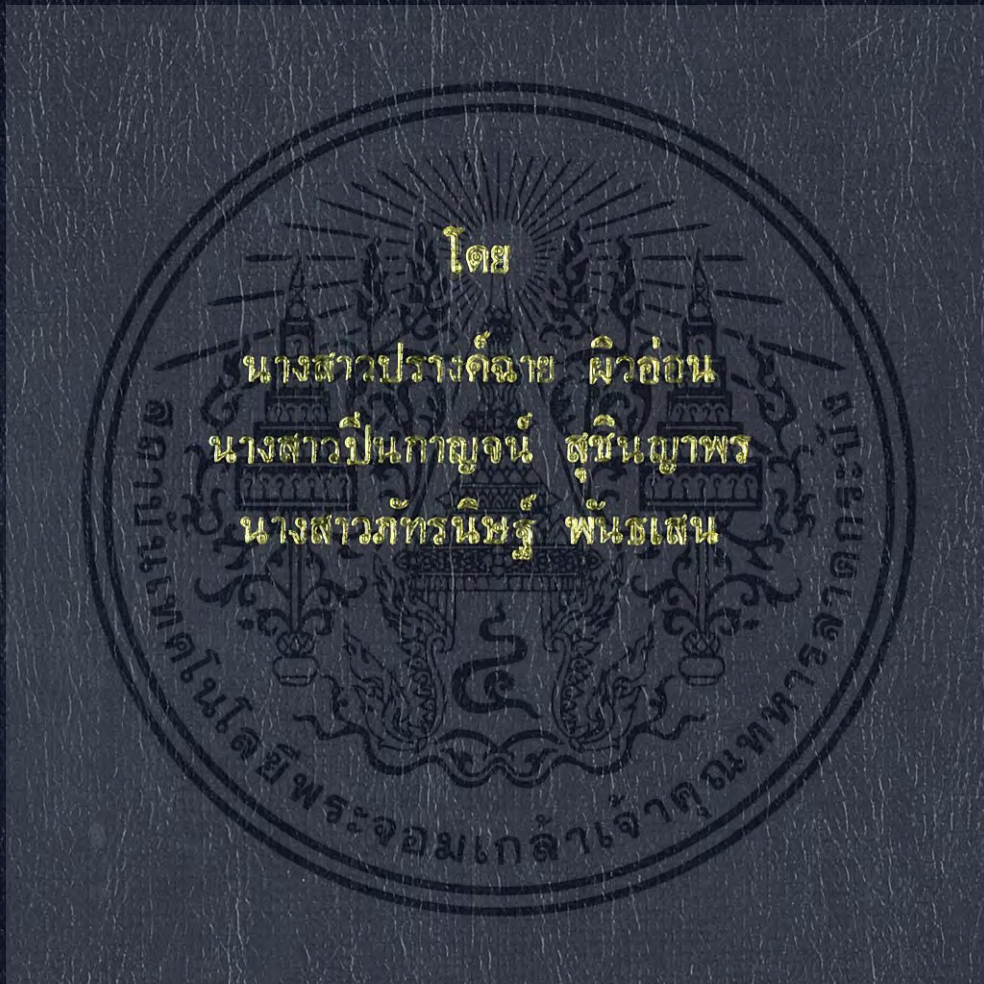


ระบบติดตามในแนวแกน X-Y

X-Y tracking system



ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๑

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบติดตามในระนาบ X-Y

X-Y TRACKING SYSTEM



T104017

โดย

นางสาวปรารถนาศัย ผิวอ่อน

นางสาวปิ่นกาญจน์ สุชินญาพร

นางสาวภัทรนิษฐ์ พันธเสน

รฟ.

ร/44 ร.ล.

2551

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 104017

วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552

b. 12107153
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

ระบบติดตามในระนาบ X-Y
X-Y TRACKING SYSTEM

ผู้จัดทำ

| | | |
|------------------|-----------|----------|
| นางสาวปรางค์ฉาย | ผิวอ่อน | 48010518 |
| นางสาวปิ่นกาญจน์ | สุชินญาพร | 48010537 |
| นางสาวภัทรนิษฐ์ | พันธเสน | 48010656 |

 อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วันชัย รีรุจา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบติดตามในระนาบ X-Y

โดย

นางสาวปรางค์ฉาย ผิวอ่อน 48010518

นางสาวปิ่นกาญจน์ สุชินญาพร 48010537

นางสาวภัทรนิษฐ์ พันธเสน 48010656



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบระบบติดตามในระนาบ X-Y เพื่อให้ส่วนติดตามได้มีพฤติกรรมเรียนรู้จากส่วนแม่แบบ จุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือการให้ส่วนติดตามสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการเคลื่อนไหวจากส่วนแม่แบบในแนวระนาบ X-Y ได้ ขั้นตอนดำเนินการ เริ่มจากการออกแบบและสร้างส่วนติดตามที่ได้ออกแบบ ศึกษาและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นสำหรับควบคุม ซึ่งประกอบด้วยวงจรขับเคลื่อน วงจรขยายความแตกต่างแรงดัน วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และวงจรขยายสัญญาณคลาสB จากนั้นวงจรจะทำการส่งค่าที่ได้ไปยังส่วนติดตาม จากการทดลองพบว่าส่วนติดตามสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการเคลื่อนไหวจากส่วนแม่แบบในระนาบX-Yได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X-Y TRACKING SYSTEM

By

Ms. Prangchai Phew-on 48010518

Ms. Pinkarn Suchinyaporn 48010537

Ms. Pattaranid Puntasane 48010656

Advisor

Assoc.Prof.Dr. Vanchai Riewruja

Academic Year 2008

ABSTRACT

This project presents theories and designs of x-y tracking system. The purpose of this x-y tracking is to tracking in x-y plane from x-y's model. The project has been conducted as in the following steps. First, the structure of the x-y tracking is designed, built and assembled. Second, necessary electronic circuits including motor drivers voltage comparator inverting amplifier non-inverting amplifier and class-B amplifier are studied and implement. Finally, the circuits sent the suitable command to drive each joint of x-y tracking. From the experimental results, the x-y tracking can tracking in x-y plane from x-y's model.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รศ.ดร. วันชัย ธีรรัฐหา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอด นับตั้งแต่ต้นรวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือสนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือนและคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้



ผู้จัดทำ

นางสาวปรังคณา

ผิวอ่อน

นางสาวปิ่นกาญจน์

สุชินญาพร

นางสาวภัทรนิษฐ์

พันธเสน

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญภาพ | VI |
| สารบัญตาราง | IX |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 กล่าวนำ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ | 2 |
| 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ | 2 |
| 1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของตัวต้านทาน | 4 |
| 2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของเฟือง | 8 |
| 2.3 ทฤษฎีพื้นฐานของดิซิมอเตอร์ | 18 |
| 2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของเซอร์โวมอเตอร์ | 23 |
| 2.5 ทฤษฎีพื้นฐานของอปแอมป์ | 29 |
| 2.6 ทฤษฎีพื้นฐานของระบบควบคุม | 31 |
| บทที่ 3 หลักการออกแบบ | 36 |
| 3.1 หลักการออกแบบชิ้นงาน | 36 |
| 3.2 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของชิ้นงาน | 42 |

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

| | |
|---|----|
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง | 45 |
| 4.1 การติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ | 45 |
| 4.2 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง | 45 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | 52 |
| 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน | 52 |
| 5.2 ปัญหาและอุปสรรค | 52 |
| 5.3 แนวทางการแก้ไข | 52 |
| 5.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ | 53 |
| 5.5 แนวทางพัฒนา | 53 |
| ภาคผนวก เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ | 54 |
| drawing ของชิ้นงาน | 62 |
| เอกสารอ้างอิง | 66 |

สารบัญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ตัวต้านทานชนิดต่างๆ | 4 |
| 2.2 การต่อแหล่งจ่ายให้กับ โปเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงมุม | 6 |
| 2.3 เฟืองตรง | 8 |
| 2.4 เฟืองสะพาน | 9 |
| 2.5 เฟืองวงแหวน | 9 |
| 2.6 เฟืองเฉียง | 10 |
| 2.7 เฟืองก้างปลา | 10 |
| 2.8 เฟืองดอกจอก | 11 |
| 2.9 เฟืองหนอน | 11 |
| 2.10 เฟืองเกลียวสกรู | 12 |
| 2.11 การส่งกำลังของเฟืองตรงเพื่อเครื่องกลึงอัตโนมัติ | 13 |
| 2.12 ชุดเฟืองตรงภายในหัวเครื่องกลึง | 13 |
| 2.13 หน้าที่ใช้เฟืองสะพานเครื่องกลึง | 14 |
| 2.14 หน้าที่ใช้เฟืองสะพานของเครื่องเจาะ | 14 |
| 2.15 ลักษณะการใช้งานเฟืองวงแหวน | 15 |
| 2.16 ลักษณะการใช้งานเฟืองเฉียง | 15 |
| 2.17 ลักษณะการส่งกำลังของเฟืองก้างปลา | 16 |
| 2.18 การทำงานของเฟืองท้ายรถยนต์ | 16 |
| 2.19 การทำงานชุดเฟืองหนอนในหัวแบ่งเครื่องกัด | 17 |
| 2.20 ลักษณะการทำงานของเฟืองเกลียวหนอน | 17 |
| 2.21 มอเตอร์ไฟฟ้า | 18 |
| 2.22 ขั้วแม่เหล็ก | 20 |
| 2.23 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก | 21 |

สารบัญญภาพ(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.24 ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก | 21 |
| 2.25 ตัวประกอบโรเตอร์ | 21 |
| 2.26 แปรรงถ่าน | 22 |
| 2.27 ซองแปรรงถ่าน | 22 |
| 2.28 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ | 24 |
| 2.29 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์ | 26 |
| 2.30 เซอร์โวมอเตอร์ | 26 |
| 2.31 โรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร | 26 |
| 2.32 วัสดุที่ใช้ทำแม่เหล็กถาวร | 27 |
| 2.33 กราฟแสดงคุณสมบัติด้านแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์ | 28 |
| 2.34 ตารางคุณสมบัติที่สำคัญของเซอร์โวมอเตอร์ | 29 |
| 2.35 Operation Amplifier | 29 |
| 2.36 Inverting Amplifier | 30 |
| 2.37 Non- inverting amplifier | 30 |
| 2.38 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Action) | 31 |
| 2.39 Offset ที่เกิดขึ้น | 32 |
| 2.40 Offset ที่เกิดขึ้น | 32 |
| 2.41 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบพีไอดี | 35 |
| 3.1 ส่วนต้นแบบและส่วนติดตามที่ประกอบสมบูรณ์ โดยใช้โปรแกรม Solidwork 2008 | 37 |
| 3.2 drawing ส่วนต้นแบบและส่วนติดตามที่ประกอบสมบูรณ์ | 37 |
| 3.3 อะลูมิเนียมท่อนบน | 38 |
| 3.4 อะลูมิเนียมท่อนล่าง | 38 |

สารบัญภาพ(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---------------------------------|------|
| 3.5 ที่ยึดแขน | 38 |
| 3.6 ข้อต่อ | 38 |
| 3.7 ที่ยึดโพเทนทิโอมิเตอร์ | 38 |
| 3.8 ที่รองโพเทนทิโอมิเตอร์ | 38 |
| 3.9 ฐาน | 39 |
| 3.10 โพเทนทิโอมิเตอร์ 1K | 39 |
| 3.11 น็อตตัวและผู้ น็อตตัวเมีย | 39 |
| 3.12 ส่วนต้นแบบที่ประกอบสมบูรณ์ | 39 |
| 3.13 อะลูมิเนียมท่อนบน | 40 |
| 3.14 อะลูมิเนียมท่อนล่าง | 40 |
| 3.15 ที่ยึดแขน | 40 |
| 3.16 ข้อต่อ | 40 |
| 3.17 ที่ยึด โพเทนทิโอมิเตอร์ | 40 |
| 3.18 ที่รองโพเทนทิโอมิเตอร์ | 40 |
| 3.19 ฐาน | 41 |
| 3.20 น็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย | 41 |
| 3.21 มอเตอร์กระแสตรง | 41 |
| 3.22 โพเทนทิโอมิเตอร์ 1K | 41 |
| 3.23 มอเตอร์เซอร์โว | 41 |
| 3.24 ส่วนติดตามที่ประกอบสมบูรณ์ | 42 |
| 3.25 วงจรที่ใช้ในโครงการ | 42 |
| 3.26 วงจรที่ 1 | 44 |
| 3.27 วงจรที่ 2 | 44 |

สารบัญญภาพ(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.28 วงจรที่ 3 | 44 |
| 3.29 วงจรที่ 4 | 44 |
| 3.30 วงจรที่ 5 | 44 |
| 3.31 วงจรที่ 6 | 44 |
| 4.1 การติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ | 45 |
| 4.2 การวัดค่าส่วนต้นแบบที่ขั้วล่าง | 46 |
| 4.3 แสดงค่าความต้านทานตัวล่างที่เปลี่ยนแปลงไป จาก 0 – 90 องศา | 46 |
| 4.4 การวัดค่าส่วนต้นแบบที่ขั้วบน | 47 |
| 4.5 แสดงค่าความต้านทานตัวบนที่เปลี่ยนแปลงไป จาก 0 – 90 องศา | 48 |
| 4.6 ตัวอย่างตำแหน่งการเคลื่อนที่ส่วนต้นแบบและส่วนติดตาม เปรียบเทียบกันทั้งขั้วบนและล่าง | 49 |
| 4.7 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวบน ที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา | 50 |
| 4.8 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวล่าง ที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา | 51 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับในสาขาต่าง ๆ | 25 |
| 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ไปของอินดัคชั่นมอเตอร์ Asynchronous กับเซอร์โวมอเตอร์ P.M. Synchronous Servo motor | 28 |
| 4.1 การทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ตัวล่างจาก 0 – 90 องศา | 46 |
| 4.2 การทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ตัวบนจาก 0 – 90 องศา | 48 |
| 4.3 การทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวบน ที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา | 49 |
| 4.4 การทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวล่าง ที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา | 50 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและพร้อมตอบสนองความต้องการของมนุษย์มากขึ้น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ มีการพัฒนาตามยุคสมัยทำให้กระบวนการผลิตสิ่งต่างๆ มีการพัฒนาด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภาคอุตสาหกรรมต้องการศักยภาพในการผลิตมากยิ่งขึ้น ในสมัยก่อนการผลิตชิ้นงานต่างๆ ส่วนใหญ่จะใช้แรงงานจากมนุษย์ แต่ในปัจจุบันเมื่อต้องการความแม่นยำและรวดเร็วในการผลิต จึงมีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาแทนที่มนุษย์ เนื่องจากเทคโนโลยีใหม่มีความแม่นยำ รวดเร็ว สามารถทำงานในที่ที่อันตรายได้ รวมทั้งมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่ามนุษย์ จึงถือได้ว่าการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ในกระบวนการผลิตเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

พฤติกรรมเลียนแบบเป็นหนึ่งในวิธีที่นำเข้ามาใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์และได้รับความนิยมนอย่างมากเพราะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย อาทิ อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ อุตสาหกรรมประกอบเครื่องจักร อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับสาขาวิชาที่คณะผู้จัดทำกำลังศึกษาอยู่ คณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นความสำคัญและประโยชน์ของพฤติกรรมเลียนแบบ จึงได้จัดทำระบบติดตามในระนาบ x-y ขึ้นเพื่อศึกษา ออกแบบ การควบคุมส่วนติดตามให้ทำงานได้ตามความต้องการและเพื่อสะสมประสบการณ์ด้านวิศวกรรม

ส่วนติดตามในระนาบ x-y ที่ได้จัดทำขึ้น เป็นส่วนติดตามที่ออกแบบเพื่อใช้งานเชื่อมโลหะ โดยที่ส่วนติดตามจะเรียนรู้พฤติกรรมและตำแหน่งการเคลื่อนที่จากส่วนต้นแบบโดยใช้ความรู้ในด้านอิเล็กทรอนิกส์ในการออกแบบวงจรแทนการเขียน โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ทำให้ส่วนติดตามที่ศึกษาสามารถเคลื่อนไหวได้ตามส่วนต้นแบบได้

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการออกแบบชิ้นงาน และการเลือกใช้วัสดุในการจัดทำส่วนต้นแบบและส่วนติดตาม
2. ศึกษาและประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในการออกแบบวงจรแทนการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ

ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ เริ่มจากการศึกษาองค์ความรู้และรูปแบบการทำงานของส่วนต้นแบบและส่วนติดตาม จากนั้นออกแบบส่วนต้นแบบและส่วนติดตาม เป็นข้อต่อแนว x-y เป็นจำนวน 2 ข้อต่อจำนวน 2 ชั้น ชั้นหนึ่งเป็นชั้นต้นแบบและอีกชั้นหนึ่งเป็นชั้นที่ใช้สำหรับส่วนติดตาม โดยเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมในการผลิตโครงสร้าง และใช้มอเตอร์กระแสตรงและมอเตอร์เซอร์โวเป็นตัวขับเคลื่อนในแต่ละข้อ โดยออกแบบวงจรขั้วมอเตอร์ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และวงจรขยายสัญญาณคลาส B มีโพเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงมุม (Rotary Potentiometer) เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัดตำแหน่งให้กับกระบวนการในการควบคุมส่วนต้นแบบและส่วนติดตาม เพื่อให้สามารถควบคุมตำแหน่งของแต่ละข้อได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่กล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงการพร้อมทั้งรายละเอียดของปริญญานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องที่กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีพื้นฐานของตัวต้านทาน ทฤษฎีพื้นฐานของเฟือง ทฤษฎีพื้นฐานของดีซีมอเตอร์ ทฤษฎีพื้นฐานของเซอร์โวมอเตอร์ ทฤษฎีพื้นฐานของออปแอมป์ และทฤษฎีพื้นฐานของระบบควบคุม ที่ใช้ในการทำโครงการครั้งนี้ รวมทั้งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องรวมทั้งการนำเอาความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการ

บทที่ 3 หลักการออกแบบ ส่วนต้นแบบและส่วนติดตาม การออกแบบวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของส่วนติดตาม ทดสอบว่าสามารถ
เรียนรู้พฤติกรรมและการเคลื่อนที่จากเซนเซอร์แบบ

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป สรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการ
ปรับปรุงและพัฒนาโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

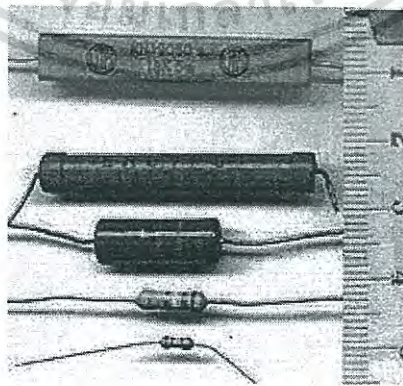
ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงการต่าง ๆ นั้น ชั้นแรกในการเริ่มการทำงาน คือการศึกษาหาความรู้และทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ เพื่อที่สามารถจัดทำโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้เอง การทำโครงการระบบติดตามระนาบ X-Y จึงต้องมีการศึกษาหาความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน หรือ รีซิสเตอร์ (resistor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดสองขั้ว ที่สร้างความต่างศักย์ทางไฟฟ้าขึ้นคร่อมขั้วทั้งสอง โดยมีสัดส่วนมากน้อยตามที่กระแสที่ไหลผ่าน อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ และปริมาณกระแสไฟฟ้า ก็คือ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า หรือค่าความต้านทาน หน่วยค่าความต้านทานไฟฟ้าตามระบบเอสไอ คือ โอห์ม อุปกรณ์ที่มีความต้านทานค่า 1 โอห์ม หากมีความต่างศักย์ 1 โวลต์ไหลผ่าน จะให้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ซึ่งเท่ากับการไหลของประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ (ประมาณ 6.241506×10^{18} อิเล็กตรอน) ต่อวินาที

2.2.1 ชนิดของตัวต้านทาน



รูปที่ 2.1 ตัวต้านทานชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 ตัวต้านทานแบบมีค่าคงที่

ตัวต้านทานทั่วไปอาจมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก โดยที่มีสารตัวต้านทานอยู่ที่แกนกลาง หรือ เป็นฟิล์มอยู่ที่ผิว และมีแกนโลหะตัวนำออกจากปลายทั้งสองข้าง ตัวต้านทานที่มีรูปร่างนี้ เรียกว่า ตัวต้านทานรูปร่างแบบ แอ็กเซียล ตัวต้านทานใช้สำหรับกำลังสูงจะถูกออกแบบให้มีรูปร่างที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยมักจะเป็น ตัวต้านทานแบบขดลวด ตัวต้านทานที่มักจะพบเห็นบนแผงวงจร เช่นคอมพิวเตอร์นั้น โดยปกติจะมีลักษณะเป็น ตัวต้านทานแบบประกบผิวหน้าผิวหน้า (surface mount) ขนาดเล็ก และไม่มีขาโลหะตัวนำยื่นออกมา นอกจากนั้นตัวต้านทาน อาจจะถูกบรรจุอยู่ในอุปกรณ์วงจรรวม (IC – integrated circuit) โดยตัวต้านทานจะถูกสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต และแต่ละ IC อาจมีตัวต้านทานถึงหลายล้านตัวอยู่ใน

2.2.1.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้

ตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานสามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยอาจมีปุ่มสำหรับ หมุน หรือ เลื่อนเพื่อปรับค่าความต้านทาน และบางครั้งก็เรียก โปเทนทิโอมิเตอร์ (potentiometers) หรือรีโอสแตต (rheostats)

ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ มีทั้งแบบที่หมุนได้เพียงรอบเดียวจนถึง แบบที่หมุนเป็นเกลียวได้หลายรอบ บางชนิดมีอุปกรณ์แสดงนับรอบที่หมุน เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าได้นี้ มีส่วนของโลหะที่ขัดสีสึกกร่อน บางครั้งอาจขาดความน่าเชื่อถือ ในตัวต้านทานปรับค่าได้รุ่นใหม่จะใช้วัสดุซึ่งทำจากพลาสติกที่ทนทานต่อการสึกกร่อนจากการขัดสีและกัดกร่อน

- รีโอสแตต (rheostat): เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้มี 2 ขา โดยที่ขาหนึ่งถูกยึดตายตัว ส่วนขาที่เหลือเลื่อนไปมาได้ ปกติใช้สำหรับส่วนที่มีปริมาณกระแสผ่านสูง

- โปเทนทิโอมิเตอร์ (potentiometer): เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ที่พบเห็นได้ทั่วไป โดยเป็นปุ่มปรับความดัง สำหรับเครื่องขยายเสียง โดยหากแบ่งประเภทของโปเทนทิโอมิเตอร์ตามลักษณะการใช้งานสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

1. โปเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงเส้น

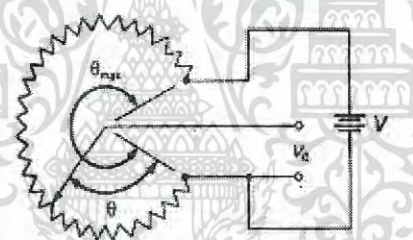
โปเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงเส้น (Linear Potentiometer) เป็นโปเทนทิโอมิเตอร์ที่ใช้กับงานวัดระยะเชิงเส้น (Linear) หรืองานวัดระยะที่เป็นแนวราบมีส่วนประกอบของ 2 จุดต่อและมีจุดศูนย์กลางที่เรียกว่า “Wiper, Slider, Tap” ตัวอย่างการทำงานของโปเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงเส้น ถ้าค่าความต้านทานทั้งหมดของ โปเทนทิโอมิเตอร์มี 1000Ω และตำแหน่งของการเลื่อน (Slider) จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ที่จุดศูนย์กลางของค่าความต้านทานจะมีค่าเท่ากับ 500 Ω ถ้าต้องการเคลื่อนที่ 75% ทางด้านใด ด้านหนึ่งของค่าความต้านทานจะอยู่ที่ 750 Ω และอีกที่หนึ่งจะอยู่ที่ 250 Ω

2. โพลเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงมุม

โพลเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงมุม (Rotary Potentiometer) ใช้สำหรับวัดระยะในลักษณะการหมุน ข้อแตกต่างระหว่างโพลเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงเส้นกับโพลเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงมุม คือแกนหมุนของโพลเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงมุมจะเปลี่ยนแปลงโดยการหมุน การหมุนของแกนจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง และค่าความต้านทานจะเป็นตัวกำหนดค่าองศาแต่ละองศา ตัวอย่างเช่น โพลเทนท์อิมิตอร์มีค่าความต้านทานทั้งหมด 1000 Ω และหมุนได้ 360 องศา ถ้าต้องการ 180 องศา จะต้องหมุนโพลเทนท์อิมิตอร์ให้ได้ค่าความต้านทานที่ 500 Ω เป็นต้น จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ โดยการต่อแหล่งจ่ายให้กับโพลเทนท์อิมิตอร์ดังรูปที่ 2.2 ค่าความต้านทานที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าความต่างศักย์ และสามารถนำค่าความต่างศักย์นี้ไปใช้งานต่อไปได้



รูปที่ 2.2 การต่อแหล่งจ่ายให้กับโพลเทนท์อิมิตอร์แบบเชิงมุม

หากพิจารณาโดยใช้หลักการแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divided Circuit) จะหาค่าความต่างศักย์ได้จากสมการที่ (2.1)

$$\frac{V_o}{V} = \frac{\theta}{\theta_{max}} \quad (2.1)$$

เมื่อ V คือค่าความต่างศักย์ที่ตกรวมทั้งหมดตลอดความยาวของโพลเทนท์อิมิตอร์ และ θ_{max} คือมุมหมุนทั้งหมดของโพลเทนท์อิมิตอร์ ดังนั้นอัตราส่วนของเอาต์พุต V_o กับอินพุต θ หาได้จากสมการที่ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{V_o}{V} = \frac{V}{\theta_{\max}} = K \quad (2.2)$$

นอกจากนี้ การเลือกใช้โพเทนทิออมิเตอร์ต้องคำนึงถึงค่าความละเอียดของโพเทนทิออมิเตอร์ด้วยค่าความละเอียดเป็นค่าบ่งบอกว่าโพเทนทิออมิเตอร์สามารถวัดค่าได้ละเอียดแค่ไหน หากค่าความละเอียดน้อยแสดงว่ามีความละเอียดในการวัดสูง หากเลือกโพเทนทิออมิเตอร์ที่มีความละเอียดในการวัดไม่เหมาะสมอาจทำให้เซนกลทำงานผิดพลาดได้ ค่าความละเอียดสามารถคำนวณได้จากสมการที่

$$\text{ค่าความละเอียด (resolution)} = \frac{\text{full scale displacement}}{\text{number of turn of wire}} \quad (2.3)$$

การปรับสภาพสัญญาณรบกวนของโพเทนทิออมิเตอร์จะเกิดจากวัตถุที่ใช้ทำ พบว่าค่ารบกวนดังกล่าวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิและกระแสของตัวมัน ดังนั้นเพื่อให้มีค่ารบกวนน้อยที่สุด จึงต้องรักษาแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่จ่ายให้มีค่าต่ำที่สุด

2.2.1.3 ตัวต้านทานชนิดอื่น ๆ

- วาริสเตอร์โลหะออกไซด์ (metal oxide varistor- MOV) เป็นตัวต้านทานที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ มีค่าความต้านทาน 2 สถานะ คือค่าความต้านทานสูงมากที่ความต่างศักย์ต่ำ (ต่ำกว่าค่าความต่างศักย์กระตุ้น) และค่าความต้านทานต่ำมากที่ความต่างศักย์สูง (สูงกว่าค่าความต่างศักย์กระตุ้น) ใช้ประโยชน์ในการป้องกันวงจร เช่น ใช้ในการป้องกันความเสียหายจากฟ้าผ่าลงเสาไฟฟ้าหรือใช้เป็นสแน็บเบอร์ในวงจรตัวเหนี่ยวนำ

- เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) เป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามระดับอุณหภูมิแบ่งเป็นสองประเภทคือ

- ตัวต้านทานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นบวก (PTC – Positive Temperature Coefficient) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานมีค่าสูงขึ้นตาม มีพบใช้ในวงจรเครื่องรับโทรทัศน์ โดยต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก (demagnetizing coil) เพื่อป้องกันกระแสในช่วงเวลาสั้นๆ ให้กับขดลวดในขณะที่เปิดโทรทัศน์ นอกจากนั้นแล้ว ตัวต้านทานประเภทนี้ยังมีการออกแบบเฉพาะเพื่อใช้เป็นฟิวส์ (fuse) ที่สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ เรียกว่า โพลีสวิตช์

(polyswitch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• ตัวต้านทานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นลบ (NTC – Negative Temperature Coefficient) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานมีค่าลดลง ปกติใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

- เซนซิเตอร์ (sensistor) เป็นตัวต้านทานที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิใช้ในการชดเชยผลของอุณหภูมิในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

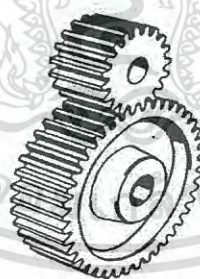
- แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) ตัวต้านทานปรับค่าตามแสงตกกระทบ ยิ่งมีแสงตกกระทบมากยิ่งมีความต้านทานต่ำ

- ลวดตัวนำ ลวดตัวนำทุกชนิด ยกเว้นซูเปอร์คอนดักเตอร์จะมีความต้านทานซึ่งเกิดจากเนื้อวัสดุที่ใช้ทำลวดนั้น โดยจะขึ้นกับภาคตัดขวางลวดและค่าความนำไฟฟ้าของเนื้อสาร

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของเฟือง

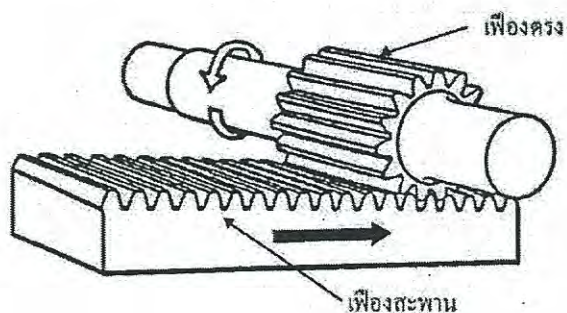
2.2.1 ชนิดของเฟือง

2.2.1.1 เฟืองตรง เฟืองที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรมีหลายชนิด แต่ละชนิดจะทำหน้าที่ส่งกำลังให้ชิ้นส่วนอื่นๆของเครื่องจักรต่อไป เฟืองจะตรง ความตรงของฟันเฟืองจะขนานกับรูเพลา เฟืองตรงจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.3



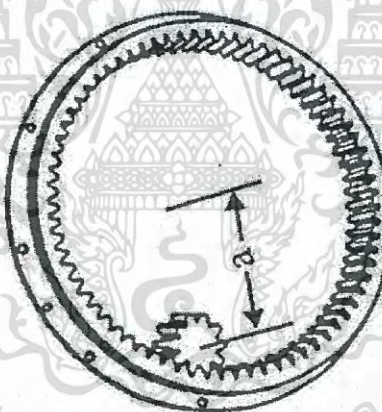
รูปที่ 2.3 เฟืองตรง

2.2.1.2 เฟืองสะพาน (RACK GEARS) เป็นเฟืองตรง มีลักษณะรูปร่างยาวเป็นเส้นตรงเหมือนสะพาน ฟันเฟืองทำมุมกับลำตัว 90 องศาโดยประมาณ และต้องใช้คู่กับเฟืองตรง เฟืองสะพานที่ใช้งานทั่วไปมีรูปร่างลักษณะ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เฟืองสะพาน

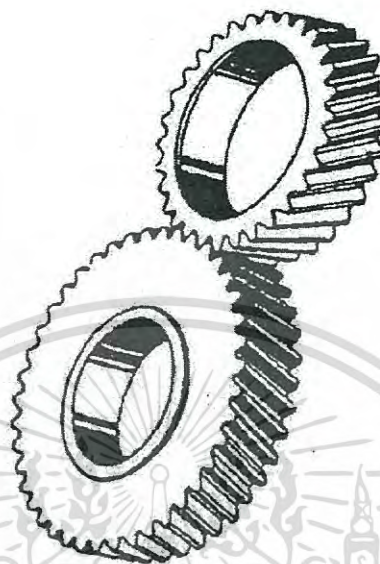
2.2.1.3 เฟืองวงแหวน (INTERNAL GEARS) เป็นเฟืองตรงชนิดหนึ่งที่มีรูปร่างลักษณะกลม เช่นเดียวกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะอยู่ด้านบนของวงกลม และต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่มีขนาดเล็กกว่าขบอยู่ภายในเฟืองวงแหวน จะมีรูปร่างลักษณะ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เฟืองวงแหวน

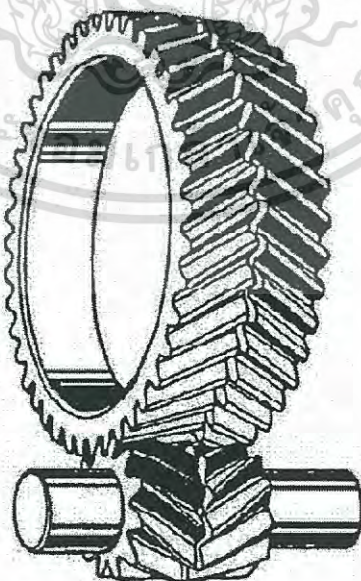
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 เฟืองเฉียง (HELICAL GEARS) จะมีลักษณะรูปร่างคล้ายเฟืองตรง คือ จะเป็นล้อยกลมเช่นกัน แต่เฟืองเฉียงฟันของเฟืองจะเอียงทำมุมที่ต้องการ อาจเอียงไปทางซ้ายหรือเอียงไปทางขวา ขึ้นกับการใช้งาน เฟืองเฉียงจะมีรูปร่างลักษณะ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เฟืองเฉียง

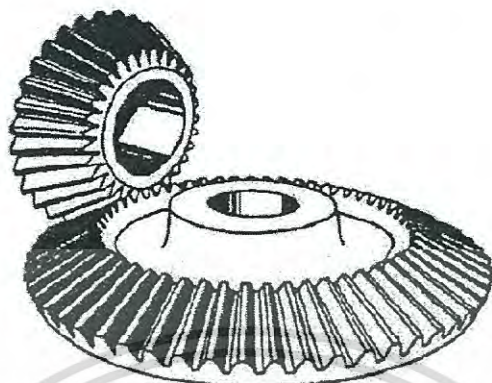
2.2.1.5 เฟืองเฉียงก้างปลา (HERRINGBONE GEARS) เป็นเฟืองที่มีลักษณะคล้ายกับเฟืองตรงแต่ของเฟืองจะเอียงสลับกันเป็นฟันปลา เฟืองชนิดนี้จะมีรูปร่างลักษณะ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เฟืองก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.6 เฟืองคอกจอก (BEVEL GEARS) ลักษณะของเฟืองคล้ายกับกรวย ฟิงของเฟืองคอกจอกมีทั้งแบบตรงและแบบเฉียง เฟืองคอกจอกมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เฟืองคอกจอก

2.2.1.7 เฟืองหนอน (WORM GEAES) เป็นชุดเฟืองประกอบด้วยเกลิยวและเฟืองที่ใช้ในการส่งกำลัง รูปร่างลักษณะของเฟืองหนอนจะรูปร่างลักษณะ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เฟืองหนอน

2.2.1.8 เฟืองเกลียวสกรู (SPIRAL GEARS) เป็นเฟืองเกลียวที่ใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ทำมุม 90 องศา เฟืองเกลียวชนิดนี้มีลักษณะ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เฟืองเกลียวสกรู

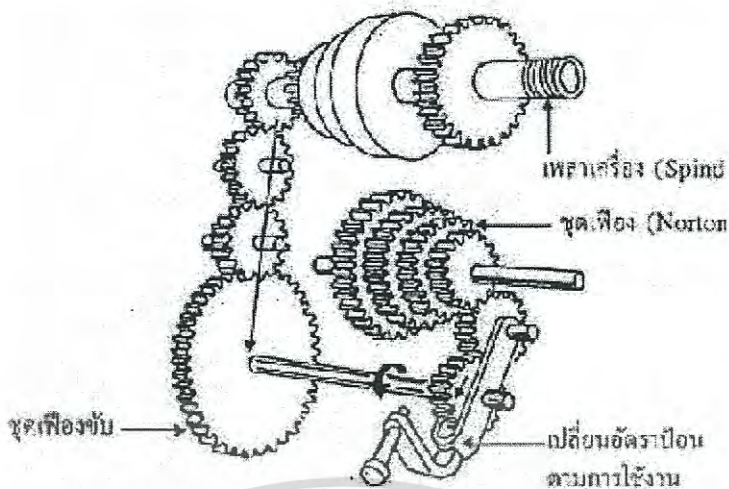
2.2.2 หน้าที่ใช้งานของเฟือง

เฟืองแต่ละชนิดมีหน้าที่หลักที่เหมือนกัน คือ ใช้ในการส่งกำลังจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน แต่การใช้งานเฟืองแต่ละชนิดจะมีหน้าที่รองต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

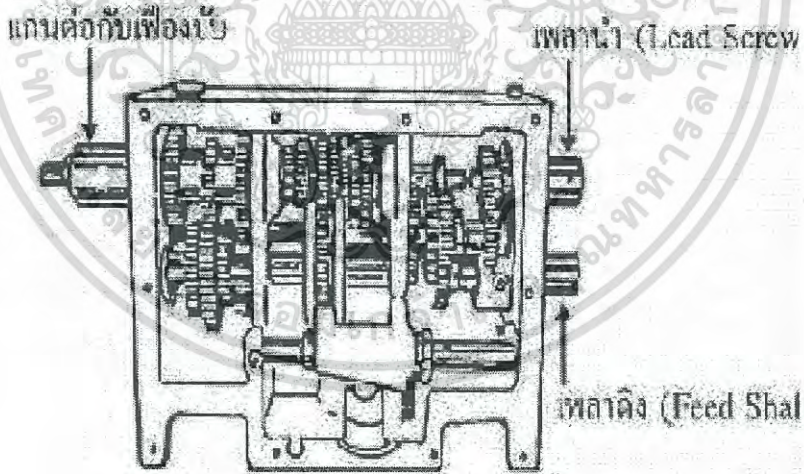
2.2.2.1 หน้าที่ใช้งานของเฟืองตรง เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกัน เฟืองตรงเหมาะสำหรับการส่งกำลังที่มีความเร็วรอบต่ำ หรือความเร็วรอบปานกลางไม่เกิน 20 เมตรต่อนาที เช่น ชุดเฟืองทดของเครื่องกลึงเพื่อเดินกลึงอัตราอัตโนมัติ หรือชุดเฟืองทดของเครื่องจักรกลการเกษตรที่ความเร็วรอบต่ำๆ ข้อดีของเฟืองตรงขณะใช้งานจะไม่เกินแรงในแนวแกน ประสิทธิภาพในการทำงานสูง หน้ากว้างของเฟืองตรงสามารถเพิ่มได้เพื่อให้เกิดผิวสัมผัสที่มากขึ้น เพื่อลดการสึกหรอให้น้อยลง ข้อเสียของเฟืองตรงขณะใช้งาน คือ ขณะที่เฟืองหมุน

ตัวอย่างการใช้งานของเฟือง ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



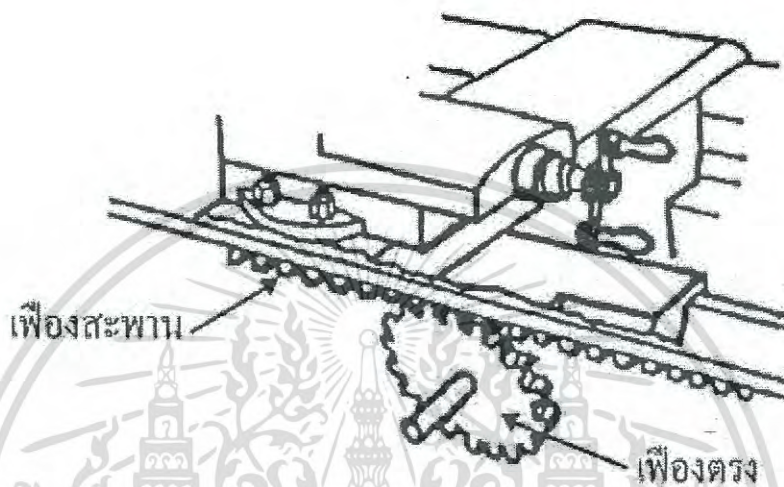
รูปที่ 2.11 การส่งกำลังของเฟืองตรงเพื่อเครื่องกลึงอัตโนมัติ



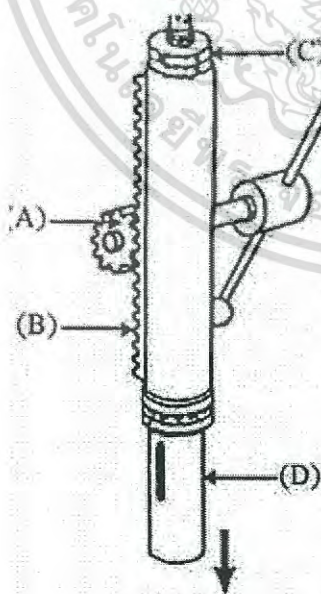
รูปที่ 2.12 ชุดเฟืองตรงภายในหัวเครื่องกลึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 หน้าที่ใช้งานของเฟืองสะพาน ในการใช้งานของเฟืองสะพาน (RACK) จะต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่เรียกว่า ฟินเนียน (PINNION) เสมอก็คจะสามารถทำการส่งกำลังได้ ลักษณะการใช้งานของเฟืองสะพาน ตัวอย่างเช่น เฟืองสะพานของเครื่องกลึงขั้นศูนย์ที่ช่วยให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ซ้าย - ขวา หรือเฟืองสะพานของเครื่องเจาะที่ทำหน้าที่เคลื่อนเพลาคู่มือเครื่องเจาะขึ้นลง ดังรูปที่ 2.13 และ รูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 หน้าที่ใช้เฟืองสะพานเครื่องกลึง



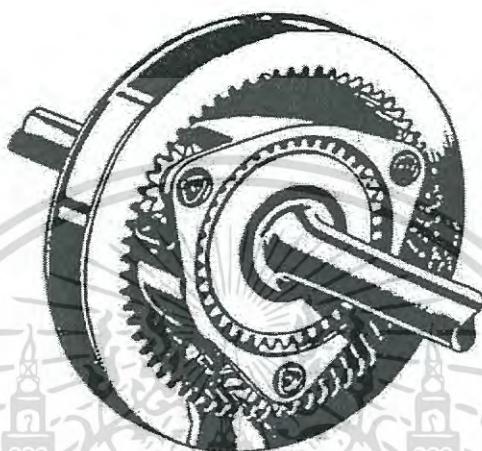
- (A) เพลาคู่มือเครื่องเจาะ
- (B) เฟืองสะพาน
- (C) เฟืองตรง จะต่อเข้ากับแกนหมุนหมุนอยู่กับที่รอบตัวเอง
- (D) แกนหมุน

การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เฟืองสะพานจะเคลื่อนที่ขึ้นลงติดกับเพลาคู่มือเครื่องเจาะ

