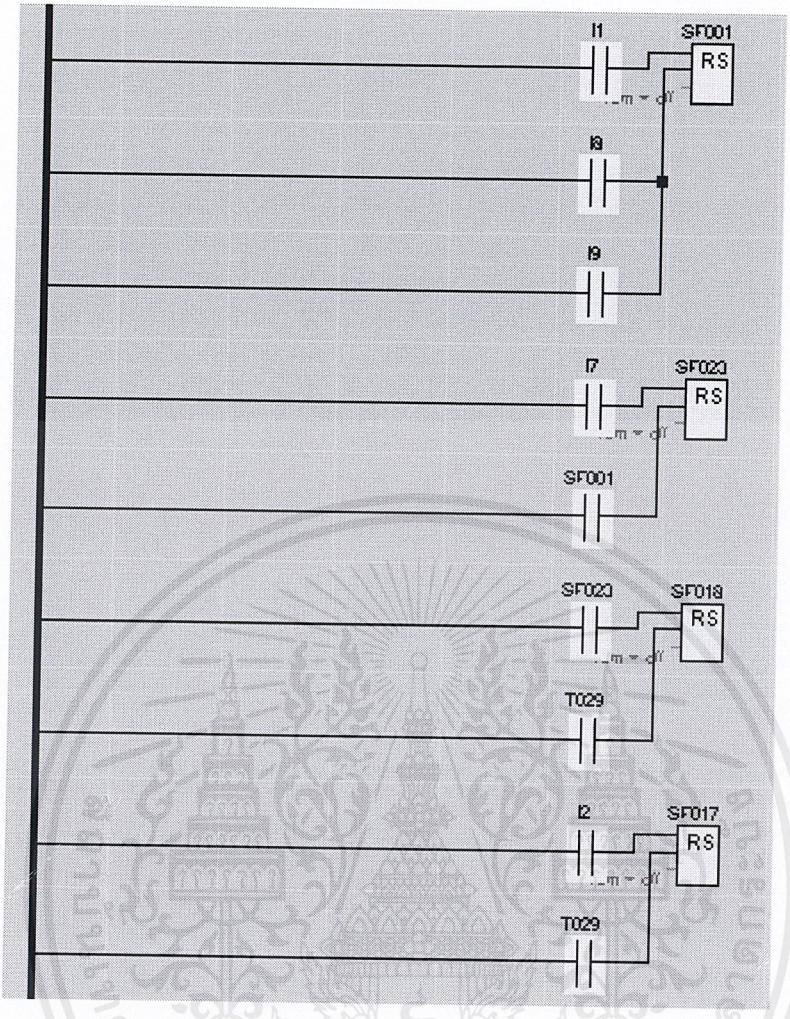
รูปที่ 3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



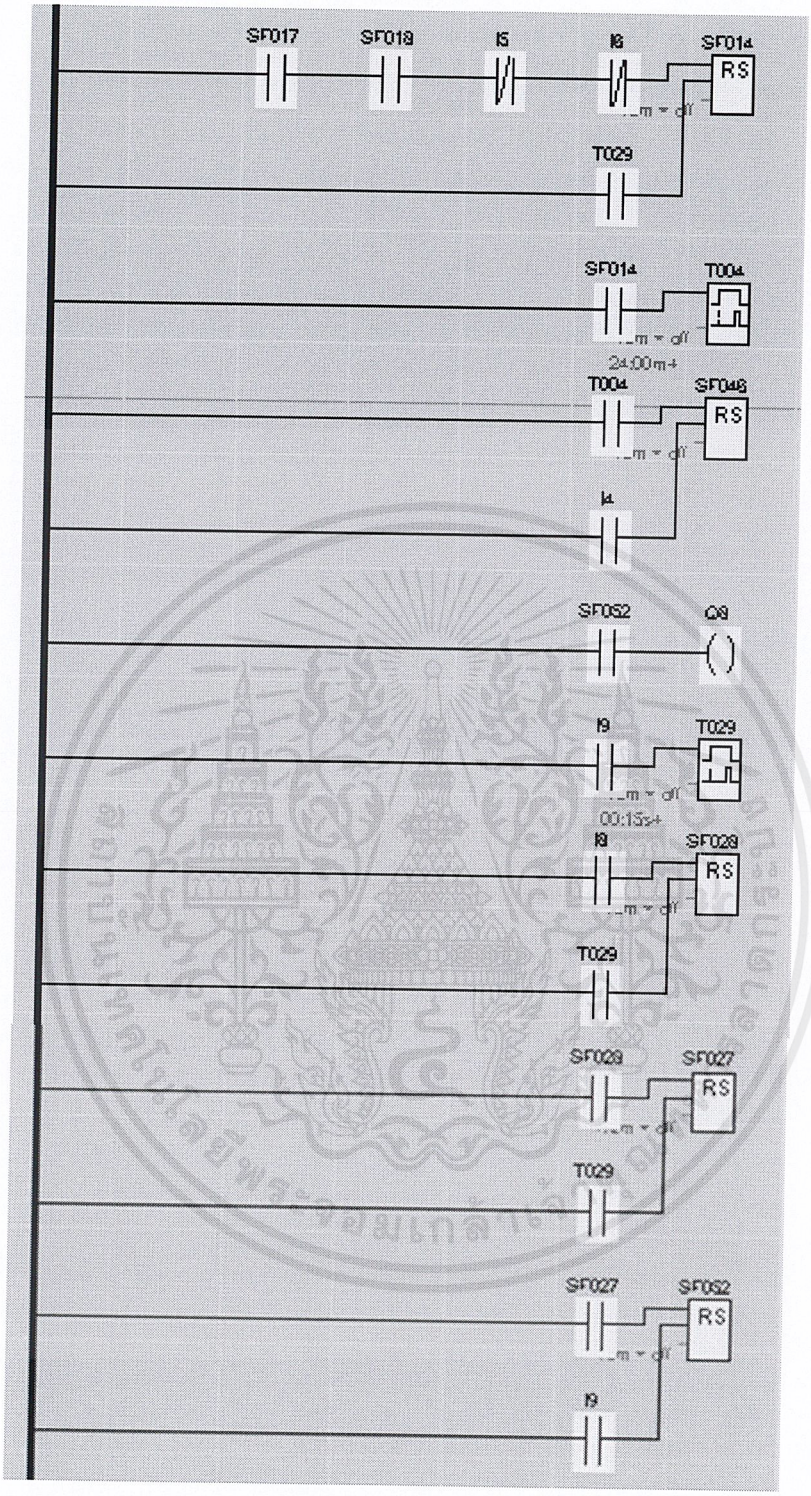
รูปที่ 3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 โปรแกรม PLC ที่ออกแบบ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input :

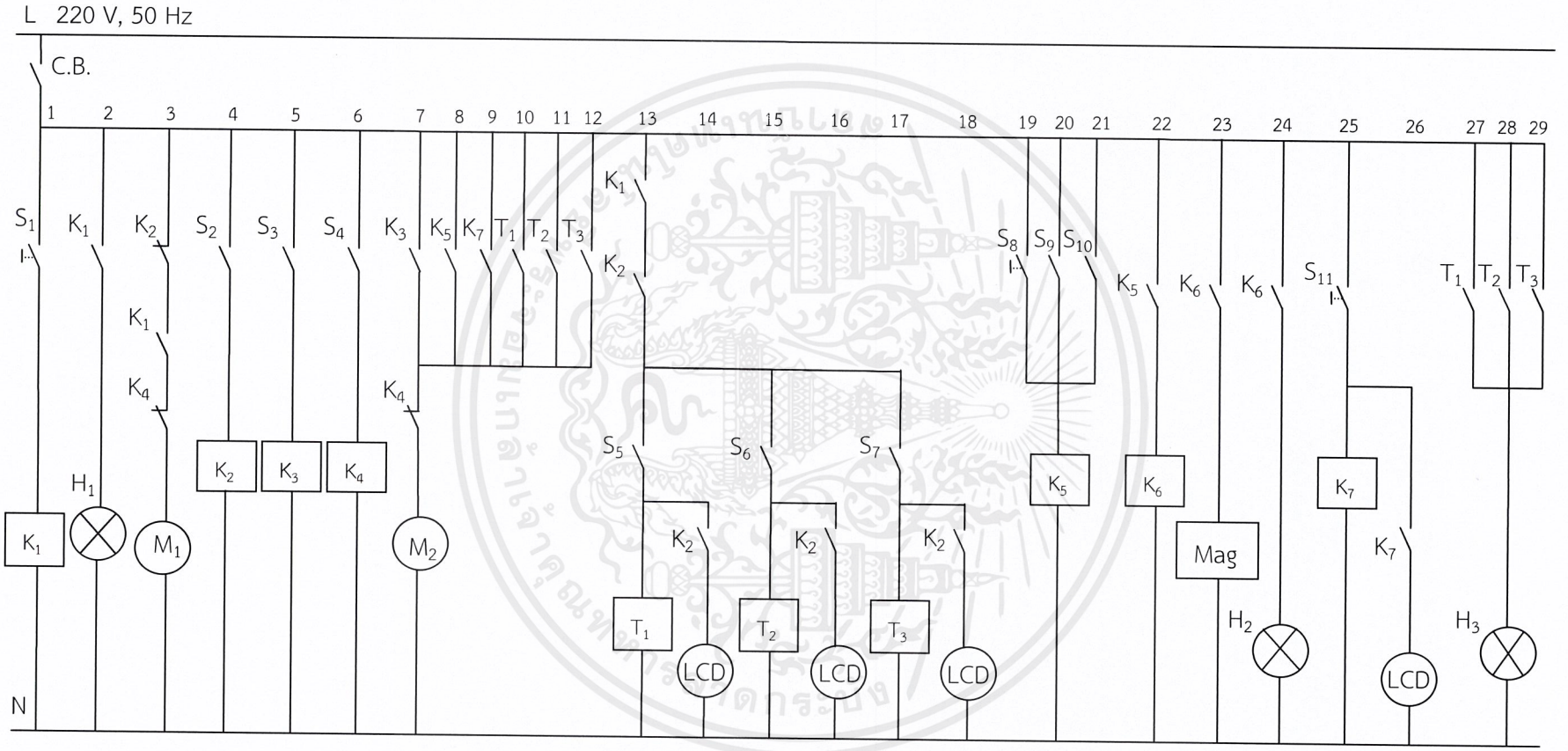
I1 : Start
I2 : Sensor Low Voltage
I3 : Sensor High Voltage
I4 : Limit Switch
I5 : Selector1
I6 : Selector2
I7 : Selector3
I8 : Emergency
I9 : Reset

Output :

Q1 : Work Lamp
Q2 : Forward Motor
Q3 : Backward Motor
Q4 : Finish Lamp
Q5 : Counter1
Q6 : Counter2
Q7 : Counter3
Q8 : Emergency Lamp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 One Line Diagram ของวงจรควบคุม



รูปที่ 3.19 One Line Diagram ของวงจรควบคุม

รายการอุปกรณ์

S_1 = Push Button “Start”
S_2 = Sensor 12 V
S_3 = Sensor 13 V
S_4 = Limit Switch 0 V
S_5 = Selector 1
S_6 = Selector 2
S_7 = Selector 3
S_8 = Push Button “Emergency”
S_9 = Limit Switch 15 V
S_{10} = Over Current Relay
S_{11} = Push Button “Reset”

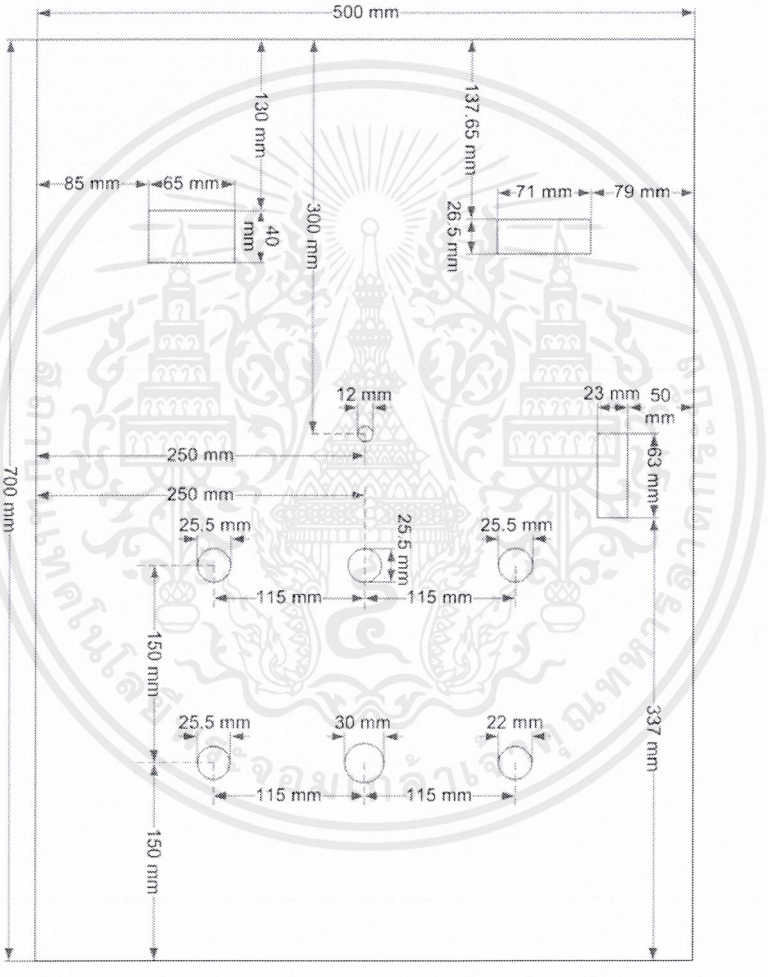
K_1 = PLC Output 1
K_2 = PLC Output 2
K_3 = PLC Output 3
K_4 = Contact Limit Switch 0 V
K_5 = PLC Output 8
T_1 = PLC Output 5 (Counter1)
T_2 = PLC Output 6 (Counter2)
T_3 = PLC Output 7 (Counter3)
K_6 = Relay Emergency
K_7 = Relay Reset

M_1 = Forward Motor
M_2 = Backward Motor
H_1 = Work Lamp
H_2 = Emergency Lamp
H_3 = Finish Lamp

3.7 การออกแบบตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ

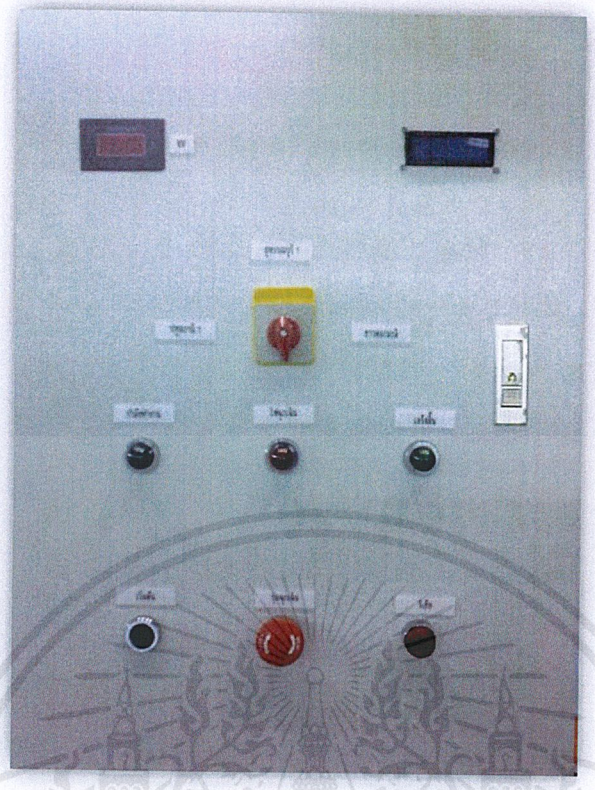
3.7.1 หน้าตู้และการแสดงผล

เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงหน้าจอแสดงผลการนับเวลาใหม่ให้เหลือเพียงหน้าจอเดียวเพื่อให้แสดงการนับเวลาทำงานของพันธุ์ข้าวทั้ง 3 ชนิดได้แก่ พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ขาวดอกมะลิ และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 จึงต้องออกแบบหน้าตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติใหม่ ซึ่งจะมี selector switch ให้เลือกชนิดพันธุ์ข้าวที่จะกระตุ้น มี push button switch ให้กดเริ่มต้นทำงาน กดรีเซ็ท และกดเมื่อฉุกเฉิน มีหลอดไฟแสดงผลว่ากำลังทำงาน เสร็จสิ้นแล้ว และไฟฉุกเฉิน รวมถึงมีหน้าจอแสดงแรงดันที่วัดได้จากโวลท์เตจดิไวเดอร์ด้วย



