

แขนกลตีช่องวงใหญ่

Robot Arms for "GONG WONG YAI"



โดย

นายอานัติ ชนะภัย

นางสาวอารัตติ นิมเสมอ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ถาวร เบญจนราสุทธิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขที่.....
เลขทะเบียน 45702
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

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

6/1/2544

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แขนกลดีดข้อวงใหญ่

ROBOT ARM FOR "GONG WONG YAI"

ผู้จัดทำ 1. นายอานัติ ชนะภัย

2. นางสาวอารัตติ นิยมเสมอ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ถาวร เบญจนาสุทธิ์)

แขนกลตีฆ้องวงใหญ่
ROBOT ARMS FOR "GONG WONG YAI"

โดย

นาย อาณัติ ชนะภักย์

นางสาว อารัติน นิยมเสมอ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ฤทธิ เบญจนาสุทธิ์

บทคัดย่อ

แขนกลตีฆ้องวงใหญ่นี้เป็นโครงการที่ศึกษาการควบคุมระยะของแขนกลที่สร้างขึ้นมาให้ดี ลูกฆ้องตามโน้ตเพลงที่กำหนดไว้ได้ แขนกลจะตีลูกฆ้องได้ถูกต้องโดยใช้สัญญาณป้อนกลับซึ่งเป็นสัญญาณขององศาการหมุนและการเปลี่ยนแปลงความยาวของแขนกล สัญญาณป้อนกลับนี้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนค่าได้ตาม องศาการหมุนและ การเปลี่ยนแปลงความยาวของ แขนกล และใช้มอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน ในกรณีที่แขนกลไม่อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนค่าอ้างอิงของลูกฆ้องแต่ละลูกได้ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา

ABSTRACT

The Robot arms for playing " GONG WONG YAI " is the project which learn about how to control the length of the arms to hit the "GONG" according to the defined music note. For hitting the element of the "GONG" at the right position, the Robot arms will use the feedback signals, which are the signals of the degree of rotation and the length of the Robot arms. These feedback signals are the low voltage electrical signals and it will be changed according to the degree of rotation and the length of the Robot arms. These Robot arms use the electric direct current for driving the motor. In case the Robot arms are not in the desired position, the users are able to change the reference value of the "GONG" position in each by using the developed software.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	
สารบัญ	
สารบัญตาราง	
สารบัญภาพ	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 โครงสร้างทางกล	5
2.1 หลักการออกแบบ	5
2.2 การคำนวณคุณลักษณะของอุปกรณ์	8
บทที่ 3 โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์	12
3.1 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	13
3.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง	15
3.3 วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์	22
3.4 วงจรขยายสัญญาณ	23
3.5 วงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่	24
3.6 วงจรปรับปรุงแรงดัน	25
บทที่ 4 ส่วนการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์	30
4.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้	30
4.2 ส่วนติดต่ออุปกรณ์ภายนอก	35
4.3 ส่วนประมวลผล	37
บทที่ 5 สรุป และวิจารณ์	40
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2	
ตารางที่ 2.1 การทดลองป้อนระดับแรงดันเพื่อให้แกนกลมหมุน	8
ตารางที่ 2.2 การทดลองวัดค่าระดับแรงดันของสัญญาณป้อนกลับของการหมุน	9
ตารางที่ 2.3 การทดลองป้อนระดับแรงดันเพื่อให้แกนกลยึด-หด	10
ตารางที่ 2.4 การทดลองวัดค่าระดับแรงดันของสัญญาณป้อนกลับของการยึด-หด	10
บทที่ 3	
ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลภาระทางไฟฟ้า	13
ตารางที่ 3.2 ตารางข้อมูลภาระทางไฟฟ้าที่แยกออกเป็นส่วนๆแล้ว	14
บทที่ 4	
ตารางที่ 4.1 การทดลองอ่านสัญญาณขาเข้าของ PCI AD Card รุ่น 3100	35
ตารางที่ 4.2 การทดลองส่งสัญญาณออกของ PCL-726 DA Card	36

สารบัญภาพ

	หน้า
บทที่ 1	
รูปที่ 1.1 ห้องวงใหญ่	1
รูปที่ 1.2 แผนผังลำดับการทำงานของแขนกลตีห้องวงใหญ่	2
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแขนกลตีห้องวงใหญ่	5
รูปที่ 2.2 ฐานของแขนกล	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของการหมุนแขน	6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างส่วนการยึดและหดแขน	7
รูปที่ 2.5 ส่วนของไม้ห้อง	7
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 แผนผังของระบบอิเล็กทรอนิกส์	12
รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	13
รูปที่ 3.3 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จริง	14
รูปที่ 3.4 แสดงลำดับการส่งระดับแรงดันควบคุมมอเตอร์กระแสตรง	15
รูปที่ 3.5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	15
รูปที่ 3.6 วงจร Complementary Class A	16
รูปที่ 3.7 วงจร Complementary Class AB	17
รูปที่ 3.8 วงจร Darlington	18
รูปที่ 3.9 วงจร Darlington ที่มีการจำกัดกระแสไฟฟ้า	18
รูปที่ 3.10 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จริง	19
รูปที่ 3.11 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ตัดส่วนจำกัดกระแสออก	20
รูปที่ 3.12 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่ดึงกระแสด้านขาเข้า	21
รูปที่ 3.13 วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์	22
รูปที่ 3.14 วงจรขยายสัญญาณ	23
รูปที่ 3.15 วงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่	24
รูปที่ 3.16 วงจรจ่ายแรงดันคงที่ทั้งบวกและลบ	26
รูปที่ 3.17 วงจรปรับปรุงแรงดัน 24/0 โวลท์ให้กับวงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์	27

สารบัญญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.18 วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 22 โวลท์จ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณ	28
รูปที่ 3.19 วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 12 โวลท์จ่ายให้กับวงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่	29
รูปที่ 3.20 วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 5 โวลท์จ่ายให้กับความต้านทานปรับค่าได้	29
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 หน้าจอการแสดงผลส่วนกลาง	31
รูปที่ 4.2 หน้าจอการเพิ่มโน้ตเพลงใหม่	32
รูปที่ 4.3 หน้าจอการเลือกรหัสเพลง	33
รูปที่ 4.4 หน้าจอการแสดงผลส่วนกลางที่มีการเลือกเพลงและแปลงรหัส	33
รูปที่ 4.5 หน้าจอการเปลี่ยนแปลงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งลูกช็อง	34
รูปที่ 4.6 แผนผังขั้นตอนการคำนวณการควบคุมแขนกล	37
รูปที่ 4.7 แผนผังการอ่านและเก็บค่ารหัสโน้ตเพลง	38
รูปที่ 4.8 แผนผังการตีลูกช็อง	39