รูปที่ 2.14 หน้าที่ใช้เฟืองสะพานของเครื่องเจาะ

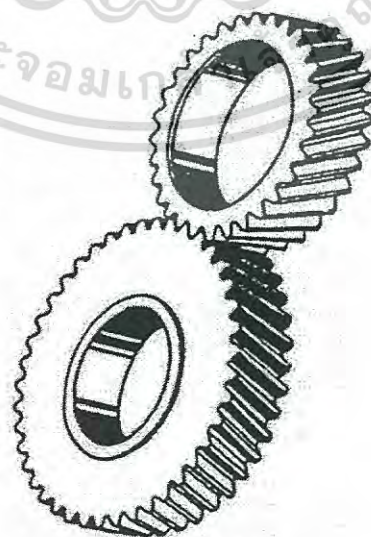
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 หน้าที่ใช้งานของเฟืองวงแหวน เฟืองชนิดนี้เป็นเฟืองเฉพาะอย่าง ที่ใช้งานกับเครื่องจักรกล เช่นเป็นเฟืองสำหรับปั๊มเฟืองสำหรับปั๊มน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ โดยที่เฟืองตัวเล็กที่อยู่ภายในตัวเป็นตัวขับ ส่วนตัวใหญ่จะหมุนในลักษณะการปั๊มเฟืองสำหรับปั๊มน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ โดยที่เฟืองตัวเล็กที่อยู่ภายในเป็นตัวขับส่วนตัวใหญ่จะหมุนในลักษณะการเอียงศูนย์เพื่อคูดน้ำมันเครื่องส่งไปใช้งาน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะการใช้งานเฟืองวงแหวน

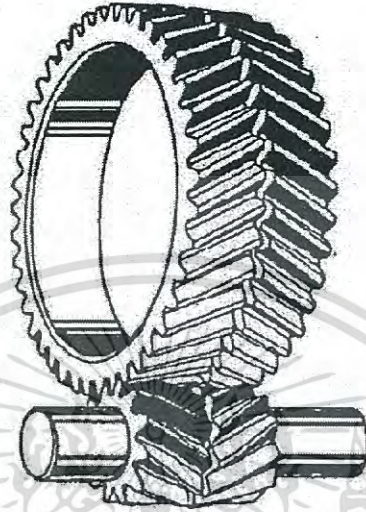
2.2.2.4 หน้าที่ใช้งานของเฟืองเฉียง เฟืองเฉียงมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกับเฟืองตรงทุกอย่าง แต่มีข้อดีกว่าเฟืองตรงทุกอย่าง แต่มีข้อดีกว่าเฟืองตรงที่เมื่อส่งกำลังด้วยความเร็วรอบสูงๆ แล้วจะไม่เกิดเสียงเหมือนเฟืองตรง ลักษณะการใช้งานของเฟืองเฉียง ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ลักษณะการใช้งานเฟืองเฉียง

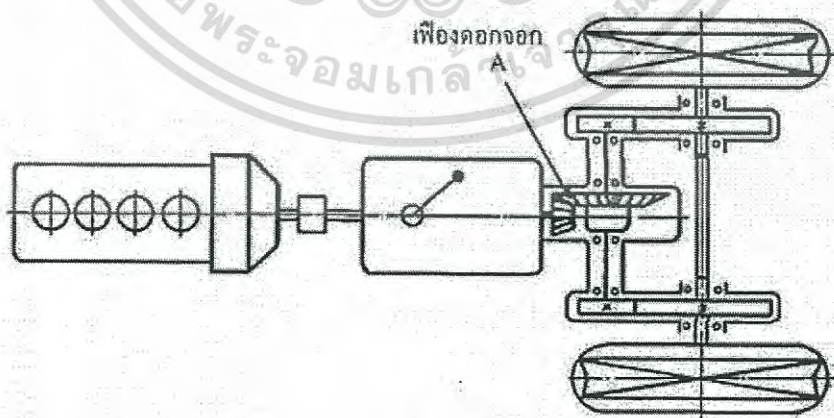
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.5 หน้าที่ใช้งานของเฟืองก้างปลา เฟืองก้างปลาเป็นเฟืองที่ออกแบบมาเพื่อลดล้างแรงดันที่ปลายฟันเฟือง เนื่องจากฟันเฟืองก้างปลาเป็นเฟืองเฉียงที่สร้างมาให้คู่ติดกัน เฟืองก้างปลาใช้ส่งกำลังกับเพลลาที่ขนานกันเท่านั้น ข้อดีเฟืองชนิดนี้ คือ เฟืองจะเลื่อนออกจากกันไม่ได้ ลักษณะการใช้งาน ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ลักษณะการส่งกำลังของเฟือง

2.2.2.6 หน้าที่ใช้งานเฟืองดอกจอก เฟืองดอกจอกเป็นที่ใช้ส่งกำลังเพื่อเปลี่ยนทิศทางของเพลลา หรือเพลลาสามารถทำมุมได้ 90 องศา และเป็นเฟืองที่ให้กำลังในการส่งมาก ส่วนใหญ่เป็นเฟืองรถยนต์ เฟืองเกียร์รถยนต์ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.18

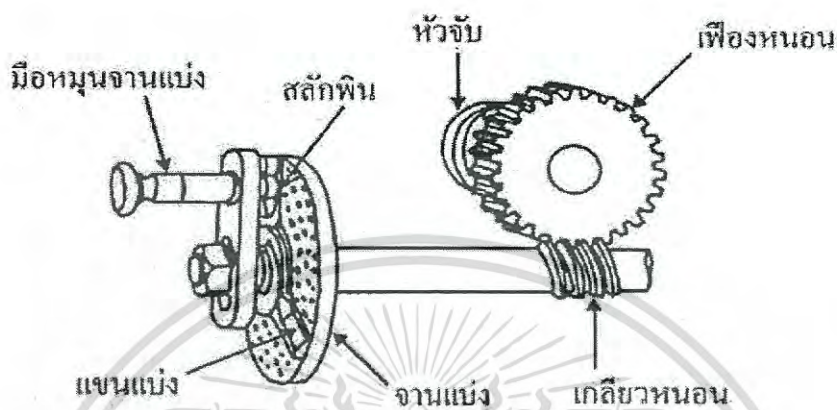


รูปที่ 2.18 การทำงานของเฟืองทำรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

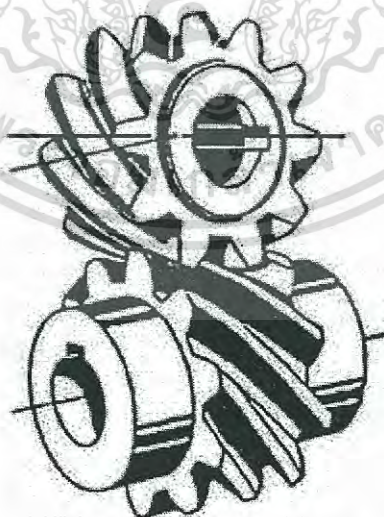
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.2.7 หน้าที่ใช้การใช้งานของเฟืองหนอน เฟืองหนอนประกอบด้วยเกลียวหนอนเพื่อให้เกลียวหนอนส่งกำลังไป เฟืองหนอนเป็นการส่งกำลังระหว่างเพลลาที่ทำมุมกัน 90 องศา เป็นการส่งกำลังความเร็วรอบสูงให้มาเป็นความเร็วรอบต่ำ การส่งกำลังของชุดเฟืองหนอนของชุดหัวแบ่งเฟืองของเครื่องกัณฑ์ลักษณะการใช้งานดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การทำงานชุดเฟืองหนอนในหัวแบ่งเครื่องกัณฑ์

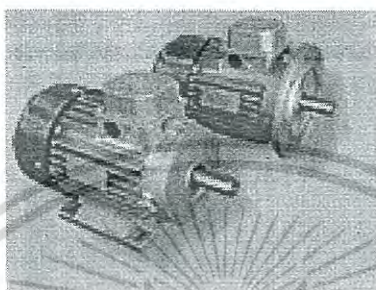
2.2.2.8 หน้าที่ใช้การใช้งานของเฟืองสกรูเกลียว เป็นเฟืองที่ทำหน้าที่ใช้เพื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางของเพลลาให้ทำมุมกัน 90 องศาคล้ายกับชุดเฟืองหนอน แต่สามารถส่งกำลังได้น้อยเนื่องจากด้านข้างของฟันมีพื้นที่สัมผัสกันน้อยมาก สามารถให้อัตราทดได้ระหว่าง 1 ถึง 5 ลักษณะการทำงาน



รูปที่ 2.20 ลักษณะการทำงานของเฟืองเกลียวหนอน

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานของดีซีมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานต่างๆเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆในอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงาน ดังนั้นเราจึงต้องทราบถึงความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าตลอดคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของมอเตอร์ชนิดนั้นๆ



รูปที่ 2.21 มอเตอร์ไฟฟ้า

2.3.1 ความหมายของมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้า (MOTOR) หมายถึง เครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่ง que เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

2.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ หรือใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่างๆ

2.3.3 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.3.3.1 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor) คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูง นิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้าารถยกของเครนไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลด ความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนัก ความเร็วลดลงแต่ขดลวดของมอเตอร์ไม่เป็นอันตรายจากคุณสมบัตินี้จึงนิยมมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายอย่างเช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร ส่วนไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมใช้งานหนักได้ดี เมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบจะลดลง เมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ

2.3.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)หรือจะเรียกว่าชันท่มอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ (Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวด ชุดอาเมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะมีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ ชันท่มอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับการทำงานดังนี้พัฒนาเพราะพัฒนาต้องการความเร็วคงที่และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย

2.3.3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)หรือเรียกว่าคอมปาวด์ มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ยังไม่มีการโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่ มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชันท่ออยู่2วิธี

- ใช้ต่อขดลวดแบบชันท่อขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอทชันท (Short Shunt Compound Motor)
- ใช้ต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่า ลองชันทคอมปาวด์ มอเตอร์(Long Shunt Motor)

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลและกระแสแสดงดังสมการ (2.23)

$$T = K_t \phi I \quad (2.23)$$

เมื่อ T คือแรงบิดของเพลามีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร (N-m)

เมื่อ K_t คือค่าคงที่

เมื่อ ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber)

เมื่อ I คือกระแสมีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Ampere)

ดังนั้นแรงบิดของเพลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กกับกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะเกิดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวมันเอง ค่าความต่างศักย์นี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลมอเตอร์และจำนวนการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ย้อนกลับและความร้อนของเพลมอเตอร์ E แสดงได้ดังสมการ (2.24)

$$E = K_m \phi \omega \quad (2.24)$$

เมื่อ E คือค่าความต่างศักย์ย้อนกลับ (emf) มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt)

K_m คือค่าคงที่

ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber)

ω คือความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน / วินาที (radian / sec)

2.3.4 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่อยู่กึ่งกลางหรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย

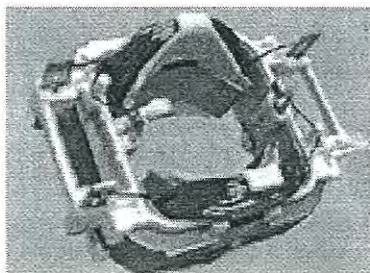
- เฟรมหรือ โยค (Frame of Yoke) เป็น โครงภายนอกทำหน้าที่เป็นเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือ ไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่นๆ ให้แข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อ หรือเหล็กแผ่นหนา้วนเป็นรูปทรงกระบอก



รูปที่ 2.22 ขั้วแม่เหล็ก

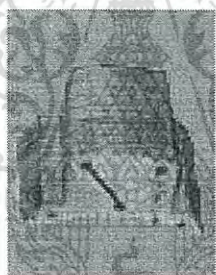
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วแม่เหล็ก(Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ แกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด



รูปที่ 2.23 ขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก

ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่า ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด จะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque)



รูปที่ 2.24 ลักษณะของขั้วแม่เหล็ก

ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบๆแกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอามเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

2. ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์

ตัวประกอบโรเตอร์ด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. แกนเพลลา (Shaft)
2. แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core)



รูปที่ 2.25 ตัวประกอบโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

4. ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding)

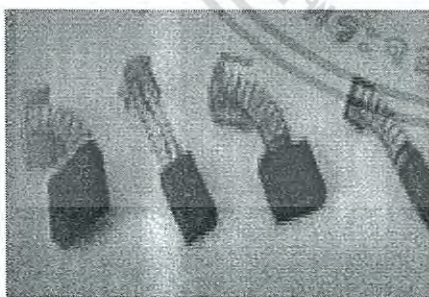
1. แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลลาจะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวหนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

2. แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

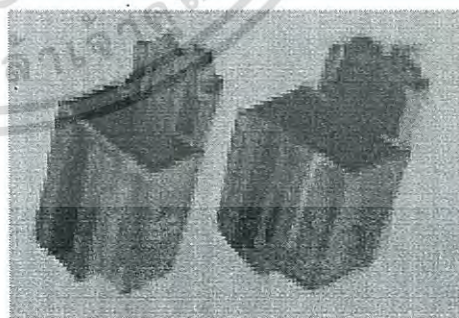
3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (Mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้ยึดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก อีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็กดังกล่าวเรียกว่าปฏิริยามอเตอร์ (Motor Action)

4. ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์เมเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ จำนวนจะรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ

แปรงถ่าน (Brushes)



รูปที่ 2.26 แปรงถ่าน



รูปที่ 2.27 ซองแปรงถ่าน

ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่ในช่องแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบน เพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแส และส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์เมเจอร์กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก ถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ เพื่อให้ลวดอาร์เมเจอร์เกิดแรงบิดทำให้มอเตอร์หมุนได้

2.3.5 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action)

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ตัดกัน ทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวกันจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวของอาร์เมเจอร์ซึ่งวางแกนเพลลาและแกนเพลลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์เมเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์เมเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุนที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์กัน ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์หรือโรเตอร์หมุนไปนั้น เป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming's left hand rule)

2.4 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

2.4.1 ระบบเซอร์โวมอเตอร์

ตามนิยามของวิศวกรรมระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) หรือระบบการควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) สามารถจำแนกระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed loop control) ได้เป็นแบบต่างๆ คือ

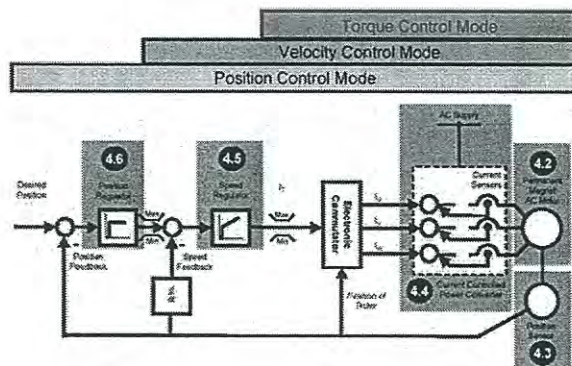
ตารางที่ 2.1 ระบบควบคุมแบบลูปปิดในแบบต่าง ๆ

| ระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed loop control) | | |
|---|---------------------------------------|--|
| ระบบไฟฟ้า | ระบบไดนามิกส์ (ระบบเซอร์โว) | ระบบกระบวนการ (Process) |
| โวลต์เตจและกระแส รีกทูเลเตอร์ | ควบคุมความเร็ว (Speed Control) | ควบคุมอุณหภูมิ (Temp. Control) |
| ฟีดแบ็คแอมพลิไฟเออร์ | ควบคุมแรงบิด (Torque Control) | ควบคุมแรงดัน (Pressure Control) |
| | ควบคุมตำแหน่ง (Position Control) | ควบคุมการไหล (Flow Control) |
| | ควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control) | ควบคุมความหนาแน่น (Density Control) |

จากตารางสรุปได้ว่าระบบเซอร์โว คือการควบคุมเครื่องจักรกลให้ทำงานตอบสนองด้านไดนามิกส์ (Dynamic Response) เช่น ความเร็ว อัตราเร่ง แรงบิด และตำแหน่ง ให้ได้ดีที่สุด (Optimum Solution) และใช้เวลาน้อยที่สุด (Time Optimum)

2.4.2 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โว

ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed loop control) ประกอบด้วย 3 โหมดการควบคุมคือ โหมดการควบคุมแรงบิด (Torque Control Mode) ซึ่งอยู่วงรอบหรือลูปในสุด โหมดการควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control Mode) และโหมดการควบคุมตำแหน่ง (Position Control Mode) ซึ่งอยู่ลูปด้านนอกสุด โดยมีอุปกรณ์สำคัญ



รูปที่ 2.28 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ส่วนที่ 4.2 ในภาพ
2. ชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Drive or Servo Amplifier) ส่วนที่ 4.4, 4.5, 4.6
3. อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device เช่น Speed encoder และ Position Sensor

2.4.3 การแยกประเภทเซอร์โวมอเตอร์

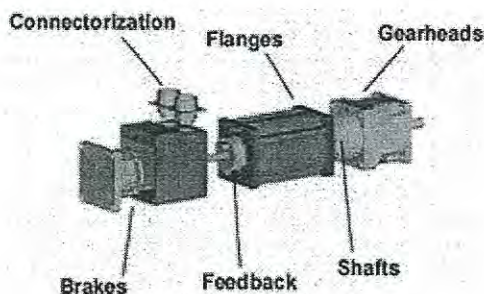
เซอร์โวมอเตอร์ที่มีใช้ในงานทั่วไปจะมีทั้ง DC และ AC servo ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา DC servo motor จะมีการใช้งานมากกว่า โดยเฉพาะเครื่องจักรรุ่นเก่าๆ เนื่องจากช่วงที่ผ่านมาการควบคุมกระแส กระแสสูงๆ นั้นจะต้องใช้ SCRs แต่ปัจจุบันทรานซิสเตอร์ได้พัฒนาขึ้นมาให้มีขีดความสามารถในการควบคุมกระแสสูงเพิ่มขึ้น และใช้งานได้ที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นจึงทำให้ AC servo ได้ถูกนำมาใช้งานมากขึ้น โดยเฉพาะเครื่องจักรรุ่นใหม่ส่วนแล้วแต่ใช้ AC servo

เซอร์โวมอเตอร์สามารถแยกประเภทเป็นกลุ่มต่างๆ ได้ดังนี้

1. เซอร์โวมอเตอร์ชนิดที่มีแปรงถ่าน (Brush Type) เซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้ที่สเตเตอร์จะเป็นแม่เหล็กถาวร ส่วนโรเตอร์ยังใช้แปรงถ่านและคอมมิวเตอเรียมอเตอร์เรียงกระแสเข้าสู่ชุดคลวดอาร์เมเจอร์เหมือนกับคีมอเตอร์ทั่วไป
2. เซอร์โวมอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่าน (Brushless Type) เซอร์โวมอเตอร์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยดีซีเซอร์โว (DC Brushless servo โรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร เอซีเซอร์โว (AC Servo) ซึ่งมีทั้งแบบซิงโครไนส์เซอร์โว อะซิงโครไนส์เซอร์โว (การนำอินคัลชันมอเตอร์มาใช้ทำเป็นระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์) และสเต็ปป์เซอร์โวมอเตอร์

2.4.4 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

ระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์โดยทั่วไปจะต้องใช้งานในระบบ closed loop เท่านั้น ไม่สามารถเลือกให้เป็น open loop หรือ closed loop เหมือนกัน ระบบเอซีไครฟ์เซอร์โวมอเตอร์ไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ดี หากไม่มีสัญญาณจาก encoder ป้อนกลับไปยังชุดขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo drive) ระบบจำเป็นต้องใช้ encoder เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในระบบควบคุมเสมอเหมือนกับเป็นของคู่กันระหว่างเซอร์โวมอเตอร์และ encoder ขาดซึ่งกันและกันไม่ได้ จึงทำให้บริษัทผู้ผลิตออกแบบโครงสร้างเซอร์โวมอเตอร์และ encoder รวมไว้เป็นตัวเดียวกัน จึงทำให้ลักษณะโครงสร้างโดยรวมของเซอร์โวมอเตอร์ที่เราพบทั่วไป ซึ่งประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์และ encoder (ติดอยู่ที่ส่วนท้ายของมอเตอร์) รวมไว้เป็นชุดเดียวกัน



รูปที่ 2.29 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

Gearheads คือ เกียร์สำหรับลดความเร็วรอบเพื่อเพิ่มแรงบิด

Shafts คือ แกนเพลลาของมอเตอร์

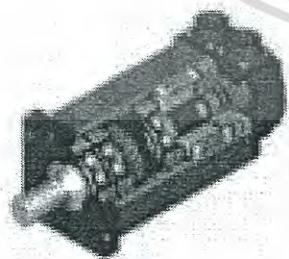
Flanges คือ หน้าแปลนสำหรับติดตั้งมอเตอร์

Feedback คือ อุปกรณ์ป้อนกลับเช่น encoder

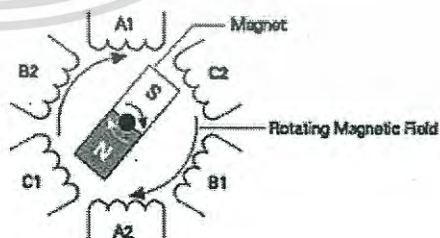
Connectorization คือ ขั้วต่อสายไฟเข้ามอเตอร์และขั้วต่อสายสำหรับ encoder

Breakes คือ เบรก

โครงสร้างของ AC servo motor จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ สเตเตอร์และโรเตอร์ซึ่งคล้ายกับมอเตอร์ 3 เฟสทั่วๆ ไป โดยสเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวด 3 ชุดที่สมมูล ขดลวดภายในจะต่อเป็นแบบสตาร์ (Star หรือ WYE) และมีสายต่อมาที่ขั้วต่อสายด้านนอก 3 เส้น (จุดนิวตรอนจะอยู่ด้านใน) ส่วนโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) ไม่มีขดลวดพัน, ไม่มีคอมมิวเตเตอร์ และไม่มีแปรง (Brushless)

