สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบสร้างต้นแบบ
เครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง
DESIGN A PROTOTYPE OF DIRECT METHOD-TYPE GONIOPHOTOMETER

โดย

นายเลอเดช ฉ้งทับ
นายสฤษดิ์ กิติศรีวรพันธุ์
นายสุกิจ ทองใบ
นายอนุรักษ์ ขำดี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62614
วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

การออกแบบสร้างต้นแบบ
เครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง
DESIGN A PROTOTYPE OF DIRECT METHOD–TYPE GONIOPHOTOMETER

โดย

นายเลอเดช	ฉ้งทับ
นายสฤษดิ์	กิติศรีวรพันธุ์
นายสุกิจ	ทองใบ
นายอนุรักษ์	ชำดี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศุลี	บรรจงจิตร
รศ.มณฑล	ลีลาจินดาไกรฤกษ์
ดร.ชาย	ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง ด้วยวิธีการวัดโดยตรง

ผู้จัดทำ

1. นายเลอเดช ฉ้งทับ
2. นายสฤษดิ์ กิติศรีวรพันธุ์
3. นายสุกิจ ทองใบ
4. นายอนุรักษ์ ขำดี

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ศุลี บรรจงจิตร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ชาย ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องวัดการกระจายแสงด้วยวิธีการวัดโดยตรง

นายเลอเดช	ฉังทับ	
นายสฤษดิ์	กิติศรีวรพันธุ์	
นายสุกิจ	ทองใบ	
นายอนุรักษ์	ขำดี	
รศ.ศุลี	บรรจงจิตร	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.มณฑล	ลีลาจินดาไกรฤกษ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.ชาย	ชมภูอินไหว	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ เป็นการออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง ด้วยวิธีการวัดโดยตรง โดยได้ทำการศึกษาทฤษฎีการส่องสว่าง การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง การควบคุมการทำงานของเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง และสร้างแบบจำลองขึ้นมา โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับ ไมโครคอลโทรลเลอร์ ในการควบคุมการทำงาน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN A PROTOTYPE OF DIRECT METHOD–TYPE GONIOPHOTOMETER

Lordet	Chongthab	
Sarit	Kitisiworapan	
Sukit	Thongbai	
Anurak	Kumdee	
Assc.Porf.Sulee	Bunjongjit	Advisor
Assc.Porf.Monthon	Leelachindakaileak	Advisor
Dr.Chai	Chompoo-inwai	Advisor

2005

ABSTRACT

This project proposes a prototype design of direct method-type goniophotometer which will use to be a guideline before implementing the practical-real one. A proposed model can use to test both flood light luminarie (type B) and roadway lighting (type C). All processes are controlled via microcontroller program interface. The output result from the machine is presented in IES standard file format.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน อันประกอบไปด้วย

1. รศ.ศุลี บรรจงจิตร รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ และ ดร.ชาย ชมพูอินไหว ที่คอยให้ความเอาใจใส่ ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา
2. พี่ต้น พี่จุง และพี่ลิ้ม พี่ ปริญญาโท ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และอยู่เคียงข้าเราตลอดมา
3. ผศ.ไสว พงศ์สวัสดิ์ อาจารย์ประจำภาควัดคุม ที่ให้คำปรึกษาในเรื่อง Servo motor
4. อาจารย์ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิศกรรมไฟฟ้า มหาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความรู้เรื่องเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง
5. อาจารย์วรวิทย์ สมหา อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะคุรุศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้าน MCS-51

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้เรามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูพวกเรามาเป็นอย่างดียิ่ง พร้อมทั้งให้โอกาสทางด้านการศึกษาอย่างเต็มที่ และเอาใจใส่เสมอมา พวกเราขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะผู้จัดทำ

นายเลอเดช ฉังทับ (บอย)
44/2 ม.10 ต.คลองกระบือ อ.ปากพนัง
จ.นครศรีธรรมราช 80140
โทรศัพท์ (075) 370685, 06-8817662

นายสฤษดิ์ กิติศรีวรพันธุ์ (จ๊อด)
251 ม.15 ต.บ้านคอ อ.โพนสวรรค์ จ.นครพนม
48190
โทรศัพท์ 04 - 0339209

นายสุกิจ ทองใบ (แก่น)
38/1 หมู่ 9 ต.ช่องสาริกา อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี
15220
โทรศัพท์ 09 - 1641230

นายอนุรักษ์ ขำดี (จุ้ย)
1 ม.8 ต.ยางขี้นก อ.เขื่องใน จ.อุบลราชธานี
34150
โทรศัพท์ 05-8908941

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I
ABSTRACT II
สารบัญ III
สารบัญรูป VI
สารบัญตาราง VIII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย 1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พิกัดการวัด 3
2.1.1 พิกัดการวัดชนิด A 3
2.1.2 พิกัดการวัดชนิด B 5
2.1.3 พิกัดการวัดชนิด C 5
2.2 เครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง 6
2.2.1 ชนิดหมุนแหล่งกำเนิดแสง 6
2.2.1.1 หลักการทำงาน 6
2.2.1.2 การนำไปใช้ 6
2.2.2 ชนิดเคลื่อนย้ายหัววัดความเข้มแสง 7
2.2.2.1 หลักการ 7
2.2.2.2 การนำไปใช้ 7
2.2.3 ชนิดอาศัยการเคลื่อนที่ของกระจก 8
2.2.3.1 หลักการ 8
2.2.3.2 การนำไปใช้ 8
2.3 มาตรฐานการทดสอบ 9
2.3.1 ดวงโคมภายในอาคาร 9
2.3.1.1 การเลือกเครื่องมือและวิธีการทดสอบ 9
2.3.1.2 ข้อกำหนดสำหรับการทดสอบ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.1.3 ข้อบังคับสำหรับเครื่องมือในการทดสอบ 12
2.3.1.4 การเตรียมหลอดและดวงโคมสำหรับทดสอบ 12
2.3.1.5 วิธีและกระบวนการในการทดสอบ 13
2.3.2 ดวงโคมไฟถนน 13
2.3.2.1 การเลือกอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ 13
2.3.2.2 ข้อกำหนดห้องทดสอบ 13
2.3.2.3 ข้อบังคับสำหรับเครื่องมือทดสอบ 14
2.3.2.4 การเตรียมหลอดและดวงโคมสำหรับทดสอบ 14
2.3.2.5 วิธีการและกระบวนการในการทดสอบ 14
2.3.3 ดวงโคมฉาย 14
2.3.3.1 ระดับความแม่นยำที่ยอมรับได้ในการวัด 15
2.3.3.2 อุปกรณ์ในการทดสอบ 15
2.3.3.3 เงื่อนไขสำหรับการทดสอบ 15
2.3.3.4 กระบวนการทดสอบ 16

บทที่ 3 องค์ประกอบทางกล

3.1 มอเตอร์ (Motor) 17
3.1.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) 17
3.1.1.1 ส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ 18
3.1.1.2 หลักการทำงานเซอร์โวมอเตอร์ 19
3.1.2 สเตปมอเตอร์ (Step Motor) 20
3.1.2.1 ส่วนประกอบสเตปมอเตอร์ 20
3.1.2.2 หลักการทำงานสเตปมอเตอร์ 22
3.2 เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) 27
3.2.1 อนาลอกเอนโค้ดเดอร์ (Analog Encoder) 27
3.2.2 ดิจิตอลเอนโค้ดเดอร์ (Digital Encoder) 28
3.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์ 29
3.3.1 ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์ 29
3.3.1.1 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบเซอร์โว 30
3.3.1.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสสลับแบบเซอร์โว 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2 ระบบควบคุมเซอร์โว 31
3.3.2.1 การควบคุมการเลื่อนตำแหน่ง (Position Control) 31
3.3.2.2 การควบคุมความเร็ว (Speed control) 32
3.4 ส่วนประกอบเชิงกล 33
3.4.1 เพลา 33
3.4.2 ลิ่ม 34
3.4.3 โซ่ 34
3.4.5 เฟือง 34
3.5 การคำนวณหาขนาดกำลังงาน 35

บทที่ 4 ต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง

4.1 การออกแบบควบคุมโดยไมโครคอนโทรเลอร์ 36
4.1.1 ส่วนประกอบโครงสร้างการควบคุมโดยไมโครคอนโทรเลอร์ 36
4.1.2 การทำงานโดยการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ 39
4.2 การออกแบบควบคุมโดยพีแอลซี (PLC: Programmable logic controller) .. 40
4.2.1 ส่วนประกอบโครงสร้างของการควบคุมโดยพีแอลซี 41
4.2.2 การทำงานโดยการควบคุมด้วยพีแอลซี 46
4.3 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 47

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 สรุป 51
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา 52

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 พิกัดการวัดชนิด A 3
2.2 พิกัดการวัดชนิด B 4
2.3 พิกัดการวัดชนิด C 5
2.4 เครื่องโกนิโอโตมิเตอร์ชนิดหมุนแหล่งกำเนิดแสง 7
2.5 เครื่องโกนิโอโตมิเตอร์ชนิดเคลื่อนย้ายหัววัดความเข้มแสง 8
2.6 เครื่องโกนิโอโฟโตมิเตอร์ที่อาศัยการเคลื่อนที่ของกระจก 9

3.1 การแยกประเภทของ Servo Motor 17
3.2 โครงสร้างเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ 18
3.3 โครงสร้างภายในสเตปมอเตอร์ 21
3.4 คอนโทรลเลอร์ของสเตปมอเตอร์ 22
3.5 วิธีการควบคุมสเตปมอเตอร์ 22
3.6 หลักการควบคุมสเตปมอเตอร์ 23
3.7 วงจรการจ่ายไฟให้กับสเตปมอเตอร์ 23
3.8 การกระตุ้นขดลวดแบบเวฟ 24
3.9 การกระตุ้นขดลวดแบบ 2 เฟส 25
3.10 การกระตุ้นขดลวดแบบครึ่งสเต็ป 25
3.11 การแยกประเภทของ Encoder 27
3.12 โครงสร้างอินครีเมนทอลเอนโค้ดเดอร์ 28
3.13 สัญญาณพัลส์ของอินครีเมนทอลเอนโค้ดเดอร์ 28
3.14 โครงสร้างแอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์ 29
3.15 วงจรควบคุมตำแหน่งและความเร็วแบบปิดของการขับเคลื่อน
มอเตอร์กระแสตรงแบบเซอร์โว 30
3.16 การควบคุมแบบ Field-Oriented สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเซอร์โว 31
3.17 การควบคุมการเลื่อนตำแหน่งด้วยระบบเซอร์โว 32
3.18 การควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ 33
3.19 การขบกันของเฟือง 34
3.20 การหมุนของเฟือง 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 ส่วนประกอบโครงสร้างการควบคุมโดยไมโครคอนโทรเลอร์ 37
4.2 ไมโครคอนโทรเลอร์และชุดขับเคลื่อนสเตปมอเตอร์ 38
4.3 วงจรไมโครคอนโทรเลอร์และวงจรขับสเตปมอเตอร์ 38
4.4 โฟลชาร์ทการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 39
4.5 ส่วนประกอบโครงสร้างของการควบคุมโดยพีแอลซี 41
4.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม 42
4.7 วงจรนับพัลส์ 43
4.8 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง 44
4.9 วงจรขับสเตปมอเตอร์ 44
4.10 ไดอะแกรมการต่ออินพุทของพีแอลซี 45
4.11 ไดอะแกรมการต่อเอาต์พุทของพีแอลซี 45
4.12 โฟลชาร์ทการควบคุมโดยใช้พีแอลซี 46
4.13 หน้าต่างเริ่มต้นการทำงาน 47
4.14 หน้าต่างการเลือกระนาบในการทดสอบ 47
4.15 หน้าต่างการป้อนมุมและระนาบความละเอียดในแต่ระนาบ 48
4.16 หน้าต่างการปรับตั้งตำแหน่งแต่ละระนาบ 48
4.17 หน้าต่างช่วงเวลาในการรอให้หลอดเข้าสู่เสถียรภาพ 49
4.18 หน้าต่างแสดงค่ามุมขณะทำการทดสอบ 49
4.19 หน้าต่างแสดงผลการทดสอบ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่แม่นยำในการวัด 10

3.1 เปรียบเทียบเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับและเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง 20
3.2 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์ 26

5.1 เปรียบเทียบพีแอลซี (PLC) และไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ปัจจุบัน ระบบแสงสว่าง นับได้ว่ามีความสำคัญและจำเป็นอย่างมาก ในการใช้ในชีวิตประจำวัน รวมทั้งภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญในการพัฒนาประเทศให้ทัดเทียมกับนานาประเทศ

ในการออกแบบระบบแสงสว่างนั้น ข้อมูลการกระจายแสงของหลอดและดวงโคมจึงเป็นข้อมูลที่ต้องคำนึงถึงและนำไปพิจารณาด้วย เพื่อให้การออกแบบระบบแสงสว่างมีประสิทธิภาพ

ข้อมูลการกระจายแสงของดวงโคม ที่มีความถูกต้องและยอมรับได้จะต้องมีเครื่องวัดการกระจายแสงที่มีความแม่นยำและได้มาตรฐาน ทางห้องปฏิบัติการทางแสง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงได้มีโครงการสร้างเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรงขึ้น เพื่อใช้ในการวัดข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมชนิดต่างๆ

สิ่งสำคัญที่จะทำให้โครงการนี้มีความเป็นไปได้ จึงต้องมีการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างขึ้นมา เพื่อเป็นการศึกษาแนวทางความเป็นไปได้และเพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นในการดำเนินงานจริง

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. ศึกษาพื้นฐาน และความรู้เบื่องต้นเกี่ยวกับการวัดข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมประเภทต่างๆ

2. ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาเป็นส่วนประกอบของเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง

3. สร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง ด้วยวิธีการวัดโดยตรง เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ

4. ศึกษาการทำงานและออกแบบโครงสร้าง ของเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

โครงงานนี้ ได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวกับการออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง (Design a Phototype of Direct Method-Type Goniophotometer) โดยได้สร้างเครื่องจำลองขึ้นมา เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาหลักการควบคุมและออกแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างเครื่องจริง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาพื้นฐานสั่งผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) เพื่อควบคุมการทำงานกลไกของแบบจำลองให้ทำงานตามคำสั่งที่ป้อน แล้วรายงานผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

การดำเนินงานของโครงงาน ได้เริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีทางแสง ที่เกี่ยวหลักการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างตามมาตรฐานสากล เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้าง เครื่องทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่างโดยตรง ต่อจากนั้น ได้ศึกษาถึงหลักการทำงานของอุปกรณ์ ที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างไม่ว่าจะเป็น มอเตอร์ พีแอลซี (PLC) หัววัดความเข้มแสง ชุดขับมอเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมกระทั้งศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แล้วสร้างแบบจำลองเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรงขึ้นมา

ในส่วนของเครื่องจำลองนั้น ได้ออกแบบให้มีการทำงานเหมือนกับเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง ในส่วนของการควบคุมการทำงานนั้นจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ร่วมกับไมโครคอลโทรลเลอร์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ออกแบบโครงสร้าง และระบบควบคุมแบบจำลอง ให้สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรงได้

2. นำรูปแบบโครงสร้างและระบบควบคุม ไปประยุกต์ใช้กับเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรงได้

3. นำเครื่องต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง มาเป็นสื่อการเรียนการสอนได้

4. การควบคุมการทำงาน ของเครื่องต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างได้โดยการรับค่าผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

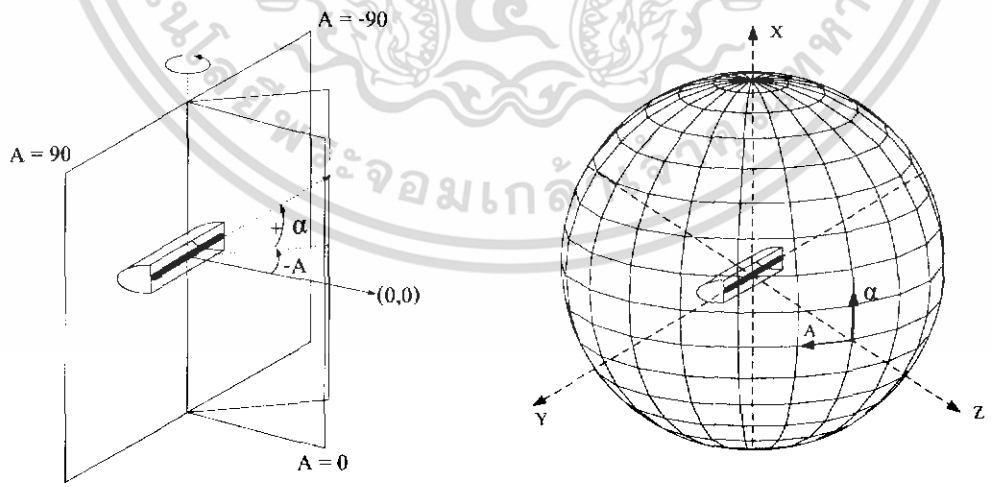
เนื้อหาในบทนี้ กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่สำคัญในการวัดค่าทางแสง ซึ่งจะประกอบด้วย พิกัดการวัด เครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง และข้อบังคับในการทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่าง

2.1 พิกัดการวัด

การทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมไฟฟ้านั้น จะมีการทดสอบโดยการวัดค่าความเข้มส่องสว่างในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งจะบ่งบอกเป็นพิกัดของมุมในระนาบ แล้วแต่ชนิดของดวงโคมไฟฟ้าว่าเหมาะสมกับการทดสอบในลักษณะใด โดยพิกัดการวัดตามมาตรฐานสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

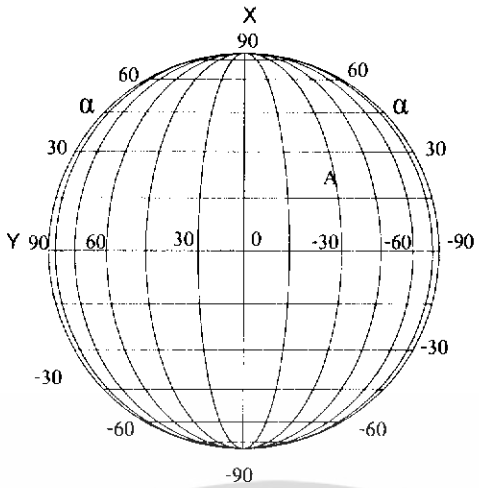
2.1.1 พิกัดการวัดชนิด A

พิกัดการวัดชนิด A เป็นระบบการวัดที่มีลักษณะการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างคล้ายกับทรงกลมครึ่งซีกซึ่งมีพิกัดการวัด 2 พิกัดคือ พิกัดแกน A ซึ่งเป็นแกนหมุนดวงโคมไฟฟ้า ซึ่งเป็นแกนที่ตั้งฉากกับความยาวของดวงโคมไฟฟ้าและขนานกับพื้นที่รับแสง มีพิกัดการหมุนระหว่าง A_{90} ถึง A_{-90} และ พิกัดมุม α เป็นมุมภายในแกน A ที่บอกทิศทางของการกระจายความเข้มส่องสว่างมีมุมระหว่าง α_{-90} ถึง α_{90} ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 พิกัดการวัดชนิด A

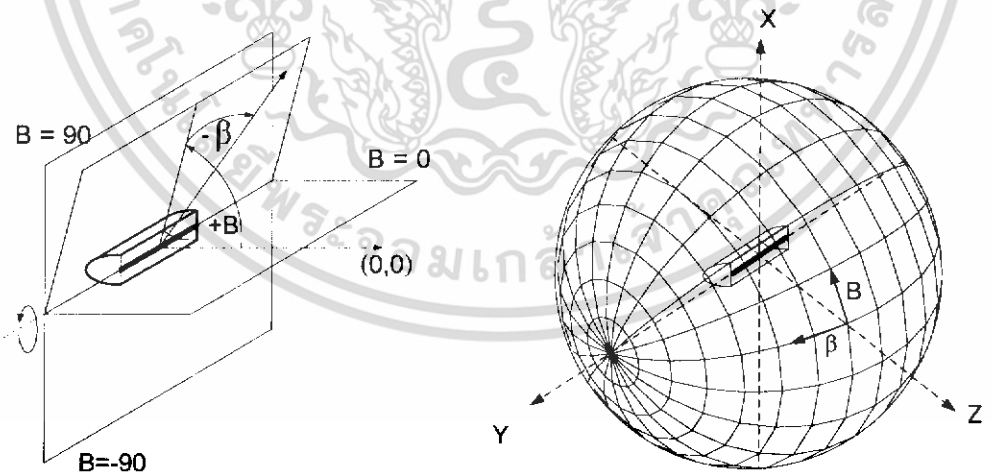
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 (ต่อ) พิกัดการวัดชนิด A

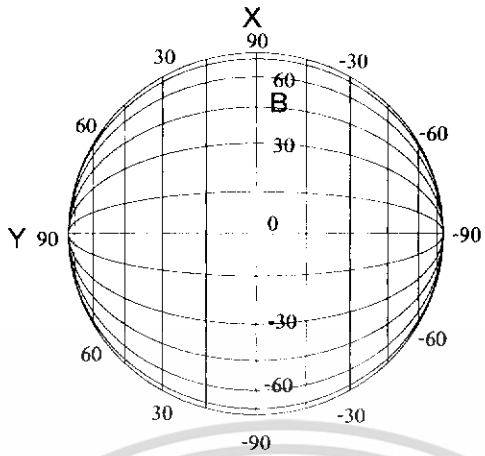
2.1.2 พิกัดการวัดชนิด B

พิกัดการวัดชนิด B เป็นระบบการวัดที่มีลักษณะการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างคล้ายกับทรงกลมครึ่งซีก ซึ่งมีพิกัดการวัด 2 พิกัดคือ พิกัดแกน B เป็นพิกัดแกนหมุนดวงโคมไฟฟ้าไปตามแกน ซึ่งเป็นแกนที่ขนานกับความยาวของดวงโคมและขนานกับพื้นที่รับแสง มีพิกัดการหมุนอยู่ระหว่าง B_{-90} ถึง B_{90} และ พิกัดมุม β เป็นมุมภายในแกน B ที่บอกทิศทางการกระจายความเข้มส่องสว่างมีมุมระหว่าง β_{-90} ถึง β_{90} ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 พิกัดการวัดชนิด B

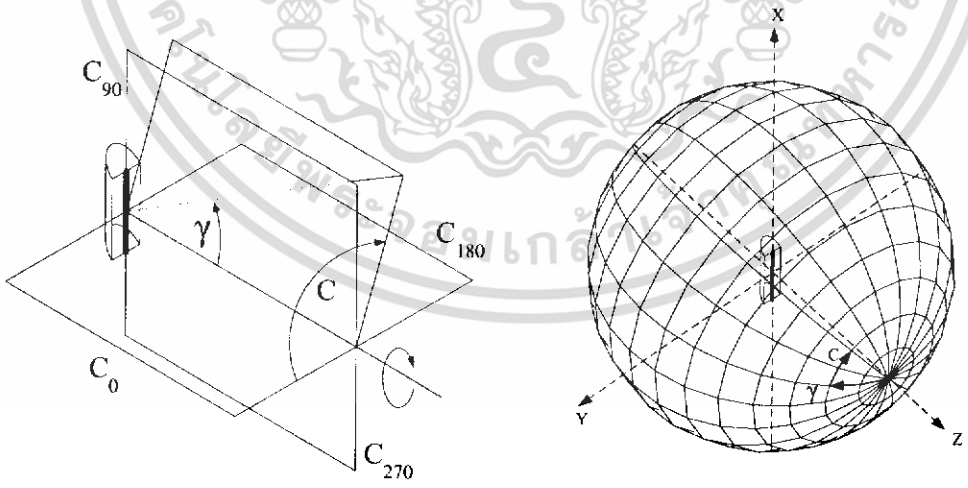
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 (ต่อ) พิกัดการวัดชนิด B

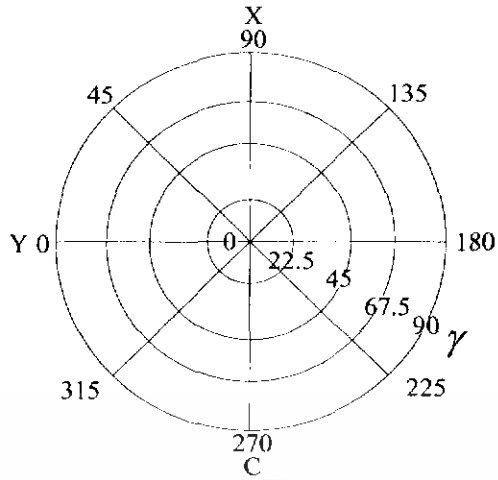
2.1.3 พิกัดการวัดชนิด C

พิกัดการวัดชนิด C เป็นระบบที่มีลักษณะการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างคล้ายกับทรงกลมซึ่งมีพิกัดการวัด 2 พิกัด คือ พิกัดแกน C เป็นพิกัดแกนหมุนดวงโคมไฟฟ้าตามแกน ซึ่งเป็นแกนที่ที่ตั้งฉากกับความยาวของดวงโคมไฟฟ้าและตั้งฉากกลับพื้นที่รับแสง มีพิกัดการหมุนอยู่ระหว่าง C_0 ถึง C_{360} และ พิกัดมุม γ เป็นมุมภายในแกน C ที่บอกทิศทางการกระจายความเข้มส่องสว่างมีพิกัดมุมอยู่ระหว่าง γ_0 ถึง γ_{180} ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 พิกัดการวัดชนิด C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 (ต่อ) พิกัดการวัดชนิด C

2.2 เครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. ชนิดหมุนแหล่งกำเนิดแสง
2. ชนิดเคลื่อนย้ายหัววัดความเข้มแสง
3. ชนิดอาศัยการหมุนของกระจก

สำหรับหลักการทำงาน และการนำไปใช้ของเครื่องทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่างแต่ละชนิด เป็นดังนี้