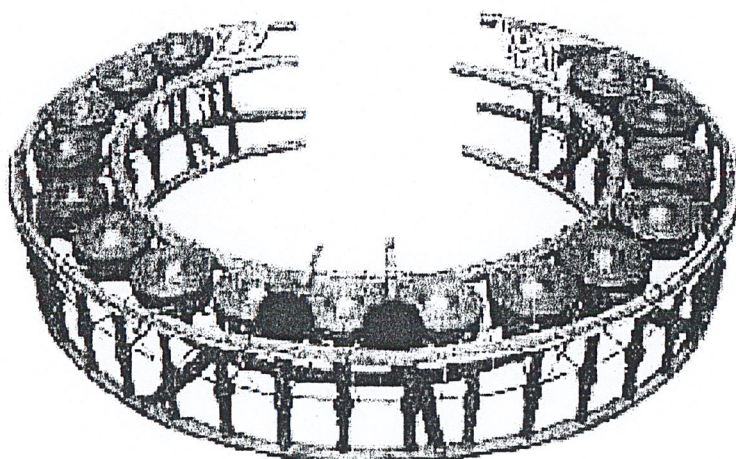
บทที่ 1

บทนำ

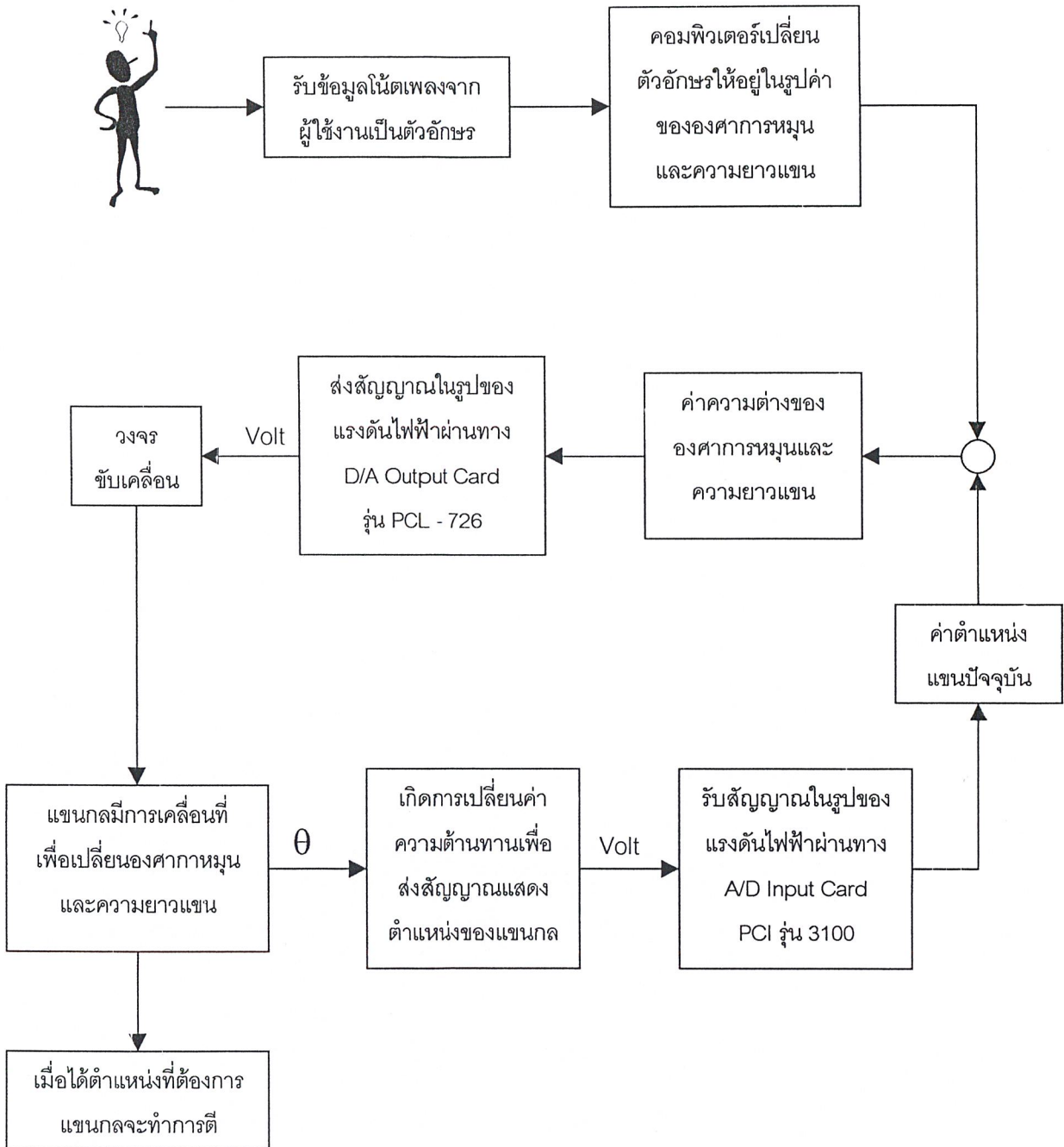
ในปัจจุบันนี้มีการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติในอุตสาหกรรมต่างๆมากขึ้น โดยเฉพาะการควบคุมมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรงนั้นเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาและจำลองการควบคุมมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง บนพื้นฐานของทฤษฎีการควบคุมระยะ (Position Control)

การจำลองระบบควบคุมอัตโนมัตินี้ ได้แสดงผลทั้งในเชิงเส้นและเชิงมุม โดยใช้การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าจากความต้านทานชนิดปรับค่าได้ (Potentiometer) เป็นสัญญาณป้อนกลับ เพื่อตรวจสอบระยะทางที่ต้องการ ดังนั้นจึงใช้การตีช่องวงใหญ่มาเป็นตัวอย่างของระบบ