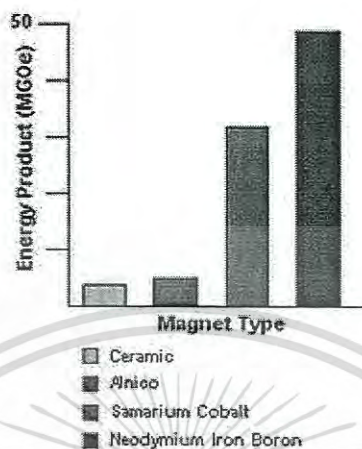


รูปที่ 2.30 เซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 2.31 โรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร

จากลักษณะโครงสร้างของโรเตอร์และหลักการทำงาน (เมื่อป้อนไฟ 3 เฟสเข้าขดลวด จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนและส่งผลให้โรเตอร์ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรวิ่งตาม) มอเตอร์ชนิดนี้มีชื่อเรียกต่างกันไป เช่น Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM, AC servo motor, Ac Brushless หรือ Brushless motor เป็นต้น



รูปที่ 2.32 วัสดุที่ใช้ทำแม่เหล็กถาวร

สำหรับวัสดุที่นำมาสร้างแม่เหล็กถาวรนี้จะแตกต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับราคาและเทคโนโลยีของบริษัทผู้ผลิตนั้นๆ ซึ่งมีตั้งแต่ชนิดที่ราคาถูกเช่น เซรามิก(เฟอไรต์) จนถึงการใช้วัสดุที่มีราคาแพงอย่างเช่น ซามาเรียม โคบอลต์ หรือ นีโอไดเมียม เป็นต้น ปัจจุบันเอซีเซอร์โวมอเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้วัสดุสารแม่เหล็กแบบ นีโอไดเมียม เนื่องจากมีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก และความเหมาะสมเรื่องราคาดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุสารแม่เหล็กแบบอื่น

2.4.5 ความแตกต่างระหว่างเซอร์โวมอเตอร์กับมอเตอร์ชนิดอื่นๆ

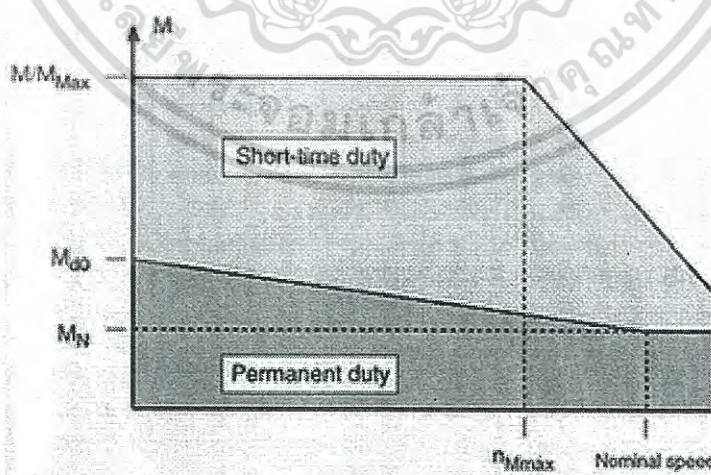
เซอร์โวมอเตอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้กับงานที่มีการควบคุมตำแหน่ง (Position control) เป็นหลัก ซึ่งต้องการคุณสมบัติการตอบสนองด้านไดนามิกส์สูง (high dynamics response) ต้องการความละเอียดและความแม่นยำสูงในการควบคุมสูง

ในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติดังกล่าว ผู้ผลิตจึงได้พยายามออกแบบให้โรเตอร์มีเส้นผ่าศูนย์กลางและรัศมีเล็กๆ รวมถึงการทำให้โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร เพื่อเป็นการลดแรงเฉื่อยของโรเตอร์ (Rotor moment of inertia) และลดแรงบิดหรือทอร์กที่หายไปเนื่องจากโรเตอร์มีขนาดเล็กด้วยการเพิ่ม ความยาวโรเตอร์ ดังนั้นรูปร่างโครงสร้างทางกายของเซอร์โวมอเตอร์ที่พบโดยทั่วไปจึงมีลักษณะผอมบางและมีความยาวมากกว่ามอเตอร์ที่ใช้แกนทั่วไป นอกจากนั้นยังมีแรงบิดสูงกว่ามอเตอร์ทั่วไปอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ไปของอินดักชันมอเตอร์ชนิด Asynchronous กับเซอร์โวมอเตอร์ P.M. Synchronous Servo motor

| คำอธิบาย | Asynchronous | Permanent Magnet Synchronous Servo |
|--|---|---|
| ที่พิกัดกำลังเท่าๆกัน (Rated power) | 0.75 kW | 0.75 kW |
| ความเร็วพิกัด (Rated speed) | 2825 min ⁻¹ | 3000 min ⁻¹ |
| แรงบิดพิกัด (Rated torque) | 2.5 Nm | 2.4 Nm |
| แรงบิดสูงสุด (Max. torque) | 6.6 Nm | 12.0 Nm |
| แรงเฉื่อยของโรเตอร์ (Rotor moment of inertia) | 5.7 x 10 ⁻⁴ kgm ² | 2.7 x 10 ⁻⁴ kgm ² |
| เปรียบเทียบเวลาที่ใช้เร่งความเร็วไปที่ 3000 รอบต่อนาที (Theor. Acceleration time to 3000 min ⁻¹) | 27 ms | 7 ms |
| กระแสพิกัด (Rated current) | 3.0 A | 2.6 A |
| แรงดันพิกัด (Rated voltage) | 230 V | 190 V |
| ประสิทธิภาพ (Efficiency) | 77 % | 88 % |



รูปที่ 2.33 กราฟแสดงคุณสมบัติด้านแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Servo Motor: xx.SM.000-yyyy | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Size (x) | C1 | | | | | | C2 | | | |
| | Speed and voltage variant (y) | | | | | | | | | |
| | | 3200 | 3400 | 4200 | 4400 | 6200 | 6400 | 3200 | 3400 | 4200 |
| Stall torque M_{st} | Nm | 0,95 | | | | | | 2,7 | | |
| Ratings | | | | | | | | | | |
| Rated torque M_{RN} | Nm | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 2,4 | 2,2 | | | | |
| Rated speed n_N | min ⁻¹ | 3000 | 4000 | 6000 | 3000 | 4000 | | | | |
| Voltage constant k_f | V/1000min ⁻¹ | 36,5 | 66,5 | 27,5 | 50,2 | 18,3 | 33,6 | 45,5 | 78,8 | 34,3 |
| Winding resistance R_{LV} | Ohm | 20,5 | 74,9 | 12,1 | 39,4 | 5,1 | 18,9 | 4,2 | 13,1 | 2,3 |
| Winding inductivity L_{LV} | mH | 30,5 | 101 | 17,1 | 57,6 | 7,6 | 25,9 | 11,4 | 34,4 | 6,5 |
| Mechanical specifications | | | | | | | | | | |
| Rotor moment of inertia J_r | kgcm ² | | | 1,2 | | | | | | 2,7 |
| Overall length $l^{(1)}$ | mm | | | 156 | | | | | | 180 |
| Partial length $l^{(2)}$ | mm | | | 95 | | | | | | 110 |
| Mass m | kg | | | 2,7 | | | | | | 3,9 |

รูปที่ 2.34 ตารางคุณสมบัติที่สำคัญของเซอร์โวมอเตอร์

2.5 ทฤษฎีพื้นฐานของออปแอมป์

2.5.1. Operation Amplifier



รูปที่ 2.35 Operation Amplifier

$$e_0 = K (e_2 - e_1) \tag{2.4}$$

คุณสมบัติของ ideal op-amp

1. $R_{in} \rightarrow \infty$
2. $R_{out} \rightarrow 0$
3. Input offset voltage = 0

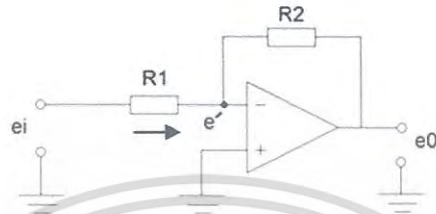
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Input bias current = 0

5. Bandwidth จาก DC $\rightarrow \infty$ Hz

6. Open loop voltage gain = ∞

2.5.2. Inverting amplifier



รูปที่ 2.36 Inverting Amplifier

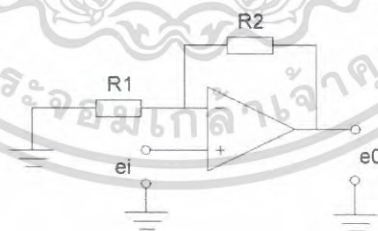
$$i_1 = (e_i - e') / R_1, \quad i_2 = (e' - e_0) / R_2 \quad (2.5)$$

คุณสมบัติของ ideal op-amp

$$i_1 = i_2, \quad e' = 0$$

$$e_0 = (-R_2 / R_1) e_i$$

2.3.3. Non- inverting amplifier



รูปที่ 2.37 Non- inverting amplifier

$$e_0 = K(e_i - (R_1/R_1 + R_2)e_0) \quad (2.6)$$

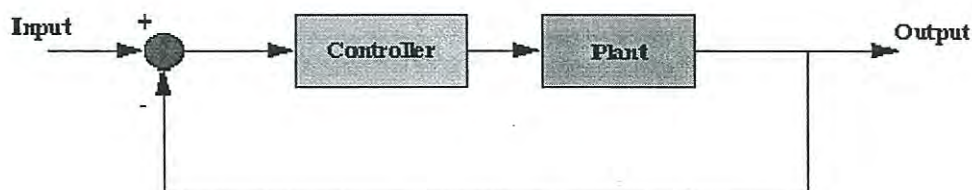
$$e_i = [(R_1/R_1 + R_2) + (1/K)] e_0; \quad K \gg 1 \quad (2.7)$$

$$e_0 = (1 + (R_2/R_1))e_i \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทฤษฎีพื้นฐานของระบบควบคุม

2.6.1 ชนิดของตัวควบคุม (controller)



รูปที่ 2.38 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Action)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาควบคุมซึ่งค่อนข้างจะสม่ำเสมอและเป็นเชิงเส้น ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอินพุตและเอาต์พุต ความสัมพันธ์ของสัญญาณควบคุม (เอาต์พุตของตัวควบคุม) $m(t)$ กับสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ คือ

$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.9)$$

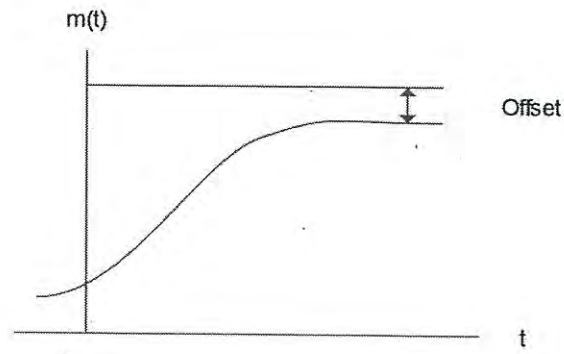
หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.10)$$

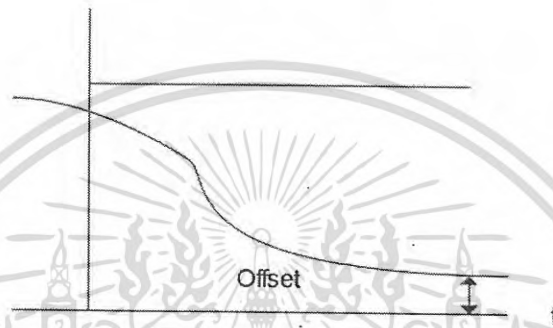
$$PB = \left(\frac{1}{K_p} \right) \times 100\% \quad (2.11)$$

โดยที่ K_p จะอยู่ในเทอมของ Proportional Sensitivity หรือ Gain Proportional Band (PB) เป็นการเปลี่ยนแปลงของอินพุต เพื่อที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตมากที่สุดในการควบคุมแบบสัดส่วน

การเกิด Offset เป็นคุณลักษณะของระบบควบคุมแบบสัดส่วน ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของระบบควบคุมแบบสัดส่วนนั้น ไม่สามารถควบคุมระบบที่มีโหลด (Load) เปลี่ยนแปลงได้ดีเท่าที่ควร และในกรณีที่โหลด (Load) คงที่แต่เปลี่ยนค่าระดับ Set Point ที่ควบคุมไปก็เช่นเดียวกัน จะเกิดมี Offset ขึ้น โดยที่ Offset ก็คือ ค่าความแตกต่างอินพุตและเอาต์พุตที่สถานะคงที่เมื่อเป้าหมายคงที่นั่นเอง ดังรูปที่ 2.6 (ก) และ (ข) ที่แสดงถึง Offset ที่เกิดขึ้นของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุมกับอัตราการเปิดวาล์ว



รูปที่ 2.39 Offset ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.40 Offset ที่เกิดขึ้น

สามารถลดค่าการเกิดOffsetได้โดย

1. เพิ่มอัตราขยายแบบสัดส่วน
2. เพิ่มค่าสัญญาณจัดการที่สภาวะเริ่มต้น (m_0) คือ $m_T = (K_p * e) + m_0$
3. เปลี่ยนค่าเป้าหมาย

2.6.2 การควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control Action)

เป็นการควบคุมซึ่งค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุต โดยจะมีความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ และค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ ดังสมการ (2.4) และ (2.5)

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (2.12)$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.13)$$

โดยที่ K_i เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับได้

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลคือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (2.14)$$

ในการควบคุมแบบอินทิกรัลนั้นค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาด $e(t)$ ดังนั้น ถ้าความผิดพลาดซึ่งได้เกิดขึ้น ทำให้ระบบได้ค่าที่ผิดไป จากค่าที่ต้องการแล้ว อุปกรณ์ควบคุมจะจัดการกับค่าความผิดพลาดโดยเร็ว (โดยลดให้ค่า Error นี้หมดไป) เมื่อตัวแปรควบคุมอยู่ที่ค่าเป้าหมายแล้วอุปกรณ์ควบคุมส่วนสุดท้าย (Final Element Control) จะยังไม่ทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระบบอยู่ในสถานะคงที่แล้วนั่นเอง ดังนั้นในการควบคุมแบบอินทิกรัลจะไม่ทำให้เกิดค่า Offset ขึ้นมา

2.6.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control Active)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุต โดยมี ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.7 และ 2.8

$$m(t) = K_D \times \frac{de(t)}{dt} \quad (2.15)$$

หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_D s \quad (2.16)$$

โดยที่ K_D เป็นค่าคงที่ที่สามารถปรับค่าได้

เมื่อเพิ่มการควบคุมแบบ Derivative ไปในเครื่องควบคุมจะเป็นการบวกมูมนำในเครื่อง ควบคุม เพื่อชดเชยมุมตาม ในฟังก์ชันถ่ายโอน

2.6.4 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional and Integral Control Active)

เป็นการควบคุมที่ค่าเอาต์พุต เป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับผลรวมของค่าอินพุต และค่าอินทิกรัลเชิงเวลาของอินพุต โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$m(t) = [K_p e(t)] + \left(\frac{K_p}{T_i}\right) \int_0^t e(t) dt \quad (2.17)$$

หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (2.18)$$

โดยที่ K_p เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรือ Gain

T_i เป็นค่าของ Integral Time

ข้อดีของการควบคุมแบบพีไอคือตัวควบคุมอินทิกรัลจะกำจัด Offset ของตัวควบคุมแบบสัดส่วนให้หมดไป

2.6.5 การควบคุมแบบพีดี (Proportional and Derivative Control Action)

เป็นการควบคุมซึ่งค่าเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลรวมของค่าอินพุตกับผลคูณคาบเวลากับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของอินพุต โดยสามารถแสดงด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$m(t) = [K_p e(t)] + \left[K_p T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2.19)$$

หรือ

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_D s) \quad (2.20)$$

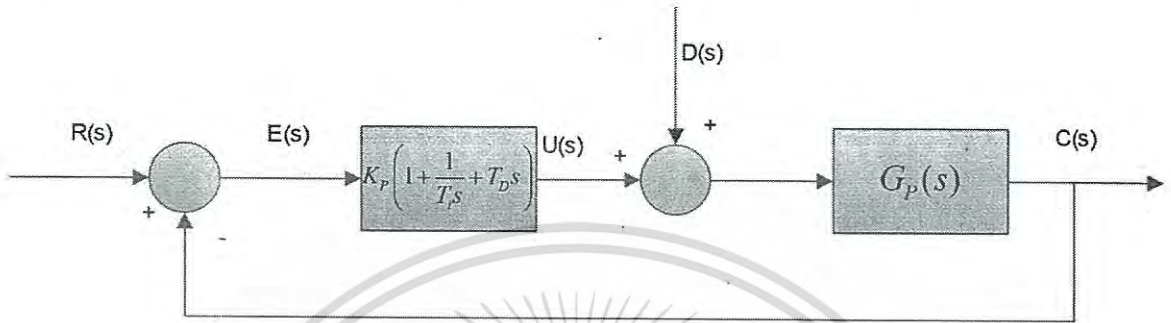
โดยที่ K_p เป็นค่าของ Proportional Sensitivity หรือ Gain

T_D เป็นค่าของ Derivative Time

ข้อดีของการควบคุมแบบพีดีคือ เมื่อมีสัญญาณเข้าเป็นเชิงเส้น (Ramp) จะมีผลตอบสนองทางเวลาได้เปรียบกว่าการควบคุมแบบสัดส่วนเพียงอย่างเดียว

2.6.6 ทฤษฎีพื้นฐานการควบคุมพีไอดี

การควบคุมแบบพีไอดีนั้น ได้นำมาใช้เพื่อปรับปรุงระบบที่ต้องการควบคุมให้ระบบมีผลตอบสนองชั่วขณะให้ดีขึ้น พร้อมทั้งกับการทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น รูปแบบโดยทั่วไปของการควบคุมแบบพีไอดีสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.41 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบพีไอดี

จากโครงสร้างของระบบควบคุมพีไอดีแสดงได้ดังรูปที่ 2.12 นั้น จะมีสัญญาณควบคุมคือ

K_p คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบพี

K_i คือ อัตราขยายของตัวควบคุมไอซึ่งเท่ากับ $\frac{K_p}{T_i}$

K_d คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบดีซึ่งเท่ากับ $K_p T_d$

$E(s)$ คือ ค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณเข้ากับสัญญาณออก

ฟังก์ชันถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์คือ

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + k_d s \quad (2.21)$$

หรือ

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการออกแบบ

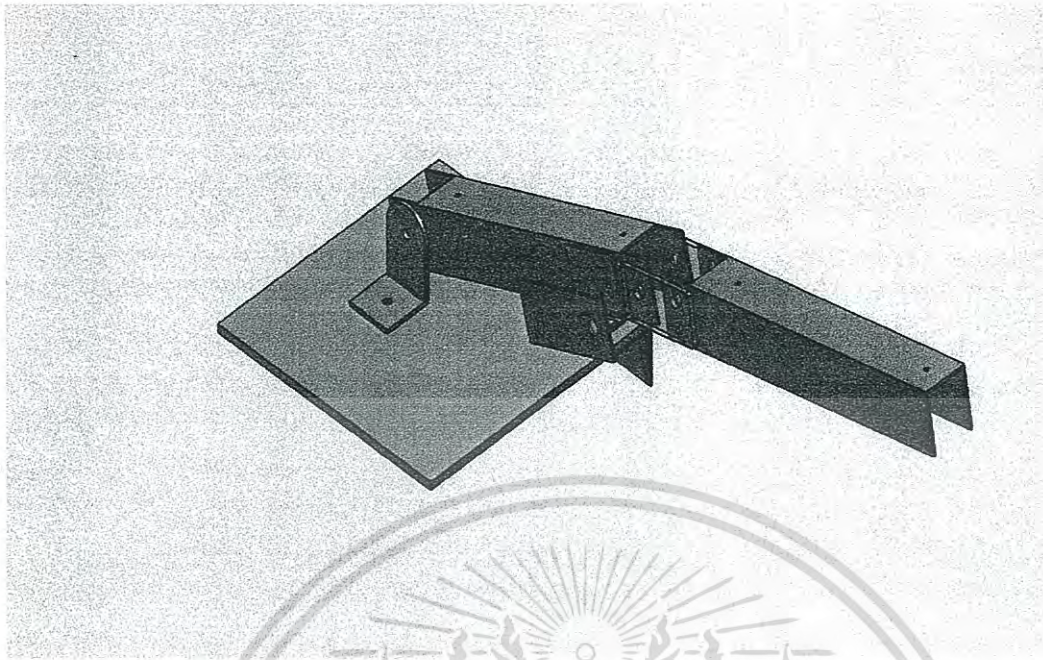
3.1 หลักการทำงานของระบบติดตามในระนาบ X-Y

เมื่อส่วนต้นแบบป้อนค่าเข้าไปในวงจร วงจรจะทำการเทียบค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมระหว่างมิโพนเทอติออมิเตอร์แบบเชิงมุม (Rotary Potentiometer) เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดตำแหน่งให้กับกระบวนการในการควบคุมส่วนติดตาม ซึ่งจะมีมิโพนเทอติออมิเตอร์แบบเชิงมุมอยู่ในทุกๆ ข้อต่อที่ส่วนต้นแบบกับส่วนติดตาม จากนั้นจะทำการปรับค่าให้ค่าความต่างศักย์ทั้ง 2 ตำแหน่งเท่ากัน โดยการหมุนมอเตอร์ไป โดยมีวงจรมอเตอร์กระแสตรงและมอเตอร์เซอร์โวเป็นตัวขับเคลื่อนในแต่ละข้อ วงจรขับเคลื่อน มอเตอร์เปรียบเทียบแรงดัน วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส และวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และวงจรขยายคลาสิค เพื่อให้สามารถควบคุมตำแหน่งของส่วนติดตามแต่ละข้อได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