2.2.1 ชนิดหมุนแหล่งกำเนิดแสง

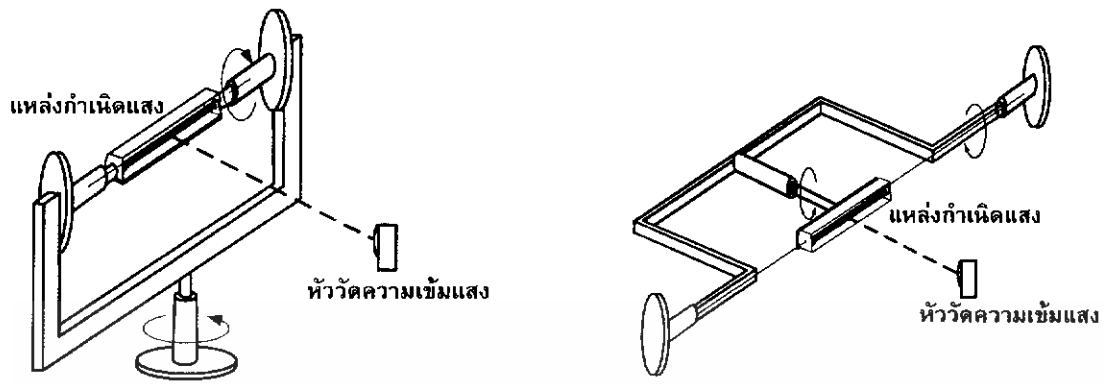
2.2.1.1 หลักการทำงาน

แหล่งกำเนิดแสงจะสามารถหมุนรอบทั้งแกนในแนวดิ่ง และแกนในแนวนอน โดยหัววัดความเข้มแสงจะอยู่กับที่ ดังรูปที่ 2.4 ความแม่นยำของการกระจายความเข้มส่องสว่างในโกนิโอโฟโตมิเตอร์ชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับการติดตั้ง และความแข็งแรงของโครงสร้าง

2.2.1.2 การนำไปใช้

เครื่องโกนิโอโฟโตมิเตอร์ชนิดหมุนแหล่งกำเนิดแสง ควรจะใช้กับหลอดเผาไส้ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือโคมที่ใช้กับหลอดดังกล่าว เครื่องโกนิโอโฟโตมิเตอร์ชนิดนี้มีข้อดีในด้านโครงสร้างและราคา เงื่อนไขความแม่นยำในการวัด คือ ระยะห่างในการทดสอบซึ่งขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์กับความลึก และความสูงของห้องเป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครื่องโกนิโอโตมิเตอร์ชนิดหมุนแหล่งกำเนิดแสง

2.2.2 ชนิดเคลื่อนย้ายหัววัดความเข้มแสง

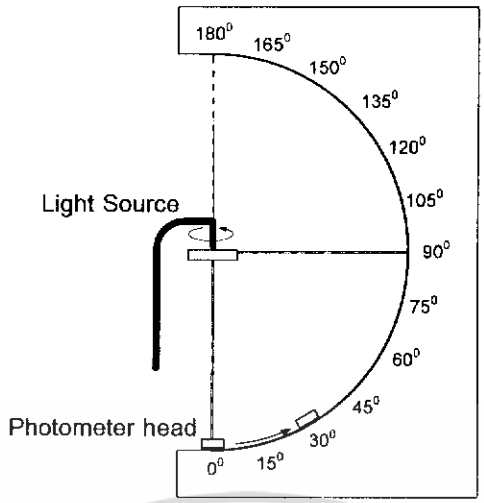
2.2.2.1 หลักการ

มุมในระนาบแนวนอนอาศัยการหมุนแหล่งกำเนิดแสง ส่วนมุมในระนาบแนวดิ่งจะอาศัยการเคลื่อนที่หัววัดความเข้มแสง หรือใช้หัววัดความเข้มแสงหลายหัวติดตั้งตามตำแหน่งที่ต้องการวัดบนระนาบแนวดิ่ง แทนการเคลื่อนที่ของหัววัดความเข้มแสงได้ โดยจำนวนหัววัดความเข้มแสงจะต้องเท่ากับจำนวนมุมที่ต้องการวัด อีกทั้งหัววัดความเข้มแสงแต่ละหัวจะต้องปรับให้ได้มาตรฐานเดียวกัน ดังรูปที่ 2.5

2.2.2.2 การนำไปใช้

เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงถูกหมุนตามแกนแนวดิ่งเท่านั้น ดังนั้นจุดศูนย์กลางของหลอดจะมีตำแหน่งคงที่ เครื่องโกนิโอโฟโตมิเตอร์ชนิดเคลื่อนย้ายหัววัดความเข้มแสงจึงสามารถใช้ได้กับดวงโคมทุกชนิดจึงสามารถวัดหลอดและโคมทุกชนิดได้ เงื่อนไขความแม่นยำในการวัด คือ ระยะห่างในการทดสอบซึ่งขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความลึก และความสูงของห้องเป็นสำคัญ และหัววัดความเข้มแสงแต่ละหัวจะต้องได้มาตรฐานเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เครื่องโกนิโอโตมิเตอร์ชนิดเคลื่อนย้ายหัววัดความเข้มแสง

2.2.3 ชนิดอาศัยการเคลื่อนที่ของกระจก

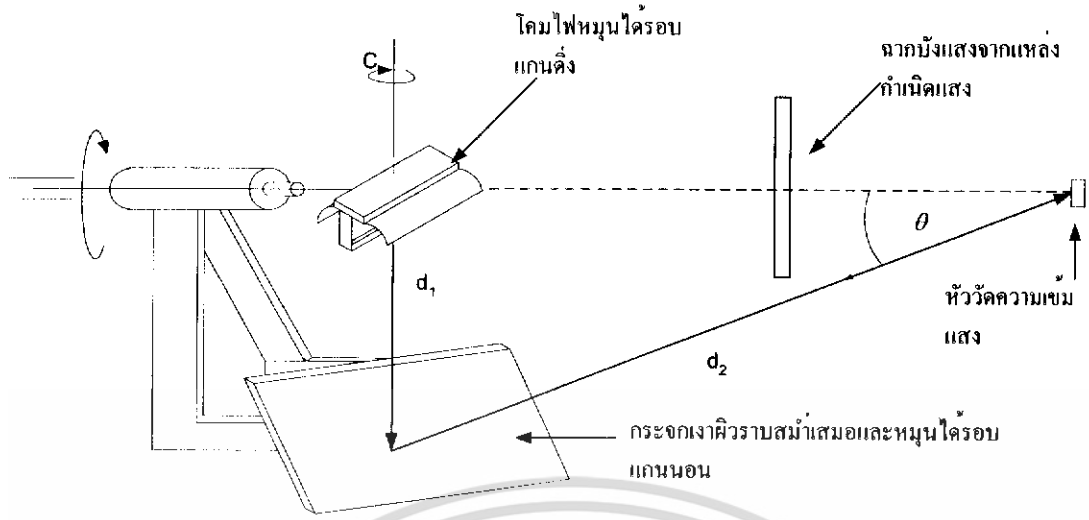
2.2.3.1 หลักการ

มุมในระนาบแนวนอนอาศัยการหมุนแหล่งกำเนิดแสง ส่วนมุมในระนาบแนวดิ่งจะอาศัยการเคลื่อนที่ของกระจกโดยตำแหน่งหัววัดความเข้มแสงอยู่คงที่ ระยะห่างในการทดสอบสามารถปรับความเอียงของกระจกเพื่อเพิ่มระยะได้ ค่าการสะท้อนของกระจกต้องนำมาพิจารณาด้วย

2.2.3.2 การนำไปใช้

เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงถูกหมุนตามแกนแนวดิ่งเท่านั้น ดังนั้นจุดศูนย์กลางของหลอดจะมีตำแหน่งคงที่ เครื่องโกนิโอโฟโตมิเตอร์ชนิดเคลื่อนย้ายหัววัดความเข้มแสงจึงสามารถใช้ได้กับดวงโคมทุกชนิดจึงสามารถวัดหลอดและโคมทุกชนิดได้ เงื่อนไขความแม่นยำในการวัด คือ ระยะห่างในการทดสอบ ความสะอาดของพื้นผิวของกระจกและตัวกั้นแสงสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เครื่องโกนิโอโฟโตมิเตอร์ที่อาศัยการเคลื่อนที่ของกระจก

2.3 มาตรฐานการทดสอบ

ดวงโคมไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในด้านส่องสว่าง เพราะเป็นโครงหรือตัวเรือนของหลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมหลอดไฟ พร้อมทั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ มีหน้าที่ ควบคุมฟลักซ์ส่องสว่างที่ออกมาจากหลอดไฟไม่ให้กระจายไปโดยรอบ โดยที่ดวงโคมไฟฟ้านี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ดวงโคมภายในอาคาร ดวงโคมไฟถนน และดวงโคมฉาย

2.3.1 ดวงโคมภายในอาคาร

ดวงโคมภายในอาคาร สามารถแบ่งออกเป็น ประเภทใหญ่ๆ คือประเภทใช้งานทั่วไป ประเภทใช้งานในอุตสาหกรรม และประเภทใช้สำหรับชี้แสดงภาวะฉุกเฉิน ดวงโคมภายในทั่วไปส่วนมาก มักจะเป็นหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ ซึ่งมักจะพบเห็นทั่วไปตามร้านค้า บ้านเรือน สำนักงาน และอื่นๆ ในส่วนของการทดสอบดวงโคมภายในจะกล่าวถึงข้อกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน CIE ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1.1 การเลือกเครื่องมือและวิธีการทดสอบ

ความถูกต้องในการวัดค่าทางแสงจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ และกระบวนการทดสอบ ดังนั้นก่อนเลือกอุปกรณ์และวิธีการทดสอบจำเป็นจะต้อง พิจารณาถึงผลที่อาจเกิดขึ้นต่อความแม่นยำในการวัด ผลของการทดสอบที่ไม่ถูกต้องและแม่นยำนั้นอาจเกิดจากการวัดที่ไม่ละเอียด ตามปกติแล้วความผิดพลาดมีอยู่ 2 แบบ คือ Systematic error เกิดจากข้อบกพร่องของเครื่องมือวัด และ Random error เกิดจากความผันแปรของสภาวะการทดสอบนอกเหนือการควบคุมในการวัด ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่แม่นยำในการวัด

ตัวอย่างของสาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่แม่นยำในการวัด	
Random Error	Systematic Error
1. ความไม่เสถียรภาพของหลอด	1. การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า
2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	2. การวัดอุณหภูมิ
3. การเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของหลอดและดวงโคม	3. การตอบสนองของหัววัดความเข้มแสงไม่เป็นเชิงเส้น
4. การไหลของอากาศในห้อง	4. การหักเหของแสง
5. การใช้หัววัดความเข้มแสงติดต่อกันเป็นเวลานาน	5. ระยะทางที่ใช้ทดสอบน้อยเกินไป
6. ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานเปลี่ยนแปลง	6. Reflectance factor เปลี่ยนแปลงเนื่องจากกาซุบผิวหน้าของตัวสะท้อน
7. Reflectance factor เปลี่ยนเนื่องจากฝุ่นที่เกาะผิวของตัวสะท้อน	7. ความหน่าแน่นฟอสเฟอร์ของหลอดทดสอบไม่ได้มาตรฐาน

2.3.1.2 ข้อกำหนดสำหรับการทดสอบ

จุดประสงค์ของการทดสอบ เพื่อวัดคุณลักษณะของการส่องสว่าง ของดวงโคมให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ยอมรับ ภายใต้การเปรียบเทียบระหว่างห้องทดสอบกับการใช้งานในทางปฏิบัติที่ออกแบบมา

สภาวะทดสอบมาตรฐาน

ผลจากการวัดคุณลักษณะทางแสง ควรจะได้ผลตามสภาวะการทดสอบมาตรฐาน ซึ่งสภาวะดังกล่าว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบทั้งหลอดเปลือยและดวงโคม มีข้อกำหนดดังนี้

- อุณหภูมิรอบดวงโคมหรือหลอดไฟทดสอบควรมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียล
- สภาพอากาศโดยรอบของดวงโคมทดสอบจะต้องสงบไม่มีลมพัด
- ในการติดตั้งดวงโคมต้องให้มีพื้นที่ของการหมุนของดวงโคมทดสอบ
- ในการทดสอบหลอดเปลือยนั้นควรติดตั้งในแนวนอน สำหรับดวงโคมควรติดตั้งตามลักษณะการออกแบบ

สภาวะการทดสอบในทางปฏิบัติ

เนื่องจากในทางปฏิบัติ ไม่สามารถทำการวัดคุณลักษณะทางแสงของดวงโคมไฟฟ้าโดยที่อุณหภูมิโดยรอบคงที่ ที่ 25 องศาเซลเซียสได้ ดังนั้นควรทำการทดสอบตามสภาวะของห้องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องทดสอบ (t_m) ควรมีค่าประมาณ 25± 2 องศาเซลเซียล โดยนำเทอร์โมมิตอร์ 2 อันวางห่างกัน 0.5 เมตร ที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งของดวงโคมไฟฟ้าตามทิศทางแนวยาว ที่ส่วนบนของดวงโคมไฟฟ้า จะได้อุณหภูมิ t_1 และ t'_1 ในทำนองเดียวกันให้นำเทอร์โมมิเตอร์อีก 2 อัน มาวัดในลักษณะเดียวกันกับเทอร์มิเดอร์คู่แรกแต่วัดที่ส่วนล่างของดวงโคมไฟฟ้า จะได้อุณหภูมิ t_2 และ t'_2 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย t_m เท่ากับสมการที่ 2.1 โดยขณะทดสอบควรมีการป้องกันการสะท้อนแสงของเทอร์โมมิเตอร์

$$t_m = \frac{(t_1 + t'_1 + t_2 + t'_2)}{4} \qquad (2.1)$$

การเคลื่อนที่ของอากาศรอบๆดวงโคมในระหว่างการทดสอบ จะทำให้อุณหภูมิการทำงานของหลอดไฟฟ้าลดลง การเคลื่อนที่ของอากาศอาจมีสาเหตุมาจาก กระแสลม เครื่องปรับอากาศ หรือการเคลื่อนที่ของดวงโคม ซึ่งควรทำการตามข้อแนะนำในการทดสอบตามสภาวะห้องทดสอบดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากการเคลื่อนที่ของดวงโคมไฟฟ้า การอ่านค่าความเข้มส่องสว่าง ควรอ่านหลังจากช่วงเสถียรภาพของหลอดไฟ หลอดไฟควรจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอตลอดการหมุน 360 องศา รอบแนวดิ่ง รวมทั้งการเคลื่อนที่ของหัววัดแสงด้วย หลังจากนั้นควรทำการวัดอีกครั้งทันที การอ่านค่าความเข้มส่องสว่างทั้งสองครั้งควรทำการวัดที่อุณหภูมิและทิศทางเดียวกัน และทำการตรวจสอบผลกระทบจากการหมุนของหลอดตลอด 360 องศาที่ความเร็วปกติ จากการอ่านค่าที่วัดได้ทั้งสองครั้ง

วิธีการทดสอบแบบนี้ เป็นวิธีที่ไม่สามารถนำไปใช้กับการวัดทางแสงในลักษณะที่การเคลื่อนที่สัมพันธ์กันระหว่างหลอดกับหัววัดแสงที่ถูกนำมาใช้ กับหลอดชนิดเคลื่อนที่ การทดสอบนี้ควรจะนำไปใช้กับโคม

2. การเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากกระแสลมหรือเครื่องปรับอากาศ การอ่านค่าทางแสงของหลอดเปลือยควรทำหลังจากถึงช่วงเสถียรภาพของหลอด ในสภาวะห้องทดสอบ การวัดค่าความเข้มส่องสว่างในทิศทางที่กำหนดนั้นจะวัดที่อุณหภูมิเดียวกันที่ทราบค่า ควรปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อการไหลเวียนของอากาศจะลดลงและหลอดจะกลับเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพ แล้ววัดค่าความเข้มส่องสว่างอีกครั้งที่อุณหภูมิบรรยากาศเดียวกัน การทดสอบเดียวกันนี้ควรทำตามที่ระบุไว้กับดวงโคม การทดสอบนี้ควรทำตามจำนวนหลอดหรือโคมในการวัดความส่องสว่าง

3. สภาวะห้องทดสอบ การพิจารณาสภาวะห้องทดสอบว่าสามารถยอมรับได้คือผลรวมความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้ ตามหัวข้อการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของดวงโคมไฟฟ้า และการเคลื่อนที่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการป้องแสงหักเห ที่เข้ามาสู่หัววัดแสงนอกเหนือทิศทาง ที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงที่วัด ที่อาจเกิดเนื่องจากการสะท้อนหรือมาจากแหล่งกำเนิดแสงจากที่อื่น นั้น หัววัดความเข้มแสงควรจะมีฉากกำบังแสง

หัววัดความเข้มแสงควรได้รับแสงเฉพาะที่มาจากหลอดทดสอบ และผนัง พื้น เพดาน หรือฉากรอบๆของการกระจายแสงควรเป็นสีดำ สีดำที่ใช้ไม่ควรมีค่าการสะท้อนมากกว่า 4 เปอร์เซ็น พื้นควรปูด้วยกำมะหยี หรือพรมสีดำ

2.3.1.3 ข้อบังคับสำหรับเครื่องมือในการทดสอบ

ค่าเอาท์พุทที่วัดได้จากโฟโตเซลล์ควรมีค่าแม่นยำ ± 1 เปอร์เซ็นต์ ความไวต่อการรับแสงควรมีค่าตามมาตรฐาน CIE โฟโตเซลล์ของหัววัดต้องมีขนาดรับค่าที่มากระทบได้ทั้งหมดจากดวงโคม ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์หัววัดความเข้มแสงควรมีขนาดอย่างน้อยตามสมการ

$$D = A + 2 \times L \times \tan\alpha \qquad (2.2)$$

โดย A = ค่ามิติสูงสุดของโคม

L = ระยะทางระหว่างโคมและพื้นผิวของเซลล์

ค่าความเร็วของการตอบสนองของโฟโตเซลล์ต้องเท่ากันตลอด การเคลื่อนที่ของดวงโคมต้องเรียบปราศจากการสั้นสะเทือน การเคลื่อนที่ช้าพอเหมาะเพื่อที่จะไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิของอากาศในโคม

2.3.1.4 การเตรียมหลอดและดวงโคมสำหรับทดสอบ

หลอดที่เลือกมาทดสอบควรเป็นไปตามมาตรฐาน I.E.C Publication No.81 ควรเป็นหลอดตัวอย่างผลิต และควรเลือกหลอดที่มีความคลาดเคลื่อนจากการกระจายแสงเป็นรูปวงกลม ที่สอดคล้องกันในแนวระนาบที่มีมุมบนแกนไม่ควรเกินกว่า 3 เปอร์เซ็นต์

การเลือกโคมสำหรับทดสอบควรเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ขนาดของโคมควรถูกตรวจสอบเพื่อการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ของโรงงาน เมื่อติดตั้งดวงโคมในเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง ควรจะให้จุดศูนย์กลางการเปล่งแสงของดวงโคม ตรงกับจุดศูนย์กลางของหัววัดความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.5 วิธีและกระบวนการในการทดสอบ

ในการทดสอบควรจะเปิดหลอดทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้หลอดเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพ แล้วค่อยอ่านค่าความเข้มส่องสว่าง ค่าที่ได้ไม่ควรมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ การวัดแบบครึ่งเพลนใช้เพื่อเป็นแนวทางในการอ้างอิง แต่ไม่ได้ถูกใช้ในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตามวิธีอื่นที่ถูกแนะนำจำนวนครั้งในการวัดโดยประมาณขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวัดโซนอล ฟลักซ์ (Zonal flux) และอัตราแสงที่ส่งออกมา

2.3.2 ดวงโคมไฟถนน

โคมไฟถนนประกอบด้วยส่วนหลักๆคือ ตัวโคมซึ่งแบ่งเป็น 2 ตอน ตอนหน้าเป็นส่วนของระบบแสงและหลอดไฟฟ้า ตอนหลังติดเครื่องควบคุมกระแสและจุดหลอดมีบัลลาสต์คาพาซิเตอร์ และอิกนิเตอร์ ส่วนล่าง เป็นฝาครอบหลอดไฟ ซึ่งเป็นแก้วทนความร้อน หรือแก้วอะครีลิก

โดยหลอดไฟที่นำมาใช้งานกับไฟถนนนั้นมีหลายชนิด เช่นหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ อินแคนเดสเซนต์ หลอดความดันไอโซเดียมสูง ความดันไอโซเดียมต่ำ หลอดทังสเตนฮาโลเจน โดยกระบวนการทดสอบไฟถนน จะอ้างอิงตามมาตรฐานของ CIE โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

2.3.2.1 การเลือกอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

ความแม่นยำในการออกแบบไฟถนน จำเป็นต้องรู้เกี่ยวกับลักษณะของพื้นถนน โคมที่ใช้งาน และหลอดที่ใช้ร่วมกัน ความแม่นยำของการวัดค่าทางแสงส่วนมากขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้และขึ้นอยู่กับกระบวนการทดสอบที่นำมาใช้ สำหรับค่ายอมรับได้ ในการวัดความเข้มส่องสว่าง ควรมีค่า ± 5 เปอร์เซ็นต์ หรือความเข้มส่องสว่างต่ำกว่า ± 1 cd/1000 lm มุมที่วัดควรผิดพลาดไม่เกิน ± 0.5 องศา โดยในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มส่องสว่างอย่างรวดเร็ว เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวัด ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมควรปรับเป็น ± 0.2 องศา

2.3.2.2 ข้อกำหนดห้องทดสอบ

ข้อกำหนดห้องทดสอบของดวงโคมไฟถนนจะเหมือนกับข้อกำหนดของโคมไฟภายในอาคารซึ่งได้กล่าวในหัวข้อ 2.3.1.2

2.3.2.3 ข้อบังคับสำหรับเครื่องมือทดสอบ

ข้อบังคับสำหรับเครื่องมือทดสอบของดวงโคมไฟถนน จะคล้ายกับข้อกำหนดของดวงโคมไฟภายใน ซึ่งได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.3.1.3 แต่จะขอกล่าวเพิ่มในส่วนของระยะทางที่ใช้ในการทดสอบสำหรับไฟถนน ซึ่งโดยปกติระยะทางที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15 เท่า ของมิติสูงสุดของส่วนที่เปล่งแสงของดวงโคม แต่ในส่วนของโคมที่มีการกระจายแบบโคไซน์ ในระนาบที่ผ่านแกนด้านยาวของดวงโคม ระยะทางจะพิจารณาจาก 15 เท่าของมิติของส่วนที่เปล่งแสงออกจากดวงโคม และ 5 เท่าของมิติของส่วนที่เปล่งแสงขนานกับแกนของหลอด ค่าระยะทางทดสอบจะต้องมากกว่า 2 ค่านี้

2.3.2.4 การเตรียมหลอดและดวงโคมสำหรับทดสอบ

หลอดทุกหลอดที่จะนำมาทดสอบควรทำการอุ่นหลอดจนกระทั่ง ค่าแสงที่อ่านได้มีความเสถียรภาพอย่างต่อเนื่อง ควรใช้หลอดไฟฟ้าที่ผ่านการอุ่นหลอดมาแล้ว 100 ชั่วโมง ในกรณีของหลอดทังสเตนและหลอดฟลูออเรสเซนต์ และอย่างน้อย 200 ชั่วโมง สำหรับหลอดชนิดอื่นๆ

สำหรับดวงโคมที่เลือกควรเป็นตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ของโรงงาน การติดตั้งนั้นควรให้จุดศูนย์กลางแสงตรงกับจุดศูนย์กลางหัววัดความเข้มแสง ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแสงของดวงโคมควรพิจารณาตาม

- ศูนย์กลางของหลอด ถ้าตั้งในแนวระนาบที่ต่ำกว่าขอบของสิ่งที่ครอบโคม (หรือระนาบของตัวสะท้อนที่เปิดถ้าอยู่ต่ำ)
- ที่จุดตัดของแกนแนวดิ่ง ผ่านจุดศูนย์กลางของหลอด ซึ่งระนาบของขอบต่ำกว่าสิ่งที่ครอบโคม (หรือระนาบของตัวสะท้อนที่เปิดถ้าต่ำกว่า) ถ้าจุดศูนย์กลางของหลอดถูกตั้งเหนือระดับที่กล่าวมา
- สำหรับโคมที่มากกว่าหนึ่งหลอดจุดศูนย์กลางของหลอดจะอยู่ที่จุดศูนย์กลางของขนาดตรงกลางของแต่ละหลอด

2.3.2.5 วิธีการและกระบวนการในการทดสอบ

เมื่อค่าความเข้มส่องสว่างที่อ่านได้ 3 ครั้ง ควรมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 15 นาทีไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ถือว่า หลอด ดวงโคมและเครื่องมือวัดถึงจุดเสถียรภาพ

โดยทั่วไป หลอดอินแคนเดสเซนท์เปลือยจะเสถียรภาพภายใน 10 นาที และหลอดแก๊สดิสชาร์จจะมีเสถียรภาพหลังจากการทำงานไปแล้ว 30 นาที หลอดเมทอลไฮไลด์อาจจะเสถียรภาพในช่วง 30 นาทีถึง 6 ชั่วโมง

การปรับมาตรฐานของหัววัดความเข้มแสง รวมถึงการกระบวนการวัดค่าการกระจายแสงของหลอดและดวงโคมต้องให้เป็นไปตามสภาวะมาตรฐาน และทิศทางการส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ดวงโคมฉาย

ดวงโคมฉาย (Flood light) เป็นดวงโคมที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้งานภายนอกอาคาร เพื่อส่องสว่างพื้นที่ต่างๆ เช่น ตัวอาคาร สนามกีฬา พื้นที่โล่งแจ้ง เป็นต้น

2.3.3.1 ระดับความแม่นยำที่ยอมรับได้ในการวัด

ค่าผิดพลาดในการวัดความเข้มส่องสว่างควรมีค่าไม่เกิน ±5 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความเข้มส่องสว่างที่แท้จริงในแต่ละทิศทาง หรือ ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของ Cd/1000 ลูเมน สำหรับมุมที่ทำการวัดนั้น หากมากกว่า 2 องศา และน้อยกว่า 4 องศา ค่าผิดพลาดไม่เกิน ±0.1 องศา หากมุมที่วัด มากกว่า 4 องศา น้อยกว่า 8 องศา ค่าผิดพลาด ไม่เกิน ±0.2 องศา และหากมุมที่วัด มากกว่า 8 องศา ค่าผิดพลาดควรไม่เกิน ±0.4 องศา

2.3.3.2 อุปกรณ์ในการทดสอบ

หลอดที่ใช้ในการทดสอบ ควรใช้ตามมาตรฐาน I.E.C. กำหนด หากไม่ได้ตามมาตรฐาน ควรเป็นหลอดที่ได้มาตรฐานตามผู้ผลิต ในกรณีหลายหลอดในโคมเดียวกัน ควรเป็นหลอดชนิดเดียวกัน มีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากัน ค่าฟลักซ์ส่องสว่าง ใน spread 3 เปอร์เซ็นต์ ควรเท่ากันเมื่อทำงานภายใต้วงจร บัลลาสต์และแหล่งจ่ายไฟเดียวกัน