รูปที่ 3.20 การออกแบบหน้าตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

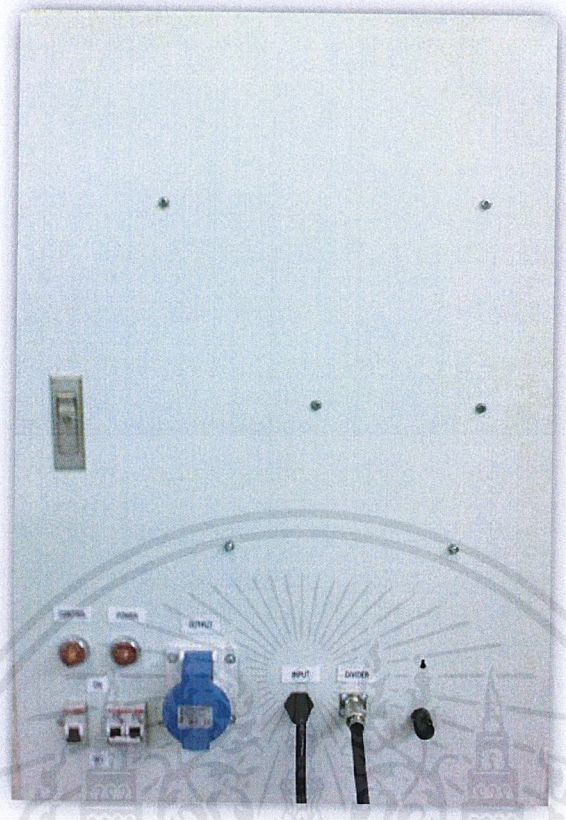


รูปที่ 3.21 หน้าตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ

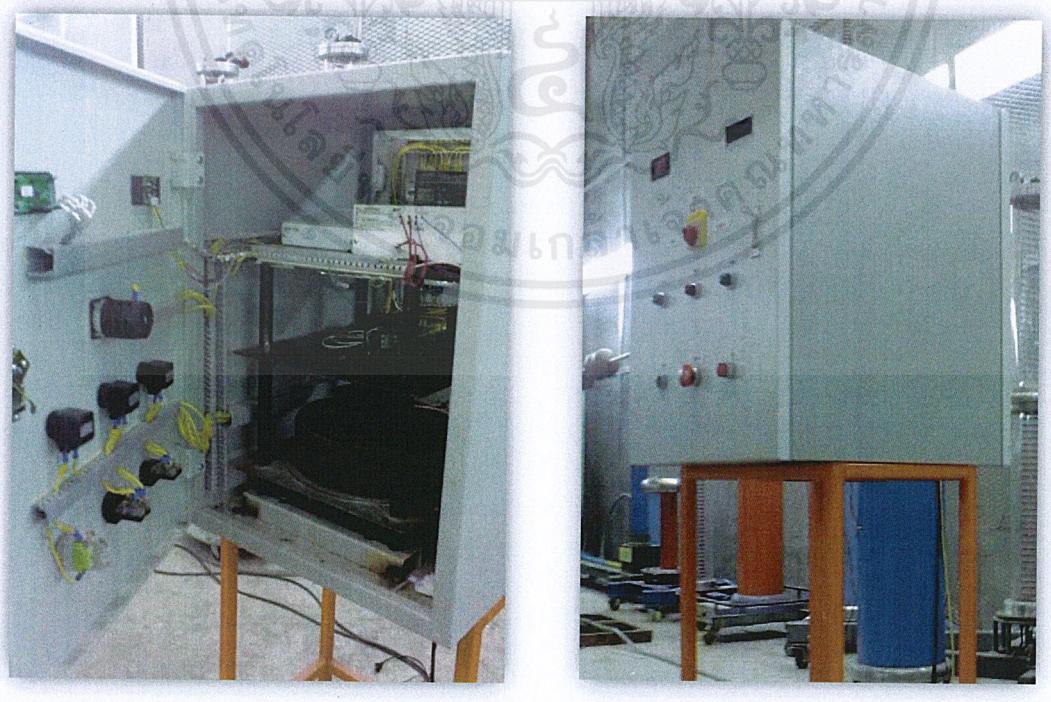
3.7.2 อินพุทและเอาท์พุทของตู้

ในส่วนอินพุทและเอาท์พุทของตู้นี้จะอยู่ที่ด้านหลังของตู้ โดยที่ฝาหลังของตู้นี้จะทำเป็นแบบบานพับเปิด-ปิดเหมือนฝาหน้าเพื่อความสะดวกในการปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์ด้านในตู้ และมีการนำ breaker มาไว้ด้านหลังตู้ด้วย ในส่วนของอินพุทจะมีสายไฟฟ้าเข้าตู้อยู่ 2 ชุดได้แก่ ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V และไฟฟ้ากระแสตรงที่รับมาจากโวลท์เตจดิไวเดอร์ ในส่วนของเอาท์พุทจะมีสายไฟออกจากตู้ 2 ชุดคือ ไฟฟ้าจากหม้อแปลงอัตโนมัติไปเข้าหม้อแปลงแรงดันและสายดิน โดยมีการจัดวางตำแหน่งให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ภายในตู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 หลังตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ



รูปที่ 3.23 ตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 รายการอุปกรณ์ของชุดควบคุม

- Digital Voltmeter	12 VDC	1 ตัว
- LCD 16×2 bit	5 VDC	1 ตัว
- Selector Switch 3 ทาง	220 V	1 ตัว
- หลอด LED	220 V	5 หลอด
- Push Button Switch	220 V	2 ตัว
- Emergency Switch	220 V	1 ตัว
- Breaker	16 A, 32 A	2 ตัว
- Magnetic Contactor	220 V, 20 A	1 ตัว
- Relay 4 NO 4 NC	220 V	2 ตัว
- CT + Over Current Relay	ratio 1 : 5, 220 V	1 ตัว
- Motor AC	10 rpm, 14 W, 220 V	1 ตัว
- Limit Switch	220 V	2 ตัว
- Variac	0 – 220 V, 6 KVA	1 ตัว
- สายไฟ		1 มัด
- หางปลา		150 ตัว
- รังผึ้ง		1 เมตร
- รางใส่สายไฟ		2 เมตร

3.9 การออกแบบโวลท์เตจดิไวเดอร์ชนิดความต้านทาน

โวลท์เตจดิไวเดอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้มีลักษณะโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ องค์ประกอบภาคแรงสูง และองค์ประกอบภาคแรงต่ำ โดยจะผ่านแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่ต้องการวัดค่าไปยังองค์ประกอบภาคแรงสูง ซึ่งจะมีการลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าน้อยลงเพื่อส่งผ่านแรงดันที่ได้ไปยังองค์ประกอบภาคแรงต่ำ โดยภาคแรงต่ำนี้ก็จะส่งผ่านแรงดันไปยังเครื่องมือวัดอีกทีหนึ่ง ซึ่งในที่นี้ก็จะไปต่อเข้ากับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าเพื่อควบคุมการขึ้น-ลงแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าให้ได้ค่าตามต้องการ

3.9.1 องค์ประกอบภาคแรงสูง

ตัวความต้านทานภาคแรงสูงของโวลท์เตจดิไวเดอร์ที่สร้างขึ้นนี้จะใช้ตัวต้านทานชนิดคาร์บอนฟิล์มขนาด 10 MΩ มาต่ออนุกรมกัน 3 ตัว ซึ่งจะได้ค่าความต้านทานรวมของภาคแรงสูงทั้งหมด 30 MΩ

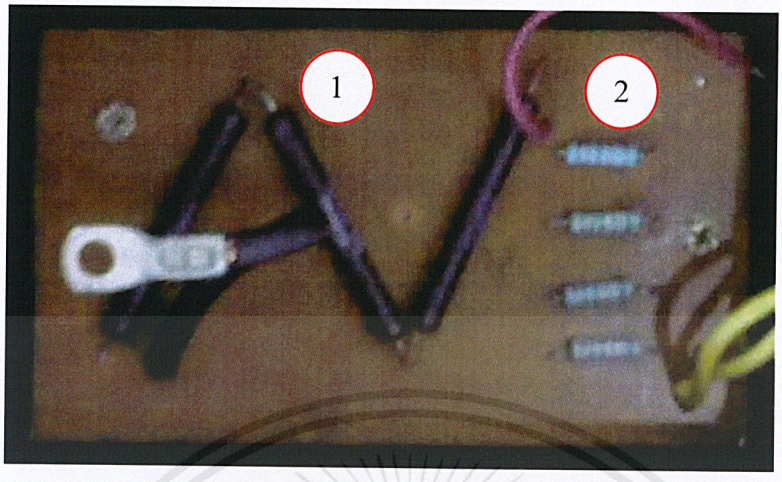
3.9.2 องค์ประกอบภาคแรงต่ำ

กำหนดอัตราส่วนแรงดันของโวลท์เตจดิไวเดอร์เท่ากับ 1000:1 ซึ่งค่าความต้านทานภาคแรงดันสูงรวมทั้งหมด 30 MΩ โดยค่าความต้านทานภาคแรงต่ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\frac{R_1}{R_2} = 1000 \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณจะได้ค่าความต้านทานภาคแรงต่ำ 30 kΩ โดยจะใช้ตัวต้านทานชนิดฟิล์มโลหะขนาด 120 kΩ มาต่อขนานกัน 4 ตัว



รูปที่ 3.24 โวลท์เตจดิไวเดอร์อัตราส่วนแรงดัน 1000:1

เมื่อ 1. คือ องค์ประกอบภาคแรงสูง 2. คือ องค์ประกอบภาคแรงต่ำ

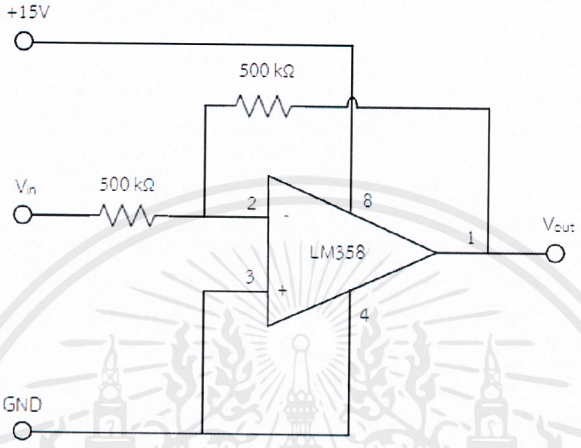


รูปที่ 3.25 โวลท์เตจดิไวเดอร์ที่ประกอบสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

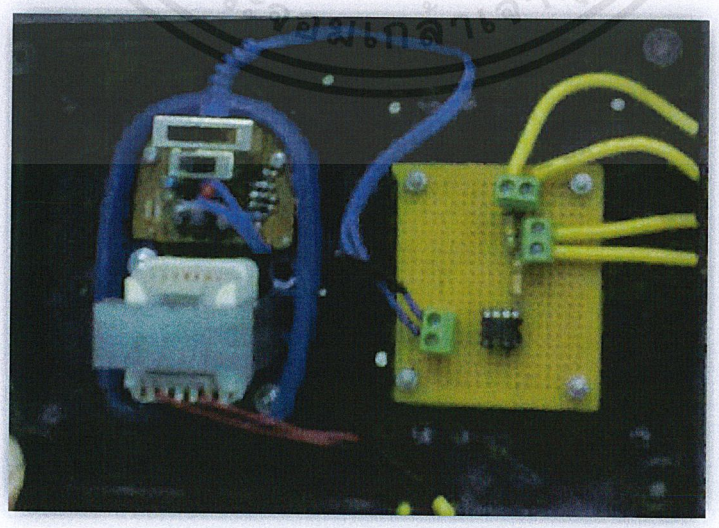
3.10 การออกแบบวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากไฟลบเป็นไฟบวก

เนื่องจากการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าจะใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบในการกระตุ้น ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่โวลท์เตจดิไวเดอร์วัดค่าได้เพื่อจะนำไปต่อเข้ากับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวจึงเป็นแรงดันไฟลบ แต่โวลท์มิเตอร์และวงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันที่อยู่ภายในตู้ควบคุมนี้จะทำงานได้เมื่อใช้แรงดันไฟบวก จึงต้องมีการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากไฟลบเป็นไฟบวก โดยมีการออกแบบวงจรดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากไฟลบเป็นไฟบวก

วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากไฟลบเป็นไฟบวกที่ออกแบบจะใช้ออปแอมป์ LM358 รับแรงดันไฟลบมาจากโวลท์เตจดิไวเดอร์เข้าที่ขา 2 แล้วออปแอป์จะแปลงไฟจากไฟลบเป็นไฟบวกออกไปที่เอาท์พุทที่ขา 1 ของออปแอป์ซึ่งจะนำไปต่อเข้ากับโวลท์มิเตอร์และวงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน เพื่อให้ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวทำงานได้ต่อไป



รูปที่ 3.27 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากไฟลบเป็นไฟบวกที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

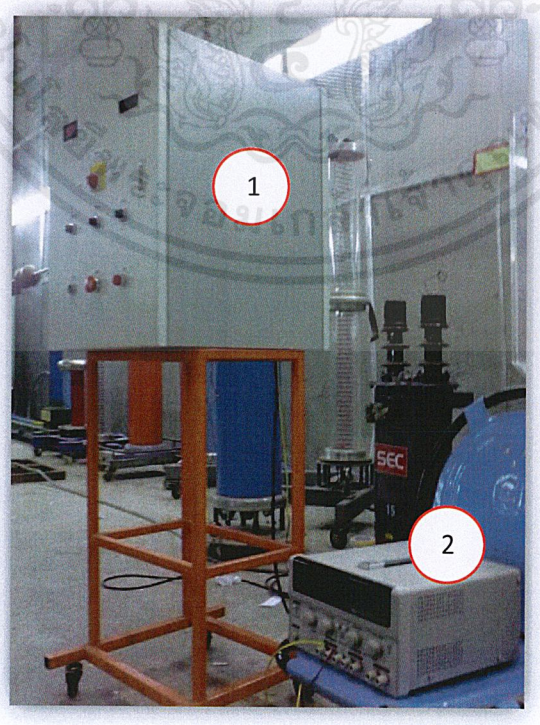
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการทำงานของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยจะมีการทดสอบชุดควบคุมแรงดันอัตโนมัติก่อนเพื่อตรวจสอบระบบการทำงานของ PLC กับอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ร่วมกันในชุดควบคุมนี้ซึ่งได้แก่ เซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน, หน้าจอแสดงผล LCD, Relay, Magnetic Contactor, Over Current Relay, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น ให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง หลังจากนั้นจึงทดสอบการขึ้นแรงดันสูงกระแสตรงจากหม้อแปลงไฟฟ้าร่วมกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้สามารถตรวจจับและรักษาระดับแรงดันที่จ่ายให้กับชุดเพลทได้ตามที่กำหนด รวมไปถึงมีระบบป้องกันเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินด้วย

4.2 การทดสอบชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

4.2.1 วิธีการทดลอง

ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันซึ่งอยู่ภายในตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ แล้วทดสอบการขึ้นแรงดันโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้แทนการใช้โวลท์เตจดิไวเดอร์ เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน และทดสอบการทำงานของ PLC ที่ได้เขียนโปรแกรมคำสั่งการทำงานไว้ รวมไปถึงทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆภายในตู้นี้



รูปที่ 4.1 วงจรทดสอบชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

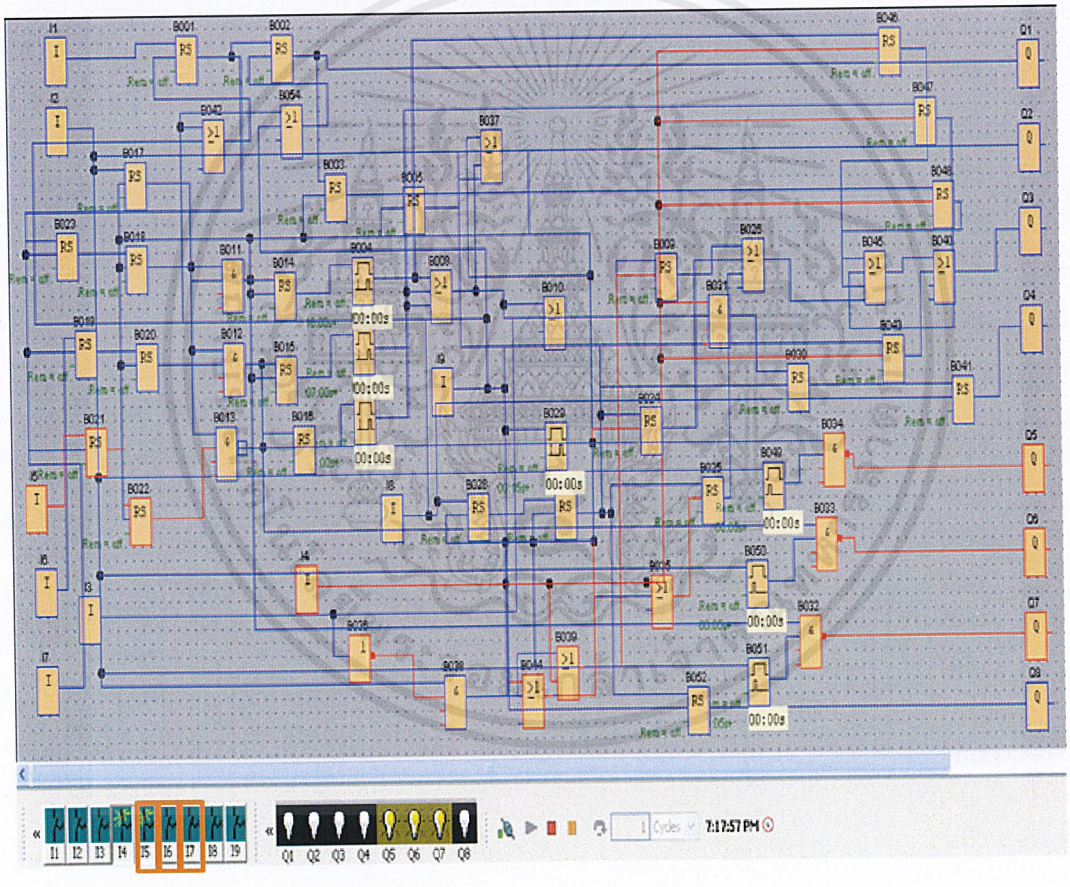
เมื่อ 1. คือ ตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ

2. คือ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

4.2.2 ผลการทดลอง

4.2.2.1 ขณะเริ่มเปิด Breaker Control

เมื่อมีการเปิด Breaker Control แล้วก็จะมีไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ที่สาย line ภายในตู้ ทำให้หน้าจอแสดงผล LCD และหน้าจอแสดงผลแรงดันทำงานดังรูปที่ 4.3 ในขณะที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงยังมีแรงดันอยู่ที่ 0 V หลังจากนั้นสามารถเลือกชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ต้องการกระตุ้นได้ ซึ่งมีให้เลือกอยู่ 3 ชนิดคือ พันธุ์ปทุมธานี 1 (I_5), พันธุ์สุพรรณบุรี 1 (I_6) และพันธุ์ขาวดอกมะลิ (I_7) ซึ่งแต่ละพันธุ์ก็จะใช้เวลาในการกระตุ้นแตกต่างกันออกไป ส่วน PLC ก็จะประมวลผลเพื่อรอรับคำสั่งในการเลือกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ต้องการกระตุ้น



รูปที่ 4.2 Free-Body Diagram ขณะเริ่มเปิด Breaker

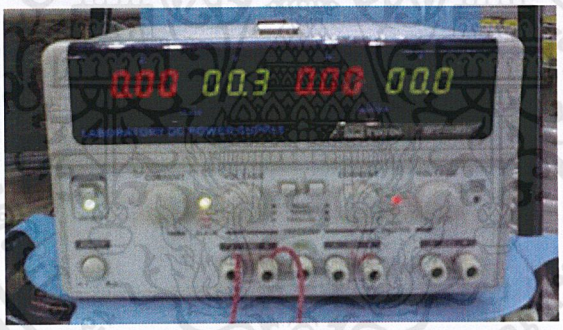
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) ด้านหน้าตู้