ช่องวงใหญ่ มีลูกช่องอยู่ 16 ลูก เรียงตัวเป็นวงกลม ทำให้ต้องมีการเคลื่อนที่เชิงมุมเพื่อสามารถตีลูกช่องในแต่ละลูกได้ และการเรียงตัวนั้นมีรัศมีจากศูนย์กลางที่ไม่เท่ากันของแต่ละลูกช่อง จึงทำให้ต้องมีการเคลื่อนที่ในเชิงเส้นด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ได้หลายรูปแบบ ทำให้เหมาะสมในการนำมาจำลองเป็นระบบควบคุมมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง และเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาศึกษาทฤษฎีการควบคุมระยะ(Position Control)



รูปที่ 1.1 ช่องวงใหญ่



รูปที่ 1.2 แผนผังลำดับการทำงานของเซนกลตีซ็องวงใหญ่

แขนกลตีฆ้องวงใหญ่ประกอบด้วยโครงสร้างดังนี้

1. โครงสร้างส่วนแขนกล (Mechanical Structure) ประกอบไปด้วย
 - 1.1 ฐาน มีไว้สำหรับยึดอุปกรณ์ทางกลทั้งหมด มีน้ำหนักมากเพื่อลดการเหวี่ยงของแขนกล
 - 1.2 ส่วนหมุนแขน ประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลท์ 2 ตัว และชุดทดรอบ ซึ่งในที่นี่ใช้สายพานเป็นตัวส่งผ่านกำลัง และมีความต้านทานชนิดปรับค่าได้ (Potentiometer) แบบเกือกม้าต่อไว้กับส่วนที่ทำหน้าที่หมุนเพื่อตรวจสอบระยะ แล้วส่งค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) กลับไปยังส่วนประมวลผล
 - 1.3 ส่วนยึดและหดแขน ประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลท์ 2 ตัว และชุดทดรอบ ซึ่งในที่นี่ใช้หลักการของเฟืองตัวหนอนเป็นตัวส่งผ่านกำลัง เพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุม ให้เป็นเชิงเส้น และมีความต้านทานชนิดปรับค่าได้ (Potentiometer) แบบเลื่อน (Slide Volume) ต่อไว้กับส่วนที่ทำหน้าที่ยึดและหดเพื่อตรวจสอบระยะ แล้วส่งค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) กลับไปยังส่วนประมวลผลเช่นกัน
 - 1.4 ส่วนไม้ฆ้อง มีหน้าที่ตีลงตามจังหวะที่กำหนด ประกอบด้วยโซลินอยด์ 25 โวลท์ 2 ตัว และส่วนปลายของไม้ฆ้องจริง ติดกับสปริงเพื่อลดแรงกระแทก
2. วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Circuits) ประกอบด้วย
 - 2.1 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply Circuits) เนื่องจากไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในทุกวันนี้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับทำให้ไม่สามารถนำมาจ่ายให้กับวงจรต่างๆได้โดยตรง จึงต้องแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเสียก่อน โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าแล้วใช้ไดโอดบริดจ์ชนิดเต็มคลื่น (Full Wave Diode Bridges) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่มากขึ้น และมีวงจรปรับปรุ้แรงดัน (Voltage Regulator) เมื่อมีการใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต่างออกไป
 - 2.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Drive Motor Circuits) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับระดับแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณกระแสไฟฟ้าต่ำ แล้วส่งค่าระดับแรงดันไฟฟ้านั้นไปยังมอเตอร์ พร้อมทั้งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น
 - 2.3 วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์ (DC Drive Solenoid Circuit) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์คือจะยอมให้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับโซลินอยด์ เมื่อได้รับสัญญาณควบคุม ซึ่งสัญญาณนี้อยู่ในระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ต่ำได้

- 2.4 วงจรขยายสัญญาณ (Signal Amplifier Circuit) เนื่องจากส่วนประมวลผลนั้นไม่สามารถจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการได้ จึงต้องทำการเพิ่มค่าระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ต้องการก่อนที่จะส่งเข้าไปยังวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์
 - 2.5 วงจรส่งผ่านแรงดันคงที่ (Voltage Buffer) ทำหน้าที่คงค่าสัญญาณ และป้องกันการดึงกระแสจากส่วนประมวลผล
3. ส่วนการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ (Processor and Controller) ประกอบด้วย
 - 3.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ (User Interface) เนื่องจากต้องการให้การควบคุมเป็นไปโดยง่าย และสวยงาม จึงใช้โปรแกรมภาษาเบสิกส์ (Visual Basic Program)
 - 3.2 ส่วนติดต่ออุปกรณ์ภายนอก (Interface Cards) เนื่องจากสัญญาณในคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณระดับ (Digital Signal) แต่สัญญาณภายนอกเป็นสัญญาณต่อเนื่อง (Analog Signal) จึงต้องมีตัวแปลงสัญญาณเพื่อให้สามารถส่ง และรับค่าระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ได้
 - 3.3 ส่วนประมวลผล จะรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจากความต้านทานชนิดปรับค่าได้ (Potentiometer) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Reference Value) แล้วทำการคำนวณ จากนั้นจึงส่งสัญญาณออกไปเพื่อควบคุมให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังระยะที่ต้องการ

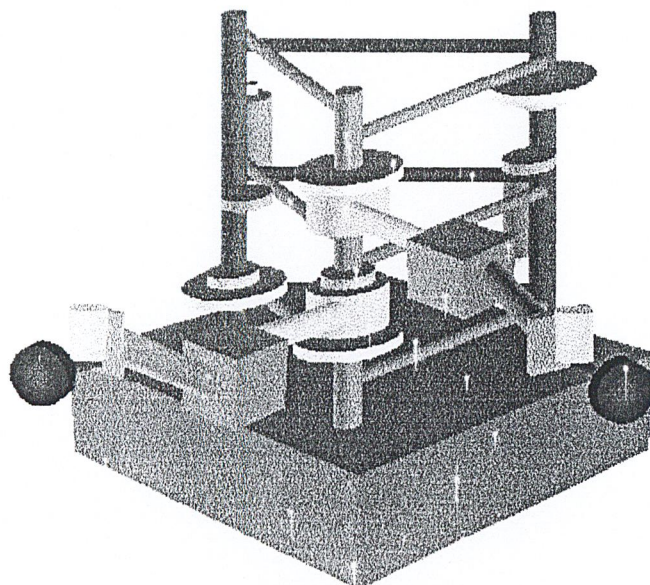
บทที่ 2

โครงสร้างทางกล

โครงสร้างทางกล เป็นส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากเป็นส่วนแสดงผลของระบบนี้ อีกทั้งยังเป็นส่วนส่งสัญญาณควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control) ไปยังส่วนประมวลผลอีกด้วย ดังนั้นในการออกแบบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ก่อนที่จะนำมาสร้างชิ้นงานจริง