การอุ่นหลอดนั้นเป็นไปตามชนิดของหลอด หลอดควรจะมีช่วงเวลาที่ต่ำที่สุดที่จะเปล่งฟลักซ์ส่องสว่างออกมามีค่าคงที่ตามชนิดของหลอด เช่น หลอดทังสเตนฟิลาเมนต์ใช้เวลาประมาณ 100 ชั่วโมง หลอดชนิดอื่นๆ ใช้เวลา 200 ชั่วโมง

การทดสอบเสถียรภาพของหลอด จะกระทำโดยการวัดความเข้มส่องสว่างในทิศทางตั้งฉากกับแกนหลอด ในการวัดค่าความเข้มส่องสว่างไม่ควรเคลื่อนย้ายหลอดระหว่างการวัด และอุณหภูมิของอากาศรอบๆ ควรมีค่าคงที่

สำหรับระยะทางที่ใช้ในการทดสอบขึ้นอยู่กับมิติการส่องสว่างของดวงโคมฉายและขึ้นอยู่กับความกว้างของลำแสง

2.3.3.3 เงื่อนไขสำหรับการทดสอบ

สภาวะในการทดสอบสำหรับการวัดการกระจายแสงของดวงโคมฉายต้องทำให้เป็นไปตามมาตรฐานมาตรฐาน เพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับห้องทดสอบอื่นๆ แกนอ้างอิงและแกนช่วยของดวงโคมฉายควรติดตั้งในแนวระนาบ อากาศรอบๆ ดวงโคมทดสอบควรคงที่ และให้ได้อุณหภูมิ อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในหลอดดิสชาร์จ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดทังสเตน จะใช้ตามขาดแรงดันตามที่หลอดกำหนด ส่วนหลอดฟิลาเมนต์จะใช้ 90 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของระดับของหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.4 กระบวนการทดสอบ

การวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง ของดวงโคมฉาย มีระบบการวัดเป็นไปตาม ระนาบการวัดตามหัวข้อ 2.1 โดยปกติแล้วการวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างของดวงโคมฉายจะนิยมวัด ในระบบการวัดชนิด B โดยมีค่าของพิกัดคือ B- β

ในการวัดของดวงโคมฉายจะกำหนดสเกลให้เหมาะสมกับรูปแบบการวัด และให้เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นข้อมูล เช่น ข้อมูลที่มีการกำหนดตัวเลขของระนาบที่จะทำการวัด การใช้กราฟจะเหมาะสมกว่า การปรับระยะมุมในระบบใดๆ ให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับรูปทรงของการกระจายของแสง และอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของแสง แกนที่ใช้ในการวัดคือ แกนในระนาบดิ่ง (V) และแกนในระนาบนอน (H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
องค์ประกอบทางกล

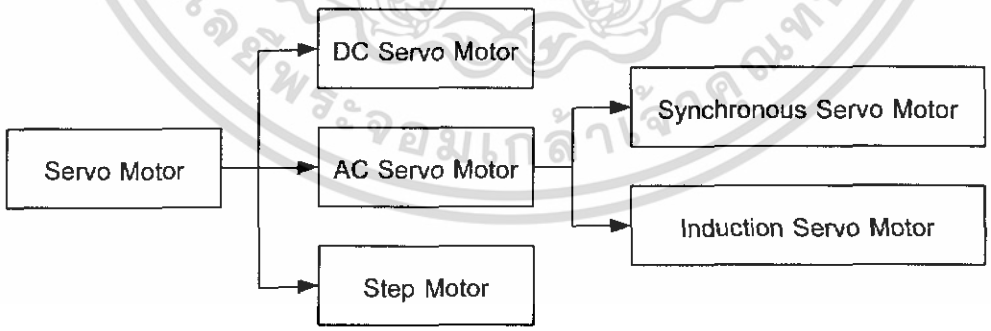
บทนี้กล่าวถึง องค์ประกอบของเครื่องทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่างแบบวัดตรง มีทั้งส่วนเป็นมอเตอร์ เอนโค้ดเดอร์ และส่วนประกอบเชิงกล ซึ่งจะกล่าวถึงหลักการทำงาน การขับเคลื่อนมอเตอร์ การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ การควบคุมมอเตอร์ ในส่วนเชิงกลจะกล่าวถึงรายละเอียดส่วนประกอบเชิงกลที่ใช้กับโครงงานนี้ ซึ่งรายละเอียดส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้เป็นส่วนใหญ่

3.1 มอเตอร์ (Motor)

ในส่วนของมอเตอร์จะกล่าวถึงมอเตอร์หลักๆ ที่ใช้ในการทำโครงงานนี้ ซึ่งมี 2 ชนิด ได้แก่ เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) และสเตปมอเตอร์ (Step Motor)

3.1.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) สามารถแยกประเภทเป็นกลุ่มต่างๆได้แก่ เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง (DC Brushless Servo) เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ (AC Servo Motor) ซึ่งมีสองแบบ ซิงโครนัสเซอร์โว และอะซิงโครนัสเซอร์โว การนำอินดัคชั่นมอเตอร์ มาใช้ทำเป็นระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ และสเตปเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของเซอร์โวมอเตอร์ดังรูปที่ 3.1 เซอร์โวมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในงานที่เป็นลักษณะลูป การทำงานแบบปิด เนื้อหาส่วนนี้กล่าวถึงเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงงานนี้



รูปที่ 3.1 การแยกประเภทของ Servo Motor

62614
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.1 ส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ

- สเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วยแกนอาร์มาเจอร์ และขดลวดอาร์มาเจอร์ โดยแกนอาร์มาเจอร์ทำจากแผ่นเหล็กซิลิกอนเคลือบหนา 0.35 – 0.5 mm ในบางครั้งมอเตอร์จะเป็นแบบสเตเตอร์เคลือบด้วยเรซินเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อลดเสียงรบกวน และการสั่นของแกนเหล็กเพราะแกนสเตเตอร์และขดลวดถูกยึดด้วยเรซิน

- โรเตอร์ (Rotor) โครงสร้างของมอเตอร์จะเป็นสนามแม่เหล็กหมุน โดยมีแม่เหล็กถาวรยึดติดกับแนวแกนหมุน ซึ่งรูปร่างของแกนเหล็กถาวรสามารถแบ่ง 3 ลักษณะคือ แบบกรงกระรอก (Squirrel cage) แบบทรงตัน (solid) แบบรูปถ้วย (drag-cup) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างโวลท์เตจ และกระแสจะมีลักษณะแตกต่างกัน ตามรูปร่างของขั้วสนามแม่เหล็ก โรเตอร์แบบกรงกระรอกจะเป็นที่นิยมที่สุด เพราะมีคุณสมบัติการทำงานที่และให้ผลตอบสนองรวดเร็ว และจะถูกออกแบบให้มีความต้านทานสูงเพื่อให้คุณลักษณะของแรงบิด-ความเร็วเป็นลิเนียร์

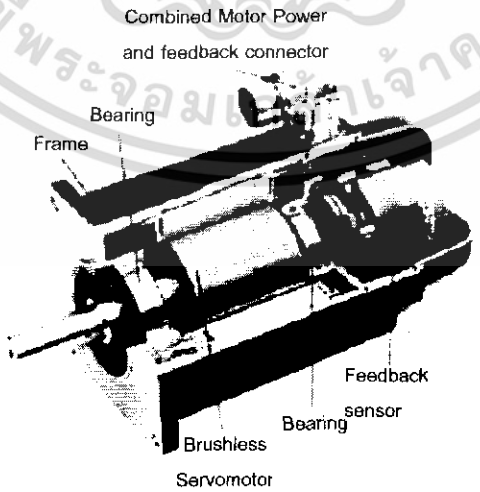
- เซนเซอร์ (Senser) จะมี 2 หน้าที่คือ ตรวจสอบตำแหน่งของโรเตอร์ และตรวจสอบความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ ได้แก่ โรตารี่ (Rotary), รีโซลเวอร์ (Resolver) โดยสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์จะเป็นสัญญาณป้อนกลับให้กับตัวขับมอเตอร์

- เบรก (Break) เซอร์โวมอเตอร์บางตัวจะติดเบรคไฟฟ้าแบบชนิดแกนแบน การหยุดโรเตอร์จะเป็นการต้านทิศทางการหมุนทางเดิมของตัวมอเตอร์

- ตลับลูกปืน (Bearing) มีหน้าที่รับน้ำหนักของโรเตอร์

- คัปปลิง (Coupling) จะใช้คัปปลิง ระหว่างโรเตอร์กับเซนเซอร์ โดยอยู่ในแกนเดียวกัน

- โครงนอก (Frame) โครงนอกจะไม่ยึดติดกับสเตเตอร์ จะเป็นส่วนทางเดินแม่เหล็ก



รูปที่ 3.2 โครงสร้างเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 หลักการทำงาน เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ

เซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ที่ใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์และตัวควบคุม แทนที่ใช้อุปกรณ์ดิดต่อทางกล (คอมมิวเตเตอร์) เป็นผลให้มีสมรรถภาพสูงขึ้น และบำรุงรักษาน้อยลง อุปกรณ์ควบคุมที่ละเอียด การเปลี่ยนความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ จะใช้การปรับความถี่ซึ่งมีข้อจำกัดของตัวอินเวอร์เตอร์ทั่วไป ทำให้ไม่สามารถสนองความต้องการในการปรับความเร็วรอบให้เป็นช่วงกว้างๆ ในแบบเซอร์โวมอเตอร์ไดร์ฟ ในส่วนนี้จะได้ศึกษาถึงการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับด้วยเทคนิคพิเศษ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ ในงานที่ต้องความละเอียด และความถูกต้องสูง มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการควบคุมตำแหน่ง ทิศทาง และความถูกต้องสูง เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับประกอบด้วยอินดัคชั่นโรเตอร์ และขดลวดฟิลด์สองขด วางอยู่ในตำแหน่งทำมุมกัน 90 องศา ฟิลด์ขดหนึ่งทำหน้าที่เป็นฟิลด์อ้างอิงที่มีค่าคงที่ ส่วนอีกขดเป็นฟิลด์คอนโทรล สัญญาณนี้จะมีขนาดของแมกนิจูดที่แปรค่าได้ และเฟสก็จะแปรค่าอยู่ที่ศูนย์หรือ 180 องศา ฟิลด์อ้างอิงจะได้รับการป้อนกลับด้วยโวลท์เตจที่มีค่าคงที่ผ่านวงจรเลื่อนไป 90 องศา สัญญาณนี้จะมีขนาดแมกนิจูดคงที่และมุมของเป็น -90 องศา เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ ถูกพัฒนาเพื่อแก้ข้อเสียในด้านการบำรุงรักษาของเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ สามารถเร่งขึ้นและหน่วงลงได้รวดเร็ว เพราะมีค่าแรงบิดสูงสุดเป็นหลายเท่าของแรงบิดที่พิกัด โดยเปรียบเทียบกันแล้ว เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง จะมีขีดการจำกัดด้านการแปลงกระแส ซึ่งถ้าใช้งานเกินขีดจำกัดจะเกิดแฟลชโอเวอร์ และขีดจำกัดนี้จะตกลงเรื่อยๆ ถ้าความเร็วรอบสูงขึ้น แต่สำหรับเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ จะไม่มีข้อจำกัดนี้ สามารถใช้ให้มีรอบความเร็วสูงๆ โดยที่ค่าแรงบิดไม่ตกลง ในเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ การกระจายความร้อนไม่ได้เกิดในส่วนที่หมุน แต่เกิดในอาร์มาเจอร์ที่ส่วนสเตเตอร์ ความร้อนสามารถระบายออกสู่อากาศได้โดยผ่านโครงนอก ดังนั้นการกระจายความร้อนของเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับจึงดีกว่าเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งความร้อนเกิดจากตัวโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับและเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง

คุณสมบัติ	เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ	เซอร์โวมอเตอกระแสตรง
ระยะเวลาการใช้งาน	20000 ชั่วโมงขึ้นไป (ระยะเวลาการใช้งา Bearing)	ปกติ 3000-5000 ชั่วโมง (ระยะเวลาการใช้งานแปรงถ่าน) และขึ้นอยู่กับลักษณะโหลดและสภาพแวดล้อม
การบำรุงรักษา	ไม่มี	ต้องการการบำรุงรักษาตรวจสภาพแปรง
เสียงรบกวน	เงียบ	เกิดเสียงจากแปรงถ่าน
เสียงรบกวนจากกระแสไฟฟ้า	ไม่มี เพราะไม่มีแปรงถ่าน	มี เกิดจากการอาร์คที่แปรถ่าน
คุณสมบัติการตอบสนอง	เร็วมาก อัตรากำลังไฟฟ้าสูง ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่โรเตอร์มีค่าน้อย แรงบิดสูงจนกระทั่งถึงความเร็วสูงสุด	เร็ว อัตรากำลังไฟฟ้าต่ำ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่โรเตอร์มีค่ามาก ค่าแรงบิดลดลงในย่านความเร็วสูง
ความสะอาด	ดี	ไม่ดี มีฝุ่นเกาะที่แปรงถ่าน
ประสิทธิภาพ	ดีเยี่ยม	ดี
การทนต่อการ Over load	ดี ค่าคงที่เวลา เนื่องจากความร้อนมาก	ปานกลาง ค่าคงที่เวลา เนื่องจากความร้อนน้อย กระแสไฟฟ้าถูกจำกัดเมื่อมีการอาร์คที่แปรงถ่าน

3.1.2 สเตปมอเตอร์ (Step Motor)

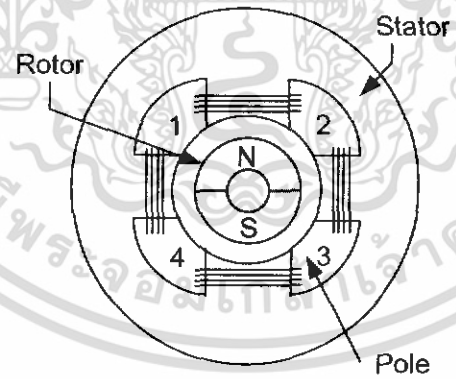
สเตปมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะเมื่อเราป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่างจากมอเตอร์ ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า ข้อดีของสเตปมอเตอร์ สามารถกำหนด ตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลข (องศาหรือระยะทาง) ได้อย่างละเอียดโดย ใช้คอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น เครื่องกำหนดและจัดเก็บตัวเลข

3.1.2.1 ส่วนประกอบสเตปมอเตอร์

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวน ที่มีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละซี่นั้นจะมีคอยล์ (ขดลวด) พันสวมอยู่ เมื่อมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้อนกระแสผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) การทำงานของ สเตปมอเตอร์ขึ้นอยู่กับพัลส์ ที่ป้อนให้กับขดลวดเฟส ในลำดับที่ถูกต้อง วงจรลอจิกสำหรับจัดลำดับ ด้วยกระแสที่เพียงพอโดยวงจรขับเคลื่อน โดยแนวทางสเตปมอเตอร์เป็นอุปกรณ์จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้า โดยมีกรุ๊ปของไบนารี่โวลท์เตจเป็นอินพุทและการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นเอาท์พุทหรือว่าหมุนทีละสเตป ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.1 – 30 องศา อยู่ที่โครงสร้างของสเตปมอเตอร์ โดยตามสัญญาณพัลส์ที่จ่ายให้กับขด สเตเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักแก่โรเตอร์หมุนไป สเตปมอเตอร์มีขดลวดหลายชุดในที่นี้เรียกว่า เฟส ดังนั้นสัญญาณที่ต่อเนื่องเป็นลำดับ ลักษณะของไบนารี่ ซึ่งจะต้องไปผ่านวงจรขับเคลื่อน ทำให้โรเตอร์หมุนไปอย่างต่อเนื่อง การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเตปมอเตอร์ จะเห็นว่าการพันมีด้วยกัน 2 วิธี คือ แบบไบโพล่าร์ กับ แบบยูนิโพล่าร์ แบบไบโพล่าร์ จะมีการพันขดลวดหนึ่งขดในแต่ละขั้วแม่เหล็กของ สเตเตอร์ โดยขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ จะถูกกำหนดโดยทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้ เพียงการกลับทิศทางของการไหลในกระแสไฟฟ้า โดยมาจากการควบคุมของวงจรสวิตชิ่งให้กลับขั้วไฟฟ้า แบบยูนิโพล่าร์ แบบนี้มี 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ทำให้แต่ละขดลวดเกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกัน การกลับทิศทางขั้วแม่เหล็กทำได้โดยใช้วงจรสวิตชิ่งให้สลับจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งแทนกัน การพันขดลวดทั้ง 2 แบบที่กล่าวมาต่างกันคือ แบบยูนิโพลาร์จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์

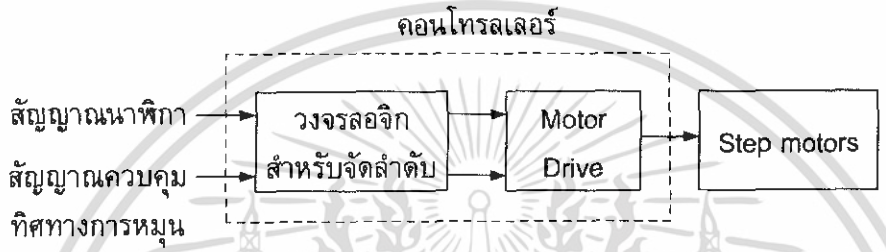


รูปที่ 3.3 โครงสร้างภายในสเตปมอเตอร์

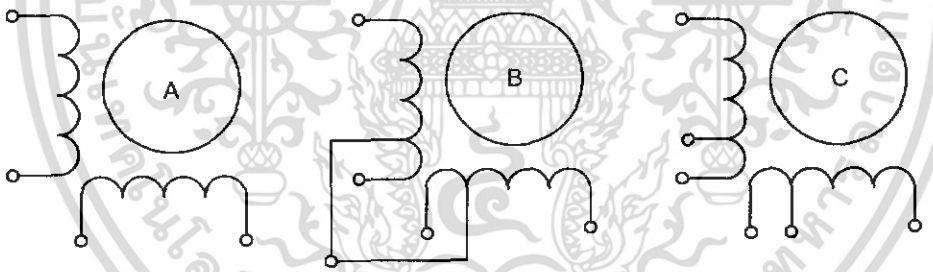
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 หลักการทำงานสเตปมอเตอร์

คอนโทรลเลอร์ของสเตปมอเตอร์จะอินเฟสได้ โดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ถ้าเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้น จะเพิ่มจำนวนของสเตปต่อวงจรรอบมากขึ้นด้วย ลักษณะการนำไปใช้งานสเตปมอเตอร์ จะใช้งานในลักษณะระบบเปิด สเตปมอเตอร์สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการป้อนค่าพารามิเตอร์กลับมา แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอน จะต้องป้อนกลับไปยังระบบตัวบอกตำแหน่ง ว่าถูกต้องหรือผิดพลาด



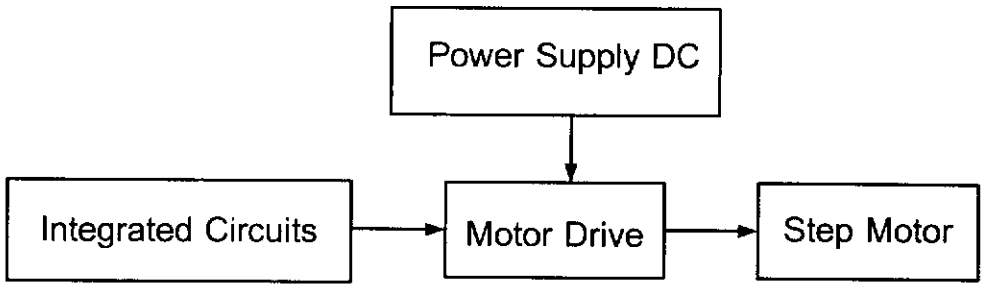
รูปที่ 3.4 คอนโทรลเลอร์ของสเตปมอเตอร์



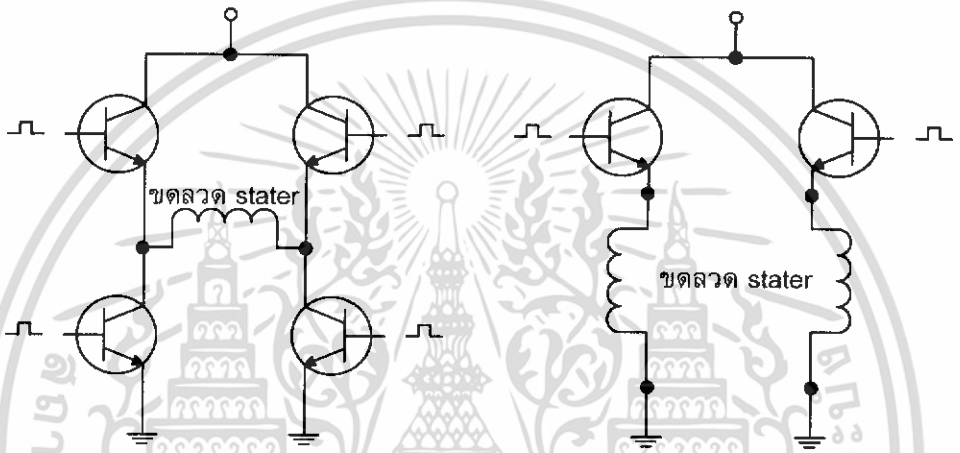
(ก) แบบไบโพล่าร์ (ข) แบบยูนิโพล่าร์ 5 สาย (ค) แบบยูนิโพล่า 6 สาย

รูปที่ 3.5 วิธีการควบคุมสเตปมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 หลักการควบคุมสเตปมอเตอร์



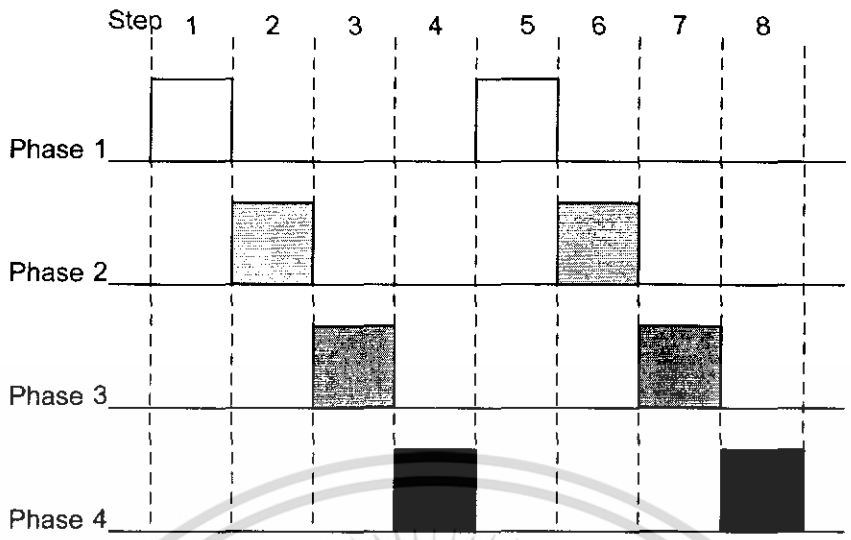
(ก) แบบไบโพล่าร์ (ข) ยูนิโพล่าร์

รูปที่ 3.7 วงจรการจ่ายไฟให้กับสเตเตอร์มอเตอร์

การสั่งงานควบคุมการหมุนของสเตปมอเตอร์ และสั่งงานให้สเตปมอเตอร์ทำงานไปทีละสเตป สามารถทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟไปยังขดลวดในแต่ละขดบนสเตเตอร์ โดยการป้อนจะทำในลักษณะเป็นลำดับเฟสในลูปที่ถูกต้อง ซึ่งจะแบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ แบบเวฟ แบบ 2 เฟส และ แบบครึ่งสเตป ทั้ง 3 แบบก็จะมี ข้อดี และข้อเสียต่างกันออกไป

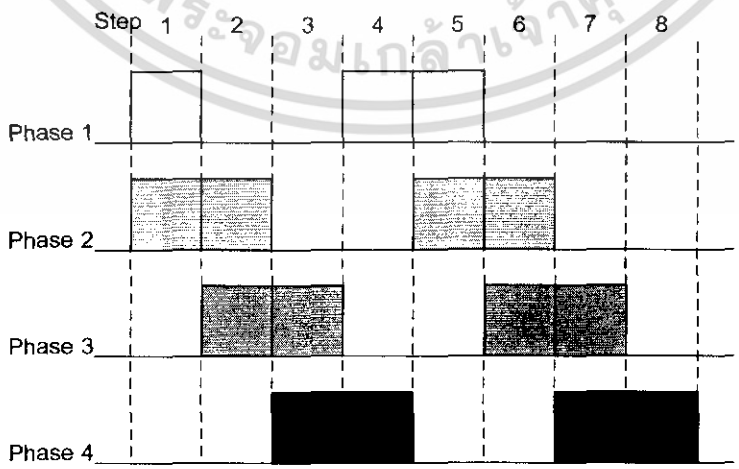
- แบบเวฟ จะเป็นการกระตุ้นแบบง่ายที่สุด ซึ่งจะทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งๆ เรียงกันไป เช่น ขดที่ 1, 2 , 3, 4 ดังรูปที่ 3.8 เป็นลำดับกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางที่เราต้องการให้มอเตอร์หมุนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



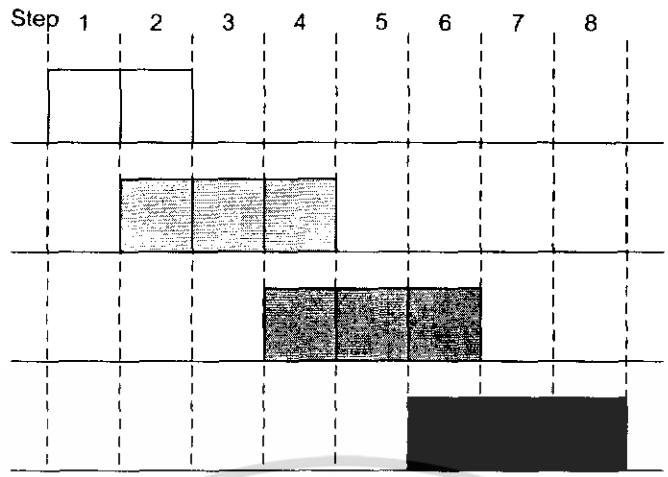
รูปที่ 3.8 การกระตุ้นขดลวดแบบเวฟ

- แบบ 2 เฟส แบบนี้ก็จะคล้ายกลับการกระตุ้นในแบบเวฟแต่จะต่างกันตรงที่แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นทีละ 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และจะเรียงลำดับกันไป ดังเช่นแบบเดียวกับแบบเวฟ ตัวอย่างการกระตุ้นขดลวดในลักษณะลำดับเฟสเป็นดังนี้ 12, 23, 34, 41, 12, 23, 34, 41 เรียงลำดับกันไปเรื่อย ๆ หรือจะเป็น 14, 43, 32, 21, 14, 43, 32, 21 เรียงกันไปเรื่อยๆ เช่นกันดังรูป 3.9 ข้อดี คือ การทีเราจะเพิ่มจำนวนขดลวดที่ถูกกระตุ้นจะทำให้แรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ ซึ่งโรเตอร์จะหมุนด้วยแรงดึงแบบเต็มๆ แรงจากทั้ง 2 ขดลวดที่กระตุ้นพร้อมกัน ข้อเสีย คือจะกระตุ้นขดลวดนั้นต้องใช้กำลังไฟมากขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบเวฟ