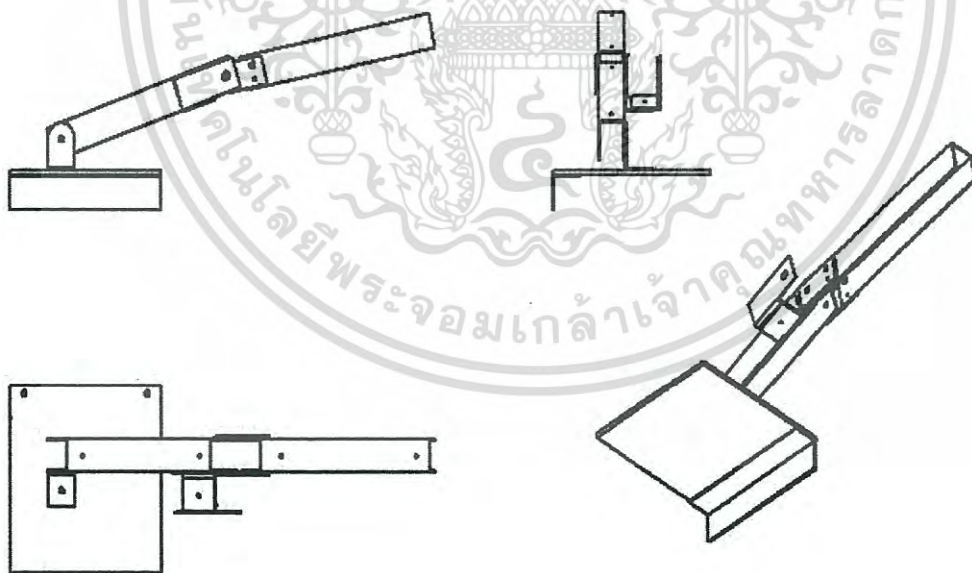
3.2 หลักการออกแบบชิ้นงาน

ในการจัดทำส่วนต้นแบบและส่วนติดตามถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญและต้องมีความแม่นยำเพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบในคอมพิวเตอร์เพื่อดูความเหมาะสมในการจัดทำส่วนต้นแบบและส่วนติดตาม โดยในโครงการนี้ได้ออกแบบโดยโปรแกรม solidwork 2008 สร้างชิ้นงานจำลองขึ้นมาเพื่อให้ขนาดที่แน่นอนและแม่นยำ ซึ่งจะส่งผลดีในการทำงานไม่ต้องทำงานซ้ำซ้อนหรืองานมีความผิดพลาดลดลง

โดยงานทั้งหมดมี 2 ส่วนคือ ส่วนต้นแบบและส่วนติดตาม



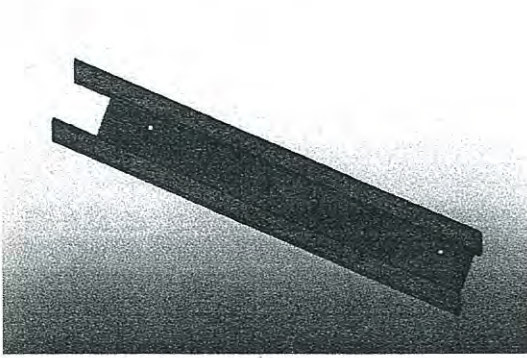
รูปที่ 3.1 ส่วนต้นแบบและส่วนติดตามที่ประกอบสมบูรณ์โดยใช้โปรแกรม Solidwork 2008



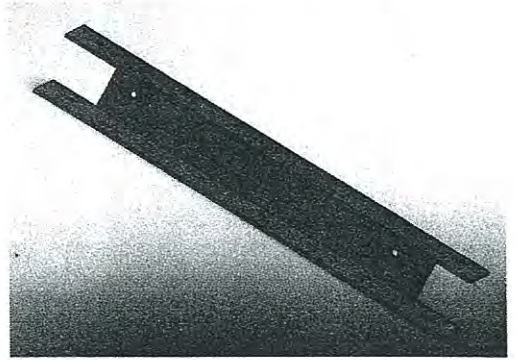
รูปที่ 3.2 drawing ส่วนต้นแบบและส่วนติดตามที่ประกอบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

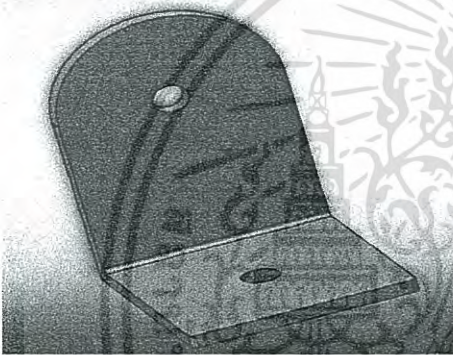
ส่วนต้นแบบกำหนดตำแหน่ง X-Y ประกอบด้วย



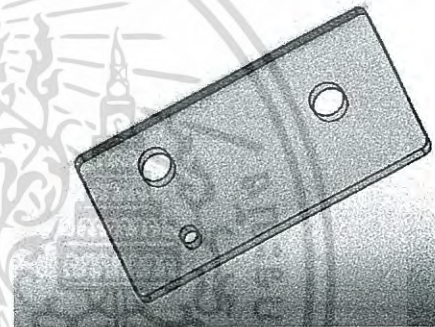
รูปที่ 3.3 อะลูมิเนียมท่อนบน



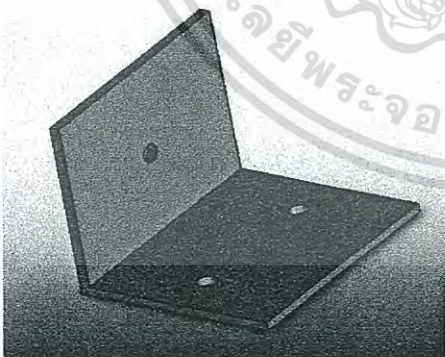
รูปที่ 3.4 อะลูมิเนียมท่อนล่าง



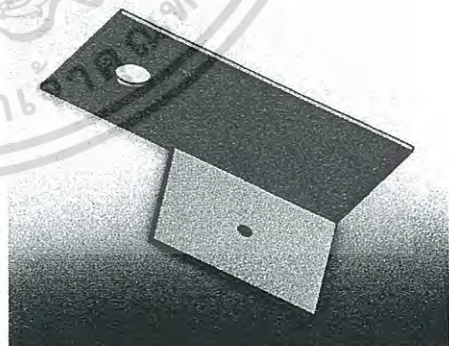
รูปที่ 3.5 ที่ยึดแขน



รูปที่ 3.6 ข้อต่อ

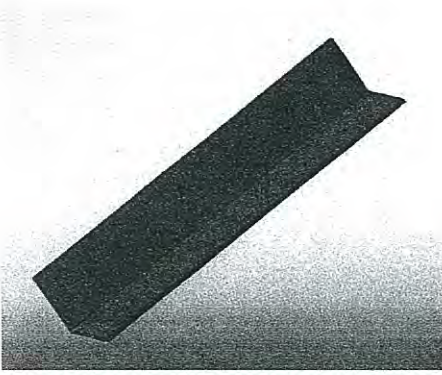


รูปที่ 3.7 ที่ยึด โฟเทนทืออิมิตเตอร์

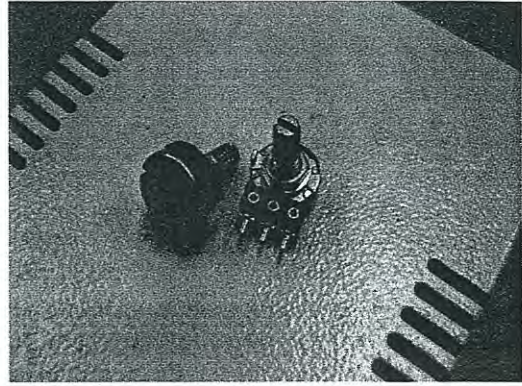


รูปที่ 3.8 ที่รอง โฟเทนทืออิมิตเตอร์

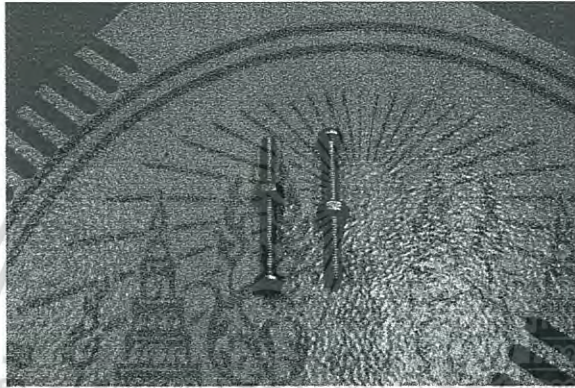
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



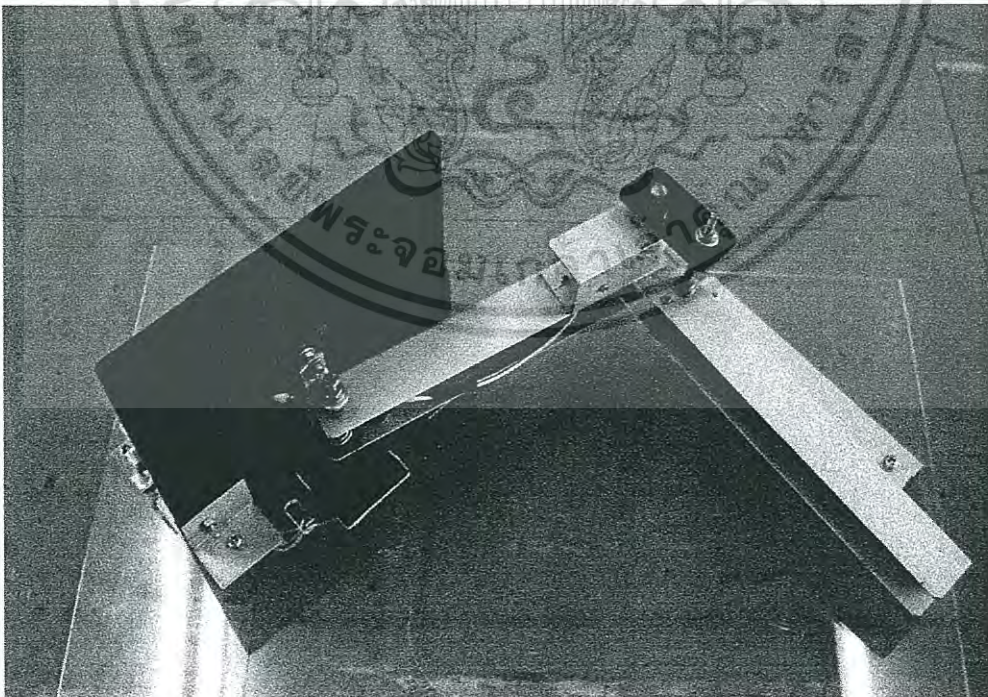
รูปที่ 3.9 ฐาน



รูปที่ 3.10 โปเทนทีออมิเตอร์ 1K



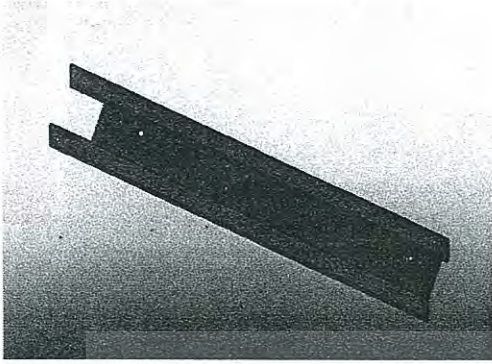
รูปที่ 3.11 น็อตตัวและฝู้น็อตตัวเมีย



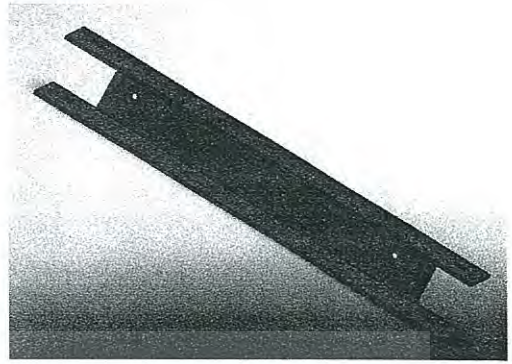
รูปที่ 3.12 ส่วนต้นแบบที่ประกอบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนติดตามประกอบด้วย



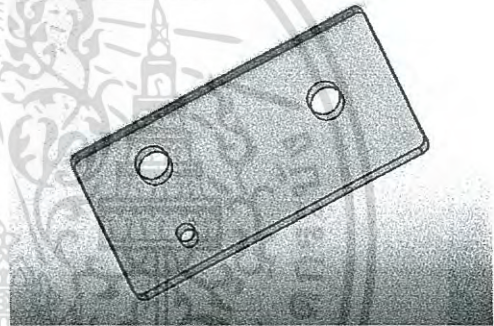
รูปที่ 3.13 อะลูมิเนียมท่อนบน



รูปที่ 3.14 อะลูมิเนียมท่อนล่าง



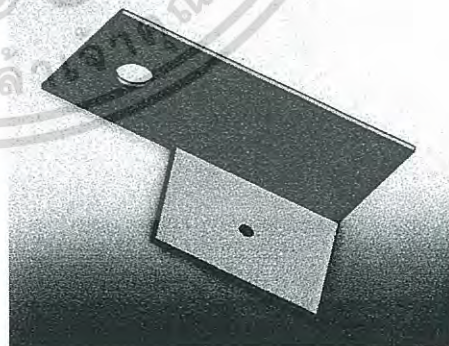
รูปที่ 3.15 ที่ยึดแขน



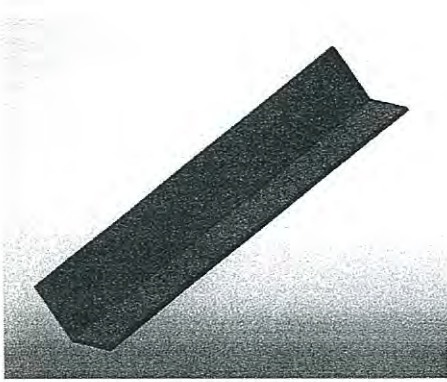
รูปที่ 3.16 ข้อต่อ



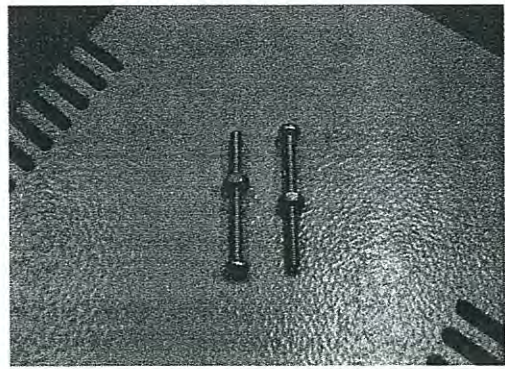
รูปที่ 3.17 ที่ยึด โพรบเทคโนมิเตอร์



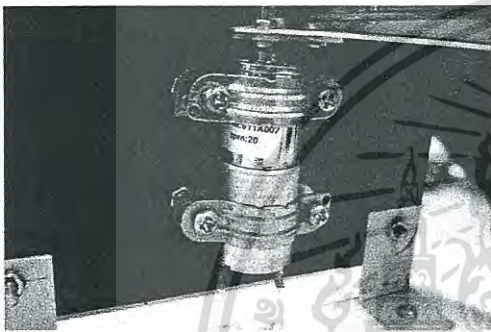
รูปที่ 3.18 ที่รอง โพรบเทคโนมิเตอร์



รูปที่ 3.19 ฐาน



รูปที่ 3.20 น็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย



รูปที่ 3.21 มอเตอร์กระแสตรง

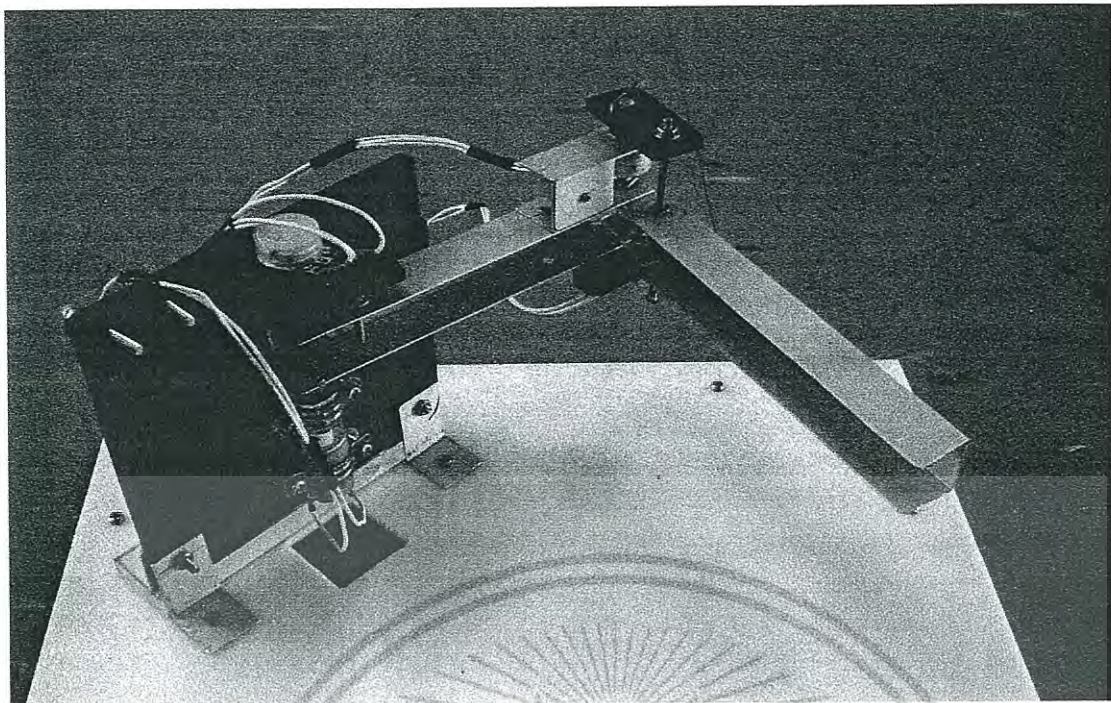


รูปที่ 3.22 โทเทนท์อิมิตเตอร์ 1K



รูปที่ 3.23 มอเตอร์เซอร์โว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

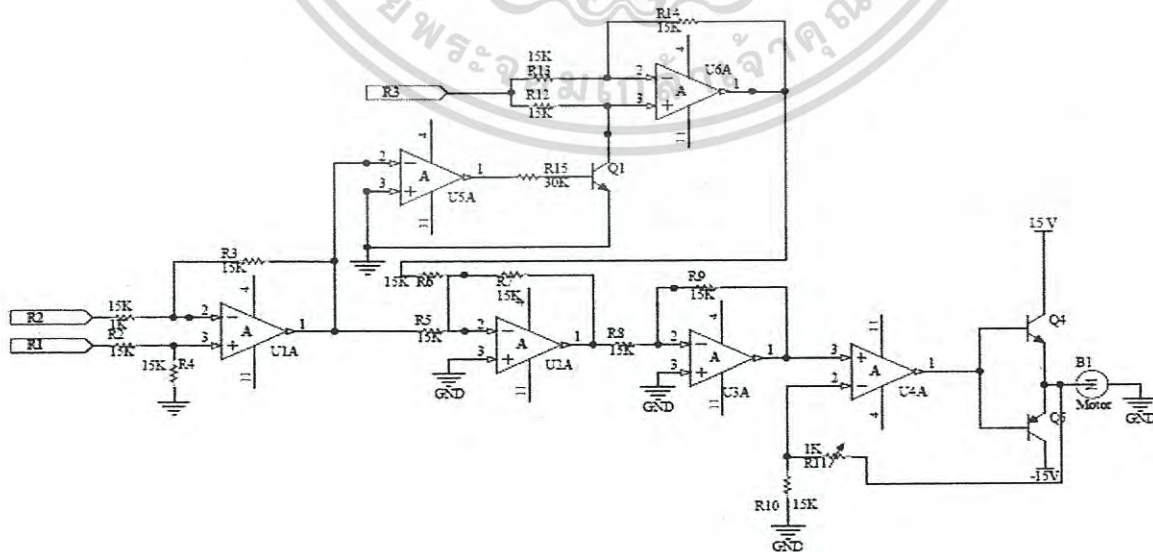


รูปที่ 3.24 ส่วนติดตามที่ประกอบสมบูรณ์

3.3 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของแขนกล

คณะผู้จัดทำโครงการได้ออกแบบลายวงจร โดยใช้โปรแกรม Altium design ซึ่งได้ดังรูปที่

3.25



รูปที่ 3.25 วงจรที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจะทำงานโดยมี วงจรที่1 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดย จะเปรียบเทียบแรงดันระหว่างขา อินพุตบวกและอินพุตลบ ซึ่งรับค่ามาจากโพเทนทิอิมิเตอร์ที่แขนอินพุตและแขนเอาต์พุต โดยมี สูตรคำนวณดังนี้

$$e_0 = (R_f/R_i) (e_{in+} - e_{in-}) \quad ; R_f/R_i = 1 \quad (3.1)$$

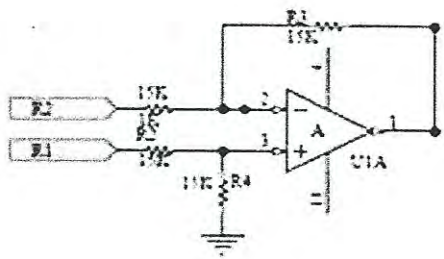
และนำ e_0 ที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์กับground เพื่อพิจารณาว่าค่าความต่างศักย์ที่มาจาก Op-Amp ตัวแรกนั้นมีค่าอยู่ในช่วงบวกหรือช่วงลบ และนำไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ แบบ NPN ซึ่งจะทำงานเมื่อแรงดันขาBมากกว่าแรงดันขาC ดังนั้นจากวงจรทรานซิสเตอร์จะทำงาน เมื่อ e_0 มีค่าเป็นบวก มีผลทำให้วงจรที่3เป็นวงจร Inverting amplifier โดยจะทำการกลับเฟสค่า ความต่างศักย์offset คำนวณได้จาก

$$e_0 = (-R_2/R_1) e_{offset} \quad ; (-R_2/R_1) = 1 \quad (3.2)$$

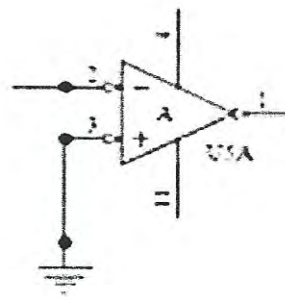
เพื่อนำไปเข้าวงจรรวมสัญญาณในวงจรที่4 และเนื่องจากวงจรรวมสัญญาณจะทำการกลับเฟส แรงดันด้วยจึงต้องนำไปเข้าวงจร Inverting amplifier อีกครั้ง และใช้วงจร Non- inverting amplifier ในการปรับค่าGain ซึ่งสามารถคำนวณเอาต์พุตจาก

$$e_0 = (1+(R_2/R_1))e_i \quad (3.3)$$

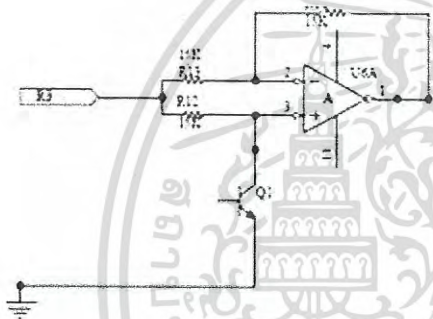
และนำเอาต์พุตที่ได้ไปใช้ใน เพื่อขับมอเตอร์ โดยมีสัญญาณป้อนกลับเพื่อให้วงจรมีประสิทธิภาพ มากขึ้น