ข) ด้านหลังตู้



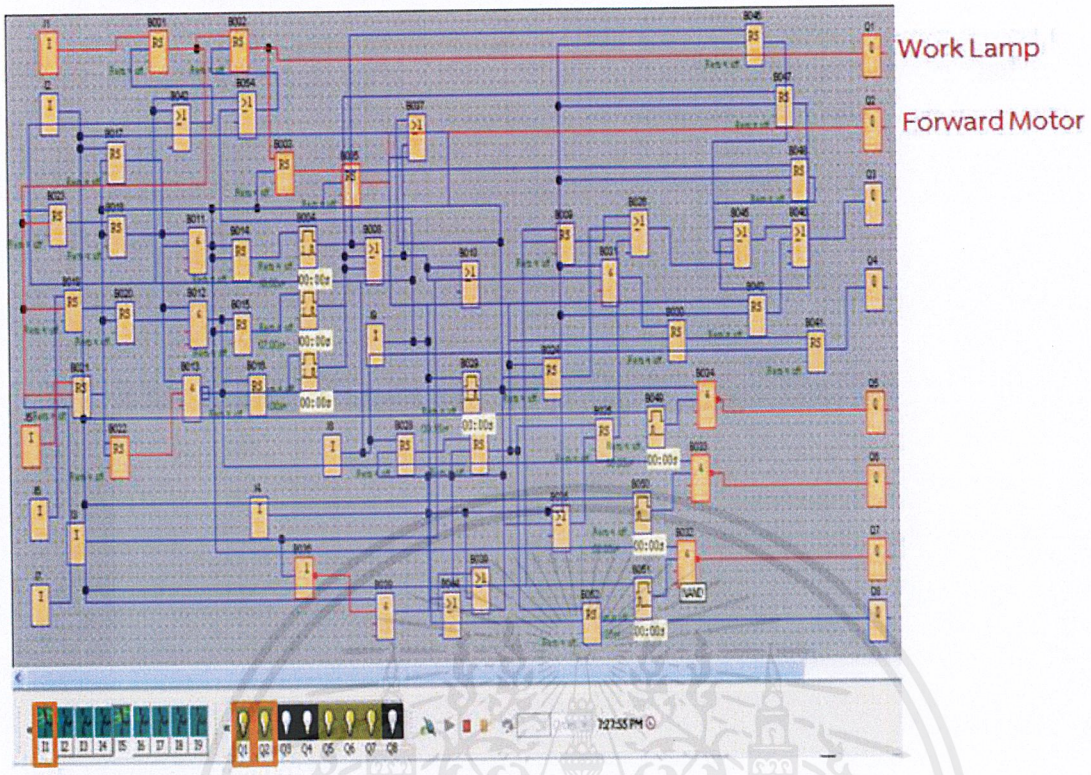
ค) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 4.3 การแสดงผลการทำงานขณะเริ่มเปิด Breaker

4.2.2.2 ขณะกดปุ่มเริ่มต้น

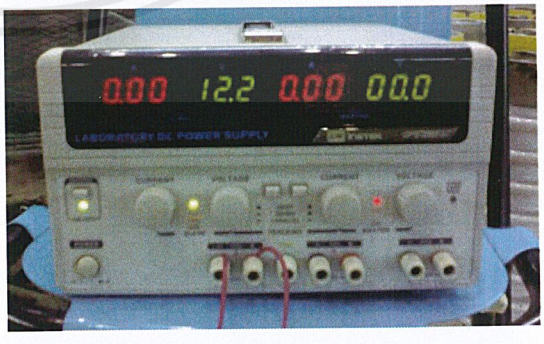
หลังจากที่เลือกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ต้องการกระตุ้นแล้ว จึงกดปุ่มเริ่มต้น (I_1) PLC ก็จะสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหมุนไปข้างหน้า (Q_2) เพื่อขับหม้อแปลงอัตโนมัติให้ขึ้นแรงดัน และไฟแสดงสถานะกำลังทำงาน (Q_1) ก็จะติดดังรูปที่ 4.4 โดยที่มอเตอร์จะหยุดหมุนเมื่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นแรงดันจนถึง 12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 Free-Body Diagram ขณะกดปุ่มเริ่มต้น





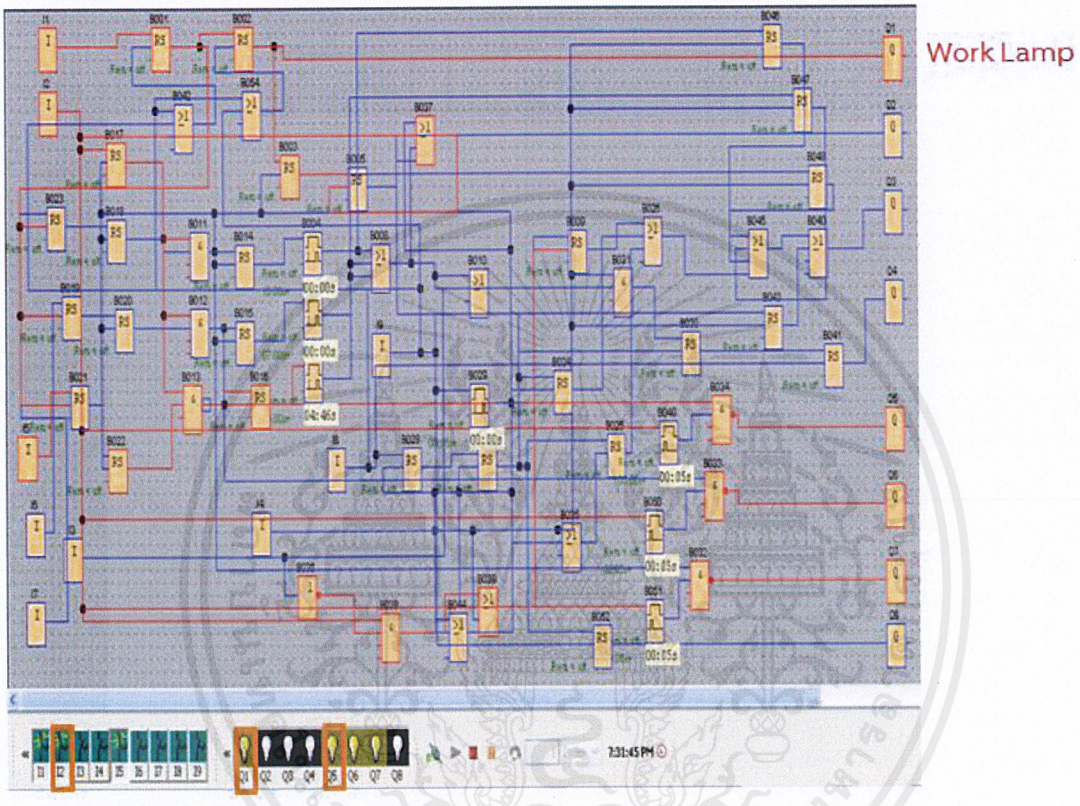
ก) ด้านหน้าตู้ ข) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 4.5 การแสดงผลการทำงานขณะกดปุ่มเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 ขณะเริ่มนับเวลาถอยหลัง

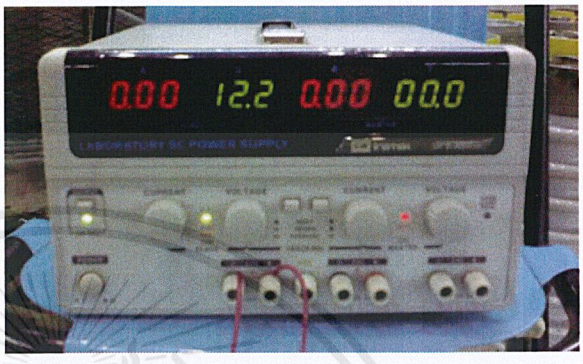
หลังจากที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีการขึ้นแรงดันจนถึง 12 V (I_2) PLC ก็จะไปสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหยุดหมุน แล้ว PLC ก็ยังไปสั่งให้ PIC เริ่มทำงาน (Q_5) ดังรูปที่ 4.6 ทำให้หน้าจอแสดงผล LCD แสดงชื่อพันธุ์ข้าวที่กระตุ้นในบรรทัดแรกและแสดงเวลานับถอยหลังของพันธุ์ข้าวที่กระตุ้นในบรรทัดที่สองดังรูปที่ 4.7 โดยเวลาจะนับถอยหลังทีละ 1 นาทีไปเรื่อยๆจนครบตามกำหนดเวลาของพันธุ์ข้าวแต่ละชนิดที่เลือก



รูปที่ 4.6 Free-Body Diagram ขณะเริ่มนับเวลาถอยหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





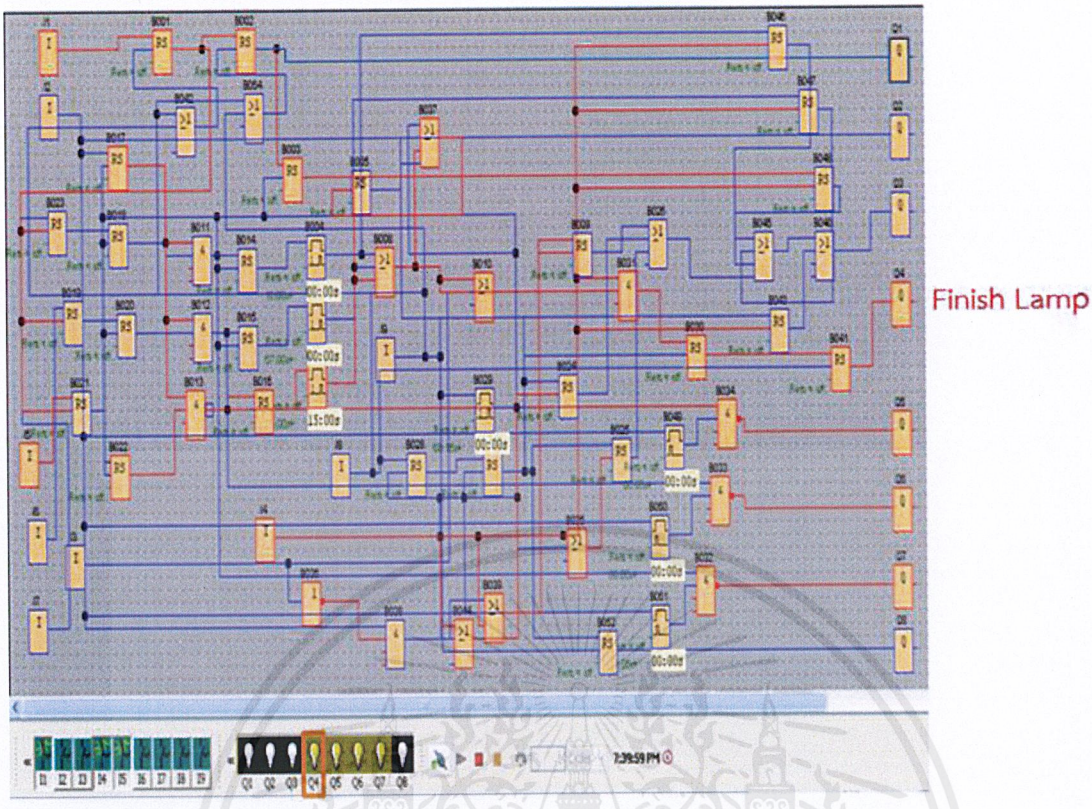
ก) ด้านหน้าตู้ ข) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 4.7 การแสดงผลการทำงานขณะเริ่มนับเวลาถอยหลัง

4.2.2.4 ขณะนับเวลาเสร็จสิ้น

หลังจากที่ PLC เริ่มนับเวลาถอยหลังจนกระทั่งนับเวลาเสร็จสิ้นตามที่กำหนดเวลาไว้ PLC ก็จะไปสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหมุนกลับ (Q_3) เพื่อขับหม้อแปลงอัตโนมัติให้ลงแรงดันจนกระทั่งเป็นศูนย์โวลท์ ไฟแสดงสถานะเสร็จสิ้นการทำงาน (Q_4) ก็จะติดดังรูปที่ 4.8 และหน้าจอแสดงผล LCD ที่แสดงการนับเวลาถอยหลังในบรรทัดที่สองก็จะแสดงผลเสร็จสิ้นเช่นกันดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 Free-Body Diagram ขณะนับเวลาเสร็จสิ้น



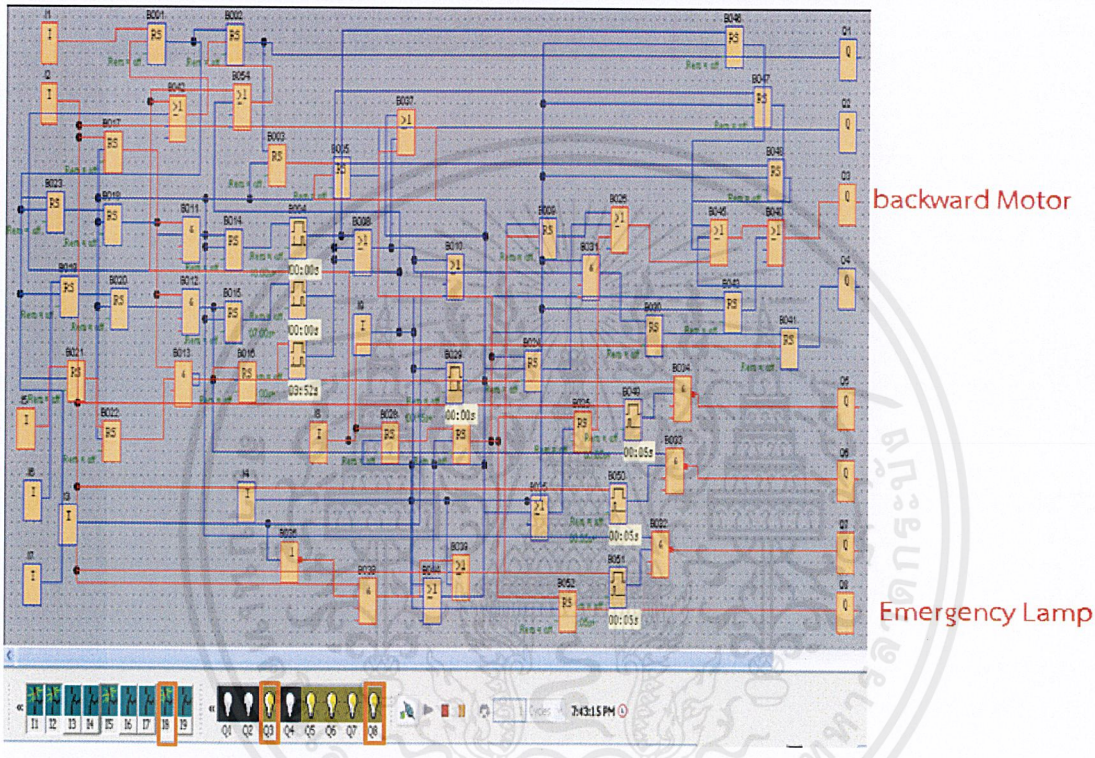
ก) ด้านหน้าตู้ ข) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 4.9 การแสดงผลการทำงานขณะนับเวลาเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

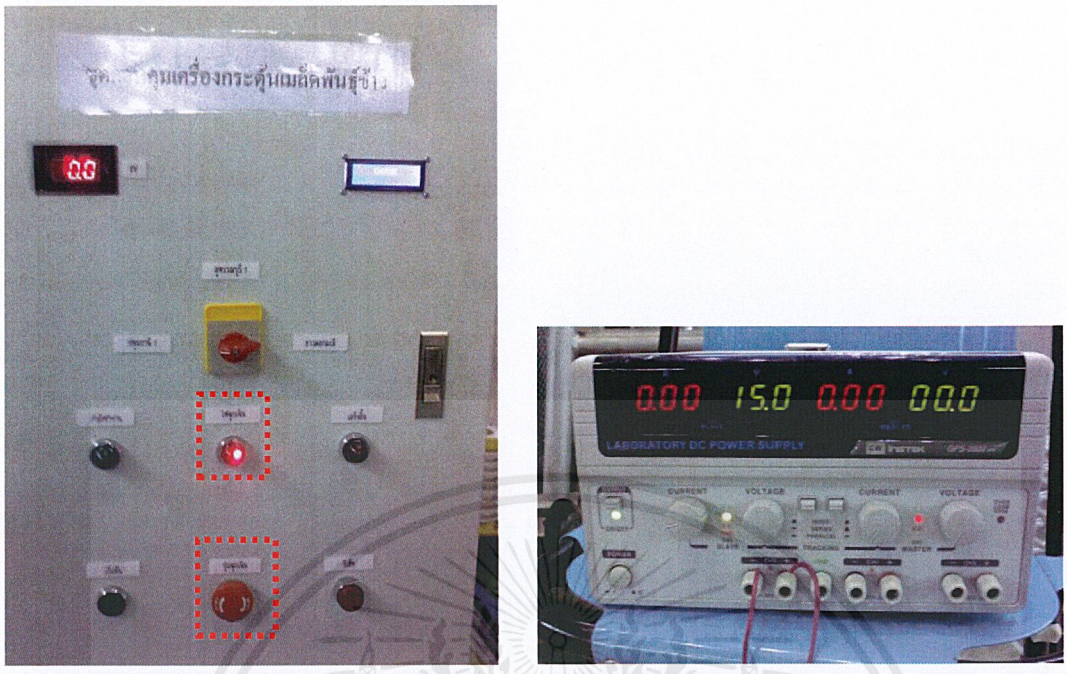
4.2.2.5 ขณะเกิด Emergency

ในการเกิด Emergency นี้จะมีลักษณะของการเกิดได้ทั้งหมด 3 กรณีได้แก่ กรณีของการกดปุ่มฉุกเฉิน (I_8) หรือกรณีที่เซนเซอร์ตรวจจับแรงดันไม่ทำงานทำให้แกนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับไปแตะ limit switch หรือในกรณีที่เกิดกระแสเกิน Over Current Relay ก็จะไปสั่งให้ PLC ทำงาน โดยเมื่อเกิดฉุกเฉินในกรณีใดกรณีหนึ่งดังกล่าว PLC จะไปสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหมุนกลับ (Q_3) เพื่อขับหม้อแปลงอัตโนมัติให้ลงแรงดันจนกระทั่งเป็นศูนย์โวลท์ และไฟแสดงสถานะฉุกเฉิน (Q_8) ก็จะติด ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 Free-Body Diagram ขณะเกิด Emergency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



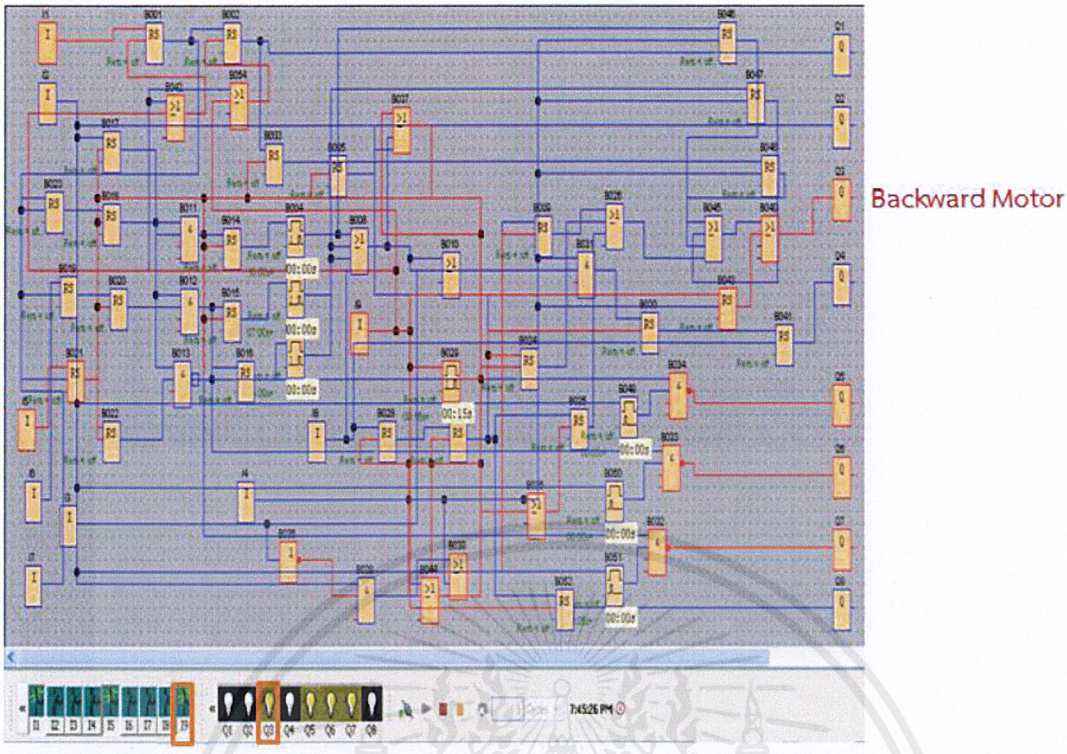
ก) ด้านหน้าตู้ ข) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 4.11 การแสดงผลการทำงานขณะเกิด Emergency