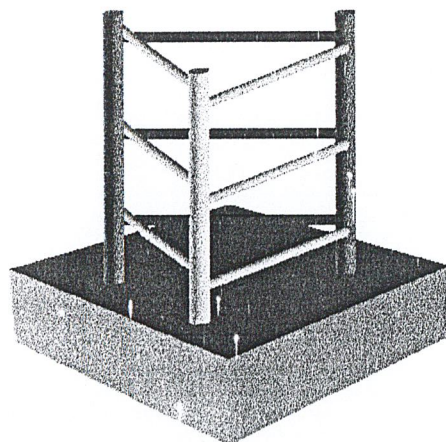
2.1 หลักการออกแบบ

เนื่องจากการสร้างชิ้นงานต้องอ้างอิงลักษณะของห้องวงใหญ่ ดังนั้นจึงทำให้ชิ้นงานมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแกนกลตีห้องวงใหญ่

2.1.1ฐาน มีลักษณะดังนี้

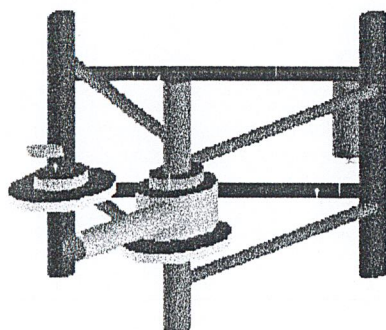


รูปที่ 2.2 ฐานของแขนกล

ส่วนล่างมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม เนื่องจากต้องการเพิ่มความมั่นคง และมีน้ำหนักมาก เพื่อลดการเหวี่ยงเมื่อมีการหมุนของแขนกล

ส่วนบนมีลักษณะเป็นเสาตั้งอยู่ในรูปของปริซึมฐานสามเหลี่ยม โดยเสาที่หนึ่งไว้สำหรับยึดแขนเพื่อให้มีศูนย์กลางการหมุนเดียวกัน ทำให้แขนกลสามารถหมุนได้ในระยะ 300 องศา ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่ามุมจากจุดศูนย์กลางไปยังลูกห้อยลูกแรก และลูกสุดท้าย ส่วนเสาที่สอง และสามไว้สำหรับติดตั้งชุดทดรอบ และ ความต้านทานปรับค่าได้

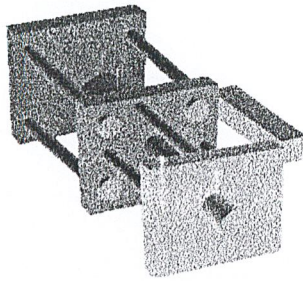
2.1.2 โครงสร้างส่วนการหมุนแขน มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของการหมุน แขน

ประกอบด้วยมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านชุดทดรอบซึ่งใช้สายพานในการส่งผ่านกำลัง เพื่อลดความเร็ว และเพิ่มแรงบิด (Torque) โดยมีที่รองรับ (Bearing) ไว้สำหรับลดแรงเสียดทาน ระหว่างชุดทดรอบ กับเสายึด จากนั้นจึงส่งผ่านกำลังมายังแขนหมุน ซึ่งที่แขนหมุนนี้ได้ทำการเชื่อมต่อ (Coupling) โดยใช้สลิง ไว้กับความต้านทานชนิดปรับค่าได้แบบเกือกม้า เพื่อตรวจสอบองศาการหมุนของแขนกลโดยตรง

2.1.3 โครงสร้างส่วนการยึดและหดแขน มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างส่วนการยึดและหดแขน

ส่วนหลังประกอบด้วยมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง ที่เชื่อมต่อกับเกสลิยว และยึดติดกับแป้น เป็นส่วนที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่มีรู 4 รู ซึ่งติดตัวนำการเลื่อน (Sliding Guide) ไว้ให้สลักเกสลิยว (Bolt) ซึ่งมีไว้รับน้ำหนักของส่วนหน้าผ่านเข้าไปได้เมื่อมีการเคลื่อนที่ของส่วนหน้าเกิดขึ้น

ส่วนหน้ามีรูตรงกลาง ซึ่งเป็นเกสลิยวภายใน และสามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อมีการหมุนของมอเตอร์ โดยมีสลักเกสลิยว 4 ตัวไว้รับน้ำหนัก และมีความต้านทานชนิดปรับค่าได้แบบเลื่อน เพื่อตรวจสอบระยะที่เคลื่อนไปของแขนกล

2.1.3 ส่วนไม้ซ่อง มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.5 ส่วนของไม้ซ่อง

เนื่องจากระดับความสูงของแขนที่ศูนย์กลางการหมุนไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกัน จึงมีการปรับระดับ โดยใช้ท่อนเอียงเพื่อให้ทั้งสองแขนอยู่ในระดับเดียวกัน

ในการติดตั้งนั้นได้ใช้โซลินอยด์เป็นตัวขับเคลื่อน เนื่องจากต้องการความเร็วสูง และไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันของระยะการตี ส่วนปลายใช้ไม้จริงต่อเข้ากับสปริงเพื่อลดแรงในการตี เนื่องจากแขนกลนี้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงระดับของแรงในการตีได้ ดังนั้นจึงให้สปริงเป็นตัวป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อลูกช้อน

2.2 การคำนวณคุณลักษณะของอุปกรณ์

2.2.1 ส่วนการหมุนแขน

ใช้มอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 24 โวลท์ 4 แอมแปร์ มีความเร็ว 5000 รอบ/นาที ซึ่งได้สร้างชุดทดรอบที่มีอัตราทดเป็น 1/12.5 ทำให้ความเร็วในการหมุนแขนเป็น 400 รอบ/นาที แต่เนื่องจากภาระของมอเตอร์ได้ไม่ส่งผลต่อแรงบิด ดังนั้นจึงมีเพียงแรงเสียดทานในการหมุนเท่านั้นที่ทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง ซึ่งในความเป็นจริงเราต้องการความเร็วรอบเพียง 240 รอบ/นาที ดังนั้นแรงเสียดทานในการหมุนจึงไม่ส่งผลกระทบต่อระบบ