รูปที่ 3.9 การกระตุ้นขดลวดแบบ 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การกระตุ้นขดลวดแบบครึ่งสเตป

- แบบครึ่งสเตป แบบนี้เป็นรูปแบบผสมผสานของการกระตุ้นระหว่างแบบเวฟกับ แบบ 2 เฟส เพื่อให้จำนวนรอบของสเตปให้มากขึ้นเป็น 2 เท่า ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเรื่อยๆ เป็นลำดับ ดังรูปที่ 3.10 ข้อดี คือการกระตุ้นแบบนี้จะให้แรงบิดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่วงสเตปที่มีระยะสั้นลงอีกประการหนึ่งแต่ละสเตปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันเป็นผลให้ค่าตำแหน่งความถูกต้องมากขึ้นไปด้วย ข้อเสีย คือที่ต้องจ่ายกำลังไฟเป็น 2 เท่าของแบบเวฟ หรือจะใช้เท่ากับแบบ 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์

ชนิดมอเตอร์	สเตปมอเตอร์	เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง	ซิงโครนัสเซอร์โวมอเตอร์	อินดัคชั่นเซอร์โวมอเตอร์
พิกัด	น้อยกว่า 100 W	น้อยกว่า 500W	100 ถึง 2 kW	2 kW ขึ้นไป
ข้อดี	กะทัดรัด และเอาท์พุทสูง ราคาถูก	แรงบิดสูง ประสิทธิภาพการทำงานดี ความสามารถในการควบคุมดี ราคาถูก	ความเร็วสูง และแรงบิดสูง ประสิทธิภาพในการทำงานดี ไม่ต้องมีการบำรุงรักษา	ความเร็วสูง และแรงบิดสูง ไม่ต้องการการบำรุงรักษา ค่าแรงบิดสูงสุดมีค่าสูง
ข้อเสีย	ค่าความละเอียดในการควบคุมตำแหน่ง ความแม่นยำไม่ดี มีเสียงดังเมื่อความเร็วรอบต่ำ	เสถียรภาพต่ำ ต้องการการบำรุงรักษา	ราคาสูง	ราคาสูง ประสิทธิภาพการทำงานต่ำเมื่อมอเตอร์ทำงานไม่เต็มพิกัด

เซอร์โวมอเตอร์ มักถูกนำไปใช้งานที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านความเร็วและตำแหน่ง โดยสามารถควบคุมอัตราเร่งและแรงบิดได้ และไม่ทำให้การควบคุมตำแหน่งเกิดความผิดพลาด ส่วนของสเตปมอเตอร์ การใช้งานจะใช้ได้เฉพาะงานที่ต้องการความแม่นยำทางตำแหน่งและความเร็วเท่านั้น โดยความแตกต่างในการควบคุมความเร็ว จะไม่มีเนื่องจากใช้วิธีเดียวกันคือ ความเร็วของมอเตอร์ จะขึ้นอยู่กับสัญญาณพัลส์อินพุทที่ป้อนเข้า แต่จากโครงสร้างของมอเตอร์ทำให้การกำหนดความเร็วของสเตปมอเตอร์ทำได้น้อย

ความแตกต่างในการควบคุมตำแหน่ง สเตปมอเตอร์จะควบคุมได้เป็นสเตปๆ ซึ่งจำนวนสเตปจะมีจำกัดทางโครงสร้าง ทำให้การควบคุมตำแหน่งไม่สามารถควบคุมได้โดยละเอียด ส่วนการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ จะทำได้ละเอียดกว่า สเตปมอเตอร์ เนื่องจากสามารถควบคุมตำแหน่งได้ถึงเป็นองศาของเพลามอเตอร์ ซึ่งเซอร์โวมอเตอร์จะใช้วิธีกำหนดว่าจำนวนพัลส์ต่อรอบเป็นจำนวนเท่าไร ซึ่งถ้ามีค่ามากก็ยิ่งทำให้มี ค่าความละเอียดมากขึ้น เนื่องจากเราสามารถสั่งให้มอเตอร์เคลื่อนที่ได้เป็นจำนวนลูกของพัลส์ ดังนั้นจึงมีความละเอียดในการควบคุมตำแหน่งสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปคือในการควบคุมทางตำแหน่งซึ่งทั้งสองแบบจะมีความแม่นยำสูง แต่ทางเซอร์โวมอเตอร์จะมีความละเอียดมากกว่า ซึ่งเหมาะสำหรับใช้กับเครื่องทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่างทั้งการขับเคลื่อนในแนวราบและแนวดิ่ง

3.2 เอนโค้ดเดอร์ (Encoder)

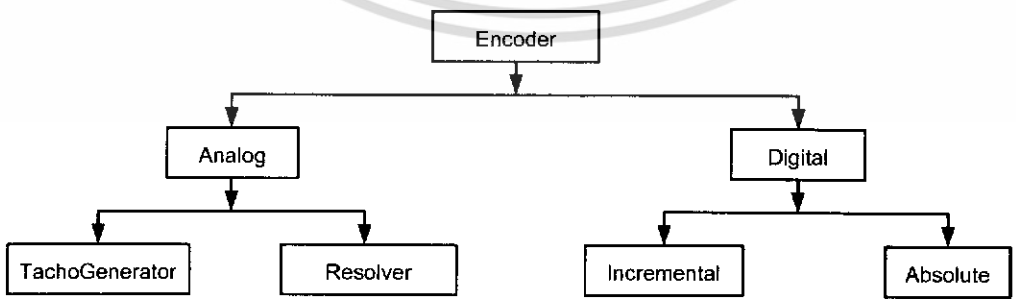
หน้าที่ของ เอนโค้ดเดอร์เสมือนกับผู้ตรวจการ โดยจะทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็ว ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และตำแหน่งเพลาของโรเตอร์ แล้วรายงานผลกลับไปยังคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ในวงจรกำลังชุดขับเคลื่อนเซอร์โว เกิดการ ตัด-ต่อ กระแสไฟฟ้าให้สัมพันธ์ กับตำแหน่งของโรเตอร์ชนิดของเอนโค้ดเดอร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อนาลอก และ ดิจิตอล ดังรูปที่ 3.11

3.2.1 อนาลอกเอนโค้ดเดอร์ (Analog Encoder)

แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. เทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Tachogenerator) คือ เจนเนอเรเตอร์ขนาดเล็ก ที่ทำหน้าที่แปลงความเร็วรอบมาเป็นแรงดันไฟฟ้าสำหรับควบคุม 0-10 V เพื่อป้อนกลับไปยังชุดขับเคลื่อน

2. รีโซลเวอร์ (Resolver) เป็นเซนเซอร์ชนิดที่มีการใช้งานมากในระบบเซอร์โว เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน ทนต่อสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมได้ดี เช่น แรงสั่นสะเทือน แรงกระแทก และอุณหภูมิรอบข้าง รีโซลเวอร์จะมีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลงตัวเล็กๆ หรือ โครงสร้างของรีโซลเวอร์จะมีลักษณะคล้ายกับมีหม้อแปลงไฟฟ้าที่อยู่ 2 ชุด โดยชุดแรกจะเป็นชุดที่รับสัญญาณอ้างอิง ซึ่งมีความถี่สูงในย่าน 2-10 KHz จากคอนโทรลเลอร์ เพื่อสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ เพื่อให้เกิดกระแสไหลไปสร้างสนามแม่เหล็กให้กับขดลวดชุดที่สอง ซึ่งชุดที่สองประกอบด้วย ขดลวดปฐมภูมิที่ติดกับโรเตอร์ 1 ชุด และมีขดลวดทุติยภูมิ 2 ชุด วางในตำแหน่งห่างกัน 90 องศา ซึ่งเรียกว่า sine และ cosine



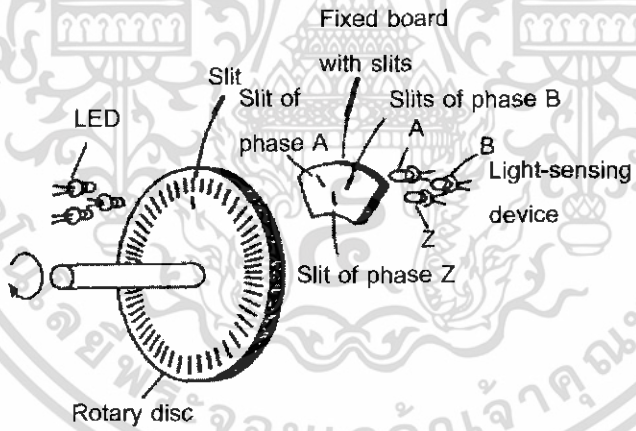
รูปที่ 3.11 การแยกประเภทของ Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

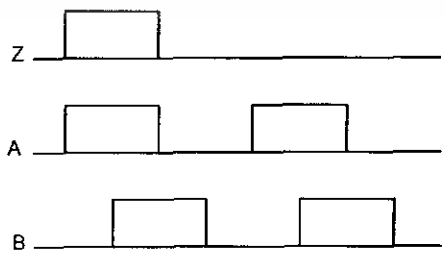
3.2.2 ดิจิตอลเอนโค้ดเดอร์ (Digital Encoder)

แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. อินครีเมนทอล (Incremental) ทำงานโดยอาศัยหลักการอาศัยหลักการออพติคอล บ่อยครั้งจึงถูกเรียกตามหลักการว่า ออพติคอลเอนโค้ดเดอร์ หรือบางกรณีจะถูกเรียกว่า ดิจิตอลเอนโค้ดเดอร์ โครงสร้างจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง ตัวจับแสง ซึ่งถูกคั่นกลาง ด้วยแผ่นจานกลมๆ ที่มีการทำรูเจาะไว้รอบๆ แผ่นจำนวนรูจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของอินครีเมนทอล เอนโค้ดเดอร์ และหน้ากากแยกช่องของสัญญาณพัลส์ A, B และ Z ดังรูปที่ 3.12 พัลส์ที่เกิดจาก A และ B จะเกิดความเลื่อมกัน คือมีความต่างเฟสกัน 90 องศา เพื่อทำหน้าที่รายงานผลของความเร็ว และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้คอนโทรลเลอร์ กรณีพัลส์ A เกิดขึ้นก่อนพัลส์ B คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าพัลส์ B เกิดขึ้นก่อนพัลส์ A คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางทวนเข็มนาฬิกา Z หรือพัลส์อ้างอิงที่เกิดขึ้น 1 พัลส์ในการหมุน 1 รอบ ดังรูปที่ 3.13 ทำหน้าที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์ โดยทั่วไปจะไม่นิยมใช้กับระบบเซอร์โวที่มีการควบคุมตำแหน่ง เนื่องจากไม่สามารถจำตำแหน่งเดิมได้ กรณีที่มีการปิดเครื่องหรือไฟดับ ซึ่งจะต้องทำการหาจุดอ้างอิงใหม่ทุกครั้ง

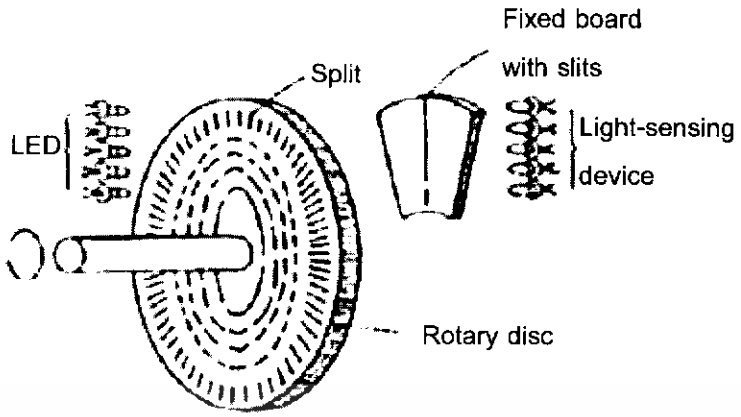


รูปที่ 3.12 โครงสร้างอินครีเมนทอลเอนโค้ดเดอร์



รูปที่ 3.13 สัญญาณพัลส์ของอินครีเมนทอลเอนโค้ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 โครงสร้างแอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์

2. แอปโซลูท (Absolute) เป็นดิจิตอลเอนโค้ดเดอร์ ซึ่งจะอาศัยหลักการออพติคอล คล้ายกับ อินครีเมนทอล เอนโค้ดเดอร์ โดยประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง ตัวจับแสง และจานเข้ารหัส แอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์ มีโครงสร้างแผ่นดิสก์พิเศษ ซึ่งมีลักษณะเป็นGray Scales ดังรูปที่ 3.14 โดยความละเอียดตำแหน่งของแอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิต แอปโซลูทเอนโค้ดเดอร์จะให้ข้อมูลตำแหน่งค่อนข้างละเอียดและสามารถรายงานบอกตำแหน่งได้ทุกๆ จุดที่โรเตอร์หมุนเคลื่อนที่ไป ไม่มีปัญหาเรื่องจุดอ้างอิงกรณีที่ไฟดับหรือปิดเครื่อง แต่จะไม่ทนต่อสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรม

3.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์

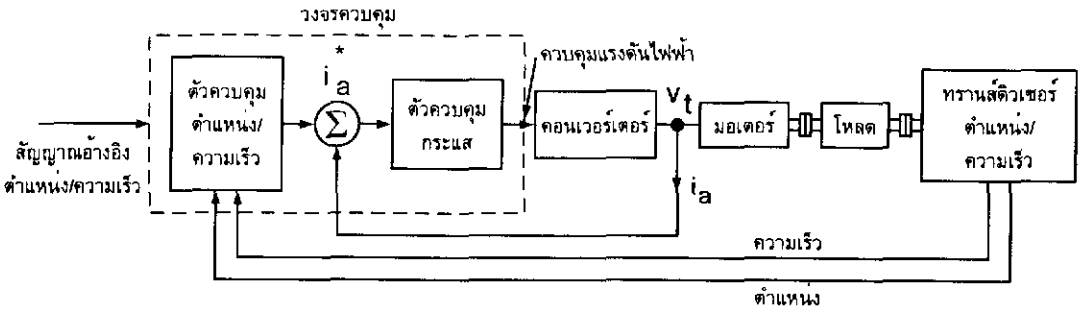
การขับเคลื่อนมอเตอร์โดยทั่วไปแบ่งออกเป็นสามแบบคือ การขับเคลื่อนทางไฟฟ้า (Electrical drive) การขับเคลื่อนไฮโดรลิก (Hydraulic drive) และการขับเคลื่อนทางกล (Mechanical drive) ที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้จะกล่าวถึงการขับเคลื่อนมอเตอร์ทางไฟฟ้า

โดยทั่วไปการขับเคลื่อนทางไฟฟ้าจะประกอบด้วยสามส่วนคือ มอเตอร์ไฟฟ้า วงจรแปลงผันกำลัง และส่วนวงจรควบคุม มอเตอร์จะต่ออยู่โดยตรงหรือผ่านเฟืองขับไปยังโหลด โดยวงจรควบคุม จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ต่ออยู่ภายในวงจรที่แปลงผันกำลังงาน เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปยังมอเตอร์ให้เหมาะสม

3.3.1 ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์

จะกล่าวถึง การขับเคลื่อนมอเตอร์แบบเซอร์โว (Servo drive) ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 วงจรควบคุมตำแหน่งและความเร็วแบบปิดของการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบเซอร์โว

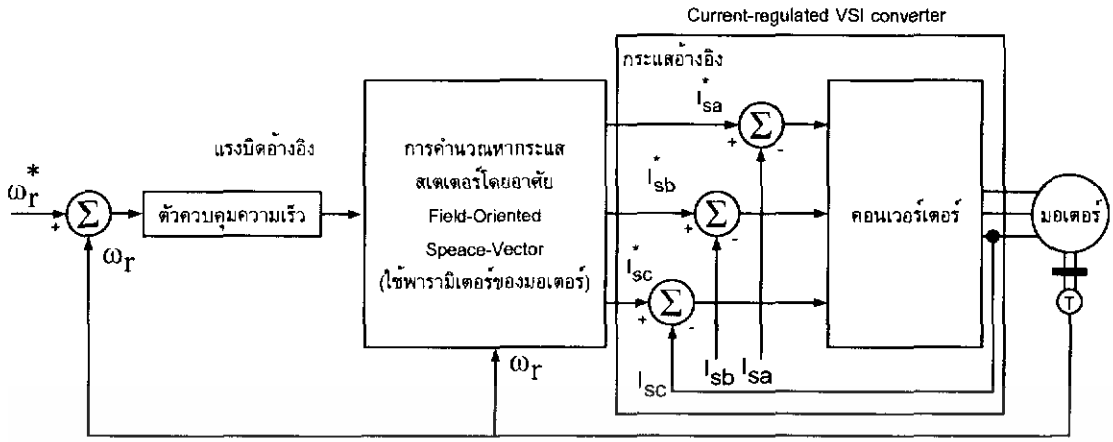
3.3.1.1 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบเซอร์โว

จะใช้กับงานที่ต้องการความเร็ว และการตอบสนองที่แม่นยำการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงจะถือว่าเป็นอุดมคติ สำหรับการขับเคลื่อนแบบเซอร์โวเพราะแรงบิดชั่วขณะ สามารถควบคุมแบบเชิงเส้นได้ ด้วยการควบคุมกระแสอาร์มาเจอร์ เนื่องจากข้อเสียในด้านคอมมิวเตเตอร์ และแปรงถ่านของมอเตอร์กระแสตรงแบบเซอร์โวจึงไม่เป็นที่นิยม

3.3.1.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสสลับแบบเซอร์โว

จะใช้สำหรับควบคุมตำแหน่ง ดังนั้นคุณลักษณ์แรงบิดของมอเตอร์ที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนแบบเซอร์โวจะต้องตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำตามคำสั่งโดยไม่เกิดการแกว่ง (Oscillation) ที่ทุกๆ ความเร็วรอบ การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเซอร์โวจะนิยมการควบคุมกระแสสเตเตอร์ โดยอาศัย field-oriented space-vector-based calculations เพื่อควบคุมกระแสสเตเตอร์ของมอเตอร์ให้สร้างแรงบิด ให้มีค่าเท่ากับแรงบิดที่กำหนด โดยตัวควบคุมค่าความเร็ว speed regulator ตัวควบคุม field-oriented controller จะคำนวณกระแสอ้างอิงทั้งสามเฟสซึ่งจะถูกส่งผ่านวงจรแปลงผันกำลังไปยังมอเตอร์ อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันแบบคงค่ากระแส (current-regulated VSI : CR-VSI) สามารถนำมาใช้กับวงจรได้ วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ปรับความถี่ในการขับเคลื่อนมอเตอร์นั้น แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากการไฟฟ้าจะผ่านวงจรเรียงกระแส ทำให้แรงดันกระแสสลับถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นผ่านวงจรกรองสัญญาณ (filter) เพื่อทำให้แรงดันกระแสตรงที่ได้มีค่าระลอกคลื่นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าสามเฟสที่มีการควบคุมทั้งแรงดัน และความถี่ของแรงดันด้านออกได้ตามต้องการ ซึ่งวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ปรับค่าความถี่แบ่งออกตามชนิดของวงจรเรียงกระแส และวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การควบคุมแบบ Field-Oriented สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเซอร์โว

- อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสพีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse - Width -Modulated Voltage Source Inverter (PWM-VSI) with a diode rectifier)

- อินเวอร์เตอร์แหล่งจ่ายกระแสสามเฟส (Square - wave Voltage Source Inverter (square - wave VSI) with thyristor rectifier)

- อินเวอร์เตอร์สามเฟสที่ทำงานในโหมดรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Current Source Inverter (CSI) with thyristor rectifier)

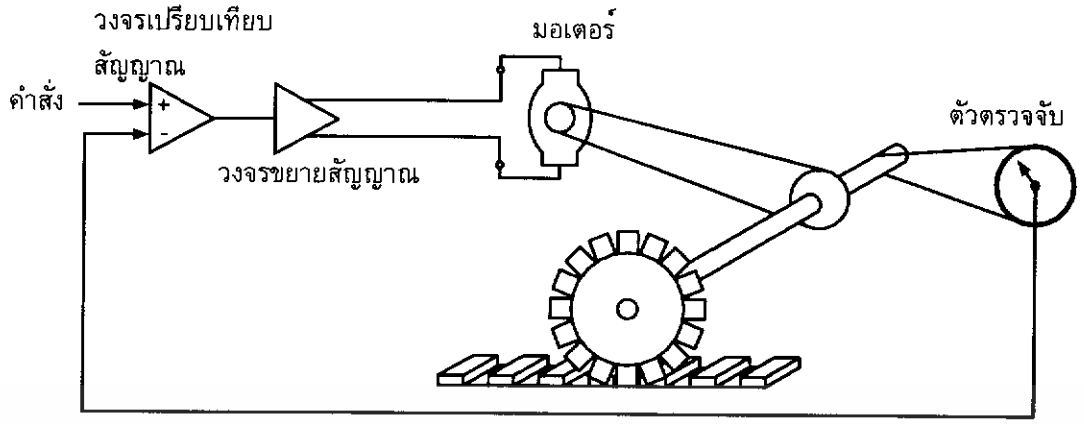
3.3.2 ระบบควบคุมเซอร์โว

ในระบบการควบคุมคุมเซอร์โวเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด ประกอบด้วย 3 โหมดการควบคุม คือ การควบคุมการเลื่อนตำแหน่ง การควบคุมความเร็ว และการควบคุมแรงบิด แต่ในโครงานนี้จะกล่าวถึงการควบคุมที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้เท่านั้น คือ การควบคุมการเลื่อนตำแหน่ง และการควบคุมความเร็ว

3.3.2.1 การควบคุมการเลื่อนตำแหน่ง (Position Control)

การควบคุมตำแหน่งสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 3.17 มอเตอร์จะขับเฟืองไปตามรางผ่านสายพาน และขณะเดียวกันก็จะขับเฟือง และเลื่อนตำแหน่งตัวตรวจจับพร้อมกันด้วย การตัวตรวจจับให้เหมาะสม จะหมายถึงการเลื่อนฟันเฟืองจากซ้ายสุดไปยังขวาสุด ตัวตรวจจับก็คือ ตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดตำแหน่งของระบบควบคุมอัตโนมัตินั้นเอง อาจจะใช้ เอนโค้ดเดอร์ก็ได้ สัญญาณตัวแปรกระบวนการจะเป็นแรงดันไฟฟ้าและเป็นตัวบอกตำแหน่งแรงดันไฟฟ้า ตัวตรวจจับจะถูกป้อนกลับไปยังวงจรเปรียบเทียบสัญญาณคือตัว ปรับตั้งหรือวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งจะไปหักลบกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากคำสั่งหรือค่าเป้าหมาย สัญญาณค่าความแตกต่าง หรือค่าผิดพลาด ระหว่างเซ็ตพอยต์ (คำสั่ง) กับตัวแปรกระบวนการจะถูกขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งจะเป็นสัญญาณที่มีกำลังพอที่จะไปขับมอเตอร์ เพื่อไปปรับตำแหน่งการเลื่อนของฟันเฟือง เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



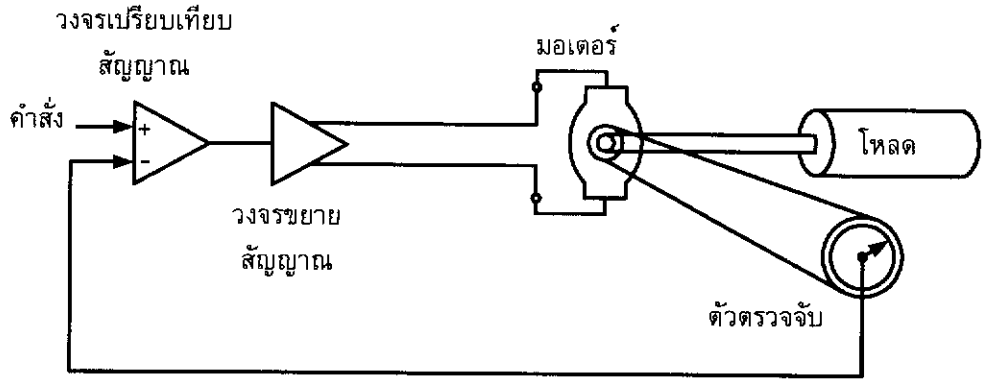
รูปที่ 3.17 การควบคุมการเลื่อนตำแหน่งด้วยระบบเซอร์โว

สัญญาณจากตัวตรวจจับ มีค่าเท่ากับสัญญาณจากระบบควบคุมที่เป็นค่าเซ็ตพอยต์ (คำสั่งเริ่มแรก) ระบบก็จะหยุดทำงาน และจะไม่มีเอาท์พุทจากวงจรขยายสัญญาณ เนื่องจากว่าไม่มีค่าผิดพลาด ซึ่งถือเป็นจุดที่ตำแหน่งการเลื่อนของฟันเฟืองอยู่ในตำแหน่งที่เราต้องการควบคุม วงจรขยายสัญญาณก็จะไม่มีไปยังมอเตอร์ มอเตอร์ก็จะไม่ทำงานปรับเปลี่ยนตำแหน่งการหมุนอีก

3.3.2.2 การควบคุมความเร็ว (Speed control)

สำหรับระบบควบคุมเซอร์โว ที่ต้องการควบคุมให้ความเร็วในการหมุนมีค่าคงที่ตามที่ต้องการตลอดเวลานั้น สามารถใช้หลักการเดียวกันกับการควบคุมตำแหน่งโดยใช้ตัวเซ็นเซอร์เป็นตัวตรวจจับการหมุน เช่นอุปกรณ์พวกโคเจนเนอเรเตอร์ เอนโค้ดเดอร์ จะให้กำเนิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าออกมาตามความเร็ว ในการหมุนของมอเตอร์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเซ็ตพอยต์ (คำสั่ง) และส่งสัญญาณเอาท์พุทออกไปควบคุมมอเตอร์ได้ในลักษณะดังรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์

3.4 ส่วนประกอบเชิงกล

ส่วนประกอบเชิงกล มีเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการออกแบบเครื่อง ซึ่งต้องศึกษารายละเอียดก่อนที่จะออกแบบ เพื่อให้แบบที่ออกมานั้นตรงตามกับจุดประสงค์ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงลักษณะงานที่จะนำไปใช้ ซึ่งรายละเอียดจะขอกล่าวถึงส่วนประกอบเชิงกลที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้เท่านั้น