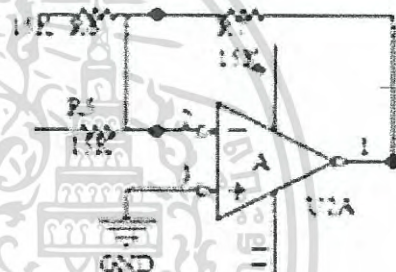
รูปที่ 3.26 วงจรที่ 1



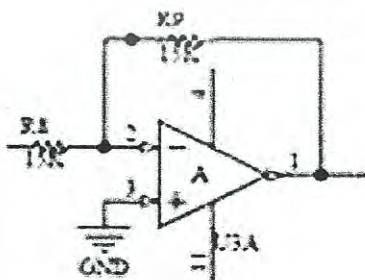
รูปที่ 3.27 วงจรที่ 2



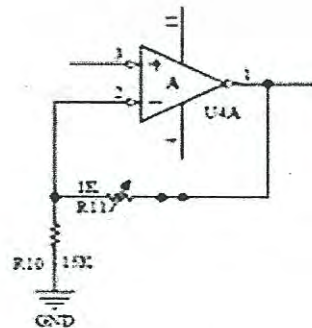
รูปที่ 3.28 วงจรที่ 3



รูปที่ 3.29 วงจรที่ 4



รูปที่ 3.30 วงจรที่ 5



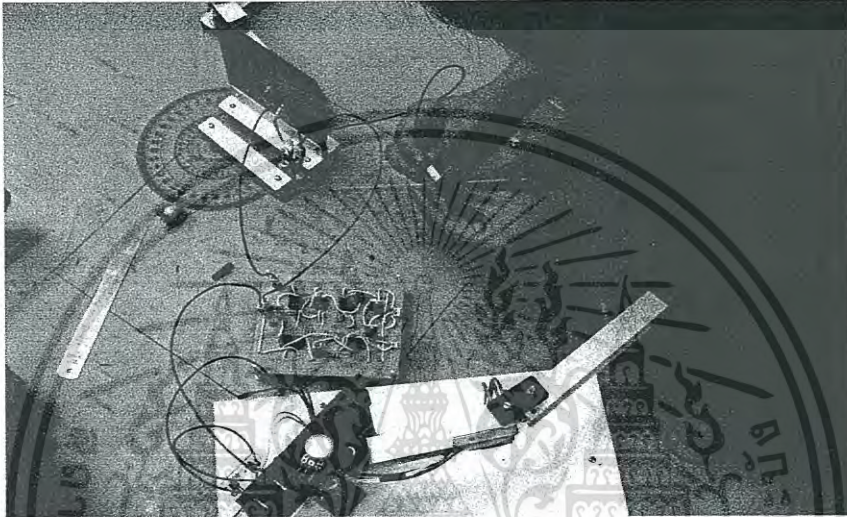
รูปที่ 3.31 วงจรที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 การติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์



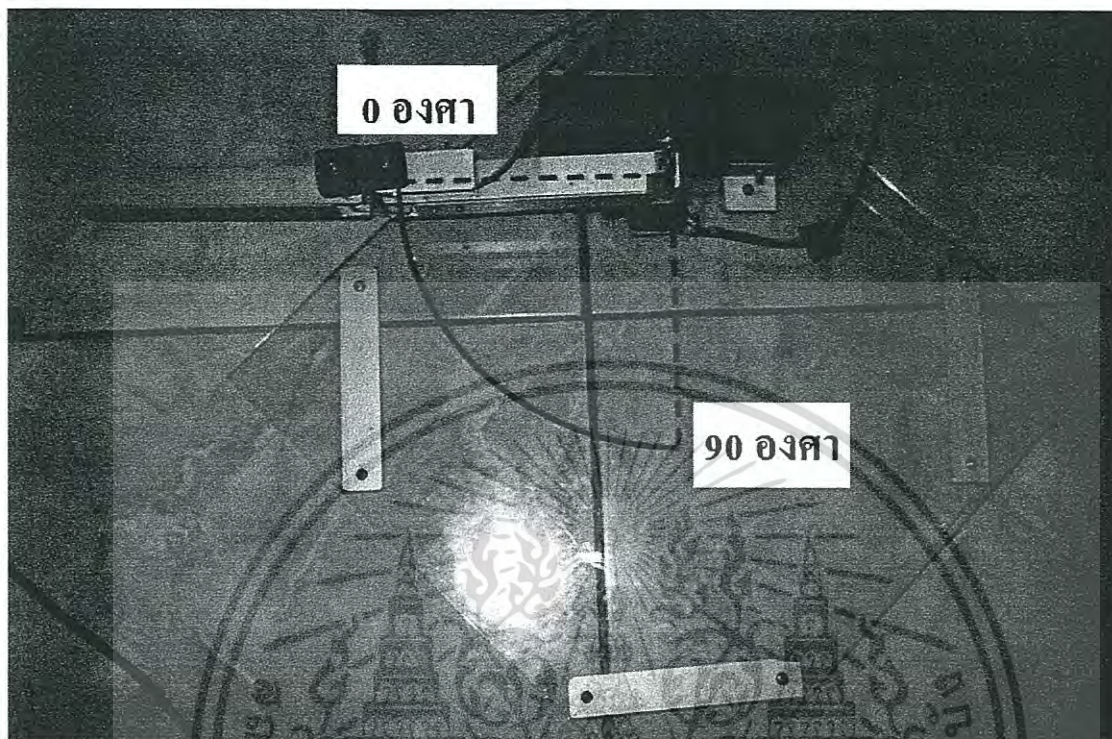
รูปที่ 4.1 การติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในโครงการนี้ได้ทำการทดลอง 2 การทดลอง โดยในการทดลองที่ 1 เป็นการวัดส่วน
ต้นแบบที่เปลี่ยนองศาตั้งแต่ 0 – 90 องศา เทียบกับค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปที่วัดได้จาก
โพเทนทิออมิเตอร์ ส่วนในการทดลองที่ 2 เป็นการวัดส่วนติดตามเมื่อให้ส่วนแม่แบบเคลื่อนที่
ตั้งแต่ 0 – 90 องศา เปรียบเทียบกับส่วนติดตามที่เคลื่อนที่ไปได้

4.2.1 การทดลองที่ 1

ในการทดลองนี้เราให้ค่าเริ่มต้นจากฝั่งซ้าย เป็น 0 องศา ไปจนถึงฉาก 90 องศา ดังรูปที่ 4.2

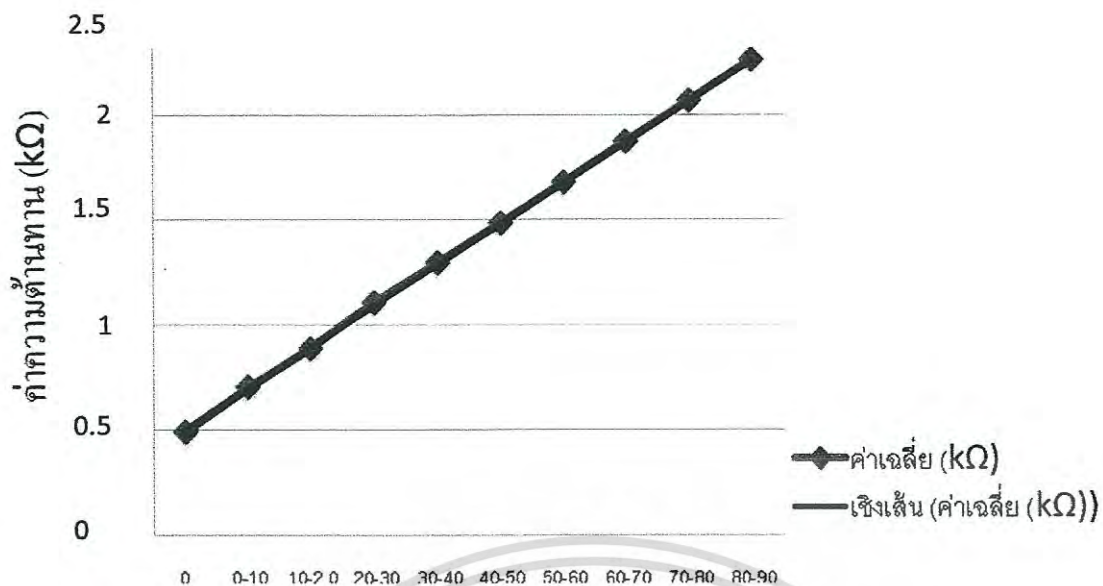


รูปที่ 4.2 การวัดค่าส่วนต้นแบบที่ข้อล่าง

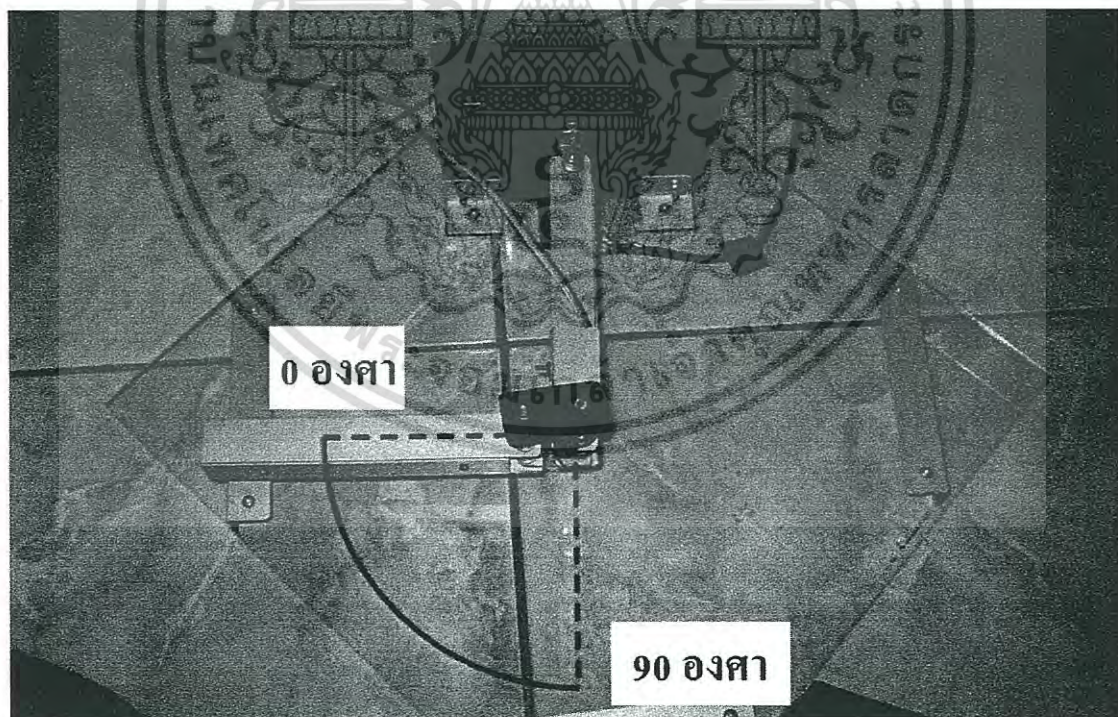
ตารางที่ 4.1 การทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ตัวกลางจาก 0 - 90 องศา

| องศาที่ เปลี่ยน แปลง (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 1 ($k\Omega$) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 2 ($k\Omega$) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 3 ($k\Omega$) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 4 ($k\Omega$) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 5 ($k\Omega$) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 6 ($k\Omega$) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 7 ($k\Omega$) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 8 ($k\Omega$) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 9 ($k\Omega$) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 10 ($k\Omega$) | ค่าความ ต้านทาน เฉลี่ย ($k\Omega$) |
|--------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|
| 0 | 0.50 | 0.49 | 0.48 | 0.48 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.48 | 0.50 | 0.489 |
| 0 - 10 | 0.72 | 0.72 | 0.70 | 0.71 | 0.70 | 0.68 | 0.70 | 0.68 | 0.71 | 0.70 | 0.702 |
| 10 - 20 | 0.84 | 0.89 | 0.90 | 0.90 | 0.89 | 0.89 | 0.90 | 0.87 | 0.90 | 0.90 | 0.888 |
| 20 - 30 | 1.14 | 1.12 | 1.11 | 1.12 | 1.11 | 1.07 | 1.06 | 1.08 | 1.10 | 1.13 | 1.104 |
| 30 - 40 | 1.25 | 1.30 | 1.29 | 1.32 | 1.32 | 1.29 | 1.26 | 1.29 | 1.32 | 1.30 | 1.294 |
| 40 - 50 | 1.43 | 1.51 | 1.50 | 1.51 | 1.49 | 1.49 | 1.44 | 1.48 | 1.51 | 1.47 | 1.483 |
| 50 - 60 | 1.63 | 1.70 | 1.70 | 1.71 | 1.64 | 1.70 | 1.63 | 1.66 | 1.72 | 1.66 | 1.675 |
| 60 - 70 | 1.83 | 1.89 | 1.90 | 1.88 | 1.83 | 1.88 | 1.82 | 1.88 | 1.89 | 1.89 | 1.869 |
| 70 - 80 | 2.04 | 2.07 | 2.08 | 2.08 | 2.04 | 2.07 | 2.04 | 2.07 | 2.08 | 2.08 | 2.065 |
| 80-90 | 2.25 | 2.26 | 2.26 | 2.26 | 2.24 | 2.26 | 2.24 | 2.25 | 2.31 | 2.26 | 2.259 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงค่าความต้านทานตัวถังที่เปลี่ยนแปลงไป จาก 0 – 90 องศา

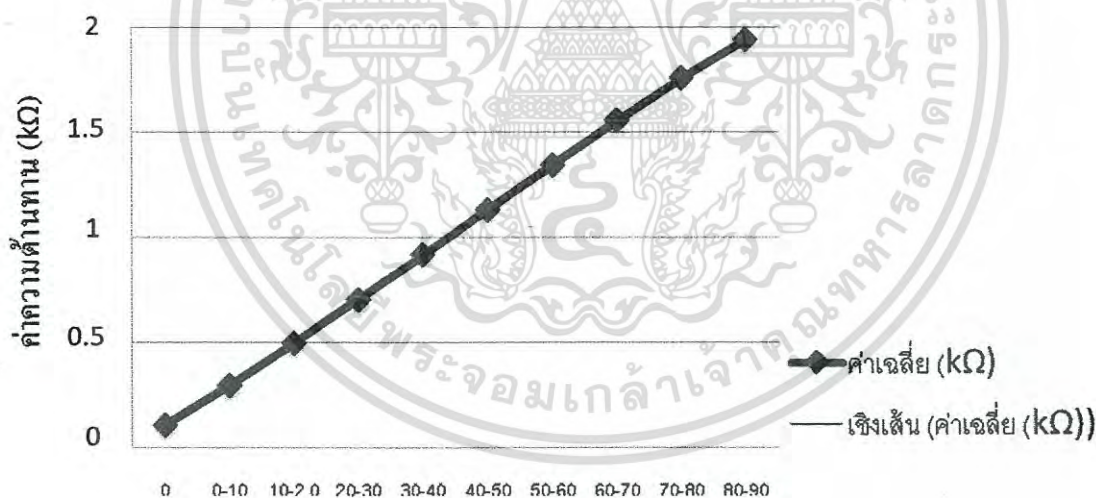


รูปที่ 4.4 การวัดค่าส่วนต้นแบบที่ข้อบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ตัวบนจาก 0 – 90 องศา

| องศาที่ เปลี่ยน แปลง (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 1 (kΩ) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 2 (kΩ) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 3 (kΩ) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 4 (kΩ) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 5 (kΩ) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 6 (kΩ) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 7 (kΩ) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 8 (kΩ) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 9 (kΩ) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 10 (kΩ) | ค่าความ ต้านทาน เฉลี่ย (kΩ) |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------------------------|
| 0 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.12 | 0.106 |
| 0 - 10 | 0.27 | 0.30 | 0.30 | 0.33 | 0.28 | 0.30 | 0.26 | 0.31 | 0.28 | 0.31 | 0.294 |
| 10 - 20 | 0.48 | 0.50 | 0.47 | 0.54 | 0.47 | 0.49 | 0.44 | 0.51 | 0.54 | 0.51 | 0.495 |
| 20 - 30 | 0.73 | 0.71 | 0.70 | 0.78 | 0.69 | 0.68 | 0.66 | 0.71 | 0.71 | 0.69 | 0.706 |
| 30 - 40 | 0.90 | 0.90 | 0.93 | 1.00 | 0.88 | 0.89 | 0.90 | 0.92 | 0.93 | 0.90 | 0.915 |
| 40 - 50 | 1.14 | 1.15 | 1.11 | 1.19 | 1.06 | 1.15 | 1.11 | 1.14 | 1.12 | 1.12 | 1.129 |
| 50 - 60 | 1.35 | 1.36 | 1.34 | 1.40 | 1.28 | 1.34 | 1.32 | 1.36 | 1.32 | 1.36 | 1.34 |
| 60 - 70 | 1.58 | 1.60 | 1.55 | 1.60 | 1.51 | 1.51 | 1.53 | 1.59 | 1.53 | 1.55 | 1.555 |
| 70 - 80 | 1.77 | 1.79 | 1.75 | 1.79 | 1.72 | 1.75 | 1.72 | 1.78 | 1.75 | 1.77 | 1.759 |
| 80-90 | 1.98 | 1.96 | 1.93 | 1.96 | 1.90 | 1.93 | 1.90 | 1.96 | 1.92 | 1.95 | 1.939 |



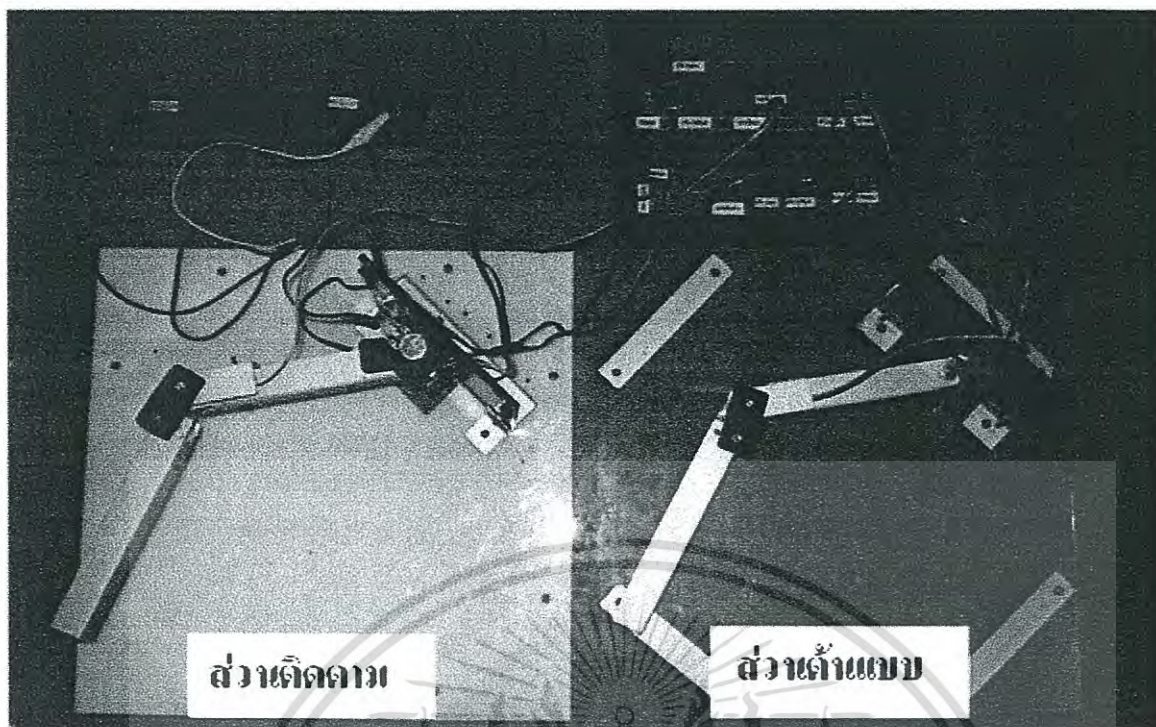
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความต้านทานตัวบนที่เปลี่ยนแปลงไป จาก 0 – 90 องศา