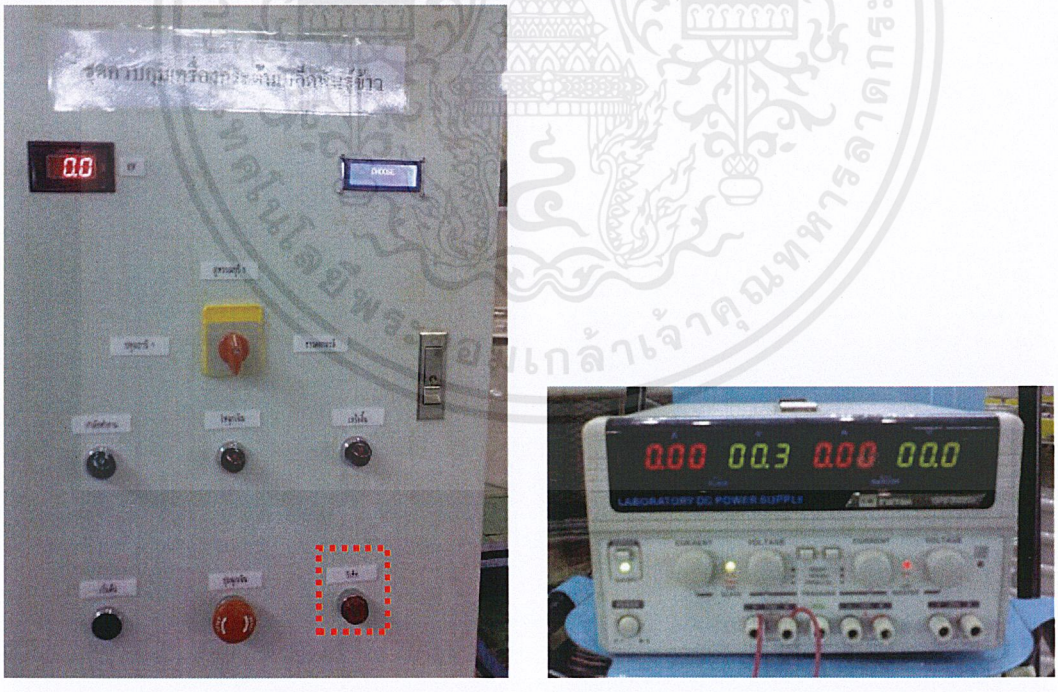
4.2.2.6 ขณะกดปุ่มรีเซ็ท

ในกรณีที่ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวกำลังทำงานอยู่ แล้วมีการกดปุ่มรีเซ็ท (I_9) จะทำให้ PLC ไปสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหมุนกลับ (Q_3) เพื่อขับหม้อแปลงอัตโนมัติให้ลงแรงดันจนกระทั่งเป็นศูนย์โวลท์ดังรูปที่ 4.12 และยังทำให้หน้าจอแสดงผล LCD รีเซ็ทด้วยดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 Free-Body Diagram ขณะกดปุ่มรีเซ็ท



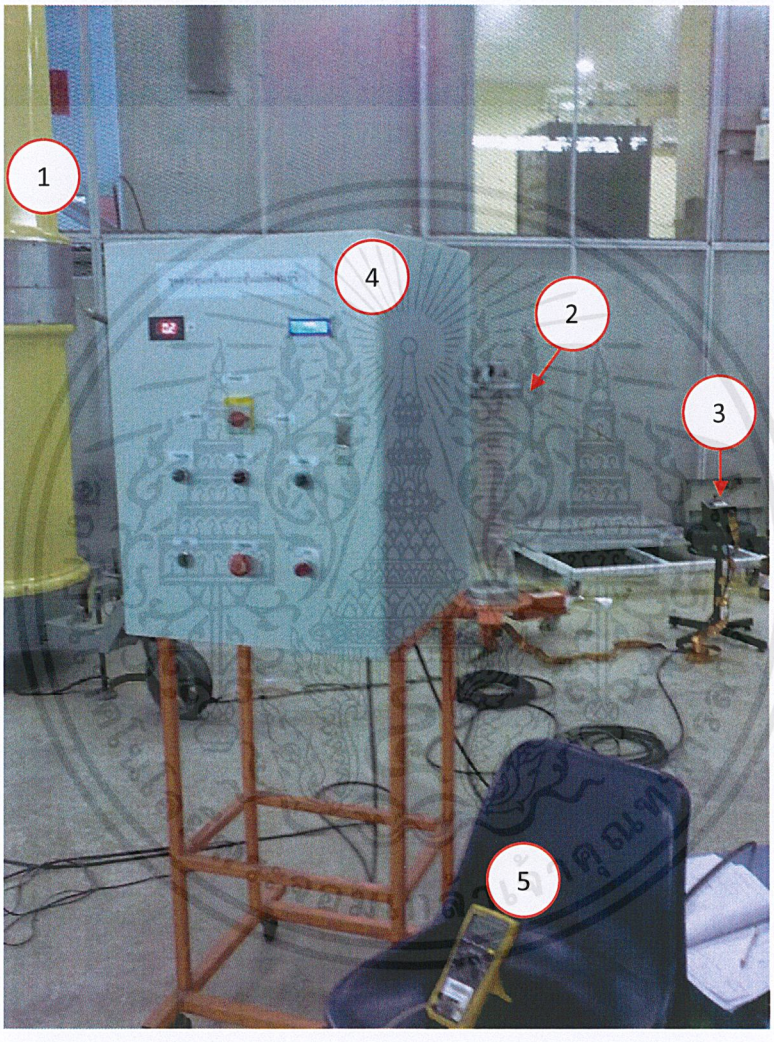
ก) ด้านหน้าตู้ ข) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 4.13 การแสดงผลการทำงานขณะกดปุ่มรีเซ็ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการขึ้นแรงดันสูงร่วมกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

การทดสอบการขึ้นแรงดันสูงร่วมกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวนี้จะใช้การขึ้นแรงดันสูงกระแสตรงจากหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบพิกัด 300 kV, 10 mA โดยจะใช้โวลท์เตจดิไวเดอร์ 2 ตัวที่มีอัตราส่วนแรงดันเท่ากันคือ 1000:1 เพื่อทดสอบแรงดันที่วัดได้จริงจากโวลท์เตจดิไวเดอร์ซึ่งต่อให้แสดงผลที่โวลท์มิเตอร์ เปรียบเทียบกับแรงดันที่โวลท์มิเตอร์ของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าววัดได้ โดยมีการต่อวงจรทดสอบดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 วงจรทดสอบการขึ้นแรงดันสูงร่วมกับชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

เมื่อ 1. คือ หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง
2. คือ โวลท์เตจดิไวเดอร์ตัวที่ 1
3. คือ โวลท์เตจดิไวเดอร์ตัวที่ 2
4. คือ ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว
5. คือ โวลท์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้ทดสอบการขึ้นแรงดันสูงกระแสตรงแล้วพบว่า ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าสามารถทำงานได้ตรงตามที่ออกแบบไว้ โดยเมื่อมีการขึ้นแรงดันสูงถึงค่า 12 kV ซึ่งเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันก็สามารถวัดค่าได้ประมาณ 12 V แล้ว PLC ก็จะไปสั่งให้หน้าจอแสดงผลทำงานตามที่ได้ตั้งค่าไว้

โดยผลการทดสอบเมื่อมีการขึ้นแรงดันสูงจากหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบและบันทึกค่าแรงดันที่วัดได้จากโวลท์เตจดิไวเดอร์ตัวที่ 1 เปรียบเทียบกับแรงดันที่วัดได้จากโวลท์มิเตอร์ของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ต่อมาจากโวลท์เตจดิไวเดอร์ตัวที่ 2 มีผลดังตารางดังนี้

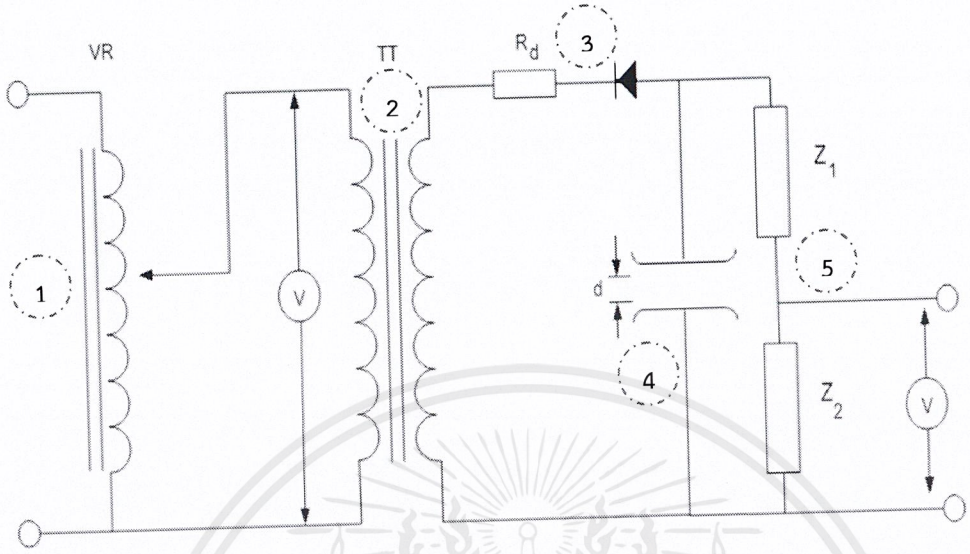
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบขึ้นแรงดันจากหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบ

แรงดันที่โวลท์เตจดิไวเดอร์ (V)	แรงดันที่โวลท์มิเตอร์ของตู้ควบคุม (V)
1.03	0.9
2.02	1.9
3.04	2.8
4.07	3.9
5.05	4.7
6.07	5.7
7.00	6.7
8.00	7.7
9.05	8.7
10.00	9.7
11.03	10.6
12.04	11.6
13.02	12.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบจ่ายแรงดันสูงของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

4.4.1 วงจรในการทดสอบ



รูปที่ 4.15 วงจรในการทดสอบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

ในการทดสอบการจ่ายแรงดันของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าต้องมีการต่อวงจรทดสอบดังรูปที่ 4.15 โดยจะแบ่งเป็นส่วนประกอบหลักๆที่สำคัญอยู่ 5 ส่วนดังนี้

1. หม้อแปลงอัตโนมัติ (Variac) ที่ใช้มีพิกัด 0 – 220 V, 6 kVA เป็นส่วนที่อยู่ภายในตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ ซึ่งจะทำงานเมื่อมีการกดปุ่มเริ่มต้นและจะหยุดเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันที่ 12 kV ทำงาน โดย variac นี้ก็จะไปควบคุมการขึ้นแรงดันให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง

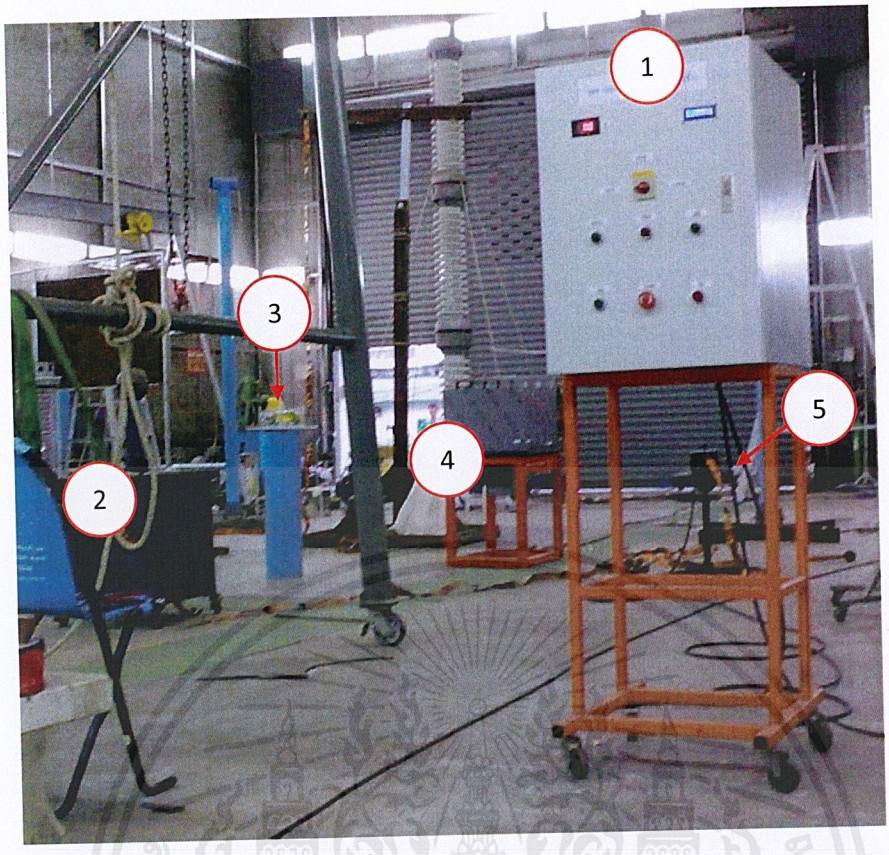
2. หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงพิกัด 100 kV, 50 mA, 5 kVA โดยที่หม้อแปลงไฟฟ้านี้จะต่อเข้ากับไดโอดเรียงกระแส

3. ไดโอดสำหรับเรียงกระแส เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นแรงดันไฟตรง โดยในการทดสอบกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวนี้จะใช้ไดโอดเรียงกระแสแบบขั้วลบกับกราวน์ และไดโอดสำหรับเรียงกระแสก็จะต่อเข้ากับชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ได้ออกแบบไว้

4. ชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยจะรับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงมาต่อเข้ากับแผ่นทองแดง และในส่วนของแผ่นอลูมิเนียมก็ต่อลงกราวน์ ก็จะเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลททั้งสอง โดยค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องการคือ 3 kV/cm ซึ่งระยะระหว่างแผ่นเพลททั้งสองห่างกัน 4 cm จึงต้องควบคุมแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 12 kV

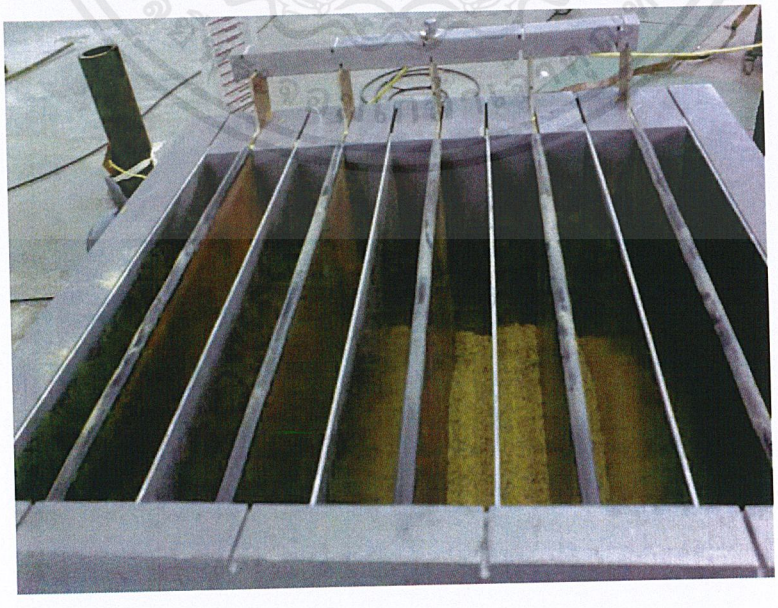
5. โวลท์เตจดิไวเดอร์ อัตราส่วนแรงดันที่ใช้ 1000 : 1 โดยอินพุทของโวลท์เตจดิไวเดอร์จะรับจากแรงดันที่จ่ายให้ชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว และเอาท์พุทจะต่อเข้ากับตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ ซึ่งจะมีเซนเซอร์เป็นตัวตรวจจับแรงดันอีกทีหนึ่งเพื่อควบคุมการขึ้นแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การต่อวงจรทดสอบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า

เมื่อ 1. คือ ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว
2. คือ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง
3. คือ ไดโอดเรียงกระแส
4. คือ ชุดเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว
5. คือ โวลท์เตจดิไวเดอร์



รูปที่ 4.17 การนำเมล็ดพันธุ์ข้าวใส่ในชุดเพลทที่กระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการจ่ายแรงดันของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า โดยเมื่อกดปุ่มเริ่มต้นที่ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวแล้ว หม้อแปลงอัตโนมัติก็จะไปขับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อจ่ายแรงดันให้กับชุดเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยผ่านไดโอดเรียงกระแสให้เป็นแรงดันไฟตรง และเมื่อโวลท์เตจดิไวเดอร์ตรวจจับแรงดันได้ที่ 12 kV หม้อแปลงอัตโนมัติของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวก็จะหยุดขึ้นแรงดัน แล้วเริ่มนับเวลาตามที่ได้กำหนดไว้ของพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด หลังจากครบตามเวลาที่กำหนดหม้อแปลงอัตโนมัติก็จะลงแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กในปีการศึกษา 2552 และชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กในปีการศึกษา 2553 แล้วได้มีการพัฒนาและปรับปรุงทั้งชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวและชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวใหม่ โดยผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