ตารางการทดลองที่ 2.1

ค่าระดับแรงดัน (V)	ค่าระดับกระแส (A)	การหมุนของแขน
1	0.25	ไม่หมุน
2	0.53	ไม่หมุน
4	1.16	ไม่หมุน
6	2.04	ขยับเล็กน้อย
10	3.02	หมุนช้า
14	3.23	หมุนเร็ว
18	3.31	หมุนเร็ว

สรุปผลการทดลอง

จากตารางได้ว่า แขนกลจะหมุนก็ต่อเมื่อค่าระดับแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 6 โวลท์ และวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์นี้ต้องมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากกว่า 3.5 แอมแปร์เป็นอย่างน้อย

สัญญาณป้อนกลับใช้ความต้านทานชนิดปรับค่าได้ขนาด 10 กิโลโอห์ม โดย ใช้อัตราทดที่ 1/1 เพื่อให้ได้ค่าที่ค่อนข้างแน่นอน และจ่ายระดับแรงดัน +5 ถึง -5 โวลท์ เป็นสัญญาณเพื่อแสดง องศาการหมุน

ตารางการทดลองที่ 2.2

องศาการหมุน ของแกนกล	ค่าระดับแรงดัน (V) ครั้งที่ 1	ค่าระดับแรงดัน (V) ครั้งที่ 2	ค่าระดับแรงดัน (V) ครั้งที่ 3
45	-4.37	-4.36	-4.30
90	-4.19	-4.16	-4.10
135	-2.69	-2.52	-2.50
180	-0.82	-0.86	-0.72
225	0.89	0.92	0.93
270	1.99	1.89	1.95
315	2.38	2.34	2.42

สรุปผลการทดลอง

จากตารางแสดงว่าระดับแรงดันไฟฟ้าจากความต้านทานชนิดปรับค่าได้สามารถบอกถึง องศาการหมุนของแกนกล โดยมีค่าผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับขนาดของลูกข้อมแล้ว จึงสามารถนำความต้านทานชนิดปรับค่าได้ มาใช้เป็นตัวส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังส่วนประมวลผล

2.2.2 ส่วนการยึดและหัดแขน

ใช้มอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 24 โวลท์ 3 แอมแปร์ มีความเร็ว 500 รอบ/นาที ซึ่งได้ สร้างชุดทดรอบแบบเฟืองตัวหนอนที่มีอัตราทดเป็น 2 มิลลิเมตร/รอบ ทำให้ความเร็วในการยึดและหัด แขนเป็น 100 เซนติเมตร/นาที แต่เนื่องจากภาระของมอเตอร์ไม่ได้ส่งผลต่อแรงบิดเช่นกัน ดังนั้นจึงมี เพียงแรงเสียดทานในการหมุนเท่านั้นที่ทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง ซึ่งในความเป็นจริงเรา ต้องการความเร็วในการยึดหัดแขนเป็น 90เซนติเมตร/นาที ดังนั้นแรงเสียดทานในการหมุนจึงส่งผล กระทบต่อระบบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางการทดลองที่ 2.3

ค่าระดับแรงดัน (V)	ค่าระดับกระแส (A)	การยืดและหดของแขน
1	0.17	ไม่เคลื่อนที่
2	0.32	ไม่เคลื่อนที่
4	0.41	เคลื่อนที่เล็กน้อย
6	0.97	เคลื่อนที่ช้า
10	0.35	เคลื่อนที่เร็ว
14	0.34	เคลื่อนที่เร็ว
18	0.4	เคลื่อนที่เร็ว

สรุปผลการทดลอง

จากตารางได้ว่า แขนกลจะเคลื่อนที่ก็ต่อเมื่อค่าระดับแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 4 โวลต์ และจะเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อค่าระดับแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 6 โวลต์ วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์นี้ต้องมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากกว่า 1.5 แอมแปร์เป็นอย่างน้อย

สัญญาณป้อนกลับใช้ความต้านทานชนิดปรับค่าได้ขนาด 10 กิโลโอห์ม โดยต่อเข้ากับการเคลื่อนที่โดยตรง เพื่อให้ได้ค่าที่ค่อนข้างแน่นอน และจ่ายระดับแรงดัน +5 ถึง -5 โวลต์ เป็นสัญญาณเพื่อแสดงระยะการเคลื่อนที่

ตารางการทดลองที่ 2.4

ระยะการยืดของแขนกล (cm)	ค่าระดับแรงดัน (V) ครั้งที่ 1	ค่าระดับแรงดัน (V) ครั้งที่ 2	ค่าระดับแรงดัน (V) ครั้งที่ 3
0	-3.65	-3.65	-3.65
0.5	-2.80	-2.84	-2.86
1.0	-1.94	-1.88	-1.91
1.5	-0.87	-0.89	-0.90
2.0	0.17	0.19	0.16
2.5	1.16	1.14	1.11
3.0	2.42	2.33	2.37

สรุปผลการทดลอง

จากตารางแสดงว่าระดับแรงดันไฟฟ้าจากความต้านทานชนิดปรับค่าได้สามารถบอกถึงระยะการเคลื่อนที่ของแกนกล โดยมีค่าผิดพลาดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับขนาดของลูกช้อนแล้ว จึงสามารถนำความต้านทานชนิดปรับค่าได้ มาใช้เป็นตัวส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังส่วนประมวลผล