3.4.1 เพลา

เพลาเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดส่วนหนึ่งของเครื่องจักรทุกชนิดใช้ถ่ายทอดการหมุน ชนิดของเพลาถ่ายทอดกำลังแบ่งตามชนิดของโหลดได้ดังนี้

1. เพลาถ่ายกำลัง (Transmission Shafts) ใช้รับเฉพาะการบิดอย่างเดียว หรือรับทั้งการบิดและดัดผสมกัน

2. เพลาสั้น (Spindle) ใช้รับเฉพาะการบิดอย่างเดียว มักจะมีขนาดค่อนข้างสั้น เช่นเพลาประธาน (Main shaft)

3. เพลาคาน (Axles) ใช้ต่ออยู่ระหว่างล้อรถ ใช้รับการดัดเพียงอย่างเดียว

นอกจาก แบ่งตามโหลดแล้ว อาจแบ่งตามลักษณะรูปร่างได้อีก คือเพลาตรง เพลาข้อเหวี่ยง จุดสำคัญการออกแบบเพลา

1. ความแข็งแรงของเพลา จะต้องพิจารณาเรื่องการล้า การกระแทก หรืออิทธิพลการรวมจุดความเค้น

2. ความแข็งแกร่งของเพลา ขณะที่ใช้งานเพลาอาจเกิดการบิดเบี้ยวมาก หรือทำให้การขบกันของฟันเฟืองไม่สนิท ทำให้เกิดกระสั่นสะเทือนและเสียงดัง

3. ความเร็ววิกฤติ ถ้าความเร็วถูกเพิ่มขึ้นมากๆ จะพบว่าที่ความเร็วหนึ่ง เพลามีการสั่นสะเทือนมากขึ้นอย่างผิดปกติในทันทีทันใด ความเร็วนี้เรียกว่าความเร็ววิกฤติ

4. การกัดกร่อน จะต้องเลือกวัสดุที่มี คุณสมบัติที่ต่อต้านกับการกัดกร่อนได้ดี

5. วัสดุที่ใช้ทำเพลา จะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่นำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของโครงงานจะขอกล่าวถึงเพลาที่รับทั้งการบิด และการดัดซึ่งเป็นเพลาที่ใช้ในโครงงานนี้ ซึ่งเพลาประเภทนี้กระทำผ่านสายพาน เฟืองหรือโซ่ ซึ่งเป็นเหตุให้ต้องรับทั้งการบิดและการดัดผสมกันไป ความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์บิด และความเค้นที่เกิดจากการบิดโมเมนต์ดัดต่างก็มีค่ามากสุดที่ผิวนอกของเพลาทั้งคู่ การบิดเบี้ยวของเพลาเนื่องจากโมเมนต์บิดต้องมีการจำกัดขอบเขตด้วย

3.4.2 ลิ่ม

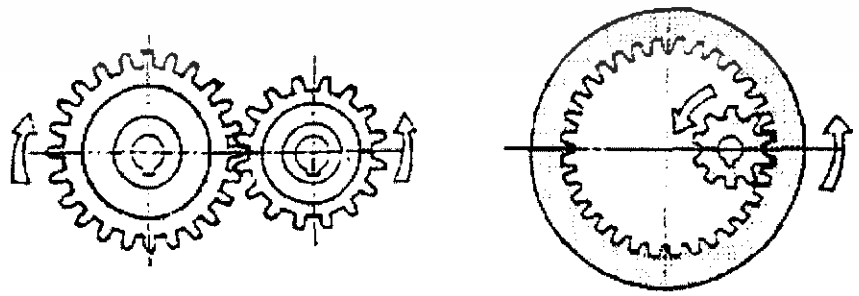
ลิ่มคือชิ้นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรกลที่ทำให้ชิ้นส่วนอื่นของเครื่องกลเช่น เฟือง จานโซ่ มู่เล่ ยึดติดกับเพลาและช่วยถ่ายทอดแรงบิดจากเพลาไปยังดุมล้อ ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายลิ่ม คือเพลาร่อง และเฟืองฟันปลาซึ่งมีเฟืองฟันนอกติดอยู่กับเพลาและเฟืองฟันในมีจำนวนเท่ากันอยู่ในดุมล้อ เฟืองทั้งสองนี้จะขบกันอยู่

3.4.3 โซ่

การถ่ายทอดกำลังโดยใช้โซ่ ใช้กับงานที่มีระยะจากศูนย์กลางระหว่างเพลาที่ยาวกว่าการใช้เฟืองขบแต่สั้นกว่าใช้สายพานขับ ในขณะถ่ายทอดกำลังโซ่จะขบกับฟันของจานโซ่และถ่ายทอดกำลังผ่านไปโดยไม่มีการเลื่อนไถล ดังนั้นจึงให้การถ่ายกำลังที่มีอัตราส่วนความเร็วที่คงที่เสมอ โซ่แบ่งเป็นสองชนิดคือ โซ่หมุน และโซ่เงียบใช้กับการถ่ายทอดที่ความเร็วสูงๆ

3.4.5 เฟือง

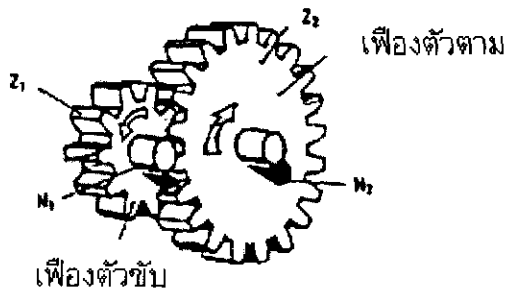
การส่งกำลังจากเฟืองตัวขับไปยังเฟืองตัวตามนั้น ต้องมีการขบกันของเฟือง ส่วนอัตราเร็วของเฟือง จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนฟันเฟืองของเฟือง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และการเคลื่อนที่ของเฟืองตัวขับ จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สวนกัน เมื่อเฟืองตัวขับเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟัน ดังรูปที่ 3.20 ฟันของเฟืองตัวก็จะขับให้เฟืองตัวตามเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟันด้วย และการขบกันของเฟืองอาจขบกันภายนอกหรือภายในก็ได้ ดังรูปที่ 3.19



เฟืองขบกันภายนอก เฟืองขบกันภายใน

รูปที่ 3.19 การขบกันของเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การหมุนของเฟือง

เฟืองเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกล ที่ถ่ายทอดกำลังจากเพลาอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง การถ่ายทอดกำลังนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วและจำนวนฟันของเฟืองจำเป็นจะต้องทราบ คือ ชนิดของเฟือง ความสัมพันธ์ของจำนวนฟันเฟือง (Z) และอัตราเร็วของเฟือง (N) โดยทั่วๆ ไปหน่วยอัตราความเร็วของเฟือง มักนิยมบอกเป็นจำนวนรอบต่อนาที อัตราเร็วของเฟืองตัวขับคูณด้วยจำนวนฟันของเฟืองตัวขับเท่ากับอัตราเร็วของเฟืองตัวตามคูณด้วยจำนวนฟันของเฟือง

$$N_1 Z_1 = N_2 Z_2 \qquad (3.1)$$

โดย N_1 = อัตราเร็วของเฟืองตัวขับ
N_2 = อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม
Z_1 = จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ
Z_2 = จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม

3.5 การคำนวณหาขนาดกำลังงาน

น้ำหนักในส่วนที่เคลื่อนที่ประกอบด้วยสามส่วนคือ น้ำหนักของแขน น้ำด้านที่ติดตั้งโคมและด้านที่ติดตั้งหัววัดแสง

$$P = \frac{KFW\dfrac{V}{60}}{102\,\eta} \qquad (KW) \qquad (3.2)$$

โดย F = ค่าการสมดุลน้ำหนักทั้งสองข้าง ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6
K = ค่าเผื่อ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.3 – 1.5
η = ค่าประสิทธิภาพของระบบทางกล ชนิดมีเฟือง 40 – 60%
V = ความเร็ว (เมตร/นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง ด้วยวิธีการวัดโดยตรง

ในการสร้างต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง เป็นการศึกษาการควบคุมการทำงานของสเตปมอเตอร์ (Step Motor) เพื่อควบคุมตำแหน่งการทำงานของมอเตอร์ผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องจริงของเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง และเป็นการเรียนรู้ถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับการทำงานโดยควบคุมการทำงานนี้ แบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ลักษณะคือการใช้พีแอลซี (PLC: Programmable Logic controller) และไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในโครงงานนี้ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) ในการควบคุม โดยทั้งสองลักษณะมีการติดต่อกับผู้ใช้งานผ่านหน้าคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมเบื้องต้น ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดดังนี้

4.1 การออกแบบควบคุมโดยไมโครคอนโทรเลอร์

ไมโครคอนโทรเลอร์ (MCS-51) คืออุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่มีความสามารถในการประมวลผล หรือประมวลผลได้ โดยสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ หรือความต้องการของผู้ใช้งานได้ องค์ประกอบภายในประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ วงจรสัญญาณนาฬิกา ซึ่งโครงสร้างของ MCS-51 สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
2. ต้องการไฟเลี้ยง + 5V
3. มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory: Rom)
4. มีหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory: Ram)
5. มีไทเมอร์/เคาร์เตอร์ขนาด 16 บิต 2 ชุด
6. อินเตอร์รัพท์ 6 แหล่ง 5 เวคเตอร์
7. มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม 2 พอร์ต แบบ Full Duplex
8. มีพอร์ตขนานสำหรับติดต่ออุปกรณ์ภายนอก 4 พอร์ตๆ ละ 8 บิต
9. มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาในตัว

4.1.1 ส่วนประกอบโครงสร้างการควบคุมโดยไมโครคอนโทรเลอร์

ในการออกแบบ เครื่องจำลองเครื่องทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง จะเน้นในเรื่องระบบควบคุม ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในระนาบพิกัด C โดยส่วนประกอบได้แสดง ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีส่วนประกอบทางโครงสร้าง ส่วนหลักๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สเตปมอเตอร์สองตัว ซึ่งแต่ละตัวทำหน้าที่ขับเคลื่อนแขน และที่จับยึดดวงโคมตามลำดับ

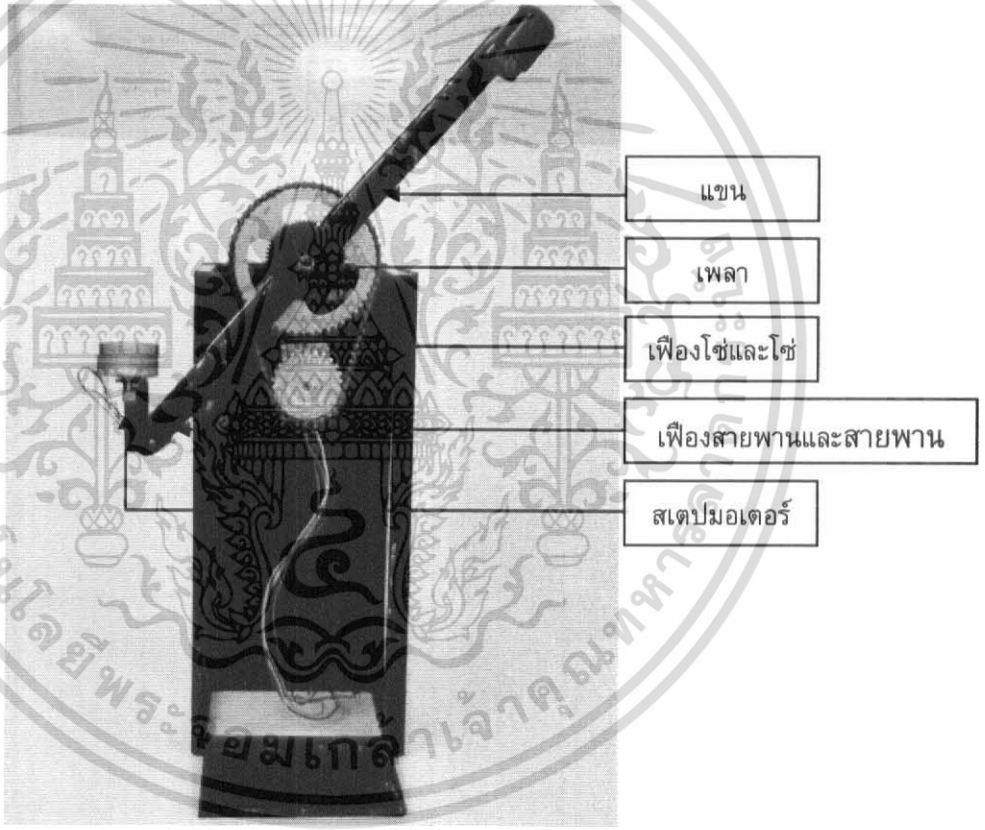
2. ชุดขับเคลื่อนสเตปมอเตอร์ ทำหน้าที่ขับเคลื่อน สเตปมอเตอร์แต่ละตัวตามการควบคุม

3. แขน เป็นที่จับยึดระหว่างที่จับยึดดวงโคมกับหัววัดแสง

4. เพลา ทำหน้าที่รับน้ำหนักส่วนของแขน

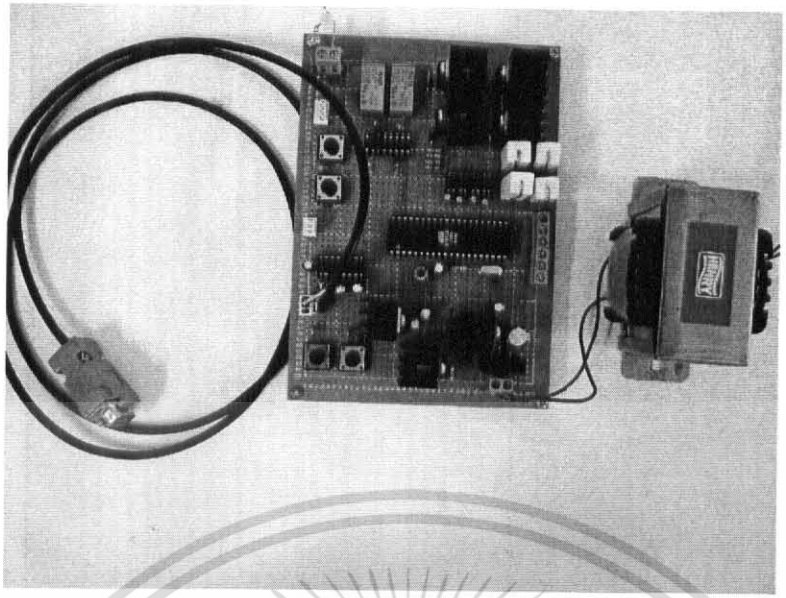
5. เฟืองโซ่และโซ่ ทำหน้าที่ถอยทอดกำลังจากสเตปมอเตอร์ไปยังแขน

6. เฟืองสายพานและสายพาน ทำหน้าที่ให้ที่จับยึดดวงโคมอยู่ในแนวดิ่งตลอดการเคลื่อนที่

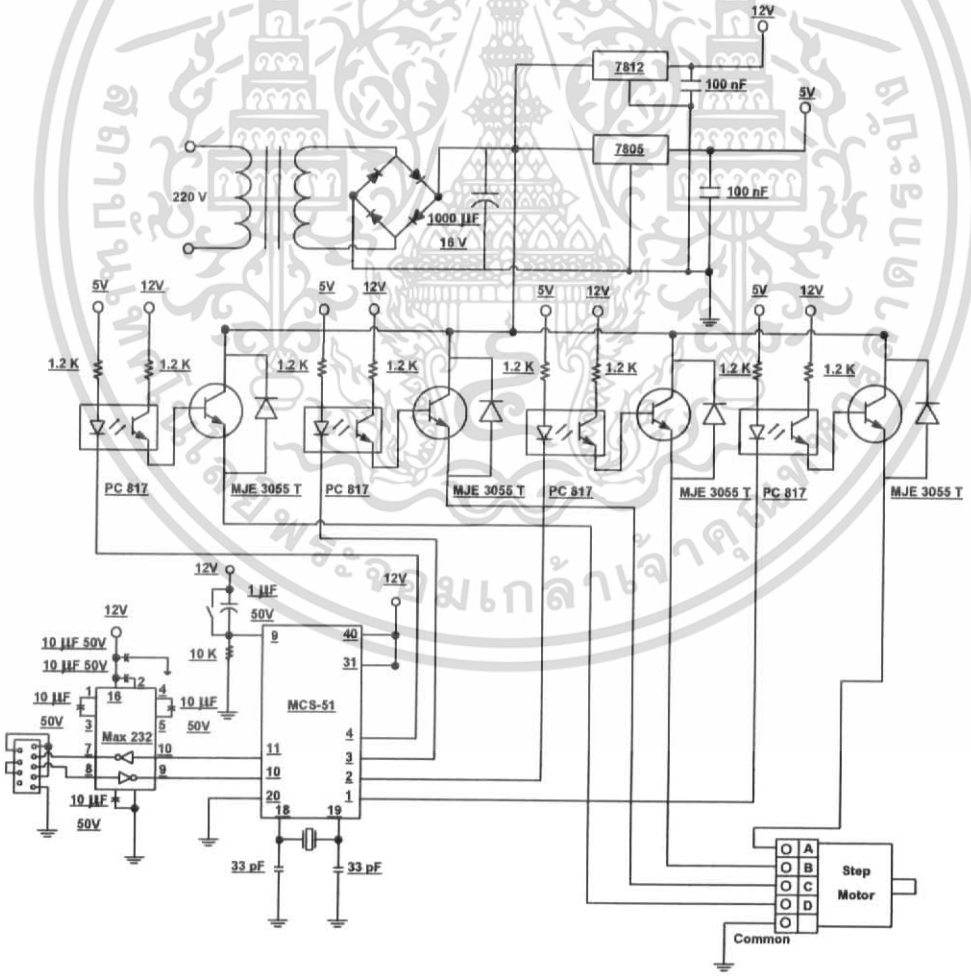


รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบโครงสร้างการควบคุมโดยไมโครคอนโทรเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ไมโครคอนโทรเลอร์และชุดขับเคลื่อนสเตปมอเตอร์



รูปที่ 4.3 วงจรไมโครคอนโทรเลอร์และวงจรขับสเตปมอเตอร์

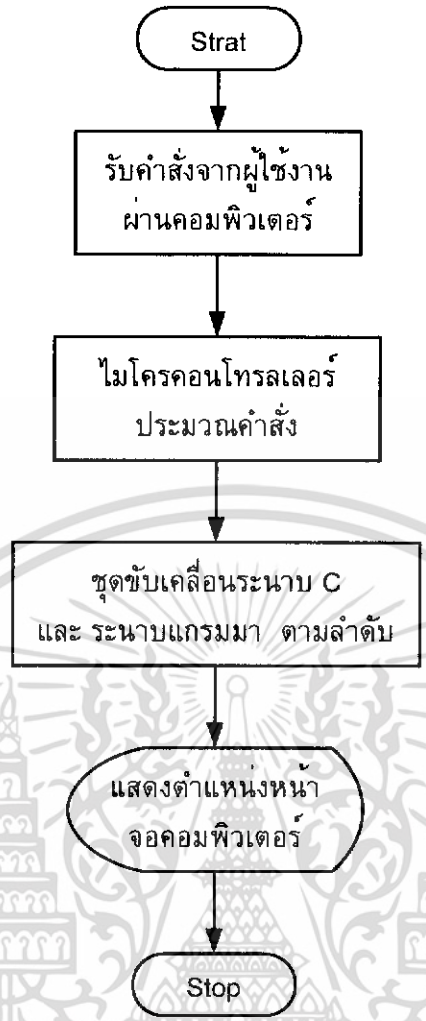
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรที่ 4.3 เป็นวงจรขับสเตปมอเตอร์ โดยที่โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้าง Sub Routine โปรแกรมเอาไว้รอรับคำสั่งจาคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง Serial port RS-232 เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งมาไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบคำสั่ง ว่าจะให้หมุนไปทางซ้าย หรือหมุนไปทางขวา และหมุนไปกี่สเตป ยกตัวอย่างเช่น ต้องการให้ สเตปมอเตอร์หมุนไปทางขวา 10 สเตป คอมพิวเตอร์จะส่งรหัส ":m1r=10" ซึ่งเป็นรหัสที่ไมโครคอนโทรลเลอร์กำหนดไว้ หมายความว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการหมุนสเตปมอเตอร์ไปทางขวา โดยสั่งผ่านชุดขับเคลื่อน โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ P0.0 (ขา1) มีศักย์ดาไฟฟ้าเป็นกราวด์ เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ออปโต้คัปเปิล (PC817) ชุดที่ต่ออยู่กับขา1ทำให้ทรานซิสเตอร์ใน (PC817) นำกระแสไบอัสให้กับทรานซิสเตอร์ (MJE 3055T) ทำการขับสเตปมอเตอร์ไปทางขวา 1 สเตป จากนั้นไมโครคอนโทรเลอร์จะเซ็ตให้ P0.0 (ขา1) มีศักย์ดาไฟฟ้าเป็น 5V และสั่งให้ P0.1 (ขา2) มีศักย์ดาไฟฟ้าเป็นกราวด์ และการทำงานจะเป็นลักษณะเดียวกับการขับ P0.0 (ขา1) ที่กล่าวผ่านมา นับเป็น สเตปที่ 2 แล้วเปลี่ยนเป็น P0.3 (ขา3) P0.4 (ขา4) และวนกลับมา P0.0 อีกครั้งจนครบ 10 สเตปมอเตอร์ จึงจะหยุดการทำงาน

4.1.2 การทำงานโดยการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรเลอร์

จากรูปที่ 4.4 เป็นโฟลชาร์ทการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ จะประมวลผลและส่งสัญญาณที่เป็นลักษณะ พัลส์ ไปยังชุดขับ ทำให้สเตปมอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งจำนวนพัลส์นั้น จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของตัวขับสเตปมอเตอร์และแสดงตำแหน่งแต่ละพิกัดระนาบ ของสเตปมอเตอร์ทั้งสองทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ซึ่งในการควบคุมนั้นเป็นการควบคุมแบบเปิด คือไม่มีการส่งค่ากลับไปยังชุดขับเคลื่อน โดยค่าสั่งโปรแกรมนั้นได้แสดงในภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4. 4 โฟลชาร์ทการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

4.2 การออกแบบควบคุมโดยพีแอลซี (PLC: Programmable logic controller)

พีแอลซีเป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม โดยพีแอลซีประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม

หน่วยความจำของ พีแอลซี ประกอบด้วย หน่วยความจำชนิด RAM และ ROM หน่วยความจำชนิด RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้ และข้อมูลสำหรับใช้ในการปฏิบัติงาน ของ พีแอลซี ส่วน ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้ในการปฏิบัติงานของ พีแอลซี ตาม โปรแกรมของผู้ใช้ ROM สามารถโปรแกรมได้แต่ลบไม่ได้

ส่วนประกอบของ พีแอลซี แบ่งออกได้ 3 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Control Processing Unit: CPU)
2. ส่วนที่เป็นอินพุต/เอาต์พุต (Input Output: I/O)
3. ส่วนที่เป็นอุปกรณ์การโปรแกรม (Programming Device)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ส่วนประกอบโครงสร้างของการควบคุมโดยพีแอลซี

โครงสร้างของเครื่องจำลองที่ได้ทำการออกแบบการควบคุมโดยพีแอลซี ดังรูปที่ 4.5 สามารถแบ่งเป็นส่วนประกอบหลักๆ ได้ดังนี้

1. มอเตอร์กระแสตรง ทำหน้าที่หมุนที่จับยึดดวงโคม (วัสดุที่ทำขึ้นมาแทน)

2. สเตปมอเตอร์ ทำหน้าที่ขับเคลื่อนแขน

3. แขน เป็นที่จับยึดระหว่างที่จับยึดดวงโคมกับหัววัดความเข้มแสง (วัสดุที่ทำขึ้นแทน)

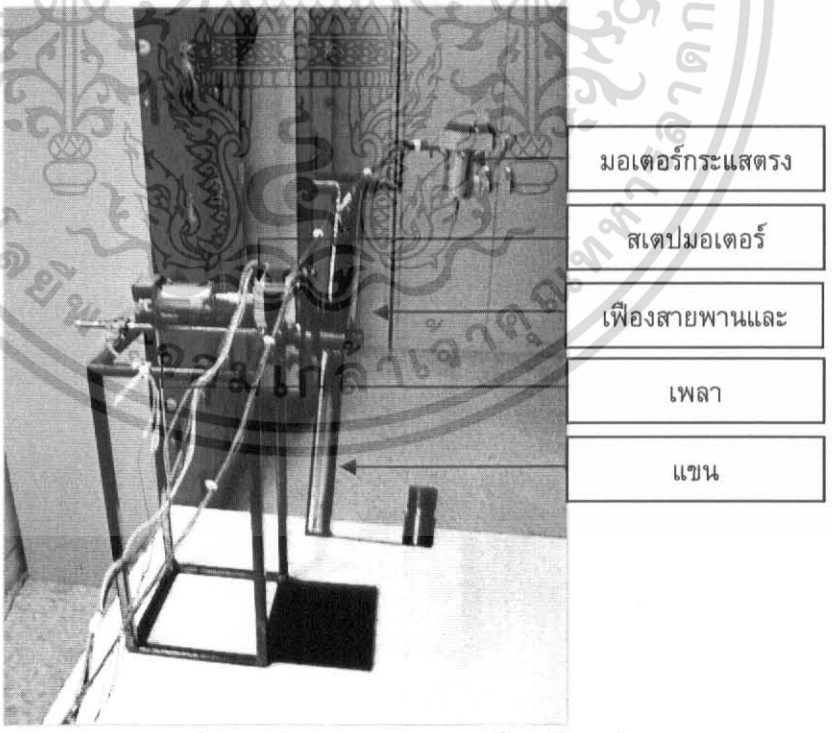
4. เพลา ทำหน้าที่รับน้ำหนักส่วนของแขน

5. เฟืองสายพานและสายพาน ทำหน้าที่ให้ที่จับยึดดวงโคมอยู่ในแนวดิ่งตลอดการเคลื่อนที่

6. เอนโค้ดเดอร์ เป็นเอนโค้ดเดอร์แบบ Incremental encoder ซึ่งมีจำนวนพัลส์ 500 พัลส์ต่อรอบ โดยส่งพัลส์ที่เกิดจากการหมุนของสเตปมอเตอร์กลับไปยังพีแอลซี