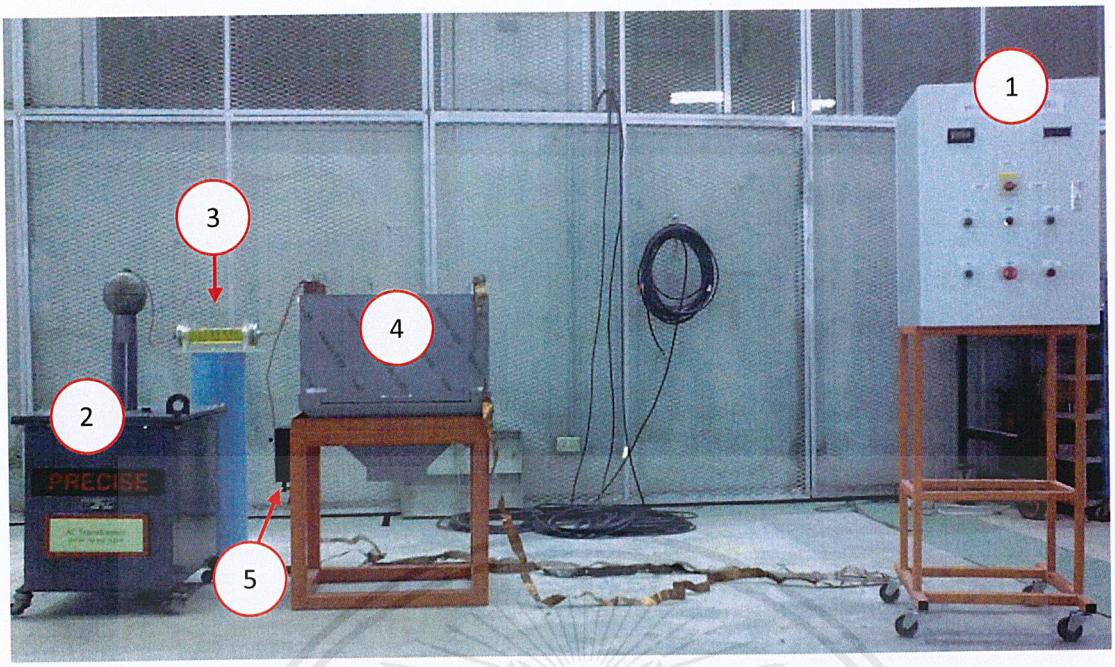
1. ชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ได้ออกแบบและประกอบสร้างขึ้นสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลทได้ ซึ่งสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวอยู่ที่ 3 kV/cm และชุดเพลทที่ประกอบสร้างขึ้นใหม่นี้ยังสามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้นอีกด้วย

2. ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าที่ปรับปรุงขึ้นมาใหม่สามารถใช้งานได้อย่างมีเสถียรภาพขึ้น โดยมี PLC เป็นตัวสั่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับให้หมุนเพื่อขับให้หม้อแปลงอัตโนมัติขึ้น-ลงแรงดันอีกทีหนึ่ง และยังเป็นตัวหน่วงเวลาตามที่กำหนดเวลาไว้ของพันธุ์ข้าวแต่ละชนิดพร้อมกับการแสดงเวลานับถอยหลังที่หน้าจอแสดงผล LCD โดยพันธุ์ข้าวที่ให้เลือกมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกันได้แก่ พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ หลังจากนับเวลาเสร็จหม้อแปลงก็จะลงแรงดันอัตโนมัติ และขึ้นที่หน้าจอแสดงผลว่าเสร็จสิ้น

3. มีระบบป้องกันของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย โดยจะป้องกันในกรณีที่เซนเซอร์ตรวจจับแรงดันไม่ทำงานทำให้แกนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับไปแตะ limit switch หรือในกรณีที่เกิดกระแสเกิน Over Current Relay ก็จะไปสั่งให้ PLC ทำงานเพื่อลงแรงดันให้เป็นศูนย์และตัดไฟด้านแรงสูงออกทันที

4. สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิจัยทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไปในอนาคต และสามารถนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 เครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

เมื่อ 1. คือ ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว
2. คือ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง
3. คือ ไดโอดเรียงกระแส
4. คือ ชุดเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว
5. คือ โวลท์เตจดิไวเดอร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาและปรับปรุงชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า และได้ทดสอบร่วมกับชุดเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวพบว่า แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานนั้นควรเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าคงที่ จะสามารถทำให้ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กแสดงผลได้อย่างมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] จุฑา แย้มเพริศศรี และคณะ, “ชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก,” **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552

[2] กฤษณ์ กิจวัฒนา และคณะ, “ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก,” **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553

[3] สำรวย สังข์สะอาด, **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**, พิมพ์ครั้งที่3, กรุงเทพ, 2549

[4] ไชยชาญ หินเกิด, **หม้อแปลงไฟฟ้า**, กรุงเทพ, สนพ. ส.ส.ท., 2549

[5] ศุภชัย สุรินทร์วงศ์, **เครื่องกลไฟฟ้า2**, เล่มที่2, กรุงเทพ, สนพ. ส.ส.ท., 2543

[6] วีรเชษฐ์ ขันเงิน และ วุฒิพงศ์ ธาราธีรเศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, พิมพ์ครั้งที่9, กรุงเทพ, สนพ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พริ้นติ้ง, 2552

[7] ดอนสัน ปงยาบ และ ทิพวัลย์ คำน้ำนอง, **ไมโครคอลโทรลเลอร์ PIC และการการประยุกต์ใช้งาน**, พิมพ์ครั้งที่3, กรุงเทพ, สนพ. ส.ส.ท., 2552

[8] ชัยทัต มณีอินทร์, **เอกสารประกอบการสอนวิชา ไมโครโพรเซสเซอร์และไมโครคอลโทรลเลอร์**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[9] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, **ออกแบบและจำลองการทำงานของวงจรด้วย Proteus**, กรุงเทพ, สนพ. สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2552

[10] ภควัต รักศรี, **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ**, สภาวิศวกร, http://www.coe.or.th/e_engineers/knc_detail.php?id=132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

Improvement and Development of A Compact Rice Grain Stimulator Using Electric Field

กฤษฎา แซ่จึง ณัฐชนน เอกวิริยะกิจ ทักษ์ดนัย เขียวเขิน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: prasopchok_ho@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ โดยได้ทำการออกแบบและปรับปรุงชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้มีขนาดเล็กลงจากเดิมประมาณ 30% โดยสามารถบรรจุข้าวได้ 20-25 กิโลกรัมเช่นเดิม และได้ทำการปรับปรุงวงจรการควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวใหม่ให้ใช้งานได้สะดวก โดยได้ทำการปรับปรุงเซนเซอร์การตรวจจับระดับแรงดันที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการแสดงผลการทำงานของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้สามารถใช้งานได้ง่าย และสะดวกแก่ผู้ใช้งาน

คำสำคัญ : ตู้ขึ้นแรงดันอัตโนมัติ

Abstract

This paper presents the improvement and development of a compact rice grain stimulator using electric field. The efficiency and user interface of the developed stimulator are improved from the previous version. The size plated electrode is reduced with the same volume contain of 20-25 kg. The sensor circuit using to measure voltage is improved to be more convenient and more stable. The development shows that the operation of the controller of a compact rice grain stimulator can be use easier and more convenient than the previous version.

KEY WORD : Controller using PLC

1. บทนำ

เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และประชากรส่วนใหญ่ก็ยังมีอาชีพเกษตรกรรม จึงต้องมีการพัฒนาเกี่ยวกับคุณภาพและผลผลิตให้มากขึ้นตามความต้องการของประชาชนที่มีมากขึ้นด้วย ซึ่งต่อมาได้มีการวิจัยและทดลองการเพิ่มผลผลิตข้าวโดยการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก พบว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าจะ ทำให้ต้นข้าวโตเร็วขึ้น และการตั้งของลำต้นแข็งแรง ส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น รายได้ของเกษตรกรก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะเป็นผลดีต่อทั้งเกษตรกรและประเทศไทยในอนาคตได้ ต่อมาได้มีการสร้างชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก[1] และได้มีการพัฒนาชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า[2] โดยนำไปใช้ร่วมกับชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว แต่เนื่องจากชุดควบคุมยังมีปัญหาเกี่ยวกับวงจรและการใช้งานรวมไปถึงส่วนของชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวยังมีความยากในการใช้งานอยู่ จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า และส่วนของชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวให้มีเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้น เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้งานและสามารถนำไปใช้งานได้จริง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หม้อแปลงไฟฟ้าร่วมขดลวด

หม้อแปลงไฟฟ้าร่วมขดลวด หรือหม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวดเพียงชุดเดียว ทำหน้าที่เป็นทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสองขดลวดแต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า มีขนาดเล็ก นิยมใช้เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้า ที่รู้จักกันคือ วารีแอค (Variac)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC

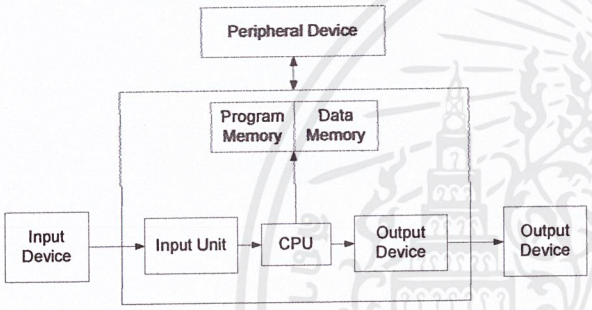
2.2.1 ภาคอินพุต ทำหน้าที่รับข้อมูล และส่งข้อมูลนำไปประมวลผลข้อมูลที่หน่วยประมวลผล

2.2.2 ตัวประมวลผล ทำหน้าที่คำนวณและควบคุมโดยรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุตต่างๆ ทำการประมวลผลและเก็บข้อมูล โดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำและส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เอาท์พุท

2.2.3 หน่วยความจำ ทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน ขนาดของหน่วยความจำจะถูกแบ่งออกเป็นบิต

2.2.4 ภาคเอาท์พุท ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก

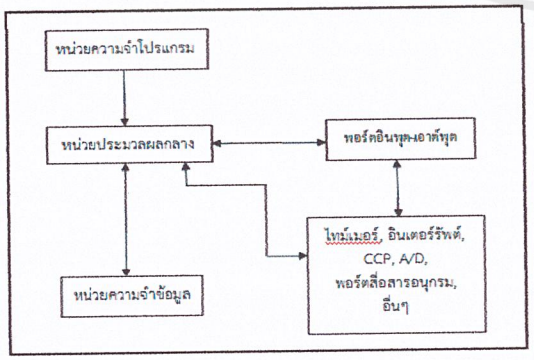
2.2.5 แหล่งจ่ายไฟ ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ CPU หน่วยความจำ และหน่วยอินพุท/เอาท์พุท



รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐาน PLC

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

PIC เป็นไมโครคอลโทรลเลอร์ที่มีสถาปัตยกรรมแบบฮาวาร์ด (Havard Architecture) หรือที่เรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) คือ มีการทำงานที่มีจำนวนชุดคำสั่งน้อย แต่ละคำสั่งจะทำงานแบบง่าย ๆ ทำให้ความเร็วในการทำงานแต่ละคำสั่งสูง ลักษณะโครงสร้างหลัก ๆ ของ PIC แสดงดังรูปที่ 2

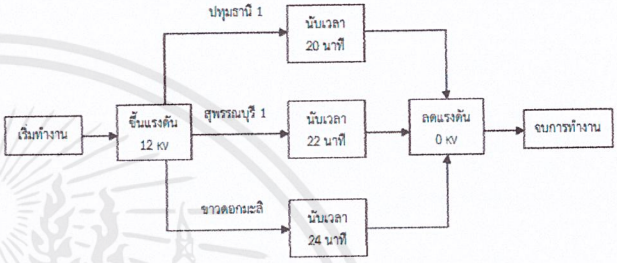


รูปที่ 2 โครงสร้างหลักๆของ PIC

3. การออกแบบและสร้าง

3.1 การควบคุมแรงดัน

ลักษณะการทำงานของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก จะใช้สนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า 3kV/cm ซึ่งการขึ้นแรงดันจำเป็นต้องมีเทคนิคเพื่อควบคุมให้ได้แรงดันตามต้องการ ตู้ควบคุมประกอบด้วย พีแอลซีซึ่งสามารถขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยตรง เซนเซอร์ตรวจวัดแรงดัน หม้อแปลงอัตโนมัติ ซึ่งมีพิกัด 0 – 220 V, 6 kVA โดยหม้อแปลงอัตโนมัติจะจ่ายกำลังให้กับหม้อแปลงแรงดันพิกัด 100 kV, 50 mA, 5 kVA

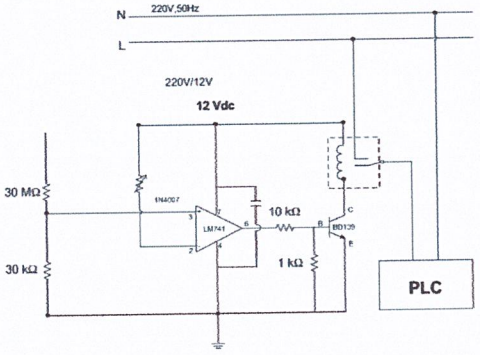


รูปที่ 3 ไดอะแกรมการทำงาน

มีหลักการทำงานคือพีแอลซีเป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด ตั้งเวลา ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดัน มีเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันเมื่อแรงดันสูงขึ้นถึงจุดที่ตั้งค่าไว้

3.2 เซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน

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

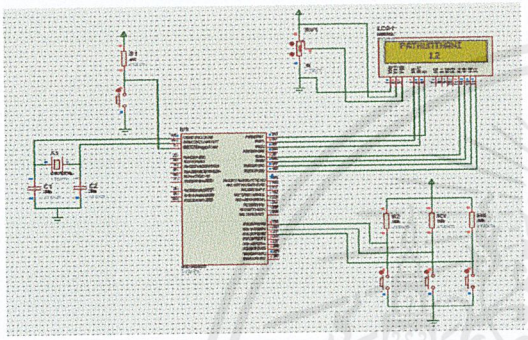


รูปที่ 4 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบการทำงานของ PIC กับจอแสดงผล LCD

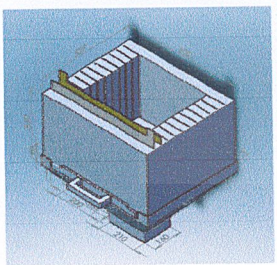
PIC ที่ใช้งานคือ PIC16F877 นำไปใช้งานร่วมกับจอแสดงผล LCD ซึ่งจะแสดงผลการทำงานโดยจะแสดงชื่อพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการกระตุ้น และแสดงเวลานับถอยหลังของพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด โดยส่วนของวงจรหลักๆ ได้แก่วงจรรีเซ็ต วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา อินพุทจากสวิตช์ 3 ตัวซึ่งเชื่อมต่อกับ PLC และเอาท์พุทออก LCD โดยมีการเขียนภาษาซีโดยใช้โปรแกรม PIC C Compiler แล้วนำไปทดสอบในโปรแกรม Proteus เพื่อนำมาต่อใช้งานจริง



รูปที่ 5 วงจรของ PIC กับจอแสดงผล LCD

3.4 การออกแบบชุดเพลทที่ใช้ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

ในการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวแต่ละครั้งจะกระตุ้นครั้งละประมาณ 20-25 kg เนื่องจากเป็นปริมาณที่ใช้ในการปลูกข้าว 1 ไร่เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพตามที่ต้องการ โดยการออกแบบระยะระหว่างอิเล็กโทรดห่างกัน 4 cm เพื่อให้ได้ค่าสนามไฟฟ้า 3 kV/cm โดยการจ่ายแรงดันที่แผ่นทองแดง 12 kV





รูปที่ 6 ชุดเพลทที่ออกแบบและประกอบสร้าง

3.5 การออกแบบตู้ควบคุม

มีการออกแบบหน้าตู้ควบคุมใหม่เนื่องจากเปลี่ยนเป็นหน้าจอแสดงผล LCD โดยด้านหน้าและหลังสามารเปิด-ปิด ได้เพื่อความสะดวกในการแก้ไขอุปกรณ์ ส่วนอินพุทและเอาท์พุทของตู้นี้จะอยู่ที่ด้านหลังของตู้ควบคุมนี้







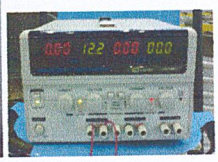
รูปที่ 7 ส่วนต่างๆ ของตู้คอนโทรล

4. การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 ทดสอบชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันซึ่งอยู่ภายในตู้ควบคุมแรงดันอัตโนมัติ แล้วทดสอบการขึ้นแรงดันโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้



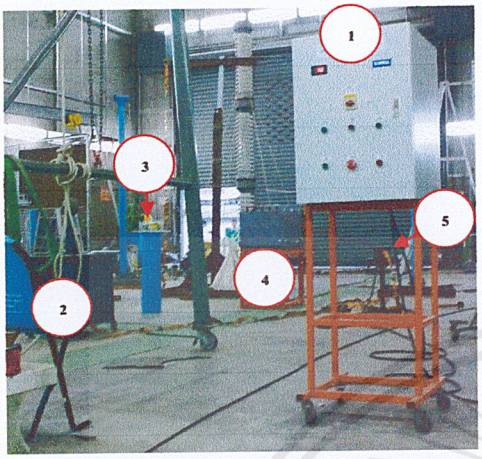


รูปที่ 8 วงจรการทดสอบชุดควบคุม

การทำงานของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเป็นไปตามที่ได้ออกแบบเอาไว้ การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ต่างๆสามารถใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบจ่ายแรงดันสูงของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า



รูปที่ 9 ทดสอบจ่ายแรงดันสูงของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว ประกอบด้วย 1)ชุดควบคุม 2)หม้อแปลงไฟฟ้า 3)ไดโอดเรียงกระแส 4)ชุดเพลทที่ใช้กระตุ้น 5)โวลท์เตจดิไวเดอร์

ผลการทดสอบการจ่ายแรงดันของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้า โดยเมื่อกดปุ่มเริ่มต้นที่ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวแล้ว หม้อแปลงอัตโนมัติก็จะไปขับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อจ่ายแรงดันให้กับชุดเพลทที่ใช้กระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยผ่านไดโอดเรียงกระแสให้เป็นแรงดันไฟตรง และเมื่อโวลท์เตจดิไวเดอร์ตรวจจับแรงดันได้ที่ 12 kV หม้อแปลงอัตโนมัติของชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวก็จะหยุดขึ้นแรงดัน แล้วเริ่มนับเวลาตามที่ได้กำหนดไว้ของพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด หลังจากครบตามเวลาที่กำหนดหม้อแปลงอัตโนมัติก็จะลงแรงดัน

5. สรุป

บทความฉบับนี้ นำเสนอการพัฒนาชุดควบคุมแรงดันของชุดต้นแบบเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กและการออกแบบสร้างส่วนเพลทที่ใช้ในการบรรจุเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยชุดควบคุมแรงดันเลือกใช้หม้อแปลงปรับค่าได้มีพิกัด 0- 220 V, 6 kVA เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าและในส่วนของวงจรควบคุมเลือกใช้ PLC ทำหน้าที่ขับมอเตอร์ได้โดยตรงและมีวงจรป้องกันกระแสเกินเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน ใช้ PIC16F877 ควบคู่กับหน้าจอ LCD เพื่อแสดงผลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในส่วนของเพลทบรรจุเมล็ดพันธุ์ได้ออกแบบให้มีการใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น ผลที่ได้คือ การใช้งานเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กมีประสิทธิภาพ ความสะดวก และความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล, อาจารย์พีรวุฒิ ยุทธโกวิท นายปุณยวีย์ ฉายศิริ พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท และเพื่อนๆที่ช่วยให้คำปรึกษา รวมทั้งห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

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

[2] กฤษณ์ กิจวัฒนา และคณะ, "ชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก",**ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต,** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553

[3] ดอนสัน ปงยาบ และ ทิพวัลย์ คำน้ำนอง, **ไมโครคอลโทรลเลอร์ PIC และการการประยุกต์ใช้งาน,** พิมพ์ครั้งที่3, กรุงเทพ, สนพ. ส.ส.ท., 2552

[4] ไชยชาญ หินเกิด, **หม้อแปลงไฟฟ้า,** กรุงเทพ, สนพ. ส.ส.ท., 2549

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายกฤษฎา แซ่จึง กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายณัฐชนน เอกวิริยะกิจ กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายทักษ์ดนัย เขียวเขิน กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

PIC16F87X
Data Sheet

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

© 2001 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"All rights reserved. Copyright © 2001, Microchip Technology Incorporated, USA. Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights. The Microchip logo and name are registered trademarks of Microchip Technology Inc. in the U.S.A. and other countries. All rights reserved. All other trademarks mentioned herein are the property of their respective companies. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights."