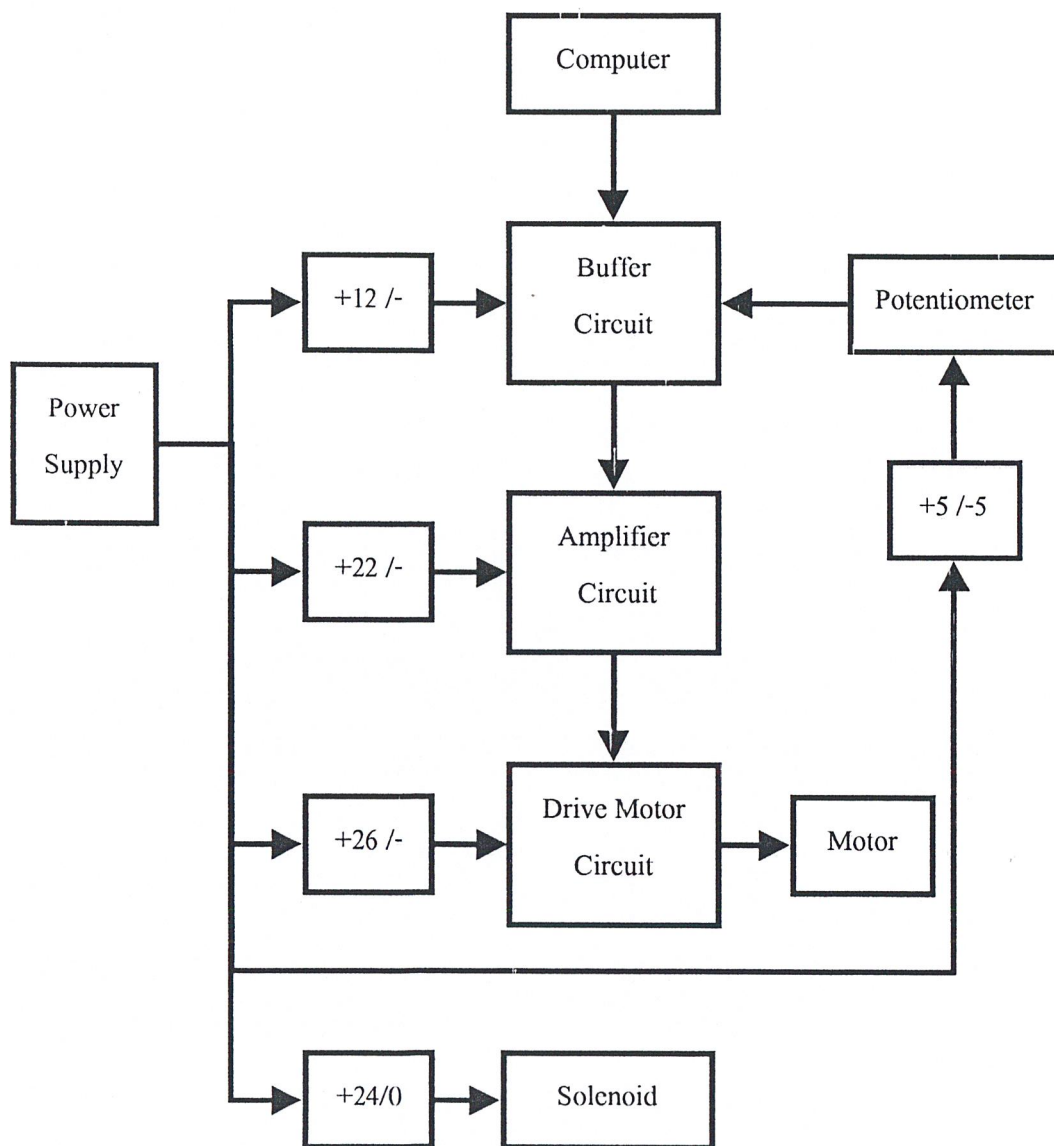
2.2.3 ส่วนของไม้ช้อน

การขับเคลื่อนต้องการระยะเพียง 1-2 เซนติเมตรเท่านั้น จึงสามารถใช้โซลินอยด์ในการขับเคลื่อนได้ ซึ่งโซลินอยด์ที่ใช้เป็น ขนาด 24 โวลท์ 1 แอมแปร์ ดังนั้นวงจรที่ใช้ในการขับเคลื่อนโซลินอยด์นี้ต้องสามารถจ่ายกระแสได้ 1.5 แอมแปร์เป็นอย่างน้อย

บทที่ 3

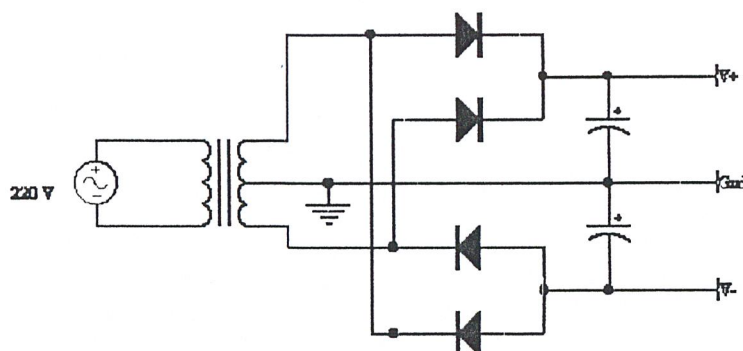
โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์

ในการควบคุมระบบโดยคอมพิวเตอร์นั้น เป็นการควบคุมโดยสัญญาณกระแสต่ำ ซึ่งไม่สามารถนำไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ทางกลที่ต้องการกระแสสูงได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องอาศัยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวส่งผ่านแรงดัน และ จ่ายกระแสให้กับอุปกรณ์ทางกลดังกล่าว



รูปที่ 3.1 แผนผังของระบบอิเล็กทรอนิกส์

3.1 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply Circuit)



รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากโครงสร้างทางกลทำให้สามารถทราบได้ว่าต้องกระแสไฟฟ้าและแรงดันในการขับเคลื่อนมอเตอร์เท่าใด รวมถึงระดับแรงดันไฟเลี้ยงของวงจรต่างๆ ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลภาระทางไฟฟ้า

ชนิดของอุปกรณ์	ระดับแรงดัน	กระแสไฟฟ้าสูงสุด
มอเตอร์ (หมุนแกน)	+24/-24 V	3.0 A
มอเตอร์ (ยึดและหดแกน)	+24/-24 V	1.5 A
โซลินอยด์	+24/0 V	1.0 A

จากตารางพบว่าจะต้องจ่ายกระแสให้กับภาระทางไฟฟ้าทั้งหมดเป็น 11 แอมแปร์

หลักการคำนวณพิกัดกระแสของหม้อแปลง

กระแสไฟฟ้าสูงสุดของภาระทางไฟฟ้า X ค่าชดเชยความผิดพลาด = พิกัดกระแสของหม้อแปลง

$$11 \times 1.5 = 16.5$$

จากการคำนวณไม่สามารถหาหม้อแปลงที่มีขนาด 16.5 แอมแปร์ได้ จึงจำเป็นต้องทำการแยกภาระทางไฟฟ้าออกเป็นส่วนๆดังนี้