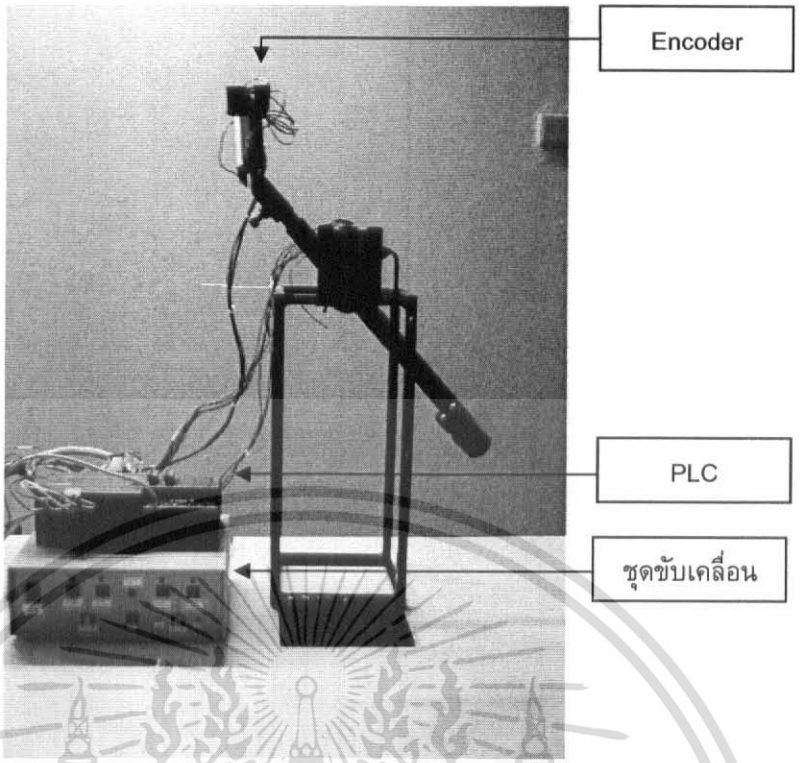
7. ชุดขับมอเตอร์ ชุดขับมอเตอร์ที่ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- แหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม เป็นวงจรที่สร้างขึ้นมาเพื่อจ่ายไฟ ให้กับอุปกรณ์ในระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจำลองระบบการทำงานของเครื่องทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่างด้วยวิธีการวัดโดยตรง วงจรจะแยกออกเป็นสองส่วนคือ แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลท์ และ 12 โวลท์ ดังรูปที่ 4.6

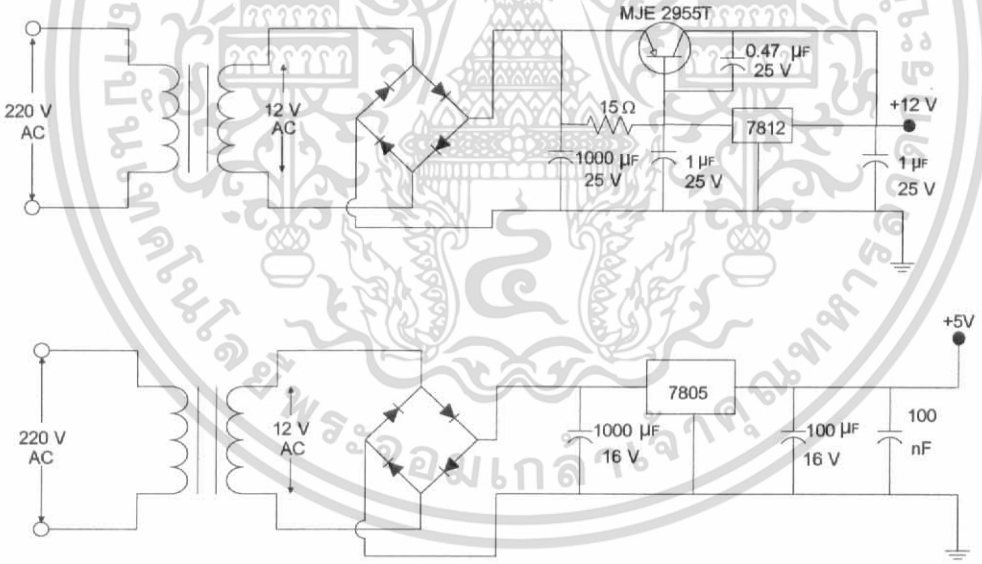


รูปที่ 4.5 ส่วนประกอบโครงสร้างของการควบคุมโดยพีแอลซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

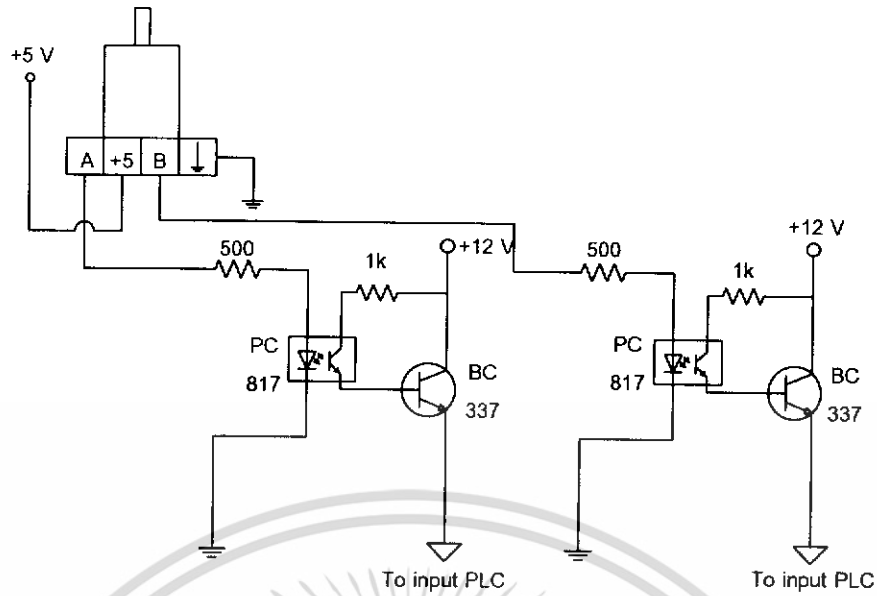


รูปที่ 4.5 (ต่อ) ส่วนประกอบโครงสร้างของการควบคุมโดยพีแอลซี



รูปที่ 4.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

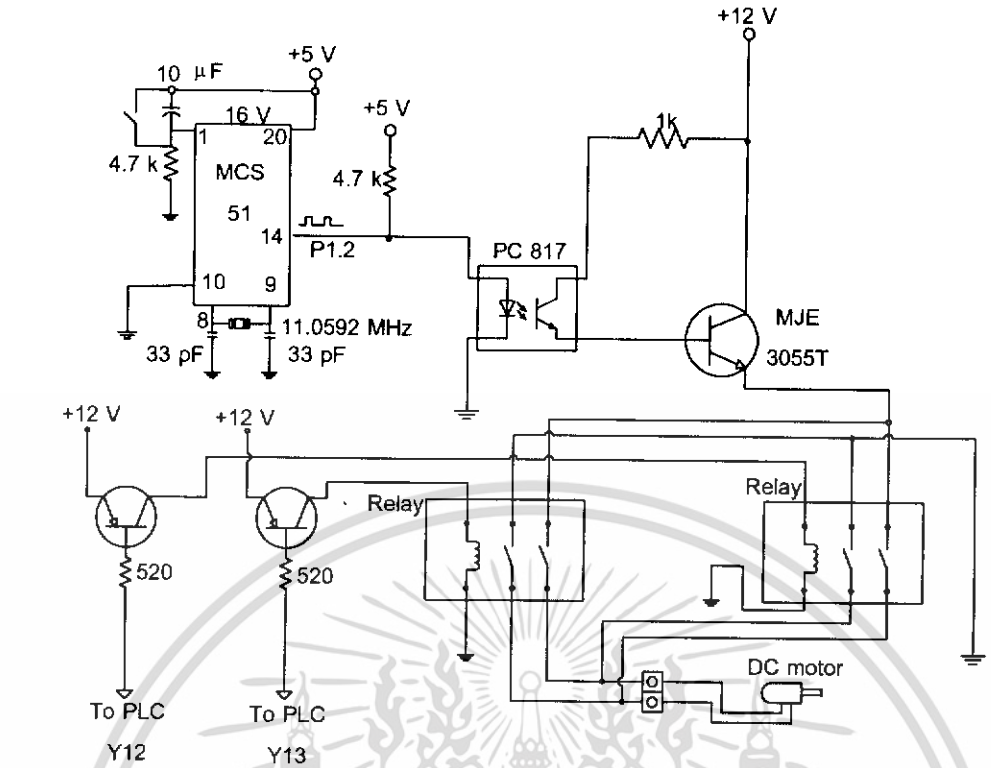


รูปที่ 4.7 วงจรนับพัลส์

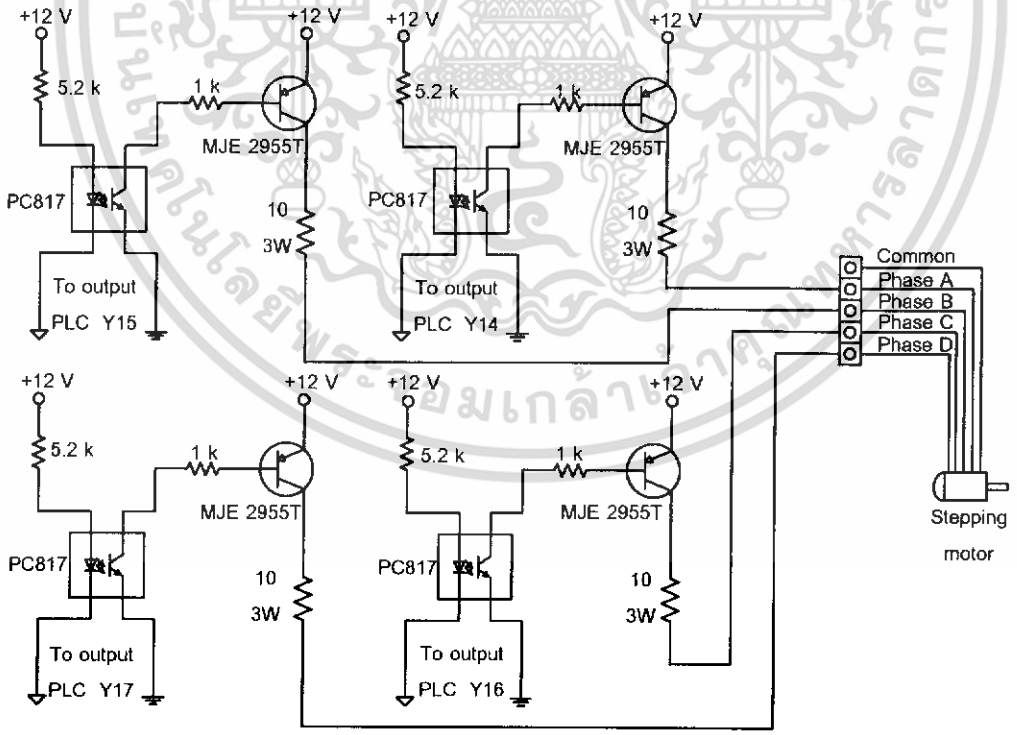
- วงจรนับพัลส์ โดยวงจรนับพัลส์จะทำหน้าที่จ่ายพัลส์ ที่ตรวจจับจากเอนโค้ดเดอร์ให้กับ พีแอลซี นับจำนวนของพัลส์เพื่อวัดจำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ วงจรประกอบด้วย เอนโค้ดเดอร์ ออปโต้คัปเปิล และทรานซิสเตอร์ เนื่องจากพัลส์ที่จ่ายออกจากเอนโค้ดเดอร์มีระดับแรงดัน 5 โวลท์ แต่อินพุท พีแอลซี สามารถรับค่าระดับแรงดันตั้งแต่ 24-12 โวลท์ ดังรูปที่ 4.7 ดังนั้นจึงใช้ทรานซิสเตอร์ขยายแรงดันให้สูงขึ้น

- วงจรขับมอเตอร์กระแสตรงวงจร ทำหน้าที่ขับมอเตอร์กระแสตรง ที่หมุนระนาบพิกัด C เนื่องจากมอเตอร์กระแสตรงมีความเร็วสูงประมาณ 1500 รอบต่อนาทีจะทำให้การควบคุมการหมุนทีละองศาน้อยๆ ได้ลำบากดังนั้นจึงใช้ไมโครคอนโทลเลอร์มาควบคุมการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์กระแสตรง โดยจ่ายเป็นพัลส์ใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวสวิทช์ซึ่งอีกที จากนั้นใช้รีเลย์ 2 ตัวมาเป็นตัวควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงและใช้ทรานซิสเตอร์อีกชุดมาควบคุมการทำงานของรีเลย์อีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

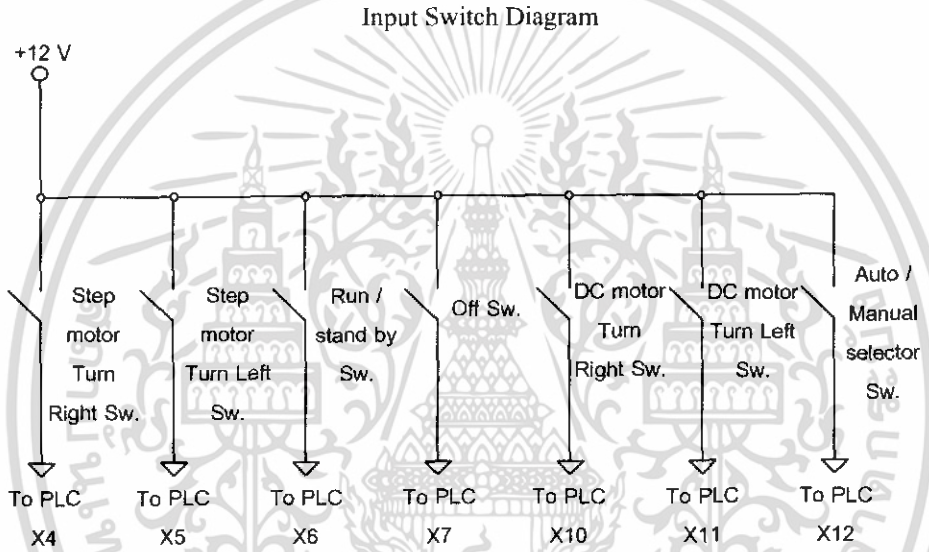


รูปที่ 4.9 วงจรขับสเตปมอเตอร์

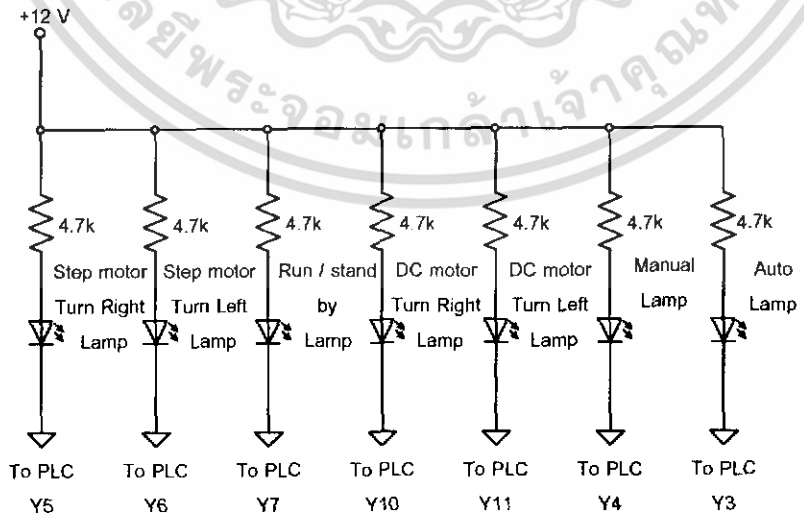
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรขับสเตปมอเตอร์ การขับสเตปมอเตอร์จะทำงานโดยการจ่ายพัลส์ให้กับ สเตปมอเตอร์ตามลำดับเฟส A, B, C, D วนไปเรื่อยๆ สลับเฟสกันไม่ได้ และคอมมอนของสเตปมอเตอร์จ่ายไฟลบ ความเร็วในการหมุนของสเตปมอเตอร์นั้น ขึ้นอยู่กับช่วง Turn-On ของพัลส์ที่จ่ายให้ในแต่ละเฟส ระดับแรงดันของพัลส์ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของมอเตอร์แต่ละตัว การกลับทางหมุนของสเตป มอเตอร์จะต้องจ่ายพัลส์คือ D, C, B, A วนไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 4.9

8. พีแอลซี ทำหน้าที่ประมวณผลแล้วส่งสัญญาณให้กับชุดขับเคลื่อน พีแอลซีที่ใช้คือ KOYO รุ่น Direct 06 ซึ่งมีไดอะแกรมการต่อ อินพุทและเอาท์พุท ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.10 ไดอะแกรมการต่ออินพุทของพีแอลซี

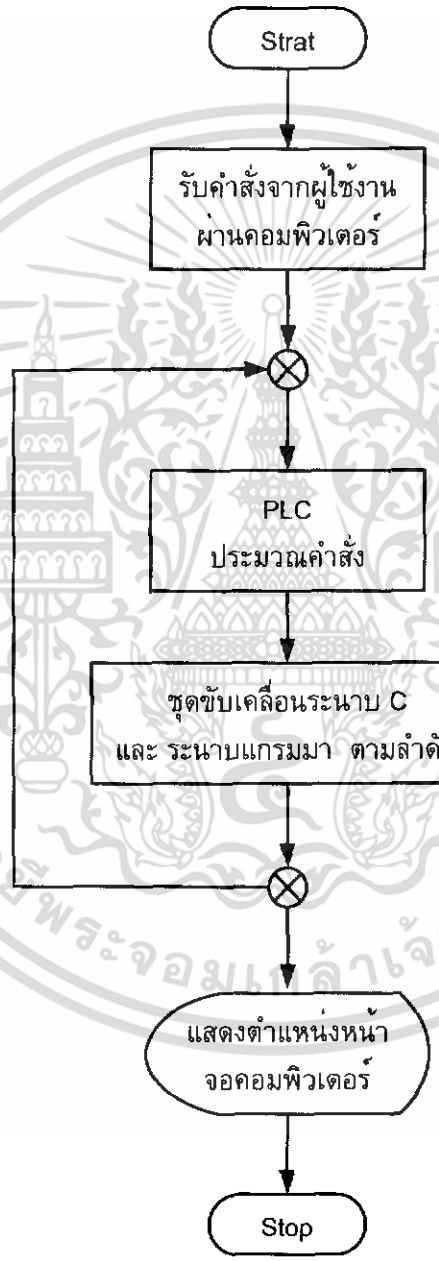


รูปที่ 4.11 ไดอะแกรมการต่อเอาต์พุทของพีแอลซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทำงานโดยการควบคุมด้วยพีแอลซี

จากรูปที่ 4.12 เป็นโฟลชาร์ทการควบคุมโดยใช้พีแอลซี ซึ่งกระบวนการทำงานจะต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ตรงที่พีแอลซีจะมีการส่งค่ากลับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ส่งมาในตอนแรก โดยเอนโค้ดเดอร์ ที่ต่ออยู่กับสเตปมอเตอร์ เป็นตัวตรวจสอบจำนวนพัลส์ แล้วส่งกลับไปที่ พีแอลซี เพื่อเปรียบเทียบค่าว่าถูกต้องหรือไม่ แล้วจึงแสดงตำแหน่งออกหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.12 โฟลชาร์ทการควบคุมโดยใช้พีแอลซี

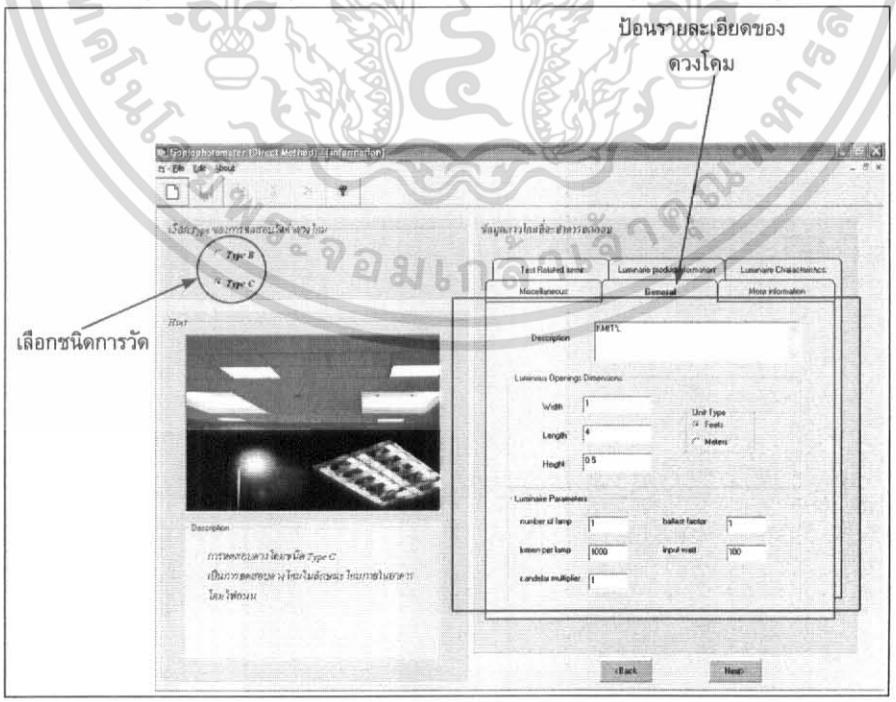
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้เขียนติดต่อระหว่างคำสั่งจากคอมพิวเตอร์กับส่วนที่ควบคุมทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์และพีแอลซีจะใช้โปรแกรม Visual Basic 6

จากรูปที่ 4.13 เป็นหน้าต่างแรกของการใช้โปรแกรมทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่างเพื่อที่จะนำไปสู่หน้าต่างต่อไป

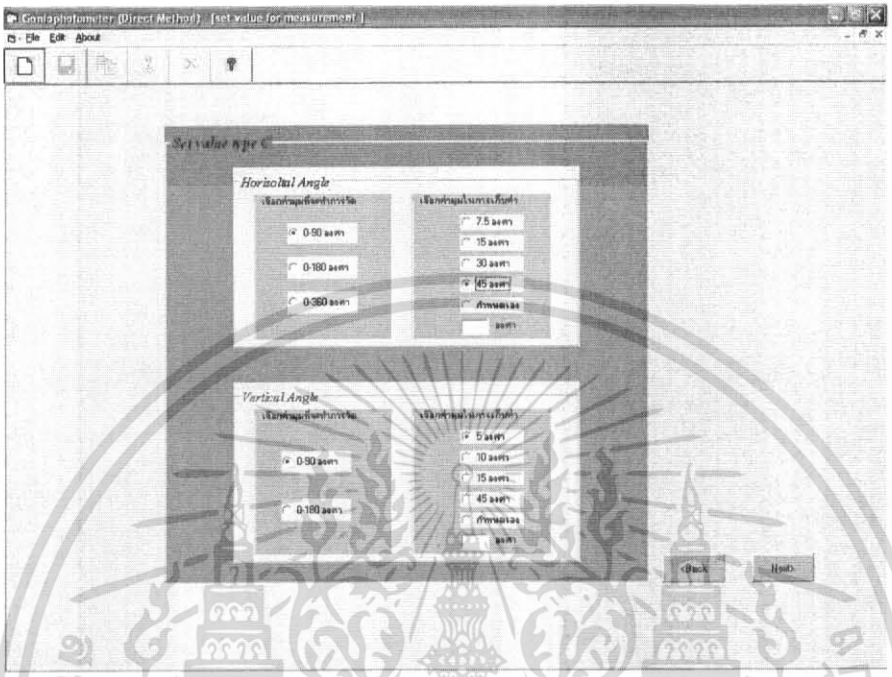
รูปที่ 4.13 หน้าต่างเริ่มต้นการทำงาน



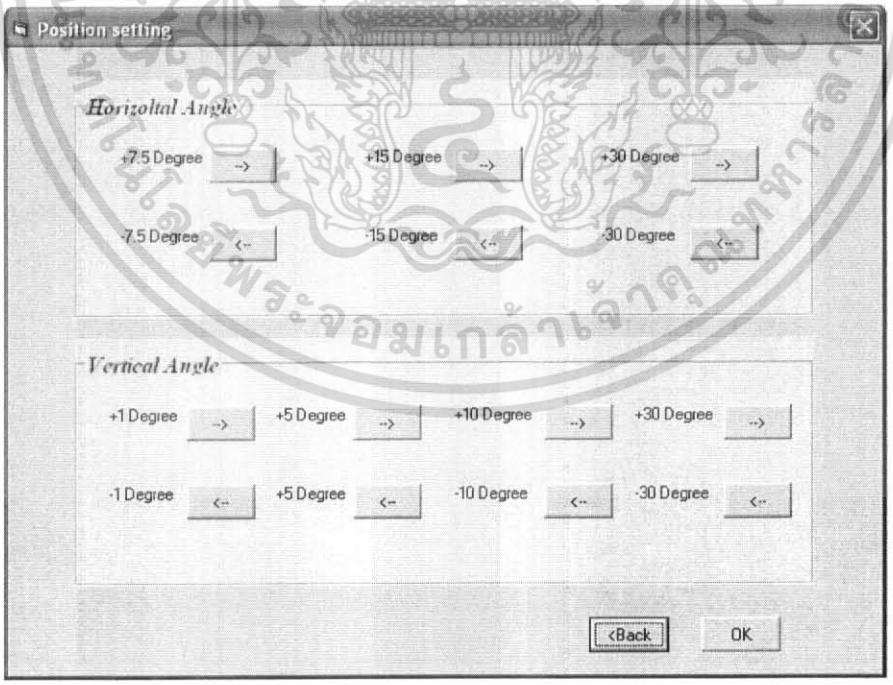
รูปที่ 4.14 หน้าต่างการเลือกระนาบในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 หน้าต่างนี้เป็นการเลือกชนิดในการทดสอบ ซึ่งมีให้เลือกสองชนิดคือ ชนิด B และ C หลังจากนั้นให้ทำการป้อนค่ารายละเอียดของดวงโคมที่นำมาทดสอบ รูปที่ 4.15 ในหน้าต่างนี้เป็นการเลือกมุมระนาบและความละเอียดของที่ใช้ในการทดสอบแต่ละระนาบ