4.2 การทดลองที่ 2

ในการทดลองที่สองนี้ วัดตำแหน่งของส่วนติดตามเปรียบเทียบกับตำแหน่งของส่วน

ต้นแบบตั้งแต่ 0 – 90 องศา ดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

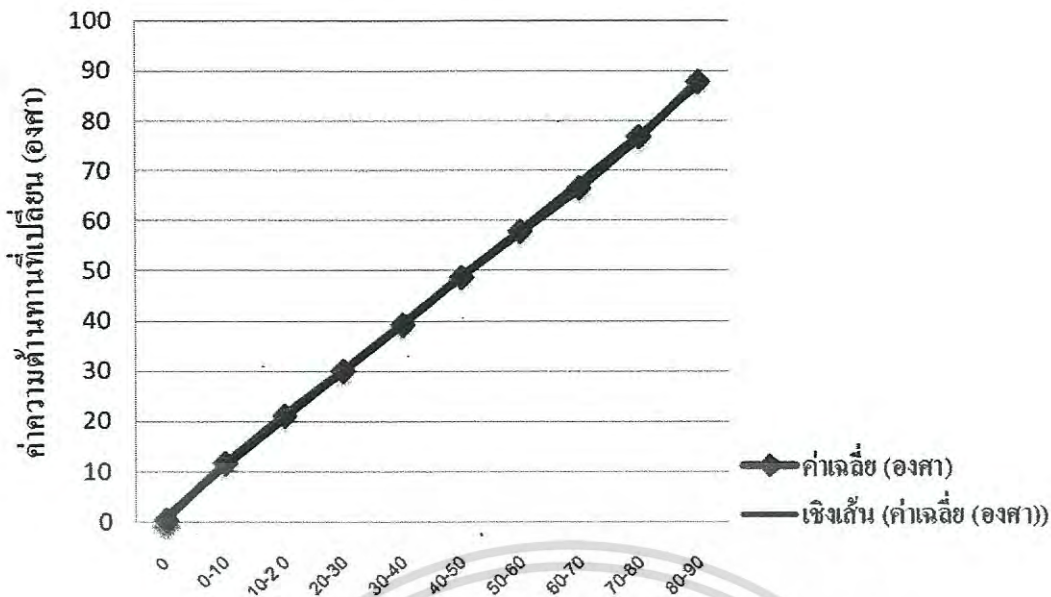


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างตำแหน่งการเคลื่อนที่ส่วนต้นแบบและส่วนติดตามเปรียบเทียบกันทั้งข้อบนและล่าง

ตารางที่ 4.3 การทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวบนที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา

| ค่าความ ด้าน เปลี่ยนแ ปลง (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 1 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 2 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 3 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 4 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 5 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 6 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 7 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 8 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 9 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 10 (องศา) | ค่าความ ด้านทาน เฉลี่ย (องศา) |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.5 |
| 0-10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 9 | 10 | 8 | 8 | 9 | 9.5 |
| 10-20 | 18 | 24 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 19 | 22 | 18 | 20.1 |
| 20-30 | 29 | 33 | 30 | 28 | 30 | 28 | 28 | 27 | 30 | 30 | 29.3 |
| 30-40 | 39 | 42 | 38 | 39 | 38 | 40 | 40 | 40 | 41 | 37 | 39.4 |
| 40-50 | 50 | 52 | 49 | 50 | 50 | 48 | 50 | 50 | 50 | 49 | 49.8 |
| 50-60 | 60 | 63 | 60 | 58 | 60 | 60 | 60 | 58 | 62 | 58 | 59.9 |
| 60-70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 69 | 69 | 71 | 70 | 70 | 70 | 69.9 |
| 70-80 | 79 | 80 | 81 | 79 | 79 | 80 | 80 | 78 | 80 | 78 | 79.4 |
| 80-90 | 90 | 90 | 92 | 87 | 90 | 87 | 90 | 91 | 90 | 89 | 89.6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

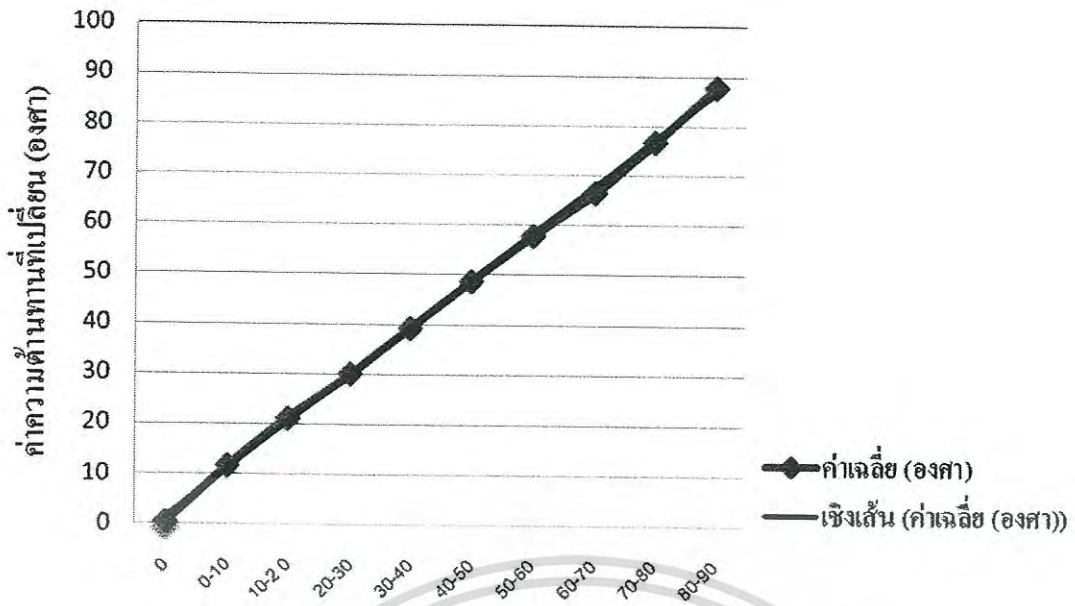


รูปที่ 4.7 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวบนที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา

ตารางที่ 4.4 การทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวล่างที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา

| ค่าความ ด้าน เปลี่ยนแ ปลง (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 1 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 2 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 3 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 4 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 5 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 6 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 7 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 8 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 9 (องศา) | ค่าที่ อ่านได้ ครั้งที่ 10 (องศา) | ค่าความ ด้านทาน เฉลี่ย (องศา) |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 |
| 0 - 10 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 12 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11.6 |
| 10 - 20 | 21 | 21 | 22 | 21 | 22 | 23 | 20 | 20 | 20 | 21 | 21.1 |
| 20 - 30 | 30 | 30 | 31 | 30 | 31 | 30 | 30 | 30 | 29 | 29 | 30 |
| 30 - 40 | 39 | 39 | 38 | 41 | 41 | 40 | 39 | 40 | 39 | 37 | 39.3 |
| 40 - 50 | 49 | 48 | 49 | 48 | 49 | 51 | 47 | 49 | 50 | 48 | 48.8 |
| 50 - 60 | 58 | 56 | 58 | 57 | 60 | 58 | 56 | 58 | 58 | 59 | 57.8 |
| 60 - 70 | 68 | 66 | 66 | 65 | 68 | 66 | 66 | 66 | 67 | 67 | 66.5 |
| 70 - 80 | 79 | 75 | 78 | 76 | 77 | 78 | 77 | 76 | 76 | 75 | 76.7 |
| 80-90 | 89 | 87 | 89 | 88 | 88 | 87 | 88 | 88 | 88 | 87 | 87.9 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวล่างที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการชิ้นนี้ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการติดตามในระนาบ X,Y โดยการควบคุมแบบวงปิด เมื่อเราขยับส่วนต้นแบบ จะทำให้ค่าความต้านทานด้านอินพุตเปลี่ยนไป ส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมค่าความต้านทานเปลี่ยนไปตาม และนำค่าความต่างศักย์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับโพเทนทิอوميเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ที่ส่วนติดตาม เพื่อนำค่าความต่างของค่าความต่างศักย์ไปใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับ ส่งให้กับส่วนขั้วมอเตอร์ ส่งผลให้มอเตอร์หมุนเพื่อเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมโพเทนทิอوميเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ เมื่อค่าความต่างศักย์ของส่วนติดตามทางด้านต้นแบบและเซนเซอร์เท่ากัน มอเตอร์จะหยุดหมุน ซึ่งจะทำให้ส่วนติดตามมีตำแหน่งที่ตรงกับส่วนต้นแบบ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. โพเทนทิอوميเตอร์แต่ละตัว มีค่าความเป็นเชิงเส้นไม่เท่ากันทำให้เกิดค่าผิดพลาดในการเปรียบเทียบตำแหน่ง
2. เมื่อทำการทดลอง ส่วนติดตามเกิดการสั่นเมื่อเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งเดียวกับส่วนต้นแบบ ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจาก steady stage error ของวงจรควบคุม
3. เมื่อทำการทดลององศาที่ได้ทำการวัดโดยสายตาของผู้ทำการทดลองเกิดค่าคลาดเคลื่อน
4. โพเทนทิอوميเตอร์ ที่ใช้ไม่สามารถทนรับกระแสที่มากในวงจรได้

5.3 แนวทางการแก้ไข

1. เลือกใช้โพเทนทิอوميเตอร์ที่มีช่วงค่าความเป็นเชิงเส้นใกล้เคียงกันให้มากที่สุด
2. ปรับค่า offset และ ค่า gain ให้เหมาะสมกับมอเตอร์ที่ใช้
3. ทำการทดลองหลายๆครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

5.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. สามารถนำความรู้และประสบการณ์มาประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง
2. ฝึกและเรียนรู้หาความรู้ใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้ในการทำงาน
3. สามารถทำงานเป็นทีมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
4. ฝึกกระบวนการคิดความคิดในการทำงาน
5. รู้จักแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.5 แนวทางการพัฒนา

เราสามารถพัฒนาโครงการนี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้โดยการ

1. เพิ่มจำนวนระนาบจาก X-Y เป็นระนาบ X-Y-Z
2. พัฒนาระบบควบคุมไปใช้ตัวควบคุมแบบPID
3. เพิ่มการแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

1. คู่มือการใช้งาน ทรานซิสเตอร์



TIP29A/29C
TIP30A/30C

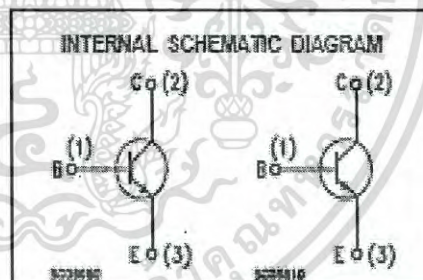
COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES
- COMPLEMENTARY PNP - NPN DEVICES

DESCRIPTION

The TIP29A and TIP29C are silicon Epitaxial-Base NPN power transistors mounted in Jedec TO-220 plastic package. They are intended for use in medium power linear and switching applications.

The complementary PNP types are TIP30A and TIP30C respectively.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | Value | | Unit | |
|-----------|---|-------|------------|------|------------------|
| | | NPN | TIP28A | | TIP29C |
| V_{CB0} | Collector-Base Voltage ($I_E = 0$) | | 60 | 100 | V |
| V_{CE0} | Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$) | | 60 | 100 | V |
| V_{EB0} | Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$) | | 5 | | V |
| I_C | Collector Current | | 1 | | A |
| I_{CM} | Collector Peak Current | | 3 | | A |
| I_B | Base Current | | 0.4 | | A |
| P_{tot} | Total Dissipation at $T_{case} \leq 25^\circ\text{C}$ | | 30 | | W |
| | $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$ | | 2 | | W |
| T_{stg} | Storage Temperature | | -65 to 150 | | $^\circ\text{C}$ |
| T_J | Max. Operating Junction Temperature | | 150 | | $^\circ\text{C}$ |

For PNP types voltage and current values are negative.

January 2000

1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP29A / TIP29C / TIP30A / TIP30C

THERMAL DATA

| | | | | |
|------------------|-------------------------------------|-----|------|-----------------------------|
| $R_{\theta j-c}$ | Thermal Resistance Junction-case | Max | 4.17 | $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ |
| $R_{\theta j-a}$ | Thermal Resistance Junction-ambient | Max | 62.5 | $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{\text{case}} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

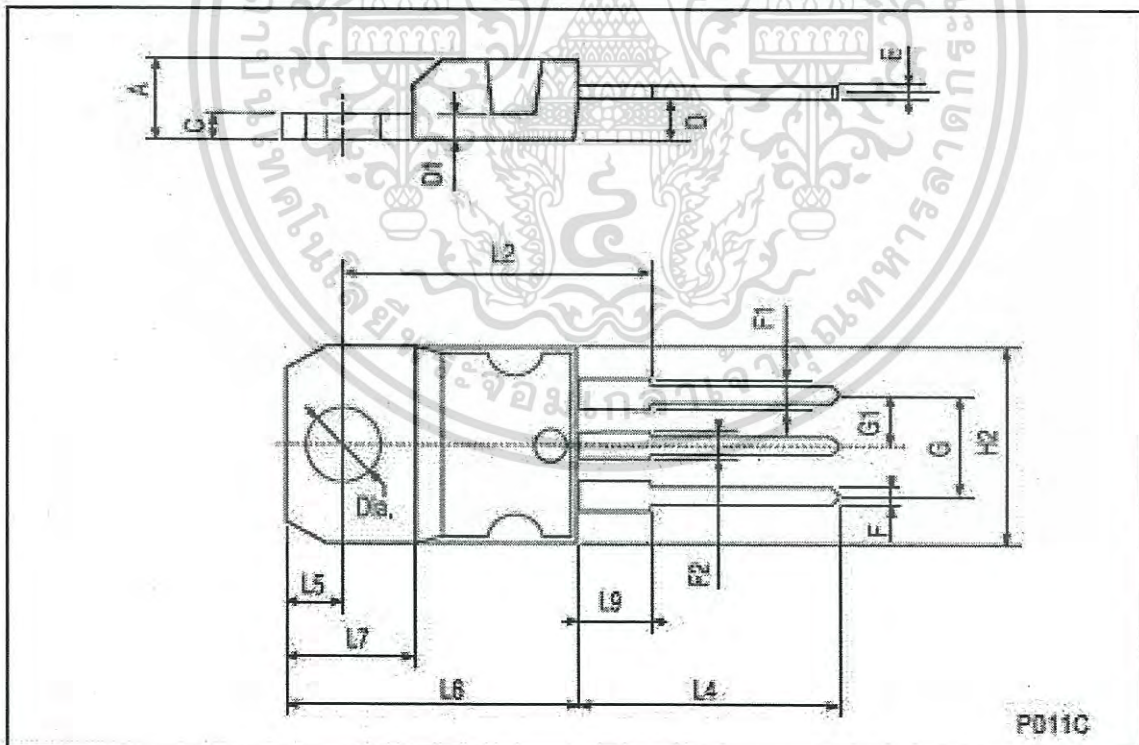
| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|------------------------|---|--|-----------|------|------------|----------|
| I_{CEO} | Collector Cut-off Current ($I_{\text{B}} = 0$) | for TIP29A/30A for TIP29C/30C $V_{\text{CE}} = 30\text{ V}$ $V_{\text{CE}} = 60\text{ V}$ | | | 0.3 0.3 | mA mA |
| I_{CES} | Collector Cut-off Current ($V_{\text{BE}} = 0$) | for TIP29A/30A for TIP29C/30C $V_{\text{CE}} = 60\text{ V}$ $V_{\text{CE}} = 100\text{ V}$ | | | 0.2 0.2 | mA mA |
| I_{EEO} | Emitter Cut-off Current ($I_{\text{C}} = 0$) | $V_{\text{EB}} = 5\text{ V}$ | | | 1 | mA |
| $V_{\text{CE(sus)}}^*$ | Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_{\text{B}} = 0$) | $I_{\text{C}} = 30\text{ mA}$ for TIP29A/30A for TIP29C/30C | 60 100 | | | V V |
| $V_{\text{CE(sat)}}^*$ | Collector-Emitter Saturation Voltage | $I_{\text{C}} = 1\text{ A}$ $I_{\text{B}} = 125\text{ mA}$ | | | 0.7 | V |
| $V_{\text{BE(on)}}^*$ | Base-Emitter Voltage | $I_{\text{C}} = 1\text{ A}$ $V_{\text{CE}} = 4\text{ V}$ | | | 1.3 | V |
| β_{DC}^* | DC Current Gain | $I_{\text{C}} = 0.2\text{ A}$ $I_{\text{C}} = 1\text{ A}$ $V_{\text{CE}} = 4\text{ V}$ $V_{\text{CE}} = 4\text{ V}$ | 40 15 | | 75 | |
| β_{fe} | Small Signal Current Gain | $I_{\text{C}} = 0.2\text{ A}$ $I_{\text{C}} = 0.2\text{ A}$ $V_{\text{CE}} = 10\text{ V}$ $V_{\text{CE}} = 10\text{ V}$ $f = 1\text{ KHz}$ $f = 1\text{ MHz}$ | 20 3 | | | |

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle $\leq 2\%$
For PNP types voltage and current values are negative.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TO-220 MECHANICAL DATA

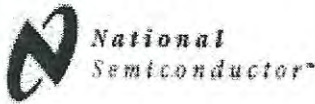
| DIM. | mm | | | Inch | | |
|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | MIN. | TYP. | MAX. | MIN. | TYP. | MAX. |
| A | 4.40 | | 4.60 | 0.173 | | 0.181 |
| C | 1.23 | | 1.32 | 0.048 | | 0.051 |
| D | 2.40 | | 2.72 | 0.094 | | 0.107 |
| D1 | | 1.27 | | | 0.050 | |
| E | 0.49 | | 0.70 | 0.019 | | 0.027 |
| F | 0.61 | | 0.88 | 0.024 | | 0.034 |
| F1 | 1.14 | | 1.70 | 0.044 | | 0.067 |
| F2 | 1.14 | | 1.70 | 0.044 | | 0.067 |
| G | 4.95 | | 5.15 | 0.194 | | 0.203 |
| G1 | 2.4 | | 2.7 | 0.094 | | 0.106 |
| H2 | 10.0 | | 10.40 | 0.393 | | 0.409 |
| L2 | | 16.4 | | | 0.645 | |
| L4 | 13.0 | | 14.0 | 0.511 | | 0.551 |
| L5 | 2.65 | | 2.95 | 0.104 | | 0.116 |
| L6 | 15.25 | | 15.75 | 0.600 | | 0.620 |
| L7 | 6.2 | | 6.6 | 0.244 | | 0.260 |
| L9 | 3.5 | | 3.93 | 0.137 | | 0.154 |
| DIA. | 3.75 | | 3.85 | 0.147 | | 0.151 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คู่มือการใช้งาน Op-Amp

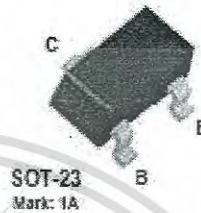
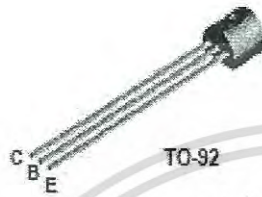
2N3904 / MMBT3904 / MMPQ3904 / PZT3904



Discrete Power & Signal
Technologies

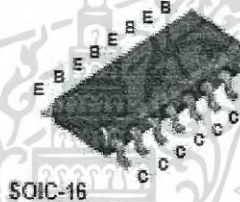
2N3904

MMBT3904



MMPQ3904

PZT3904



NPN General Purpose Amplifier

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier. Sourced from Process 23.