ตารางที่ 3.2 ตารางข้อมูลภาระทางไฟฟ้าที่แยกออกเป็นส่วนๆแล้ว

ชนิดของอุปกรณ์	กระแสไฟฟ้าสูงสุด	พิกัดกระแส	ขนาดที่ใช้จริง
มอเตอร์ (หมูนแขน)	3.0 A	4.5 A	5.0 A
มอเตอร์ (ยึดและหดแขน) และ โซลินอยด์	2.5 A	3.75A	4.0 A

เมื่อทราบพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว การจะทำให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้นั้นต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นดังนี้

1. ไดโอดบริดจ์ชนิดเต็มคลื่น (Full Wave Diode Bridge) ต้องมีความสามารถในการทนกระแสได้อย่างน้อยเป็นสองเท่าของกระแสที่ไหลผ่านไดโอด และมีค่าแรงดันพังทลาย (Voltage Break Down) มากกว่า $4\sqrt{2}$ ของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
2. ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทำหน้าที่ให้ระดับแรงดันไฟฟ้ามีความเรียบมากขึ้น ซึ่งมีการคำนวณขนาดดังนี้

$$C \geq I_{\max} / (F_r \times \Delta V)$$

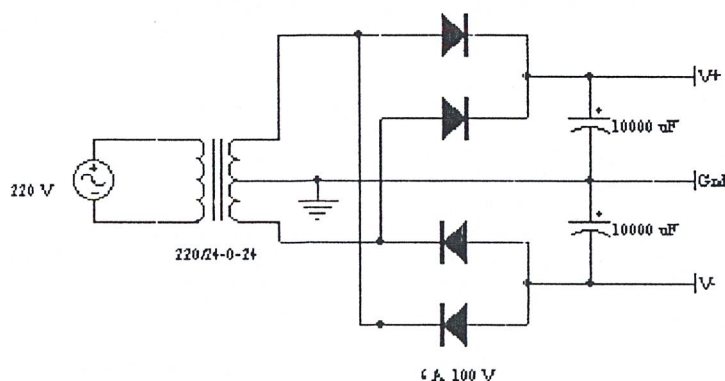
I_{\max} คือ กระแสสูงสุดที่ภาระไฟฟ้าต้องการ

F_r คือ ความถี่ของแรงหลังที่ออกจากไดโอดบริดจ์

ΔV คือ ขนาดของแรงดันกระเพื่อมที่เราต้องการ

ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจร

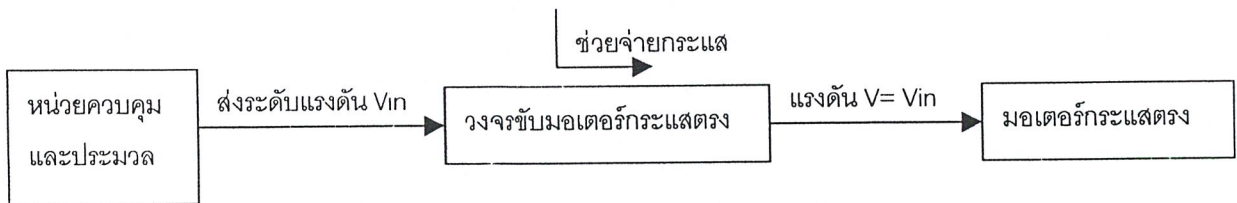
$$3.5 / (100 \times 3.5) = 10000 \text{ uF}$$



รูปที่ 3.3 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จริง

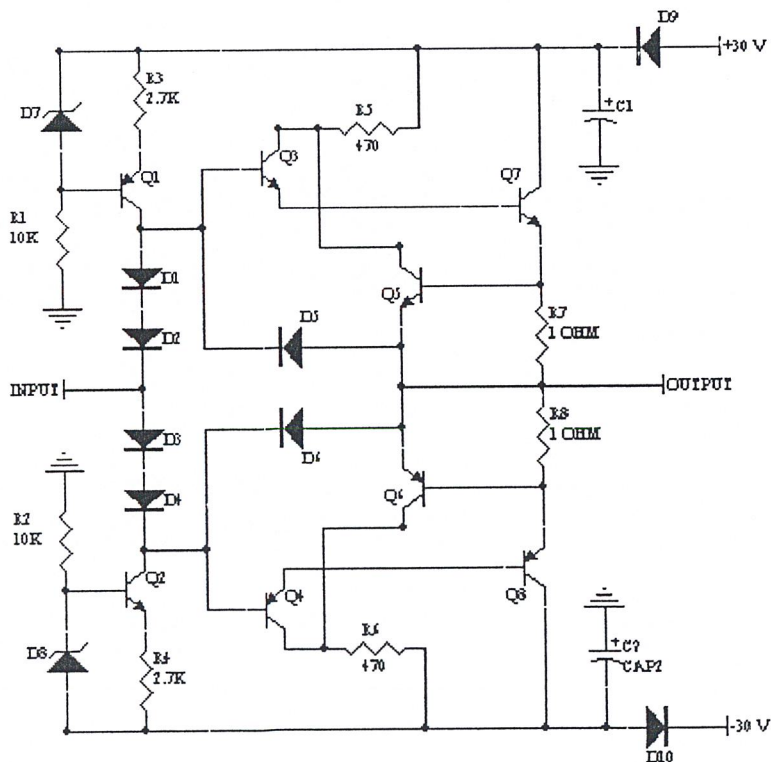
3.2 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง

จากลำดับขั้นตอนการสั่งงานเพื่อควบคุมมอเตอร์นั้น เมื่อโปรแกรมที่เขียนเพื่อกำหนดระดับแรงดันควบคุมมอเตอร์ได้คำนวณและส่งระดับแรงดันออกมาจากการ์ดอินเทอร์เฟซ (Interface Card) แล้วจึงจำเป็นต้องมีวงจรที่ช่วยจ่ายกระแสและคงระดับแรงดันควบคุม ก่อนจะส่งไปจ่ายให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพราะว่ากระแสที่จ่ายจากการ์ด interface นั้นมีหน่วยเป็นมิลลิแอมป์ ซึ่งไม่เพียงพอกับที่มอเตอร์ต้องการ(มอเตอร์ที่ใช้ต้องการกระแสเฉลี่ย 3 แอมป์ ขณะทำงาน)