Trademarks

The Microchip name, logo, PIC, PICmicro, PICMASTER, PICSTART, PRO MATE, KEELOQ, SEEVAL, MPLAB and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Total Endurance, ICSP, In-Circuit Serial Programming, FilterLab, MXDEV, microID, *Flex*ROM, *fuzzy*LAB, MPASM, MPLINK, MPLIB, PICDEM, ICEPIC, Migratable Memory, FanSense, ECONOMONITOR and SelectMode are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Serialized Quick Term Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2001, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

DNV Certification, Inc. USA — ANSI-RAB QMS ACCREDITED — DNV MSC The Netherlands Accredited by the RvA — DNV — ISO 9001 / QS-9000 REGISTERED FIRM

Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELOQ® code hopping devices, Serial EEPROMs and microperipheral products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.

© 2001 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

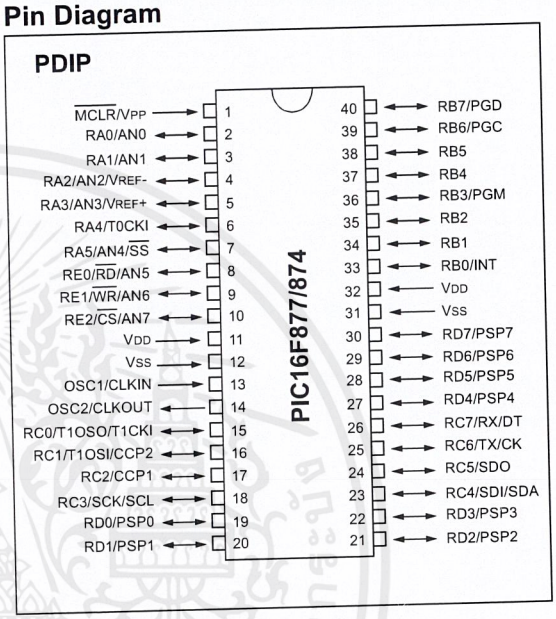
- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
  Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
  Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
  Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

PDIP

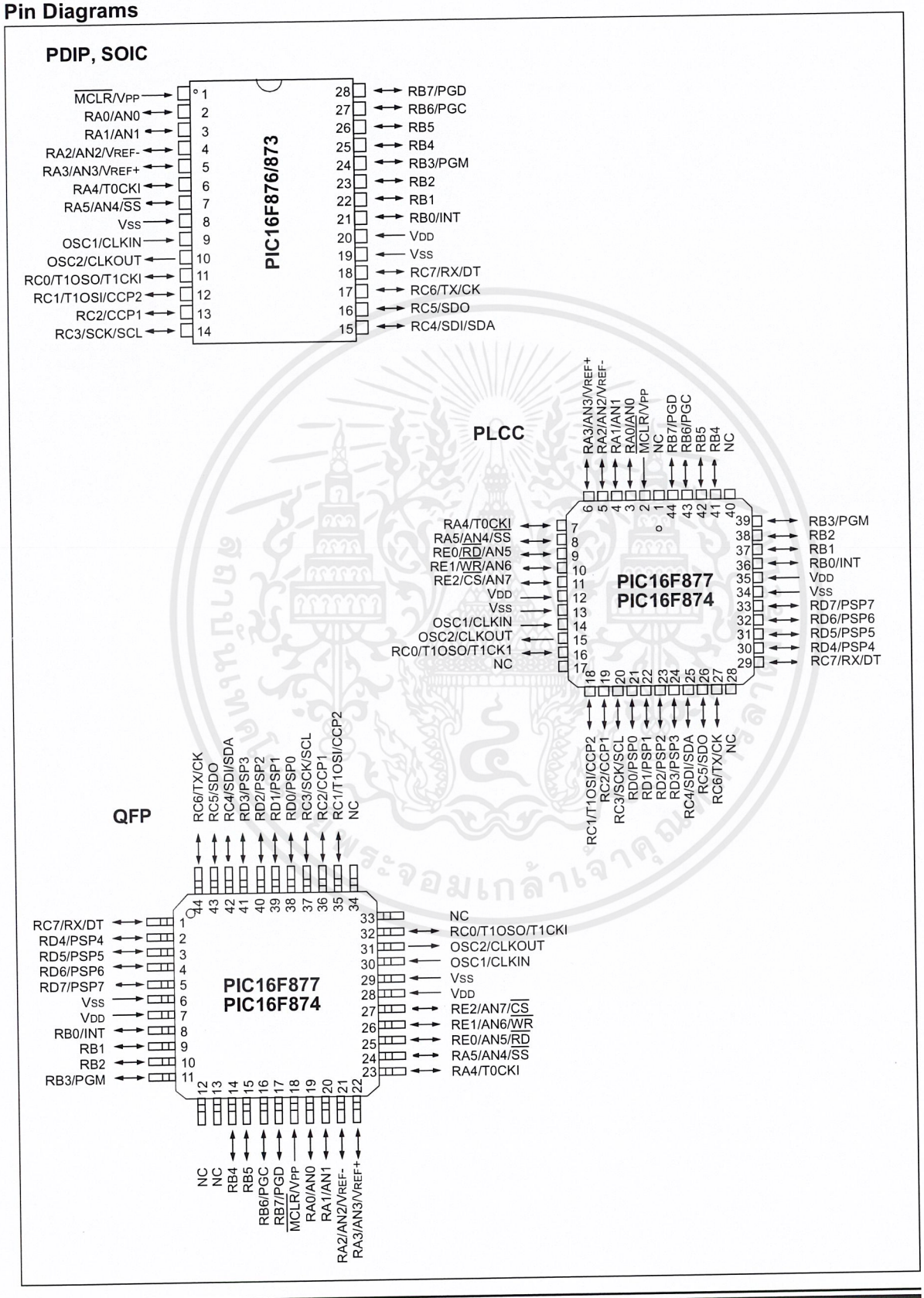


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I^2C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

© 2001 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Diagrams



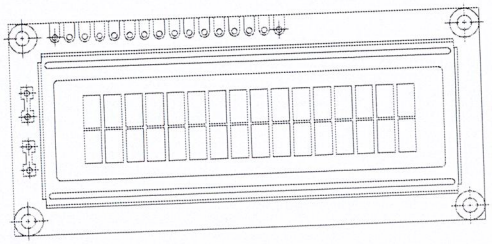
© 2001 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

© 2001 Microchip Technology Inc.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 x 2 Character LCD



FEATURES

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- B/L to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A.K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

MECHANICAL DATA

ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATING

ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	–	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	–	VDD	V

NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

ITEM	SYMBOL	CONDITION		STANDARD VALUE			UNIT
				MIN.	TYP.	MAX.	
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V		4.7	5.0	5.3	V
		VDD = + 3V		2.7	3.0	5.3	V
Supply Current	IDD	VDD = 5V		–	1.2	3.0	mA
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - V0	- 20 °C		---	---	---	V
		0°C		4.2	4.8	5.1	
		25°C		3.8	4.2	4.6	
		50°C		3.6	4.0	4.4	
		70°C		–	–	–	
LED Forward Voltage	VF	25°C		---	4.2	4.6	V
LED Forward Current	IF	25°C	Array	–	130	260	mA
			Edge	---	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC:400Hz		---	---	5.0	mA

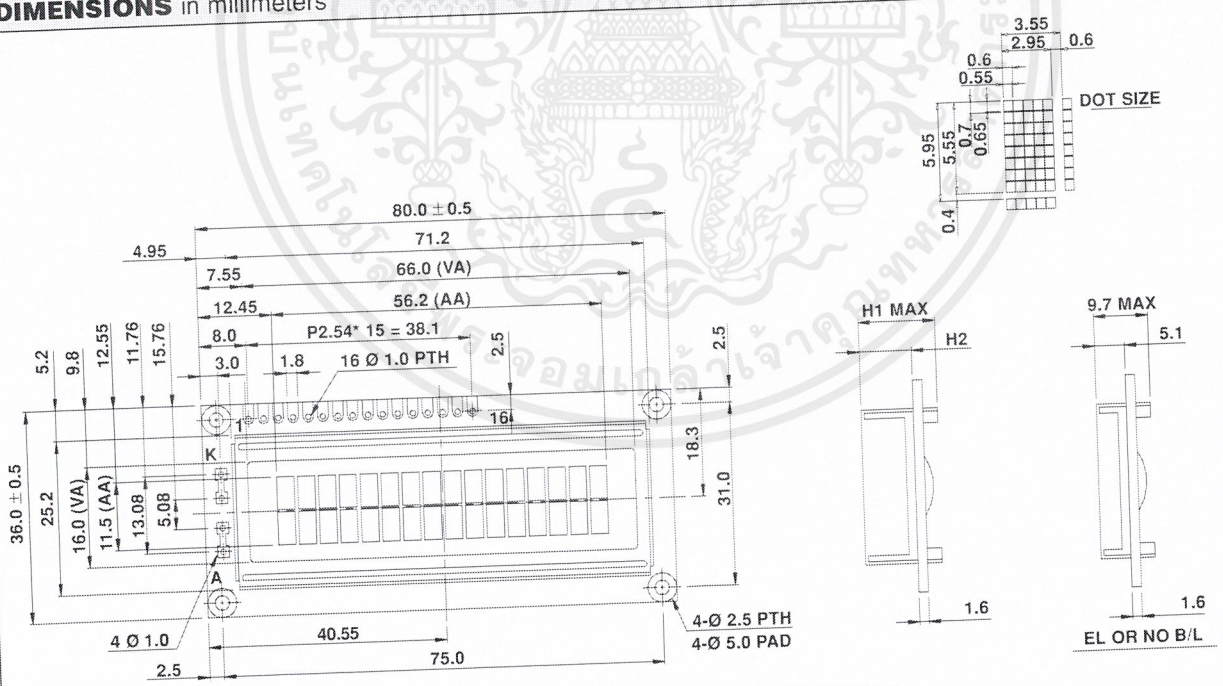
DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE:

Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+ 3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/$\overline{W}$	H/L Read/Write Signal
6	E	H →L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/Vee	+ 4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)

DIMENSIONS in millimeters



LED - H/L B/L	HIGH	LOW
H1	13.2	12.1
H2	8.6	7.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

www.fairchildsemi.com

LM741

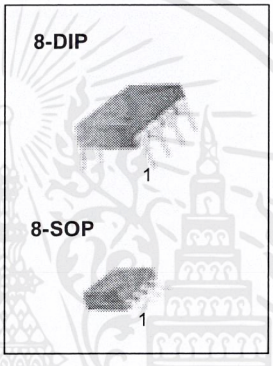
Single Operational Amplifier

Features

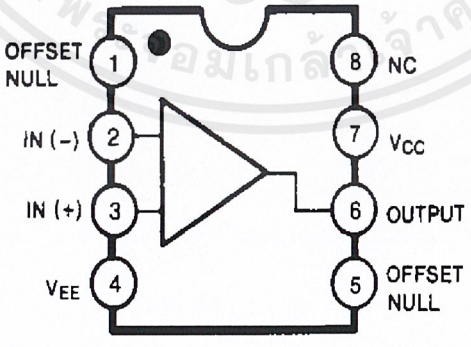
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in intergrator, summing amplifier, and general feedback applications.



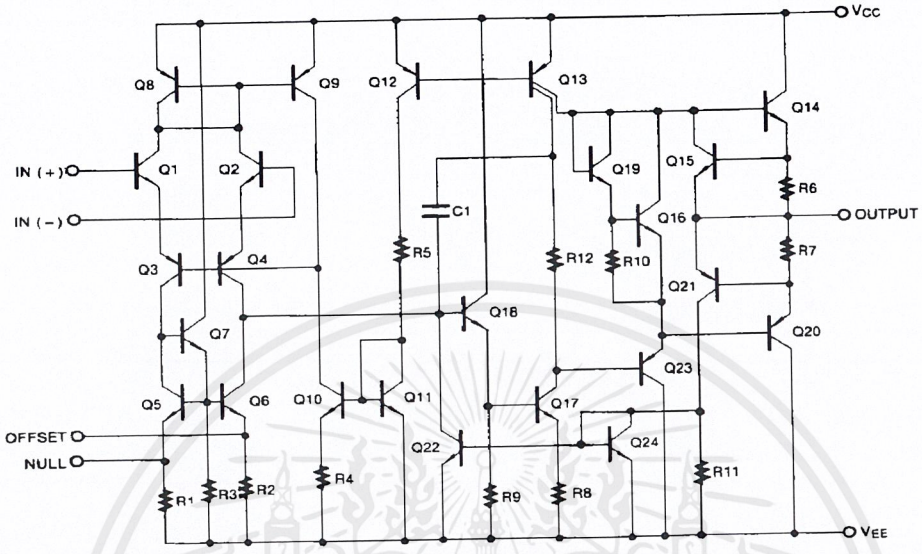
Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings (T_A = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	±18	V
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	30	V
Input Voltage	V_I	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	P_D	500	mW
Operating Temperature Range LM741C LM741I	T_{OPR}	0 ~ + 70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ + 150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(V_{CC} = 15V, V_{EE} = - 15V. T_A = 25 °C, unless otherwise specified)

Parameter		Symbol	Conditions		LM741C/LM741I			Unit
					Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage		V_{IO}	R_S≤10KΩ		-	2.0	6.0	mV
			R_S≤50Ω		-	-	-	
Input Offset Voltage Adjustment Range		$V_{IO(R)}$	V_{CC} = ±20V		-	±15	-	mV
Input Offset Current		I_{IO}	-		-	20	200	nA
Input Bias Current		I_{BIAS}	-		-	80	500	nA
Input Resistance (Note1)		R_I	V_{CC} =±20V		0.3	2.0	-	MΩ
Input Voltage Range		$V_{I(R)}$	-		±12	±13	-	V
Large Signal Voltage Gain		G_V	R_L≥2KΩ	V_{CC} =±20V, $V_{O(P-P)}$ =±15V	-	-	-	V/mV
				V_{CC} =±15V, $V_{O(P-P)}$ =±10V	20	200	-	
Output Short Circuit Current		I_{SC}	-		-	25	-	mA
Output Voltage Swing		$V_{O(P-P)}$	V_{CC} = ±20V	R_L≥10KΩ	-	-	-	V
				R_L≥2KΩ	-	-	-	
			V_{CC} = ±15V	R_L≥10KΩ	±12	±14	-	
				R_L≥2KΩ	±10	±13	-	
Common Mode Rejection Ratio		CMRR	R_S≤10KΩ, V_{CM} = ±12V		70	90	-	dB
			R_S≤50Ω, V_{CM} = ±12V		-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio		PSRR	V_{CC} = ±15V to V_{CC} = ±15V R_S≤50Ω		-	-	-	dB
			V_{CC} = ±15V to V_{CC} = ±15V R_S≤10KΩ		77	96	-	
Transient Response	Rise Time	T_R	Unity Gain		-	0.3	-	μs
	Overshoot	OS			-	10	-	%
Bandwidth		BW	-		-	-	-	MHz
Slew Rate		SR	Unity Gain		-	0.5	-	V/μs
Supply Current		I_{CC}	R_L= ∞Ω		-	1.5	2.8	mA
Power Consumption		P_C	V_{CC} = ±20V		-	-	-	mW
			V_{CC} = ±15V		-	50	85	

Note:
1. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(0°C ≤T_A≤70 °C V_{CC} = ±15V, unless otherwise specified)
The following specification apply over the range of 0°C ≤ T_A ≤ +70 °C for the LM741C; and the -40°C ≤ T_A ≤ +85 °C for the LM741I

Parameter	Symbol	Conditions		LM741C/LM741I			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	R_S≤50Ω		-	-	-	mV
		R_S≤10KΩ		-	-	7.5	
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-		-	-		µV/ °C
Input Offset Current	I_{IO}	-		-	-	300	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-		-	-		nA/ °C
Input Bias Current	I_{BIAS}	-		-	-	0.8	µA
Input Resistance (Note1)	R_I	V_{CC} = ±20V		-	-	-	MΩ
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-		±12	±13	-	V
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	V_{CC} =±20V	R_S≥10KΩ	-	-	-	V
			R_S≥2KΩ	-	-	-	
		V_{CC} =±15V	R_S≥10KΩ	±12	±14	-	
			R_S≥2KΩ	±10	±13	-	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-		10	-	40	mA
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	R_S≤10KΩ, V_{CM} = ±12V		70	90	-	dB
		R_S≤50Ω, V_{CM} = ±12V		-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V_{CC} = ±20V to ±5V	R_S≤50Ω	-	-	-	dB
			R_S≤10KΩ	77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	G_V	R_S≥2KΩ	V_{CC} = ±20V, $V_{O(P-P)}$ = ±15V	-	-	-	V/mV
			V_{CC} = ±15V, $V_{O(P.P)}$ = ±10V	15	-	-	
			V_{CC} = ±15V, $V_{O(P-P)}$ = ±2V	-	-	-	

Note :
1. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

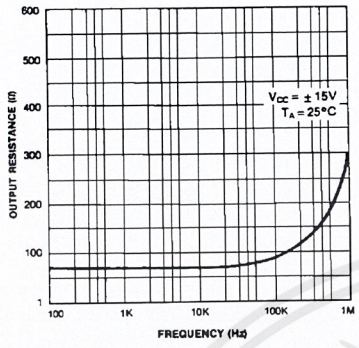


Figure 1. Output Resistance vs Frequency

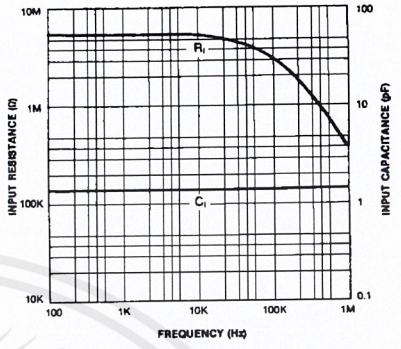


Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

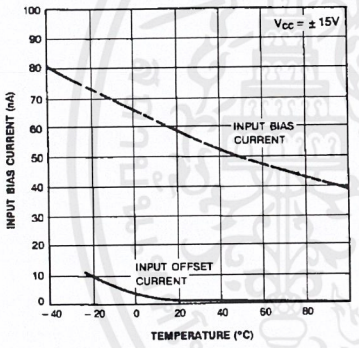


Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

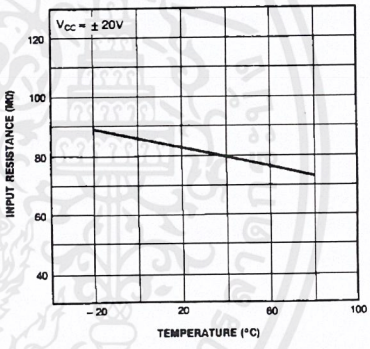


Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

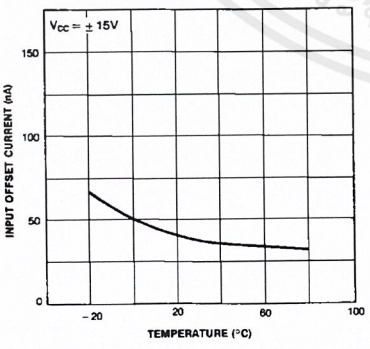


Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

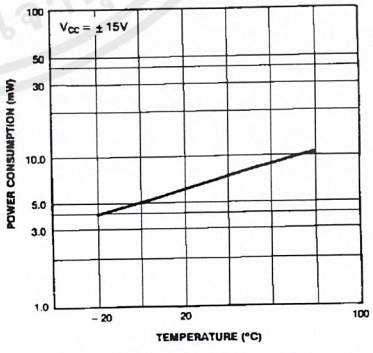


Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (continued)