Absolute Maximum Ratings* TA = 25°C unless otherwise noted

| Symbol | Parameter | Value | Units |
|----------------|--|-------------|-------|
| V_{ce0} | Collector-Emitter Voltage | 40 | V |
| V_{cb0} | Collector-Base Voltage | 60 | V |
| V_{eb0} | Emitter-Base Voltage | 6.0 | V |
| I_c | Collector Current - Continuous | 200 | mA |
| T_j, T_{stg} | Operating and Storage Junction Temperature Range | -55 to +150 | °C |

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN General Purpose Amplifier (continued)

2N3904 / MMBT3904 / MMFQ3904 / PZT3904

Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min | Max | Units |
|----------------------------|-------------------------------------|--|-----|-----|-------|
| OFF CHARACTERISTICS | | | | | |
| $V_{(BR)CEO}$ | Collector-Emitter Breakdown Voltage | $I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 0$ | 40 | | V |
| $V_{(BR)CBO}$ | Collector-Base Breakdown Voltage | $I_C = 10 \text{ } \mu\text{A}, I_E = 0$ | 60 | | V |
| $V_{(BR)EBO}$ | Emitter-Base Breakdown Voltage | $I_E = 10 \text{ } \mu\text{A}, I_C = 0$ | 6.0 | | V |
| I_{BL} | Base Cutoff Current | $V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$ | | 50 | nA |
| I_{CCK} | Collector Cutoff Current | $V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 0$ | | 50 | nA |

ON CHARACTERISTICS*

| | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|--------------|---|
| β_{DC} | DC Current Gain | $I_C = 0.1 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 50 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 100 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ | 40 70 100 50 30 | 300 | |
| $V_{(CE)SAT}$ | Collector-Emitter Saturation Voltage | $I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$ | | 0.2 0.3 | V |
| $V_{(BE)SAT}$ | Base-Emitter Saturation Voltage | $I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$ | 0.65 | 0.85 0.95 | V |

SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

| | | | | | |
|-----------|----------------------------------|--|-----|-----|-----|
| f_T | Current Gain - Bandwidth Product | $I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 20 \text{ V},$ $f = 100 \text{ MHz}$ | 300 | | MHz |
| C_{out} | Output Capacitance | $V_{CE} = 5.0 \text{ V}, I_C = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$ | | 4.0 | pF |
| C_{in} | Input Capacitance | $V_{BE} = 0.5 \text{ V}, I_C = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$ | | 8.0 | pF |
| NF | Noise Figure (except MMFQ3904) | $I_C = 100 \text{ } \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V},$ $R_s = 1.0 \text{ k}\Omega, f = 10 \text{ Hz to } 15.7 \text{ kHz}$ | | 5.0 | dB |

SWITCHING CHARACTERISTICS (except MMFQ3904)

| | | | | | |
|-------|--------------|---|--|-----|----|
| t_d | Delay Time | $V_{CC} = 3.0 \text{ V}, V_{CE} = 0.5 \text{ V},$ | | 35 | ns |
| t_r | Rise Time | $I_C = 10 \text{ mA}, I_{B1} = 1.0 \text{ mA}$ | | 35 | ns |
| t_s | Storage Time | $V_{CC} = 3.0 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$ | | 200 | ns |
| t_f | Fall Time | $I_{B1} = I_{B2} = 1.0 \text{ mA}$ | | 50 | ns |

 *Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \text{ } \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 20\%$

Spice Model

NPN (Is=6.734f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=416.4 Ne=1.259 Ise=6.734 Ikt=66.78m Xlb=1.5 Br=7371 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rb=1 Cjc=3.636p Mjc=.3065 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.493p Mje=.2593 Vje=.75 Tr=239.5n Tf=301.2p Ite=4 Vte=4 Xtf=2 Rb=10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN General Purpose Amplifier

(continued)

Thermal Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

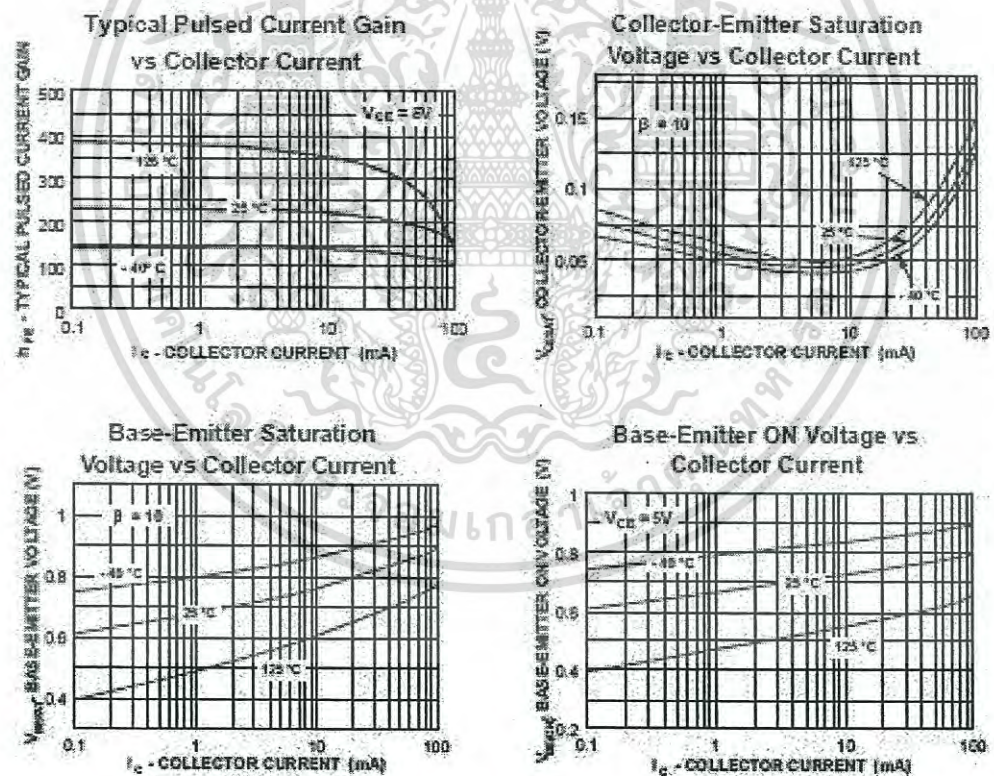
| Symbol | Characteristic | Max | | Units |
|------------------|---|--------|----------|-------|
| | | 2N3904 | *PZT3904 | |
| P _D | Total Device Dissipation Derate above 25°C | 625 | 1,000 | mW |
| | | 5.0 | 8.0 | mW/°C |
| R _{θJC} | Thermal Resistance, Junction to Case | 83.3 | | °C/W |
| R _{θJA} | Thermal Resistance, Junction to Ambient | 200 | 125 | °C/W |

| Symbol | Characteristic | Max | | Units |
|------------------|--|------------|----------|-------|
| | | **MMBT3904 | MMPQ3904 | |
| P _D | Total Device Dissipation Derate above 25°C | 350 | 1,000 | mW |
| | | 2.8 | 8.0 | mW/°C |
| R _{θJA} | Thermal Resistance, Junction to Ambient Effective 4 Die Each Die | 357 | | °C/W |
| | | | 125 | °C/W |
| | | | 240 | °C/W |

* Device mounted on FR-4 PCB 26 mm X 16 mm X 1.6 mm; mounting pad for the collector lead min. 8 mm².

** Device mounted on FR-4 PCB 1.5" X 1.6" X 0.06".

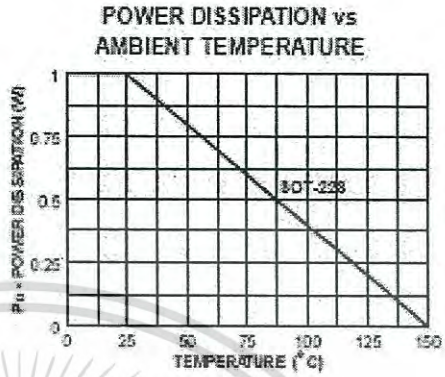
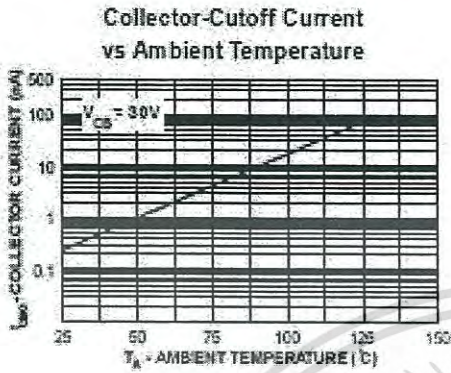
Typical Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN General Purpose Amplifier
(continued)

Typical Characteristics (continued)



Test Circuits

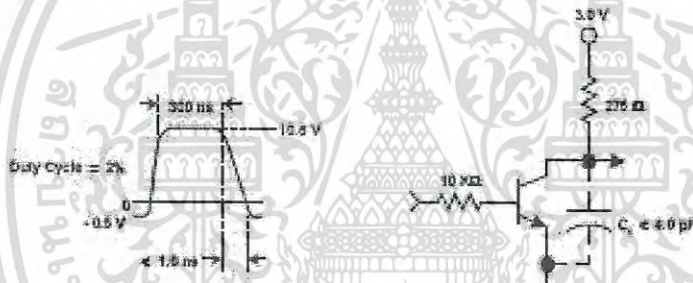


FIGURE 1: Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

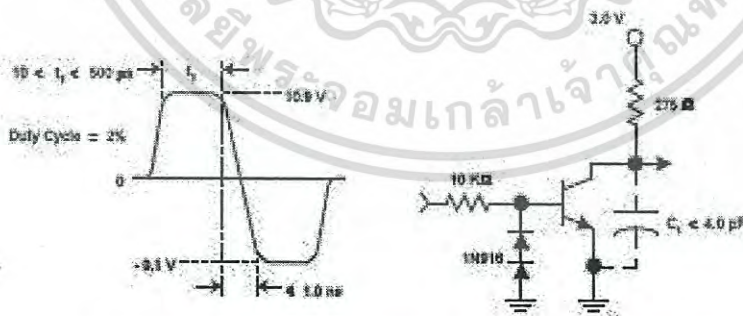
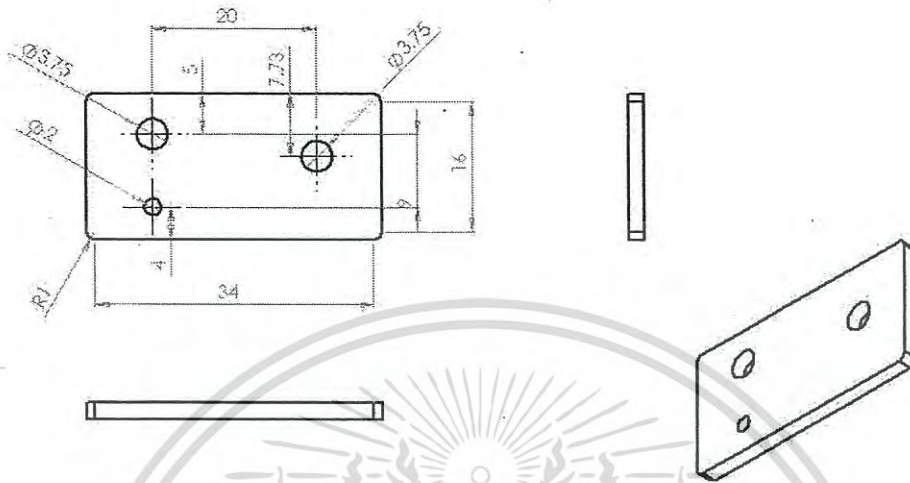


FIGURE 2: Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

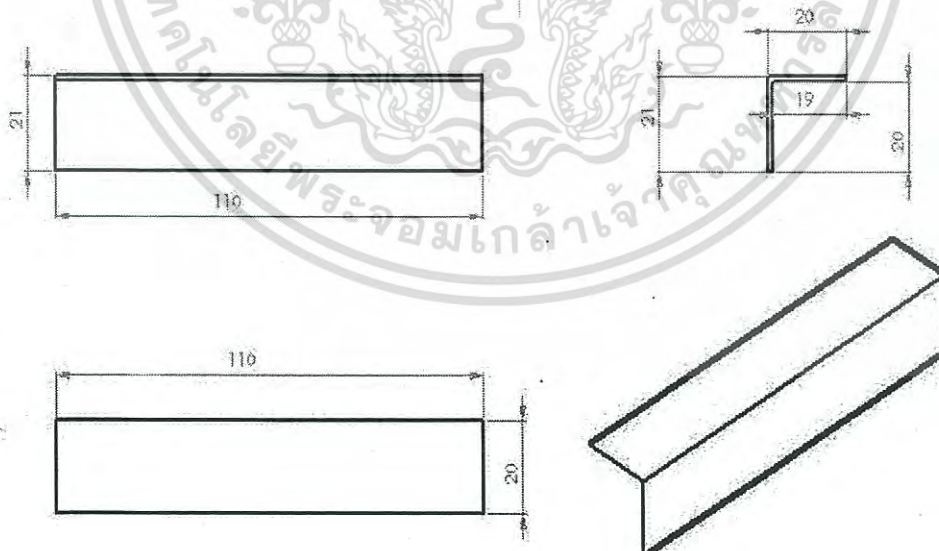
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.Drawing ของชิ้นงาน

3.1. Drawing ข้อต่อ

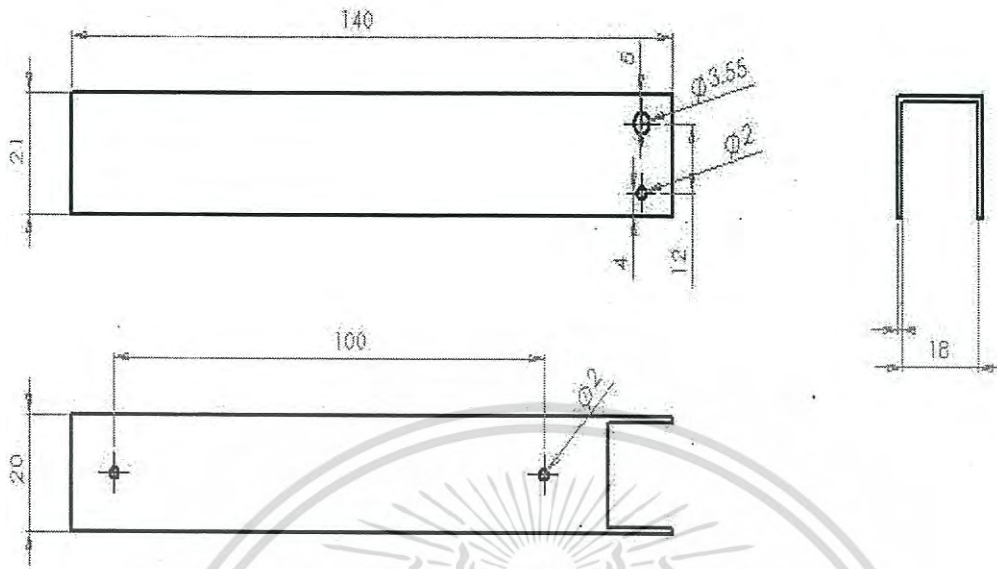


3.2 Drawing ขารอง

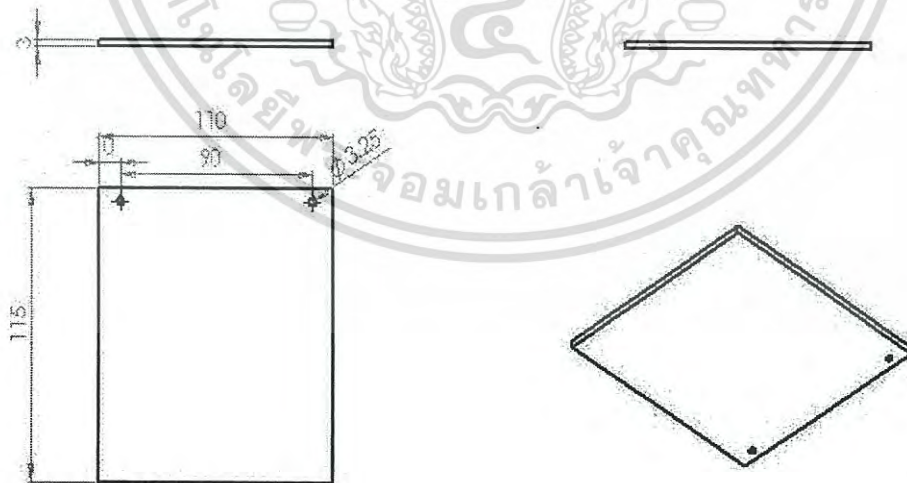


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Drawing ท่อนบน

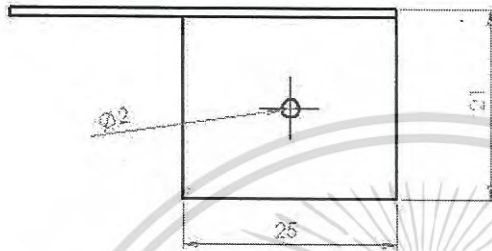
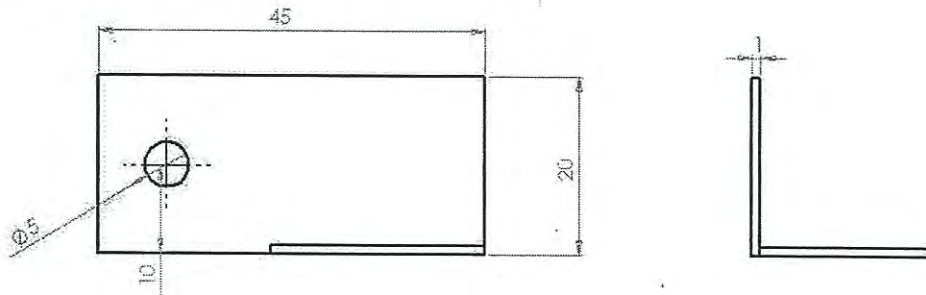


3.4 Drawing ฐาน

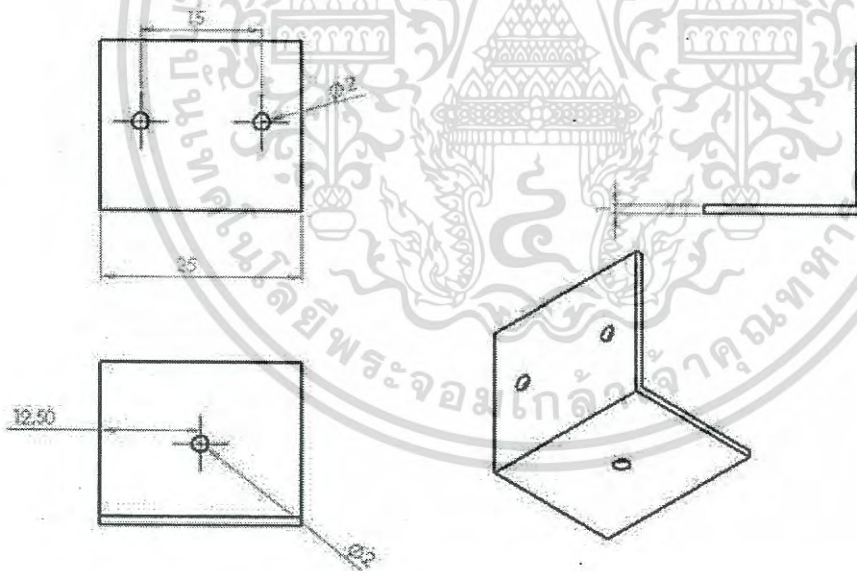


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 Drawing ที่รองโพเทนทีออมิเตอร์

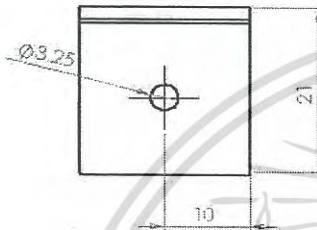
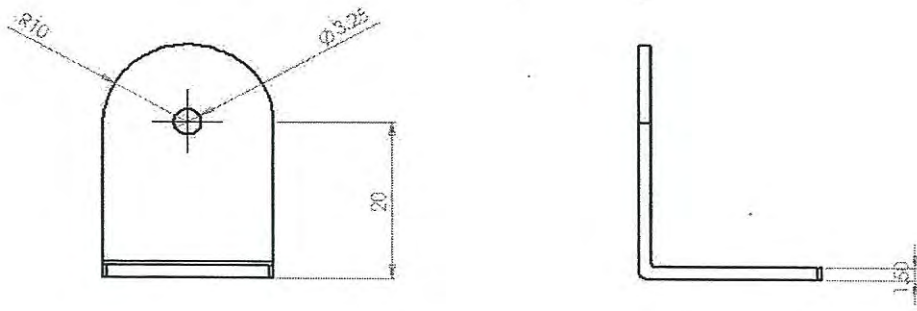


3.6 Drawing ที่ยึดโพเทนทีออมิเตอร์

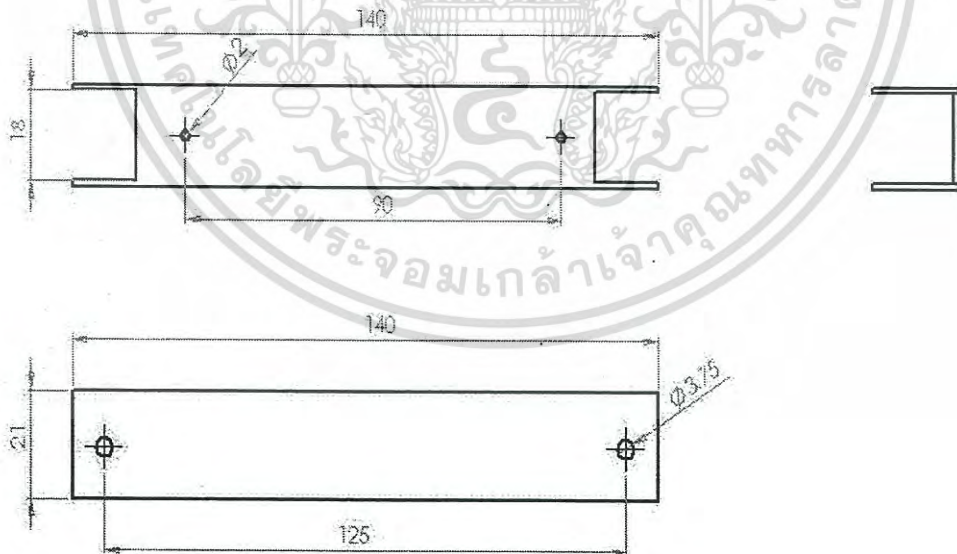


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 Drawing ที่ยึดแขน



3.8 Drawing ท่อนล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เกียรติศักดิ์ สกกุลพันธ์. Solid Work: Engineering Drawing Workshop. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ท็อป. 2548.
- [2] วัฒนาพงษ์ วิญญาวรณ, อาทร แก้วเจริญรุ่งเรือง. “แขนกล.” ปรินิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [3] ธนพงศ์ แสนแสง, นายนพพร เชื้อมสุวรรณ. “แขนกล.” ปรินิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [4] นายสัมพันธ์ วรรณวิไลรัตน์, นายสิทธิยา สุ่มใจยา, นายสุเมธ จิรรุ่งสกุลเรือง, นายสุระศักดิ์ โรจนรัตนพงศ์. “แขนกลคัดแยกวัตถุ.” ปรินิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้