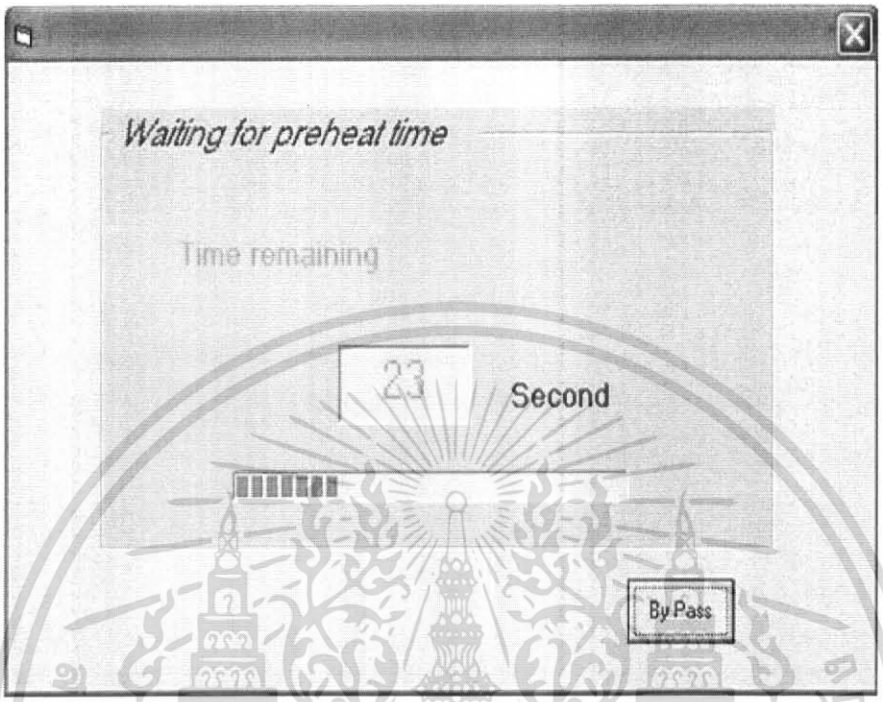
รูปที่ 4.15 หน้าต่างการป้อนมุมและระนาบความละเอียดในแต่ระนาบ



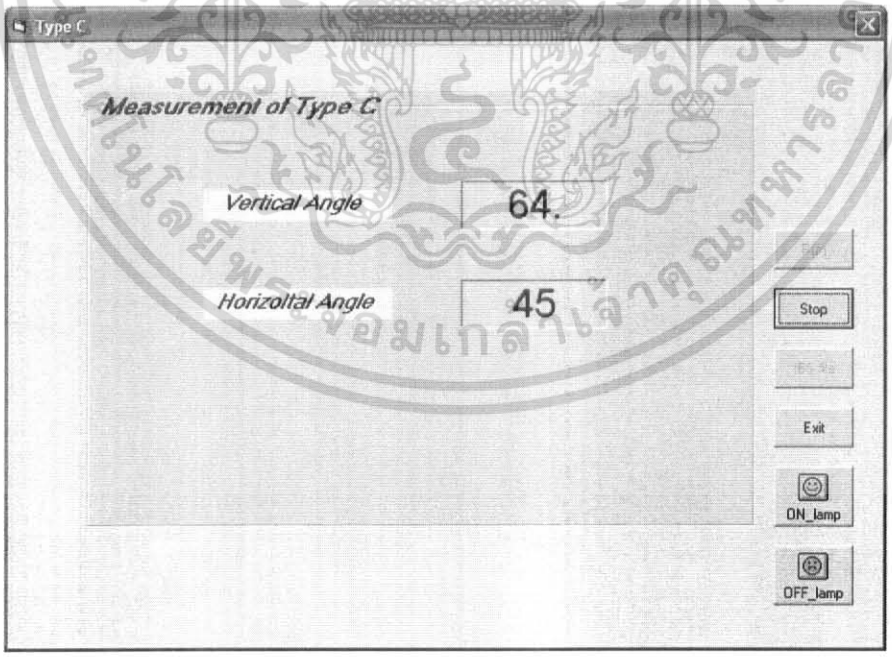
รูปที่ 4.16 หน้าต่างการปรับตั้งตำแหน่งแต่ละระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 เป็นการปรับตั้งตำแหน่งของแต่ละระนาบซึ่งในบางส่วนก่อนการทดสอบตำแหน่งในแต่ละระนาบไม่อยู่ในตำแหน่ง จึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งเพื่อให้ตำแหน่งเริ่มต้น

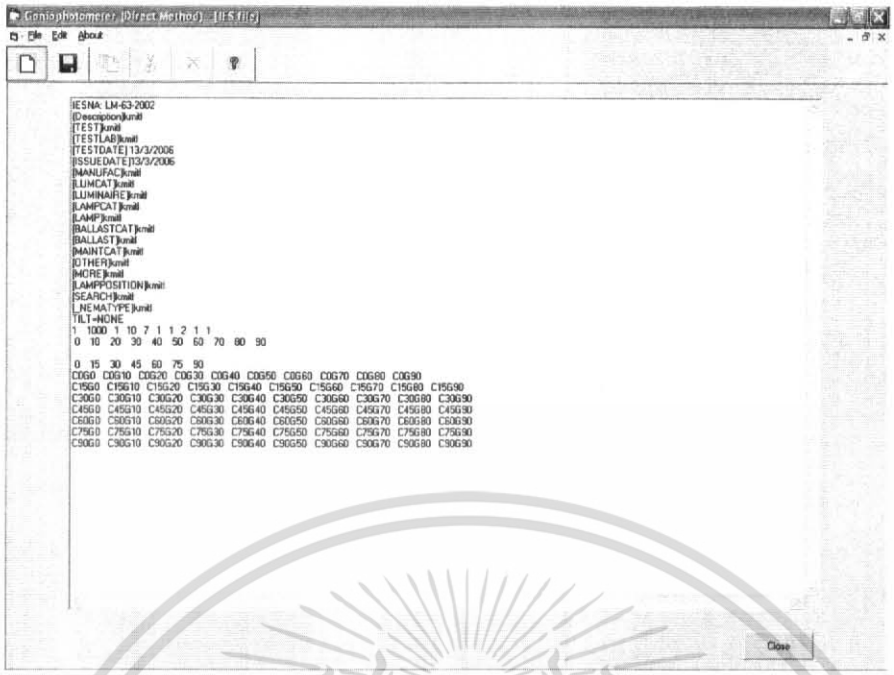


รูปที่ 4.17 หน้าต่างช่วงเวลาในการรอให้หลอดเข้าสู่เสถียรภาพ



รูปที่ 4.18 หน้าต่างแสดงค่ามุมขณะทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 หน้าต่างแสดงผลการทดสอบ

รูปที่ 4.17 เป็นการแสดงช่วงเวลาก่อนที่จะมีการทดสอบโดยรอจนกระทั่งหลอดเข้าสู่เสถียรภาพ เพื่อให้ค่าในการทดสอบมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปที่ 4.18 เป็นหน้าต่างแสดงตำแหน่งของแต่ละระนาบขณะทำการทดสอบ จากรูปที่ 4.19 เมื่อทำการทดสอบครบทุกมุมตามที่กำหนดไว้ในเบื้องต้นหน้าต่างนี้เป็นการแสดงผลการทดสอบตามมาตรฐาน IES File ซึ่ง IES File ดังกล่าว สามารถนำไปใช้ในการสร้างรูปแบบไฟล์นำเสนอผลการกระจายแสง (Photometric data report) หรือนำไปใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรมส่องสว่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุป

ในส่วนการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบเชิงกล ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการออกแบบ ทั้งแบบจำลองและเครื่องจริงของเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง ทำให้สามารถเลือกใช้องค์ประกอบแต่ละส่วนให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในส่วนการควบคุม จากการศึกษาการทำโครงสร้าง และลักษณะการควบคุมแบบจำลองเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง ที่กล่าวมา จะพบปัญหาที่เกิดขึ้นกับแบบจำลอง ปัญหาเหล่านี้ สามารถนำไปแก้ไขปรับปรุงกับในการออกแบบเครื่องจริงให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งยังเป็นแนวทางการวางแผนการสร้างให้รัดกุม และรอบคอบมากขึ้น ซึ่งการเปรียบเทียบการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ และการควบคุมโดยการใช้พีแอลซี พอสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบ พีแอลซี (PLC) และไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51)

คุณสมบัติ	PLC	MCS-51
ราคา	แพง	ถูก
วงจรต่อร่วม	ไม่ซับซ้อน	ซับซ้อน
การเขียนโปรแกรม	ง่ายกว่า	การเขียนโปรแกรมยากกว่า
การ Interface กับ Computer	บางยี่ห้อต้องมีโปรแกรมเพื่อ Interface อีกที่หนึ่ง	การ Interface กับ Computer ง่ายกว่า
ลักษณะการใช้งาน	การยืดหยุ่นน้อยกว่า	ยืดหยุ่นมากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนา

จากลักษณะที่เกิดจากการออกแบบเครื่องจำลองสามารถนำไปแก้ไข เพื่อปรับใช้กับการออกแบบจริงได้ ซึ่งสรุปปัญหาและการแก้ไขได้ดังนี้

- ปัญหาการควบคุม ความแม่นยำเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง จากลักษณะเครื่องจริงนั้นน้ำหนักที่เกิดขึ้นที่เพลานั้นมีน้ำหนักมาก ตามขนาดของเครื่อง ดังนั้นการขับเคลื่อน (Strat/Stop) ต้องมีความแม่นยำ ซึ่งแนวทางการแก้ไขคือเลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับโดยมีการควบคุมแบบเซอร์โว ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

- ปัญหาสายไฟและสายสัญญาณ การบิดของสายไฟและสายสัญญาณเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง โดยสายไฟและสายสัญญาณ นั้นต่อผ่านส่วนที่เคลื่อนที่ แนวทางการแก้ไขคือการทำให้สายบิดน้อยที่สุดโดย ใช้เพลารับน้ำหนักแบบกลวง ซึ่งจะให้สายไฟต่อผ่านในส่วนที่กลวงนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัญหาการแกว่งของแขน จากลักษณะการทดลองใช้เฟืองขบ พบว่าถ้าการติดตั้งเฟืองขบกันไม่สนิท จะทำให้แขนแกว่งได้ แนวทางการแก้ไขคือการใช้เฟืองโซ่ แต่มีข้อระวังในส่วนความตึงของโซ่ด้วยต้องตึงพอดี

- ในส่วนของโปรแกรม โดยพัฒนาโปรแกรมของแบบจำลองให้สามารถทดสอบข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างและเครื่องจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] CIE, **Photometry of Indoor Type Luminaires with Tubular Fluorescent Lamps**,CIE Publication NO.24. 1973.

[2] รศ.ศุลี บรรจงจิตร, **วิศวกรรมการส่องสว่าง**, กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 2543.

[3] **36 เรื่องน่ารู้เทคนิคไฟฟ้า ชุดที่ 4 ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง,** กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี. 2542

[4] ผศ.มนัส อนุศิริ, **การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก (ฉบับปรับปรุงใหม่)**, กรุงเทพฯ: เม็ดทรายพลิ้นติ้ง. 2543.

[5] รศ.โยธิน เปรมปราณีรัชต์, **ระบบเซอร์โวและอิเลคทรอนิกส์คอลโทรลมอเตอร์**, พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: 2533.

[6] รศ.โยธิน เปรมปราณีรัชต์, **วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์**, กรุงเทพฯ: 2526.

[7] สมยศ จันเกษม และ ศ.คิโยคัตสึ ซึงะ, **การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล**, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ. 2523.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

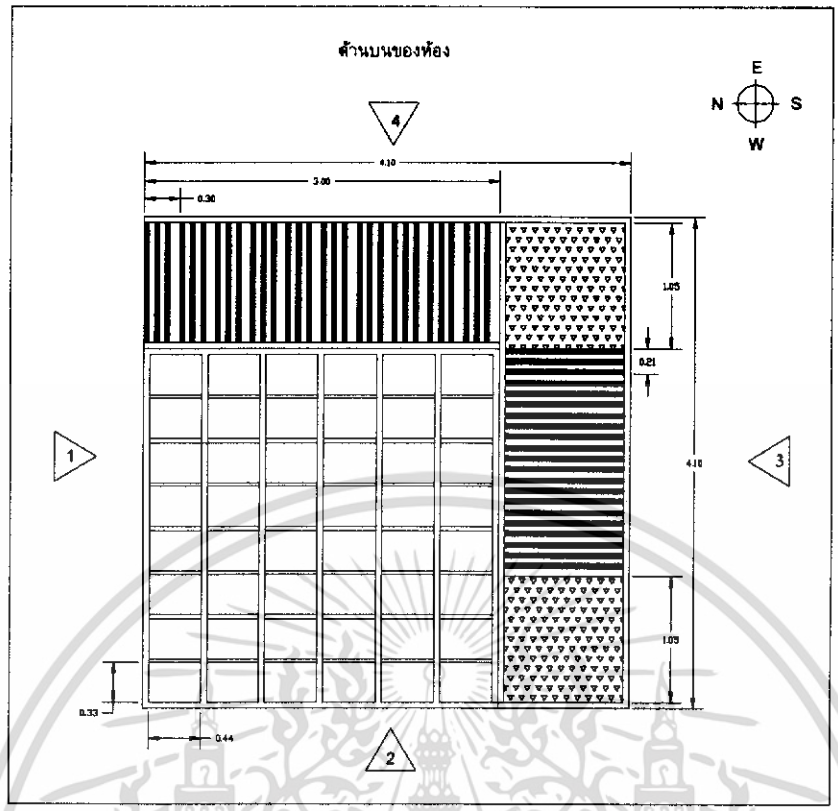
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

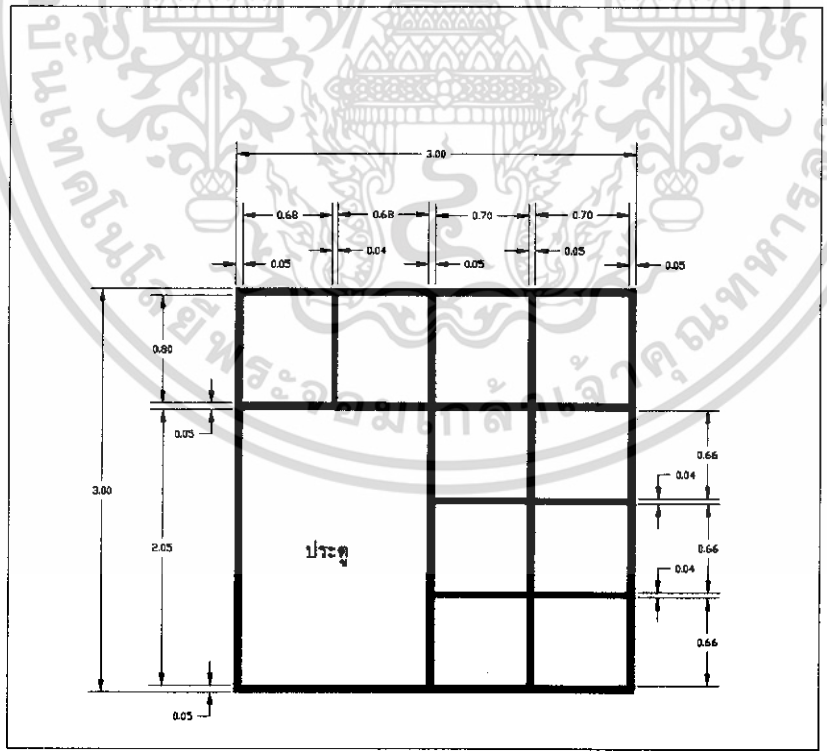
ภาคผนวก ก

แบบเครื่องทดสอบการกระจายความเข้มส่องสว่างแบบโคยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

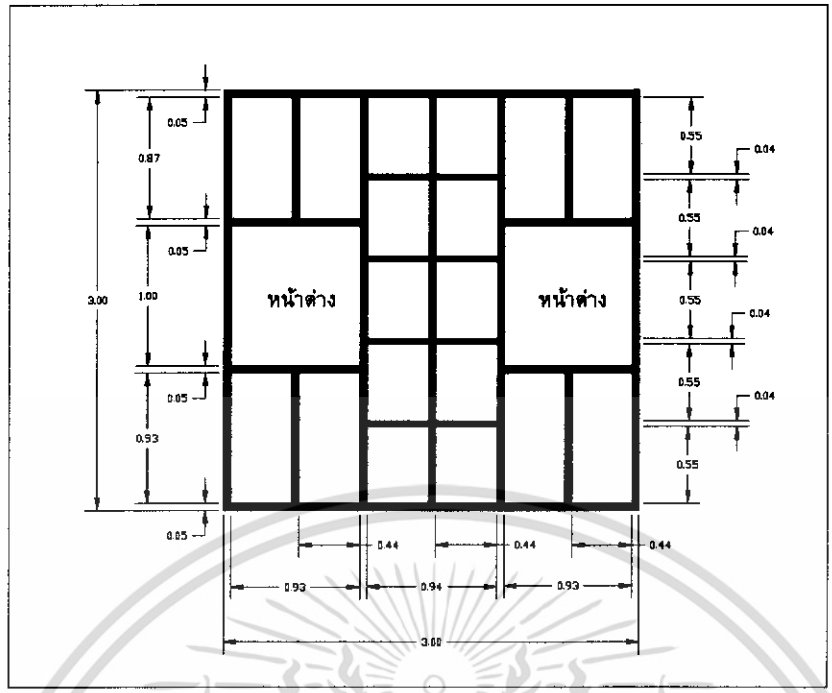


รูปที่ 1 แบบด้านบนห้องควบคุม

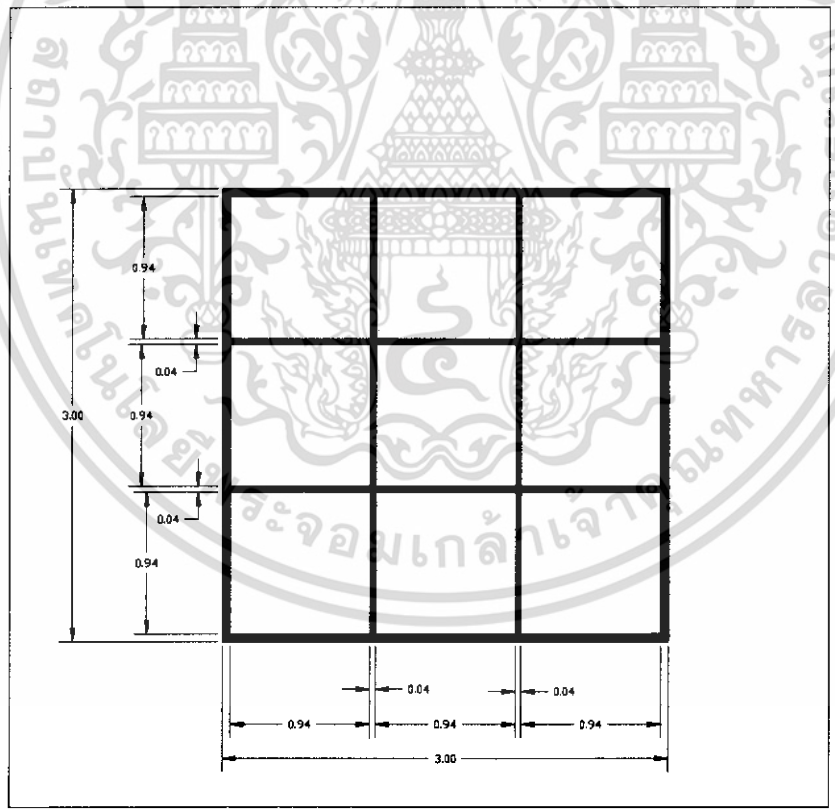


รูปที่ 2 แบบด้านที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

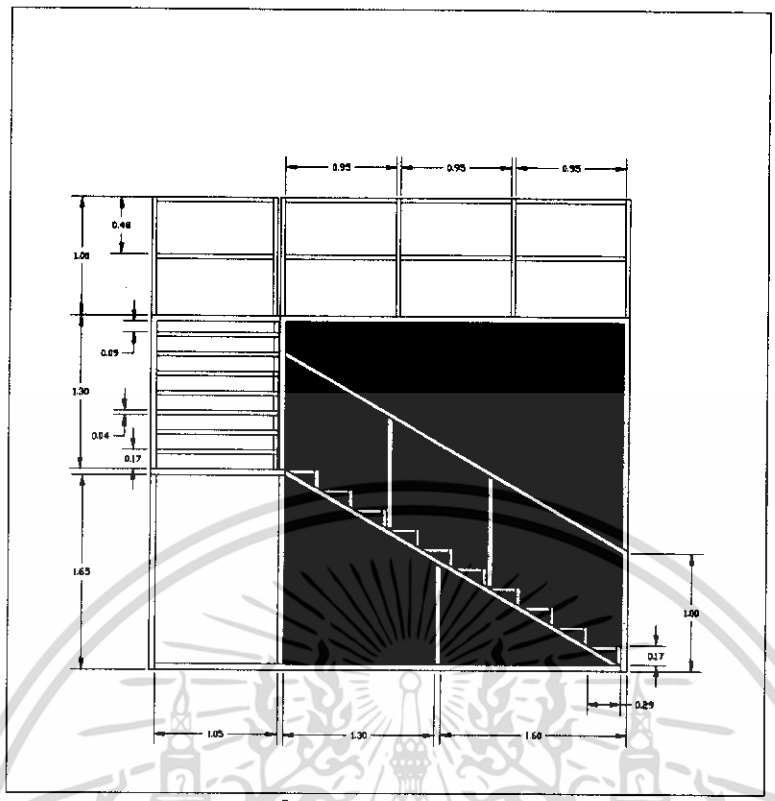


รูปที่ 3 แบบด้านที่ 2

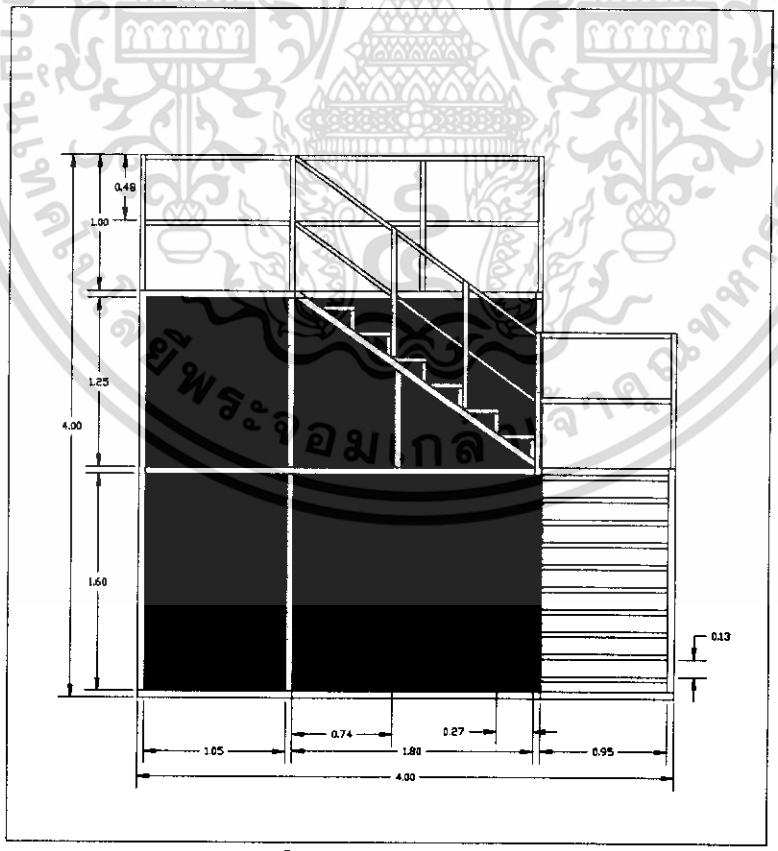


รูปที่ 4 แบบด้านที่ 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

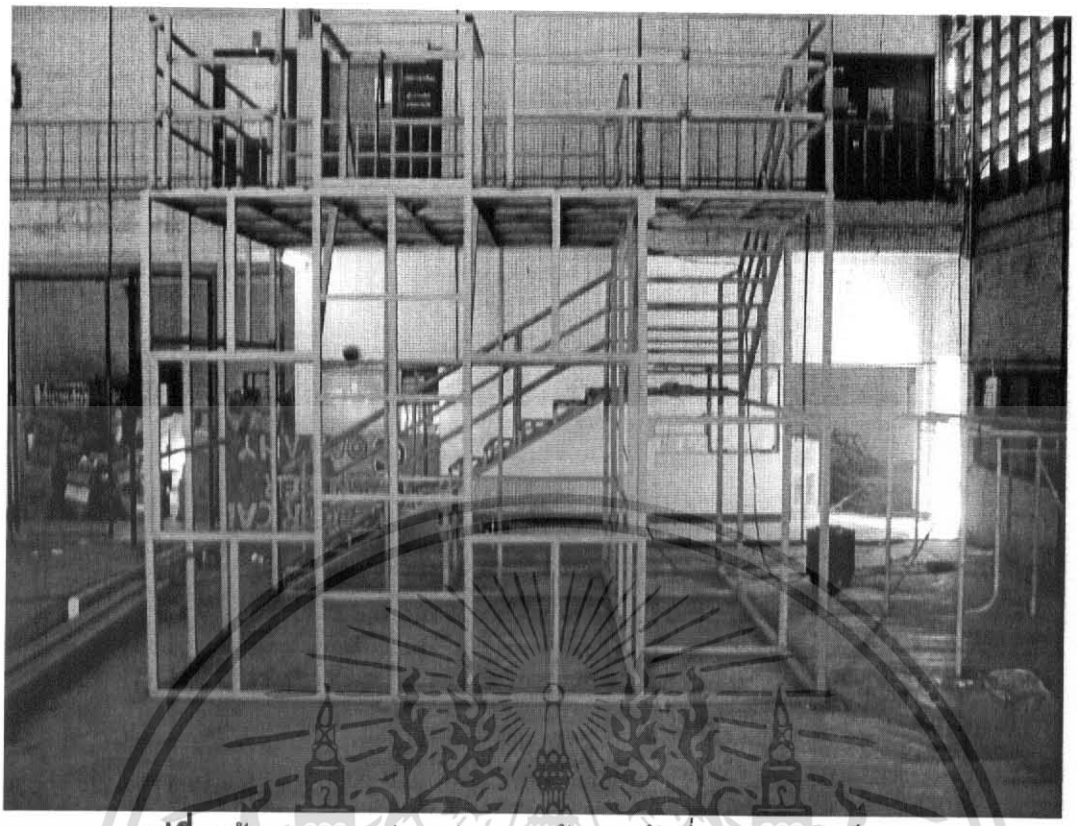


รูปที่ 5 แบบบันไดด้านล่าง



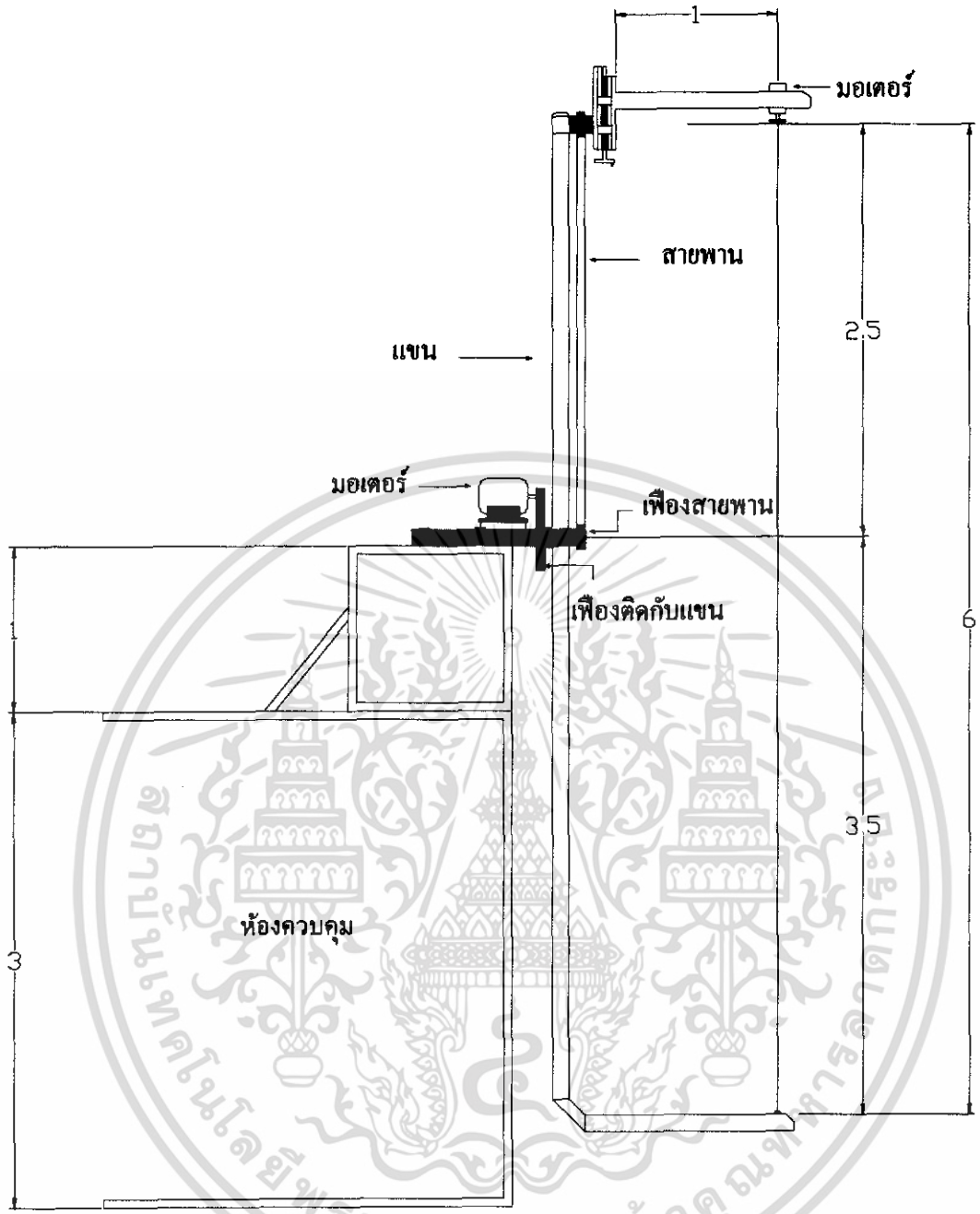
รูปที่ 6 แบบบันไดด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