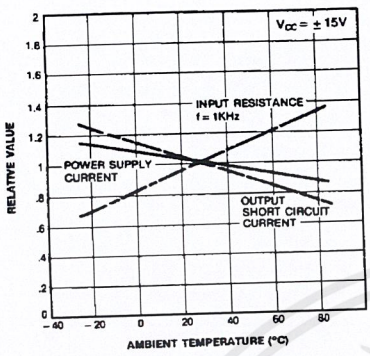


Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

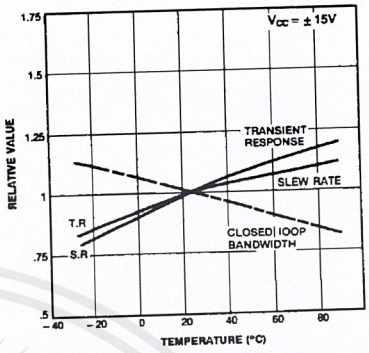


Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

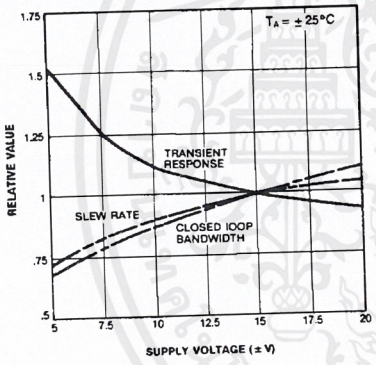


Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

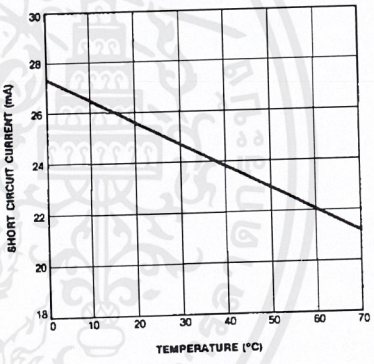


Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

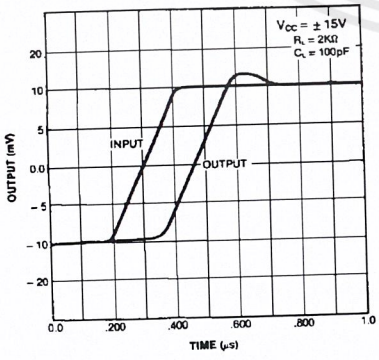


Figure 11. Transient Response

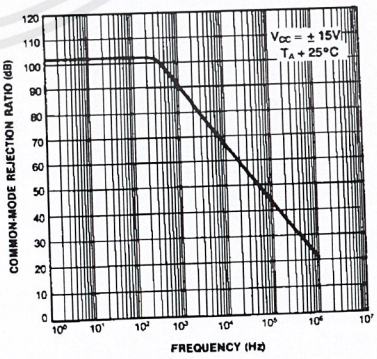


Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (continued)

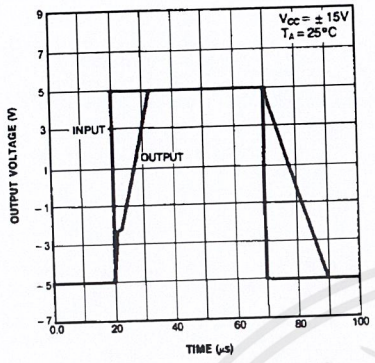


Figure 13. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

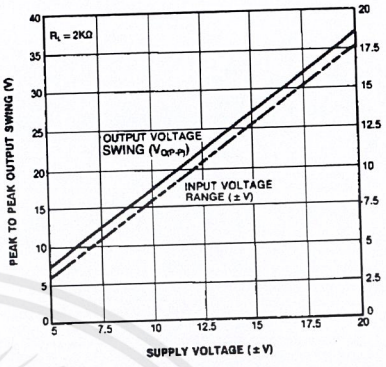


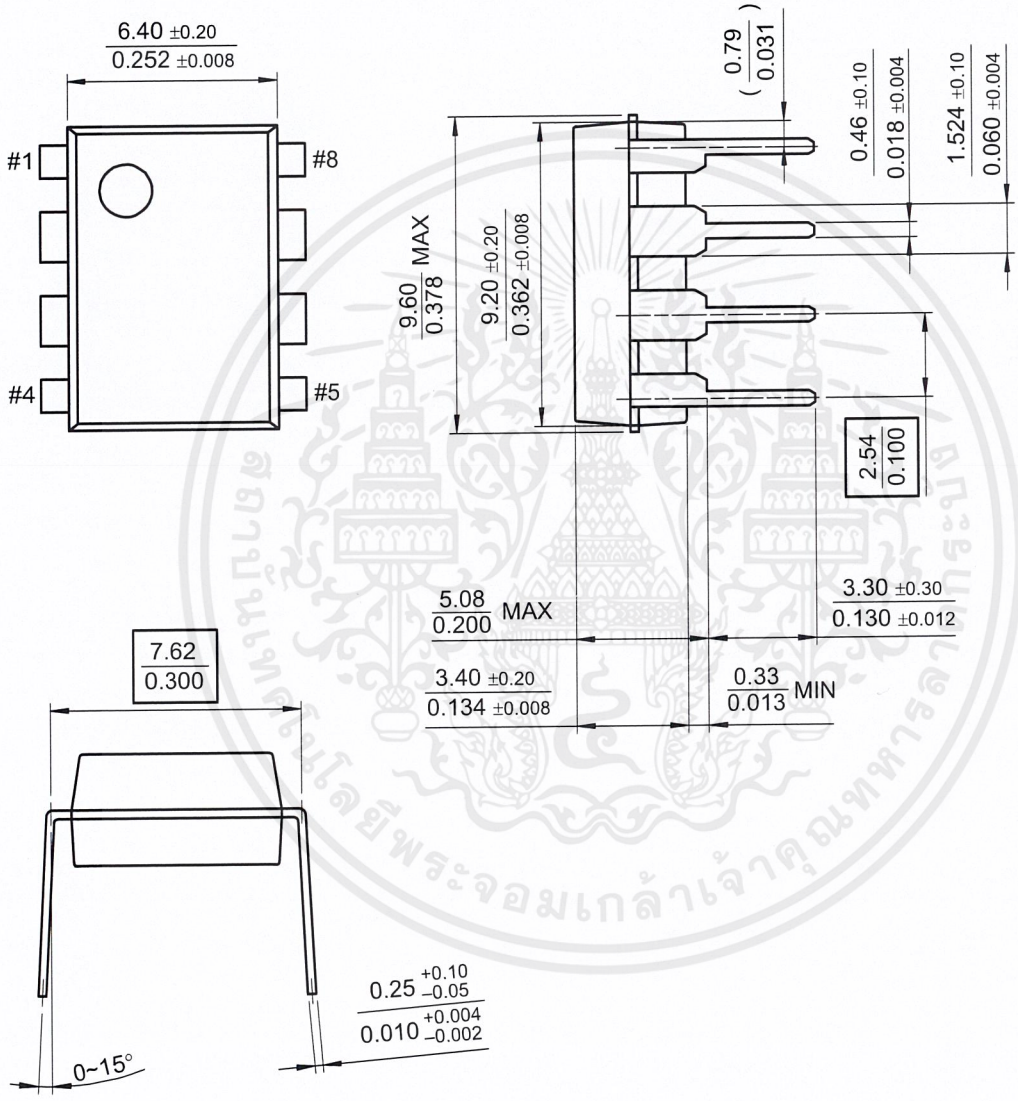
Figure 14. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions

Package

8-DIP

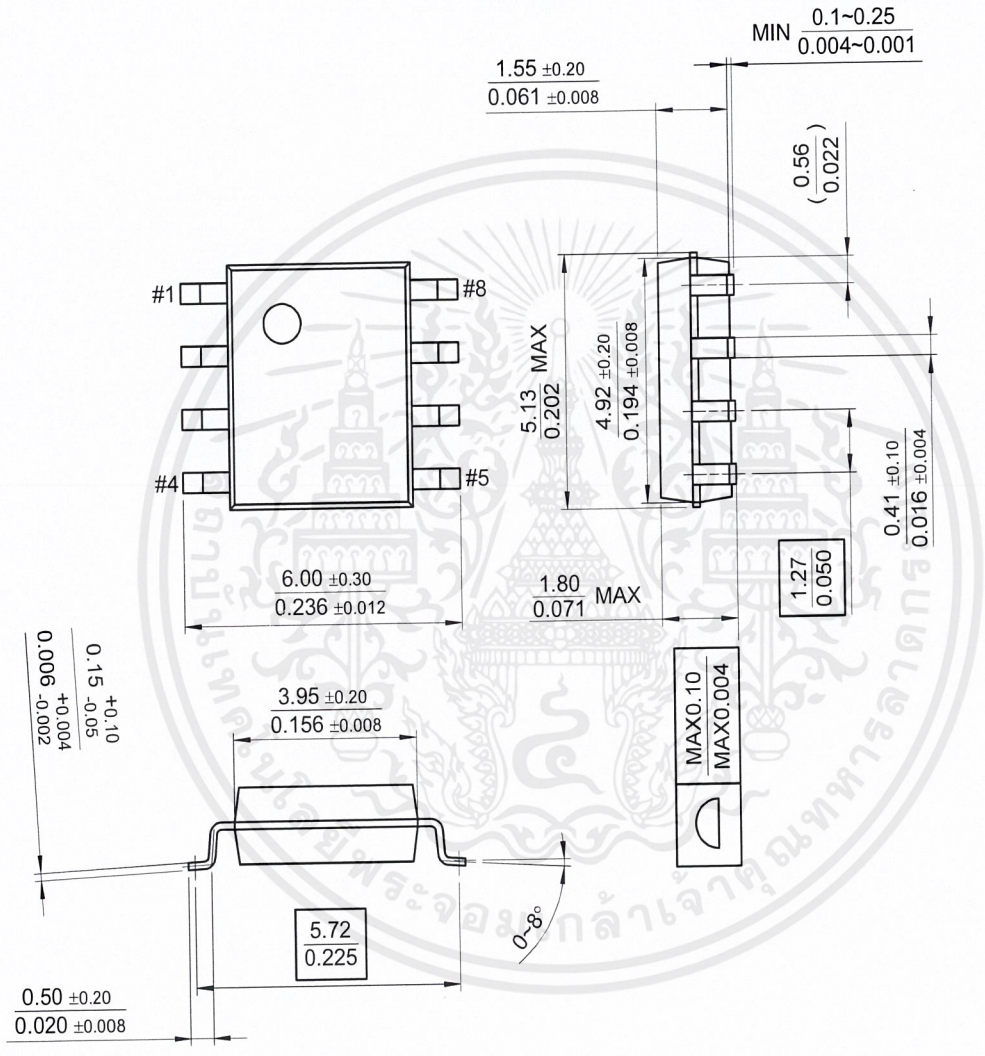


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions (Continued)

Package

8-SOP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM741CN	8-DIP	0 ~ + 70°C
LM741CM	8-SOP	
LM741IN	8-DIP	-40 ~ + 85°C

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.

2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2904,LM358/LM358A,LM258/LM258A

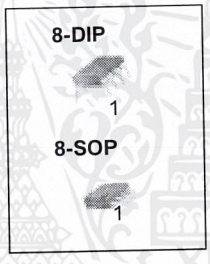
Dual Operational Amplifier

Features

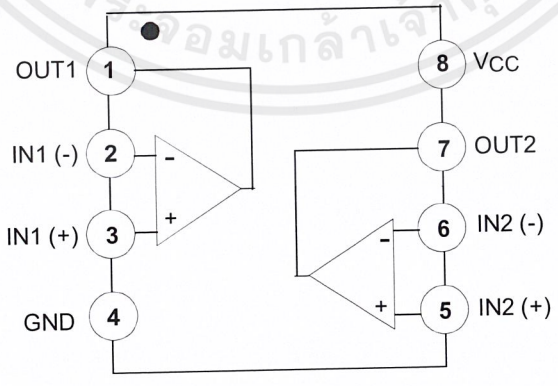
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
  LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V~32V (or ±1.5V ~ 16V)
  LM2904 : 3V~26V (or ±1.5V ~ 13V)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V DC to Vcc -1.5V DC
- Power Drain Suitable for Battery Operation.

Description

The LM2904,LM358/LM358A, LM258/LM258A consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



Internal Block Diagram

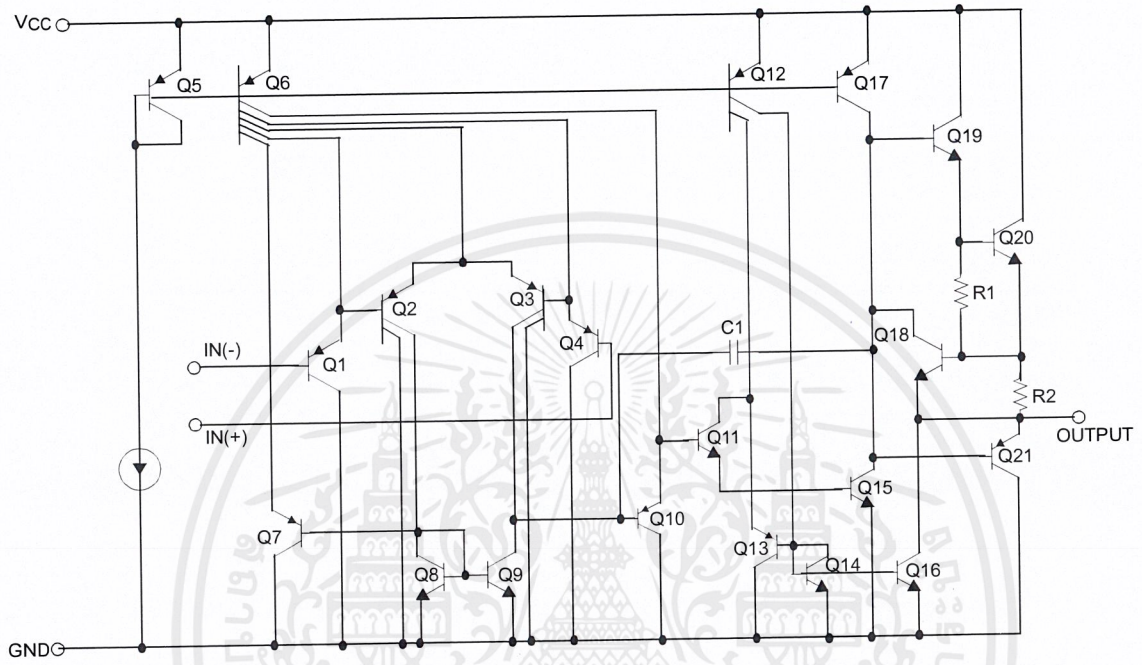


Rev. 1.0.2

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic Diagram

(One section only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM258/LM258A	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	32	32	26	V
Input Voltage	V_I	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND $V_{CC} \leq 15V$, $T_A = 25°C$(One Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	T_{OPR}	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	V_{CM} = 0V to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)}$ = 1.4V, R_S = 0Ω	-	2.9	5.0	-	2.9	7.0	-	2.9	7.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	3	30	-	5	50	-	5	50	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	45	150	-	45	250	-	45	250	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	V_{CC} = 30V (LM2904, V_{CC}=26V)	0	-	Vcc -1.5	0	-	Vcc -1.5	0	-	Vcc -1.5	V
Supply Current	I_{CC}	R_L = ∞, V_{CC} = 30V (LM2904, V_{CC}=26V)	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		R_L = ∞, V_{CC} = 5V	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G_V	V_{CC} = 15V, R_L= 2kΩ $V_{O(P)}$ = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	V_{CC}=30V (V_{CC} =26V for LM2904) R_L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		V_{CC}=30V (V_{CC} =26V for LM2904) R_L= 10kΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	V_{CC} = 5V, R_L= 10kΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	80	-	50	80	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note1)	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I_{SC}	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	20	30	-	20	30	-	20	30	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)}$ = 0V, $V_{I(-)}$ = 1V, V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	10	15	-	10	15	-	10	15	-	mA
		$V_{I(+)}$ = 0V, $V_{I(-)}$ =1V , V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 200mV	12	100	-	12	100	-	-	-	-	µA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

Note:

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

(V_{CC}= 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)
The following specification apply over the range of -25°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM258; and the 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM358; and the -40°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM2904

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	V_{CM} = 0V to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)}$ = 1.4V, R_S = 0Ω	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	R_S = 0Ω	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	µV/°C
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	100	-	-	150	-	45	200	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	300	-	40	500	-	40	500	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	V_{CC} = 30V (LM2904 , V_{CC} = 26V)	0	-	Vcc -2.0	0	-	Vcc -2.0	0	-	Vcc -2.0	V
Large Signal Voltage Gain	G_V	V_{CC} = 15V, R_L =2.0kΩ $V_{O(P)}$ = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	V_{CC}=30V (Vcc = 26V for LM2904) R_L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		R_L=10kΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	V_{CC} = 5V, R_L=10kΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	10	30	-	10	30	-	10	30	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)}$ = 0V, $V_{I(-)}$ = 1V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	5	8	-	5	9	-	5	9	-	mA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258A			LM358A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	V_{CM} = 0V to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)}$ = 1.4V, R_S = 0Ω	-	1.0	3.0	-	2.0	3.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	2	15	-	5	30	nA
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	80	-	45	100	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	V_{CC} = 30V	0	-	V_{CC} -1.5	0	-	V_{CC} -1.5	V
Supply Current	I_{CC}	R_L = ∞,V_{CC} = 30V	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		RL = ∞, V_{CC} = 5V	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G_V	V_{CC} = 15V, R_L= 2kΩ V_O = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH}	V_{CC} = 30V, R_L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
		V_{CC} = 30V, R_L =10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
	$V_{O(L)}$	V_{CC} = 5V, R_L=10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note1)	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I_{SC}	-	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	20	30	-	20	30	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	10	15	-	10	15	-	mA
		V_{in} + = 0V, V_{in} (-) = 1V $V_{O(P)}$ = 200mV	12	100	-	12	100	-	µA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