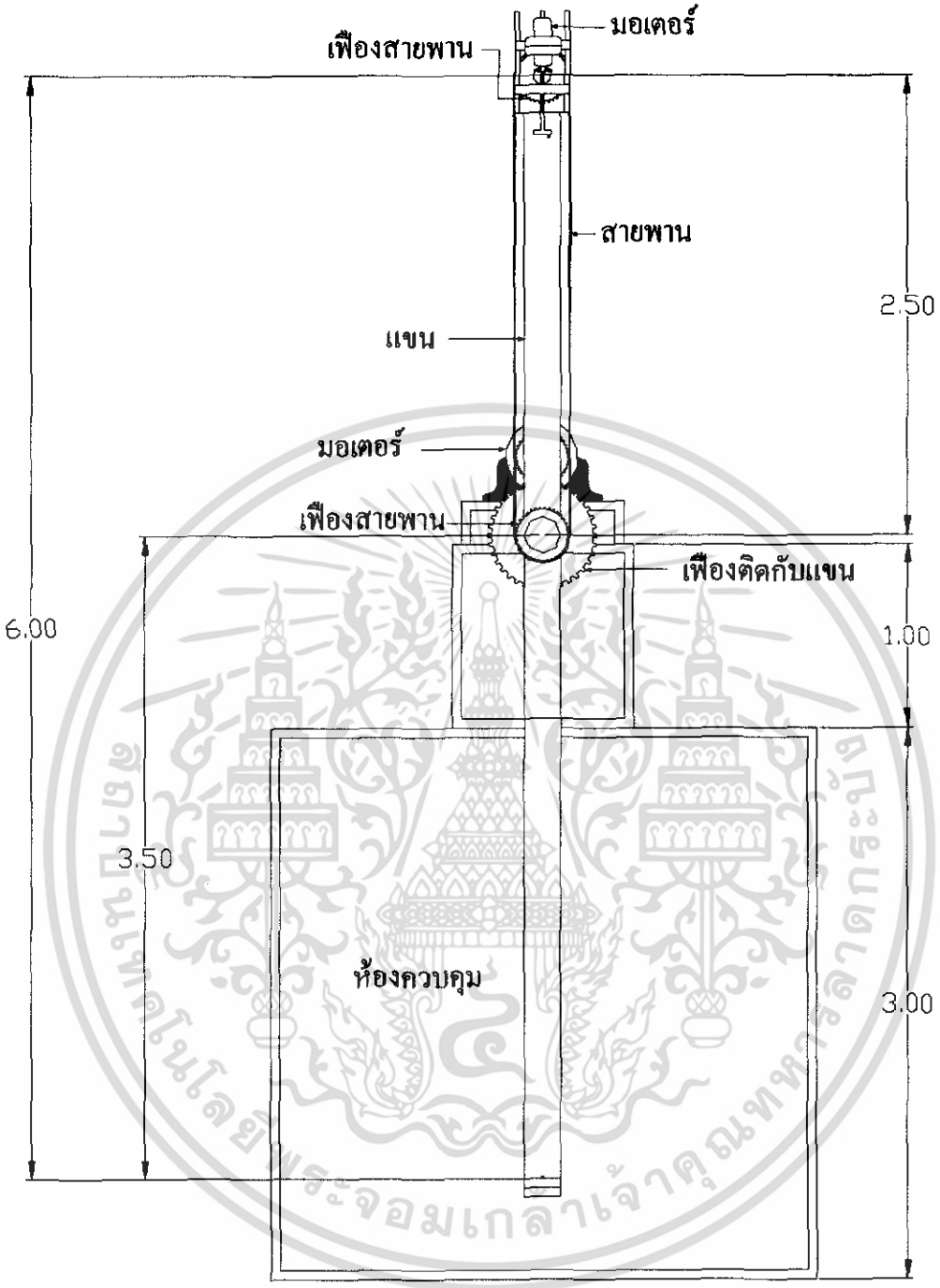
รูปที่ 7 ห้องควบคุมอยู่ระหว่างการสร้าง ณ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 แบบด้านข้างเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างแบบวัดตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 แบบด้านหน้าเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่างแบบวัดตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรมควบคุมการทำงาน
ต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Command1_Click()
Unload Form2
Unload Form3
Unload Form4
 Form1.Show
End Sub

Private Sub Command5_Click()
NoFirstTime = True
Static strPathFile As String
                    strPathFile = ""
                    strPathFile = Form7.CommonDialog1.FileName
                    'CommonDialog1.Filter = "Text File(*.txt)"
        If NoFirstTime = True Then
                    Form7.CommonDialog1.ShowSave
                    strPathFile = Form7.CommonDialog1.FileName
                    NoFirstTime = False
        End If
        If strPathFile = "" Then
        Else
            Open strPathFile For Output As #1
                Print #1, Form7.Text1.Text
            Close #1
         End If
End Sub

Private Sub exit_Click()
End
End Sub

Private Sub MDIForm_Load()
frmSplash.Show
savee.Enabled = False
saveas.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
copyy.Enabled = False
cutt.Enabled = False
deletee.Enabled = False
End Sub

Private Sub new_Click()
Unload Form2
Unload Form3
Unload Form
Form1.Show
End Sub

Private Sub savee_Click()
NoFirstTime = True
Static strPathFile As String
                    strPathFile = ""
                    strPathFile = Form7.CommonDialog1.FileName
                    'CommonDialog1.Filter = "Text File(*.txt)"
        If NoFirstTime = True Then
                    Form7.CommonDialog1.ShowSave
                    strPathFile = Form7.CommonDialog1.FileName
                    NoFirstTime = False
         End If
         If strPathFile = "" Then
         Else
              Open strPathFile For Output As #1
                   Print #1, Form7.Text1.Text
              Close #1
          End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Form1.Show
Unload Form2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    If Option1.Value = True Then        'Define value of Cplane
      C = 90
     ElseIf Option2.Value = True Then
      C = 180
     ElseIf Option3.Value = True Then
      C = 360
    End If

    If Option4.Value = True Then        'Define value of step Cplane
      stepC = 7.5
     ElseIf Option5.Value = True Then
      stepC = 15
     ElseIf Option6.Value = True Then
      stepC = 30
     ElseIf Option7.Value = True Then
      stepC = 45
    End If

    If Option8.Value = True Then        'Define value of Grammmplane
      Gramma = 90
     ElseIf Option9.Value = True Then
      Gramma = 180
    End If

    If Option10.Value = True Then
        stepGramma = 5
      ElseIf Option11.Value = True Then
        stepGramma = 10
      ElseIf Option12.Value = True Then
        stepGramma = 15
      ElseIf Option13.Value = True Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            stepGramma = 45
        End If

    Form4.Show

End Sub

Private Sub Option14_Click()
Text1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Option15_Click()
Text2.Enabled = True
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Unload Form4
End Sub

Private Sub Command10_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(114) & Chr(61) & Chr(53) &
Chr(13)
End Sub

Private Sub Command11_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(114) & Chr(61) & Chr(49) &
Chr(48) & Chr(13)
End Sub

Private Sub Command12_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(114) & Chr(61) & Chr(51) &
Chr(48) & Chr(13)
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Command13_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(108) & Chr(61) & Chr(49) &
Chr(13)
End Sub

Private Sub Command14_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(108) & Chr(61) & Chr(53) &
Chr(13)
End Sub

Private Sub Command15_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(108) & Chr(61) & Chr(49) &
Chr(48) & Chr(13)
End Sub

Private Sub Command16_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(108) & Chr(61) & Chr(51) &
Chr(48) & Chr(13)
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(99) & Chr(13)
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(103) & Chr(13)
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(99) & Chr(13)
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(99) & Chr(13)
If SelectType = 0 Then
    Unload Form3
    Unload Form4
    Form6.Show
    ElseIf SelectType = 1 Then
    Unload Form2
    Unload Form4
    Form5.Show
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Form5.Label2.Caption = "0"
    Form5.Label4.Caption = "0"
    'MSComm1.PortOpen = False
End Sub

Private Sub Command3_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(114) & Chr(61) & Chr(49) &
Chr(13)
End Sub

Private Sub Command4_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(114) & Chr(61) & Chr(50) &
Chr(13)
End Sub

Private Sub Command5_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(114) & Chr(61) & Chr(52) &
Chr(13)
End Sub

Private Sub Command6_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(108) & Chr(61) & Chr(49) &
Chr(13)
End Sub

Private Sub Command7_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(108) & Chr(61) & Chr(50) &
Chr(13)
End Sub

Private Sub Command8_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(108) & Chr(61) & Chr(52) &
Chr(13)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub Command9_Click()
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(114) & Chr(61) & Chr(49) &
Chr(13)
End Sub

Private Sub Form_Load()
MSComm1.PortOpen = True
End Sub

Dim check1 As Integer

Public Sub M2_90degree_L()          'มอเตอร์2 หมุนซ้าย 90 องศา
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(108) & Chr(61) & Chr(49) &
Chr(48) & Chr(50) & Chr(13)
End Sub
Public Sub M2_180degree_L()         'มอเตอร์2 หมุนซ้าย 180 องศา
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(108) & Chr(61) & Chr(50) &
Chr(48) & Chr(52) & Chr(13)
End Sub

Public Sub M2_90degree_R()          'มอเตอร์2 หมุนขวา 90 องศา
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(114) & Chr(61) & Chr(49) &
Chr(48) & Chr(50) & Chr(13)
End Sub
Public Sub M2_180degree_R()         'มอเตอร์2 หมุนขวา 180 องศา
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(114) & Chr(61) & Chr(50) &
Chr(48) & Chr(52) & Chr(13)
End Sub

Public Sub M1_stop()            'มอเตอร์1หยุด
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(115) & Chr(13)
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public Sub M2_stop()              'มอเตอร์2หยุด
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(115) & Chr(13)
End Sub
Public Sub Clear_CTM1()           'เคลียร์ counter
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(99) & Chr(13)
End Sub
Public Sub M_getCTM1()            'ดึงค่า counter มอเตอร์
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(103) & Chr(13)
End Sub
Public Sub Clear_CTM2()           'เคลียร์ counter
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(99) & Chr(13)
End Sub
Public Sub M_getCTM2()            'ดึงค่า counter มอเตอร์
MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(103) & Chr(13)
End Sub

Private Sub Command1_Click()
MSComm1.Output = ":onl1" & Chr(13)
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(99) & Chr(13)
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(103) & Chr(13)
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(99) & Chr(13)
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(99) & Chr(13)
    Label5.Visible = True
    Timer1.Enabled = True
    Timer2.Enabled = True
    Timer4.Enabled = True
    Command2.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Call M1_stop
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call M2_stop
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(99) & Chr(13)
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(49) & Chr(103) & Chr(13)
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(99) & Chr(13)
    MSComm1.Output = Chr(58) & Chr(109) & Chr(50) & Chr(99) & Chr(13)
    Timer1.Enabled = False
    Timer2.Enabled = False
    Timer3.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command4_Click()
Unload Form5
Load Form7
MDIForm1.Command5.Enabled = True
End Sub

Private Sub Command5_Click()
End
End Sub

Private Sub Command6_Click()
MSComm1.Output = ":off1" & Chr(13)
End Sub

Private Sub Form_Load()
Timer4.Enabled = False
      If Gramma = 90 Then
           Timer2.Interval = 4000
           Timer3.Interval = 4000
       ElseIf Gramma = 180 Then
            Timer2.Interval = 8000
            Timer3.Interval = 8000
      End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MSComm1.PortOpen = True
valueC = C / stepC
valueG = Gramma / stepGramma
check1 = 1
Select Case stepC
                    Case 7.5
                            x = "1"
                    Case 15
                            x = "2"
                     Case 30
                            x = "4"
                      Case 45
                            x = "6"
            End Select
            Timer1.Enabled = False
            Timer2.Enabled = False
            Timer3.Enabled = False
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
string1 = MSComm1.Input
If string1 <> "" Then
   If Mid$(string1, 1, 4) = ":M1=" And Mid$(string1, 11, 3) = "M2=" And Len(string1) >=
18 Then
       getvalue1 = Mid$(string1, 5, 5) * 1
      getvalue2 = Mid$(string1, 14, 5) * 1
      show1 = getvalue1 * 7.5
      show2 = getvalue2 / 1.122
      Label4.Caption = show1
      Label2.Caption = Left(show2, 3)
         If Label2.Caption >= 180 Then
            Label2.Caption = 180
          End If
   End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If


End Sub
Private Sub Timer2_Timer()
      If Gramma = 90 Then
            If check1 Mod 2 = 1 Then
                  Call M2_90degree_R
            ElseIf check1 Mod 2 = 0 Then
                  Call M2_90degree_L
            End If
      ElseIf Gramma = 180 Then
            If check1 Mod 2 = 1 Then
                  Call M2_180degree_R
            ElseIf check1 Mod 2 = 0 Then
                  Call M2_180degree_L
            End If
      End If
        Timer2.Enabled = False
        Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub Timer3_Timer()
If check1 = valueC + 1 Then
     MsgBox "Progress Complete", vbOKOnly + vbInformation, "Gonio 1.01"
     Timer2.Interval = 0
     Timer3.Interval = 0
     Command4.Enabled = True
ElseIf check1 < valueC + 1 Then
MSComm1.Output = ":m1r=" & x & Chr(13)
  check1 = check1 + 1
       Timer3.Enabled = False
       Timer2.Enabled = True
 End If
 End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Timer4_Timer()
Label5.Visible = False
Timer4.Interval = 0
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Unload Form7
Form1.Hide
End Sub

Private Sub Form_Load()
Text1.Text = ""
Dim angleC1, angleG1 As Integer
Dim angleC2, angleG2, resultant As String
Dim limit1, limit11, limit2, limit22 As Integer
        angleG1 = 0
        angleC1 = 0
        limit1 = 0
        limit11 = 0
        limit2 = 0
        limit22 = 0
      For angleC1 = 0 To valueC
      If limit1 = 9 Then
         angleC2 = angleC2 & Str(stepC * angleC1) & "   " & vbCrLf
         limit1 = limit1 + 1
      ElseIf limit1 = 19 Then
      angleC2 = angleC2 & Str(stepC * angleC1) & "   " & vbCrLf
         limit1 = limit1 + 1
      ElseIf limit1 = 29 Then
      angleC2 = angleC2 & Str(stepC * angleC1) & "   " & vbCrLf
         limit1 = limit1 + 1
       ElseIf limit1 = 39 Then
      angleC2 = angleC2 & Str(stepC * angleC1) & "   " & vbCrLf
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        limit1 = limit1 + 1
    ElseIf limit1 = 49 Then
    angleC2 = angleC2 & Str(stepC * angleC1) & "   " & vbCrLf
        limit1 = limit1 + 1
     Else
    angleC2 = angleC2 & Str(stepC * angleC1) & "   "
        limit1 = limit1 + 1
    End If
Next angleC1

For angleG1 = 0 To valueG
   If limit2 = 9 Then
      angleG2 = angleG2 & Str(stepGramma * angleG1) & "   " & vbCrLf
      limit2 = limit2 + 1
    ElseIf limit2 = 19 Then
      angleG2 = angleG2 & Str(stepGramma * angleG1) & "   " & vbCrLf
       limit2 = limit2 + 1
     ElseIf limit2 = 29 Then
      angleG2 = angleG2 & Str(stepGramma * angleG1) & "   " & vbCrLf
       limit2 = limit2 + 1
       ElseIf limit2 = 39 Then
      angleG2 = angleG2 & Str(stepGramma * angleG1) & "   " & vbCrLf
       limit2 = limit2 + 1
       Else
     angleG2 = angleG2 & Str(stepGramma * angleG1) & "   "
     limit2 = limit2 + 1
    End If
Next angleG1
resultant = ""
 limit11 = 1
 limit22 = 1
 For limit11 = 1 To valueG + 1
       For limit22 = 1 To valueC + 1
       If limit22 = valueC + 1 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            resultant = resultant & "G" & limit11 & "C" & limit22 & "   " & vbCrLf
          Else
            resultant = resultant & "G" & limit11 & "C" & limit22 & "   "
          End If
        Next limit22
      Next limit11
MDIForm1.savee.Enabled = True
MDIForm1.saveas.Enabled = True
MDIForm1.copyy.Enabled = True
MDIForm1.cutt.Enabled = True
MDIForm1.deletee.Enabled = True
descriplESS = Form1.Text23.Text & "    " & Form1.Text24.Text & "   " &
Val(Form1.Text25.Text) & "   " & valueG + 1 _
& "   " & valueC + 1 & "   " & SelectType & "   " & defineUnit _
& "   " & Form1.Text28.Text & "   " & Form1.Text30.Text & "   " & Form1.Text31.Text &
vbCrLf
Text1.Text = descriplES & descriplESS & angleG2 & vbCrLf & angleC2 & vbCrLf &
resultant
End Sub

Public C As Integer
Public stepC As Single
Public Gramma As Integer
Public stepGramma As Integer
Public valueC As Integer
Public valueG As Integer
Public SelectType As Integer
Public descriplES As String
Public descriplESS As String
Public defineUnit As Integer
Public NoFirstTime As Boolean
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ MCS 51
สำหรับควบคุมการทำงานต้นแบบเครื่องวัดการกระจายความเข้มส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <at89x51.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#define LF      10
#define CR      13
#define STOP  0
#define LEFT   1
#define RIGHT 2

sbit    lamp   = P0^4;

char    code    mtbl[]={0x0e, 0x0d, 0x0b, 0x07};
char    data    sbuf[32];

unsigned        char    data    msec, msecs, sec, min, idx, sm1, sm2, idxm1, idxm2;
int             data    m1count, m2count, m1stop, m2stop;

bit     csnd, crdy, sndf;

/* Timer interrupt */
static void timer0_isr (void) interrupt 1 using 1{

        if      (++msecs>=20)   {       // speed factor
                msecs=0;
                if      (sm1==LEFT)  {       // turn left
                        if      (m1count==m1stop)    {
                                sndf=1;
                                sm1=STOP;
                        }
                        else    {
                                P1=mtbl[idxm1];
                                m1count--;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    if      (idxm1==0)      idxm1=3;
                    else    idxm1--;
                }
            }
            if      (sm1==RIGHT){       // turn right

                if      (m1count==m1stop)   {
                    sndf=1;
                    sm1=STOP;
                }
                else    {
                    P1=mtbl[idxm1];
                    m1count++;
                    if      (idxm1==3)      idxm1=0;
                    else    idxm1++;
                }
            }
        }

if      (++msec>=2)  {      // speed
        msec=0;
        if      (sm2==LEFT)  {      // turn left
            if      (m2count==m2stop)   {
                sndf=1;
                sm2=STOP;
            }
            else    {
                P2=mtbl[idxm2];
                m2count--;
                if      (idxm2==0)      idxm2=3;
                else    idxm2--;
            }
        }
        if      (sm2==RIGHT){       // turn right
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    if      (m2count==m2stop)    {
                            sndf=1;
                            sm2=STOP;
                    }
                    else    {
                            P2=mtbl[idxm2];
                            m2count++;
                            if      (idxm2==3)      idxm2=0;
                            else    idxm2++;
                    }
                }
        }
    TH0 = 0xc4;                     // high byte
    TL0 = 0;                        // reload timer 0 value low byte
    TR0 = 1;                        // start timer 0
}

/* Interrupt from serial port */
static void serial (void) interrupt 4 using 1      {
char    data    dat;
    if  (RI)    {   /* Recieve bit detected */
                dat=getkey ();
                if      (dat==CR)       {
                        sbuf[idx]=0;
                        crdy=1; idx=0;
                }
                else    {
                        sbuf[idx]=dat;
            if  (++idx>=32)  /* Buffer full */
            idx=0;      /* Zero index */
                }
    }
    if  ((TI==1)&&(csnd==0))    /* Clear send flag */
        TI=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

/* decode command */
void cmm_decode (void)        {

        int             i;

        EA=0;
        crdy=0;
        if      (sbuf[0]!=':')    {
                EA=1;  return;  // no protocal
        }
        sndf=0;

        if      (strncmp (sbuf+1, "m1l=", 4)==0)      {       // turn on motor
                sm1=LEFT;
                m1stop=atoi (sbuf+5);
                m1stop=m1count-m1stop;
        }
        if      (strncmp (sbuf+1, "m1r=", 4)==0)      {       // turn on motor
                sm1=RIGHT;
                m1stop=atoi (sbuf+5);
                m1stop=m1count+m1stop;
        }
        if      (strncmp (sbuf+1, "m1s", 3)==0)       {       // turn off motor
                sm1=STOP;
        }
        if      (strncmp (sbuf+1, "m1c", 3)==0)       {       // turn off motor
                m1count=0;
        }
        if      (strncmp (sbuf+1, "m1g", 3)==0)       {       // turn off motor
                csnd=TI=1;      // enable send
                printf (":M1=%05d M2=%05d\r", m1count, m2count);
                for     (i=0; i<512; i++);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            csnd=0;
        }
        if      (strncmp (sbuf+1, "m2l=", 4)==0)      {       // turn on motor
            sm2=LEFT;
            m2stop=atoi (sbuf+5);
            m2stop=m2count-m2stop;
        }
        if      (strncmp (sbuf+1, "m2r=", 4)==0)      {       // turn on motor
            sm2=RIGHT;
            m2stop=atoi (sbuf+5);
            m2stop=m2count+m2stop;
        }
        if      (strncmp (sbuf+1, "m2s", 3)==0)       {       // turn off motor
            sm2=STOP;
        }
    if  (strncmp (sbuf+1, "onl1", 4)==0)       {       // turn on lamp
            lamp=0;
        }
    if  (strncmp (sbuf+1, "offl1", 5)==0)      {       // turn off lamp
            lamp=1;
        }
        if      (strncmp (sbuf+1, "m2c", 3)==0)       {       // turn off motor
            m2count=0;
        }
        if      (strncmp (sbuf+1, "m2g", 3)==0)       {       // turn off motor
            csnd=TI=1;      // enable send
            printf (":M1=%05d M2=%05d\r", m1count, m2count);
            for     (i=0; i<512; i++);
            csnd=0;
        }

        EA=1;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
main () {       // main loop

        int     i;

    SCON=0x52;      /* Init serial port */
    TMOD=0x21;      /* Set timer mode */
    PCON=0;
    TH1=0xfd;       /* 9600 */
    TR1=1;      /* Enable interrupt */
    ES=1;       /* enable serial interrupt */

    TH0=0xc4;       // Timer interrupt
    TL0=0;
    ET0=1;          // Timer/Counter 0 interrupt enable
    TR0=1;

    EA=1;       // all int

        msec=sec=min=0;     // reset timer
        idx=0;
        crdy=csnd=0;
        sm1=sm2=STOP;       // flag status of motor
        idxm1=idxm2=0;      // motor rotate index
        m1count=m2count=0;  // reset counter

        while (1)       {       // main
                if      (crdy)  {       //      serial ready
                        cmm_decode ();      // decode serial port
                }
                if      (sm1!=STOP || sm2!=STOP)  {
                        csnd=TI=1;      // enable send
                        printf (":M1=%05d M2=%05d\r", m1count, m2count);
                        for     (i=0; i<512; i++);
                        csnd=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            }
            if      (sndf)  {       // send last
                    sndf=0;
                    csnd=TI=1;      // enable send
                    printf (":M1=%05d M2=%05d\r", m1count, m2count);
                    for     (i=0; i<512; i++);
                    csnd=0;
            }

        }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้