Note:

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)
The following specification apply over the range of -25°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM258A; and the 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM358A

Parameter	Symbol	Conditions	LM258A			LM358A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	V_{CM} = 0V to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)}$ = 1.4V, R_S = 0Ω	-	-	4.0	-	-	5.0	mV
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	7.0	15	-	7.0	20	µV/°C
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	30	-	-	75	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	10	200	-	10	300	pA/°C
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	100	-	40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V_{I(R)}$	V_{CC} = 30V	0	-	Vcc -2.0	0	-	Vcc -2.0	V
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	V_{CC} = 30V, R_L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
		V_{CC} = 30V, R_L = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
	$V_{O(L)}$	V_{CC} = 5V, R_L=10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Large Signal Voltage Gain	G_V	V_{CC} = 15V, R_L=2.0kΩ $V_{O(P)}$ = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	V/mV
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	10	30	-	10	30	-	mA
	I_{SINK}	$V_{I(+)}$ = 1V, $V_{I(-)}$ = 0V V_{CC} = 15V, $V_{O(P)}$ = 2V	5	9	-	5	9	-	mA
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

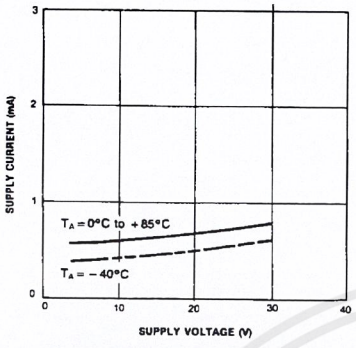


Figure 1. Supply Current vs Supply Voltage

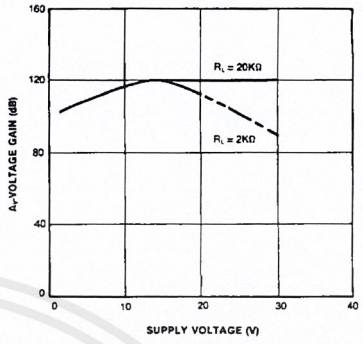


Figure 2. Voltage Gain vs Supply Voltage

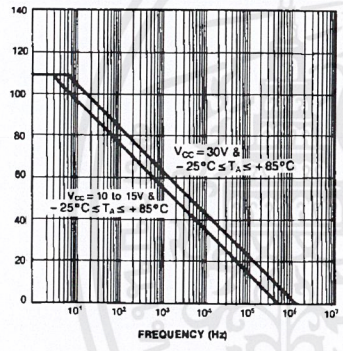


Figure 3. Open Loop Frequency Response

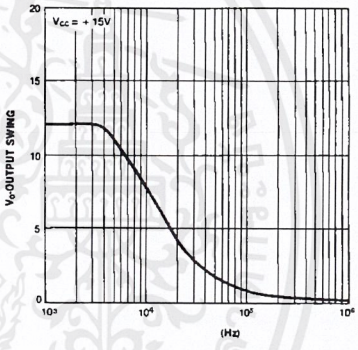


Figure 4. Large Signal Output Swing vs Frequency

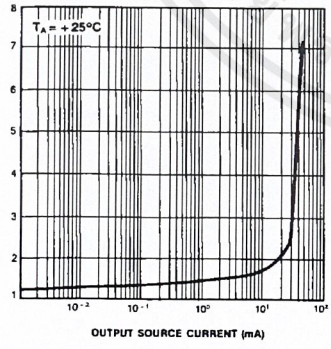


Figure 5. Output Characteristics vs Current Sourcing

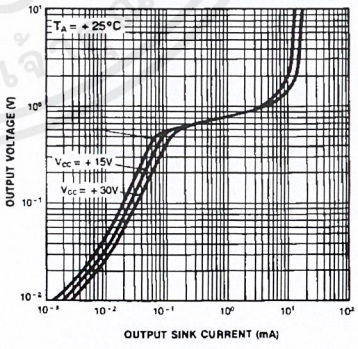


Figure 6. Output Characteristics vs Current Sinking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

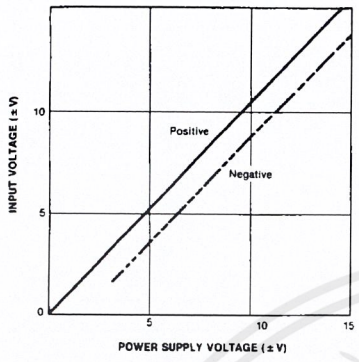


Figure 7. Input Voltage Range vs Supply Voltage

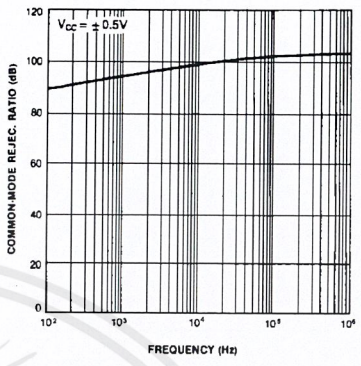


Figure 8. Common-Mode Rejection Ratio

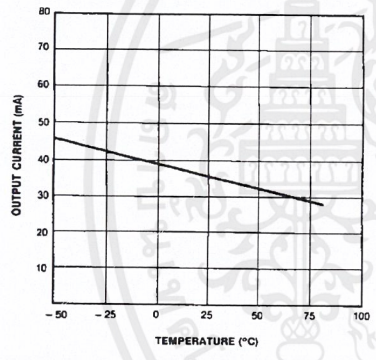


Figure 9. Output Current vs Temperature (Current Limiting)

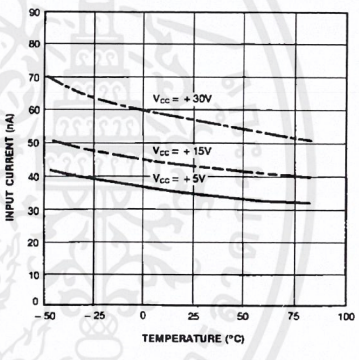


Figure 10. Input Current vs Temperature

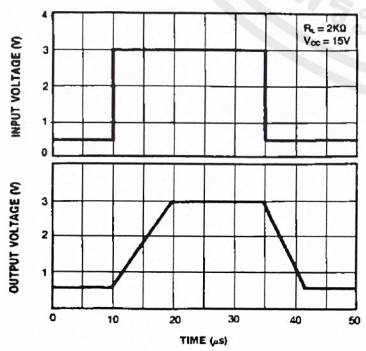


Figure 11. Voltage Follower Pulse Response

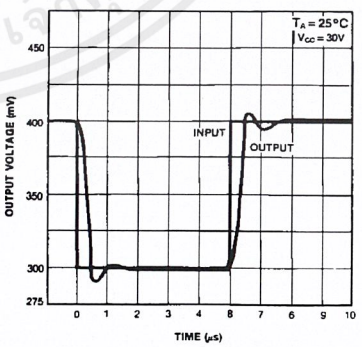


Figure 12. Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)

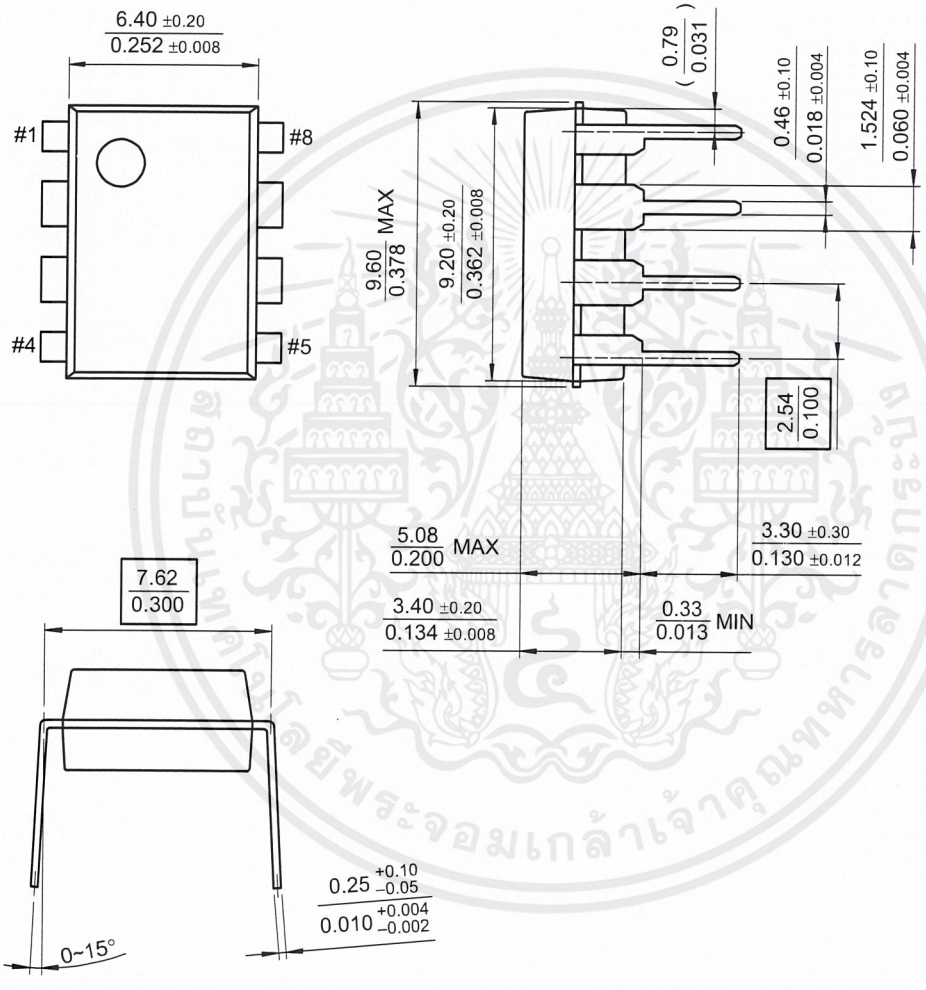
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

8-DIP



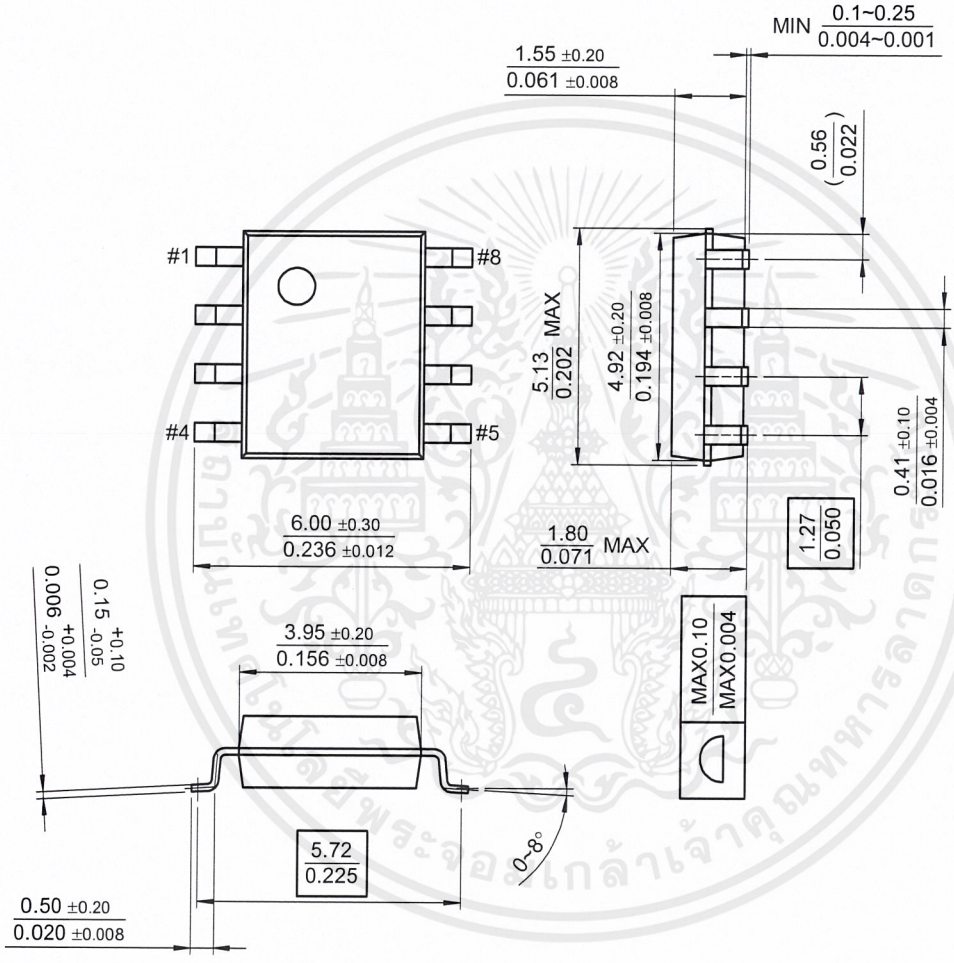
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions (Continued)

Package

Dimensions in millimeters

8-SOP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM358N	8-DIP	0 ~ +70°C
LM358AN		
LM358M	8-SOP	
LM358AM		
LM2904N	8-DIP	-40 ~ +85°C
LM2904M	8-SOP	
LM258N	8-DIP	-25 ~ +85°C
LM258AN		
LM258M	8-SOP	
LM258AM		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
คู่มือการใช้งาน

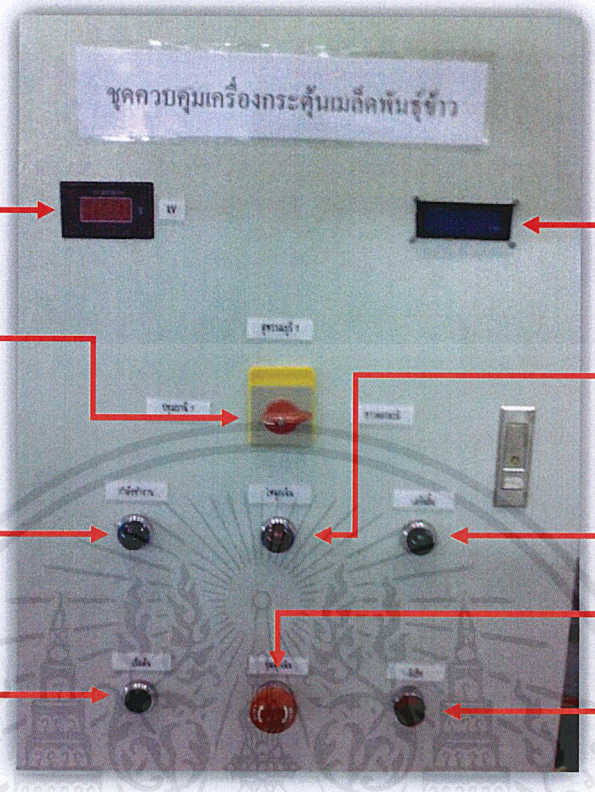
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานชุดควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

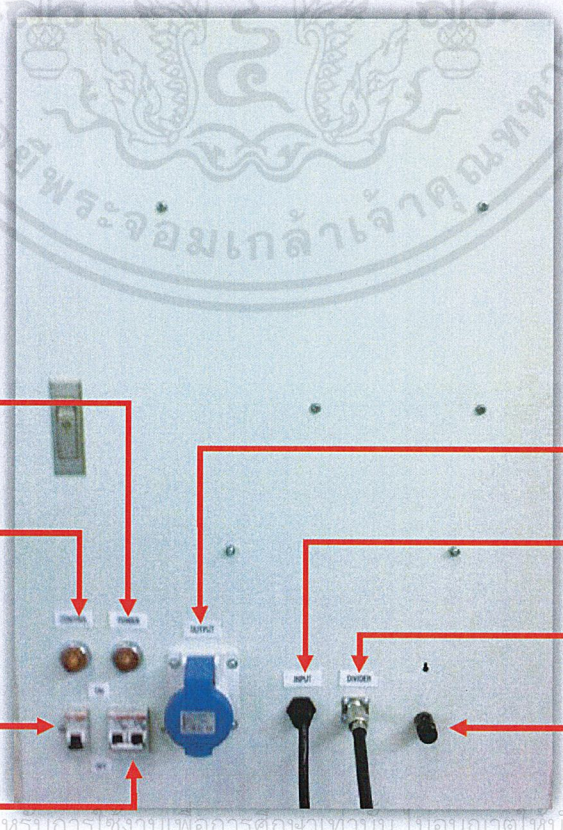


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าตู้ควบคุม



หลังตู้ควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้งานตู้ควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

1. เสียบปลั๊กตู้ควบคุมเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก
2. เปิดเบรกเกอร์กำลังและเบรกเกอร์ควบคุมที่หลังตู้ควบคุม
3. รอหน้าจอแสดงผลทำงาน แล้วจึงหมุนสวิตช์เลือกชนิดพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการกระตุ้น
4. กดปุ่มเริ่มต้น (ไฟแสดงสถานะกำลังทำงานจะติด)
5. รอจนหน้าจอแสดงผลนับเวลาถอยหลังเสร็จสิ้น หน้าจอแสดงผลจะขึ้นคำว่า FINISH (ไฟแสดงสถานะเสร็จสิ้นจะติด)
6. ทำการปิดเบรกเกอร์กำลังและเบรกเกอร์ควบคุมแล้วถอดปลั๊กออก

ข้อแนะนำ

1. หากการแสดงผลของตู้ควบคุมขัดข้องให้กดปุ่มรีเซ็ตแล้วเริ่มการทำงานของตู้ใหม่
2. หากมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กให้กดปุ่มฉุกเฉิน (ไฟแสดงสถานะฉุกเฉินจะติด)
3. เมื่อกดปุ่มฉุกเฉินและทำการแก้ไขแล้ว ให้หมุนปุ่มฉุกเฉินกลับมาแล้วกดปุ่มรีเซ็ต

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็ก

กำลังไฟฟ้าของเครื่องกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยสนามไฟฟ้าขนาดเล็กมีค่าประมาณ 600 W

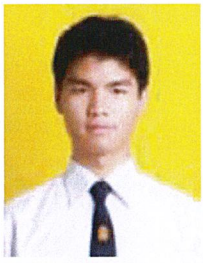
การกระตุ้น 1 ครั้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที จะใช้ไฟ $\frac{600}{1000} \times \frac{20}{60} = 0.2$ Unit

ค่าไฟ Unit ละประมาณ 3 บาท

ดังนั้นในการกระตุ้น 1 ครั้งจะเสียค่าไฟประมาณ 0.6 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายกฤษฎา แซ่จึง เกิดวันที่ 24 กรกฎาคม 2532
สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย
อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ
มีความสนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
และระบบไฟฟ้ากำลัง
ฝึกงานที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



นายณัฐชนน เอกวิริยะกิจ เกิดวันที่ 14 พฤษภาคม 2533
สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง
เขตบางกะปิ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
มีความสนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
และระบบไฟฟ้ากำลัง
ฝึกงานที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



นายทักษ์ดนัย เขียวเขิน เกิดวันที่ 27 พฤศจิกายน 2531
สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิจิตรพิทยาคม
อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร
มีความสนใจในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
และระบบไฟฟ้ากำลัง
ฝึกงานที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้