รูปที่ 3.4 แสดงลำดับการส่งระดับแรงดันควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

จากวงจรที่ค้นหามามีรายละเอียดดังนี้



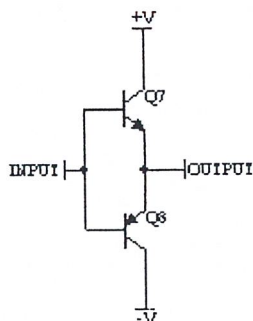
รูปที่ 3.5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 0.7 แอมป์)

โดยมีเบอร์ของอุปกรณ์ในวงจรดังนี้

- D1,D2,D3,D4 ใช้ไดโอด(Diode) เบอร์ 1N4148
- D5,D6,D9,D10 ใช้ไดโอด(Diode) เบอร์ 1N4003
- D7,D8 ใช้ซีเนอร์ไดโอด(Zener Diode) 12 โวลท์ เบอร์ 1N5452
- Q1,Q4,Q6 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด PNP เบอร์ A1015
- Q2,Q3,Q5 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด NPN เบอร์ C1815
- Q7 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด NPN เบอร์ TIP31C
- Q8 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด PNP เบอร์ TIP32C
- C1,C2 ใช้ตัวเก็บประจุ(Capacitor) ชนิด อีเล็กโตรไลต์ ขนาด 100 uF 35 V

จากการศึกษาวงจรที่ได้มานั้นวงจรนี้มีพื้นฐานมาจากวงจร Complementary คือ การนำทรานซิสเตอร์(Transistor) ทั้งชนิด PNP และ NPN มาต่อร่วมกันดังรูปเพื่อช่วยกันทำงานในกรณีที่สัญญาณขาเข้า(input) มีทั้งที่บวกและลบดังนี้

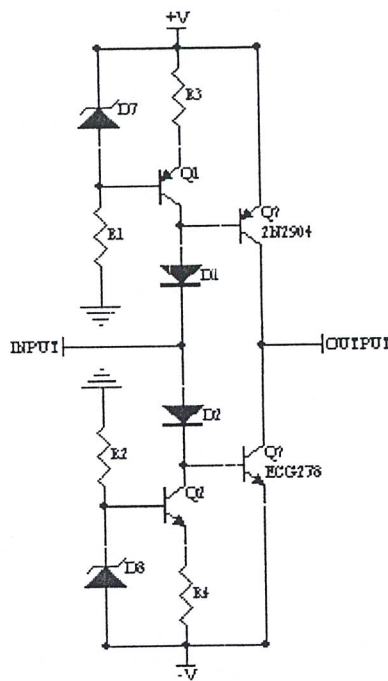
- ถ้า input เป็นบวก ทรานซิสเตอร์(transistor) NPN จะทำงาน(ขา BE forward bias) ส่วน PNP ไม่ทำงาน (ขา BE reward bias)
- ถ้า input เป็นลบ ทรานซิสเตอร์(transistor) PNP จะทำงาน(ขา BE forward bias) ส่วน NPN ไม่ทำงาน(ขา BE reward bias)



รูปที่ 3.6 วงจร Complementary Class A

เทียบกับวงจรรูปที่ 1 นั้น Transistor ทั้ง 2 ตัวนี้คือ Q7 และ Q8 นั่นเอง

การทำงานของวงจร Complementary เรียกว่า ทำงานใน Class B แต่วงจรนี้ยังมีข้อบกพร่องอยู่คือไม่มีการ Bias V_{BE} หรือไม่มีจุด เริ่มต้น (start) ดังนั้น สัญญาณขาออก (output) จะผิดเพี้ยนเมื่อ สัญญาณขาเข้า (input) ต่ำกว่า 0.7 โวลท์ (ตามคุณสมบัติของไดโอดที่ต้องมีแรงดันตกคร่อมตัวมันเองประมาณ 0.7 โวลท์ ก่อนที่จะ forward bias) จึงมีการใส่จุด เริ่มต้น (start) เข้าไปเพื่อให้ สัญญาณขาออก (output) ตอบสนองต่อทุกระดับแรงดัน สัญญาณขาเข้า (input) คือการเพิ่มทรานซิสเตอร์ (transistor) ที่ทำงานใน Class A เข้าไป ดังรูป

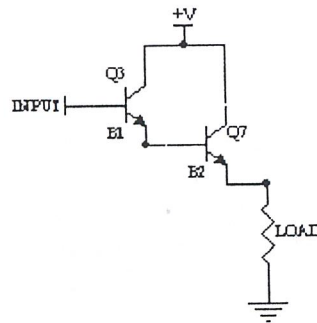


รูปที่ 3.7 วงจร Complementary Class AB

เทียบกับวงจรรูปที่ 1 นั้น Transistor ทั้ง 2 ตัวที่เพิ่มเข้ามานั้นคือ Q1 และ Q2 นั่นเอง

ทั้งสองตัวที่เพิ่มเข้ามาทำงานใน Class A และ ไดโอด D1, D2 ใส่เพื่อ Bias V_{BE} เพื่อไม่ให้เกิดความผิดเพี้ยนของ สัญญาณขาออก (output) อันเกิดจากการไม่ได้ Bias V_{BE} ส่วนทรานซิสเตอร์ (Transistor) Q3, Q4, Q5, Q6 ที่ชื่ออยู่ในวงจรรูปที่ 1 เพื่อประโยชน์ดังนี้

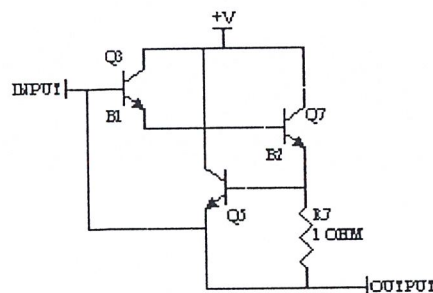
- สำหรับ Q3 และ Q4 นั้นต่อกับ Q7, Q8 แบบ Darlington เพื่อเพิ่ม อัตราขยาย (Beta) ของ ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ดังนั้นทำให้ แม้มอเตอร์จะดึงกระแสไฟฟ้ามามาก (ดึง I_C ของ Q7 หรือ Q8 มาก) ก็ต้องการกระแสไฟ I_B ของ Q3 หรือ Q4 เพียงเล็กน้อยดังรูป



รูปที่ 3.8 วงจร Darlington

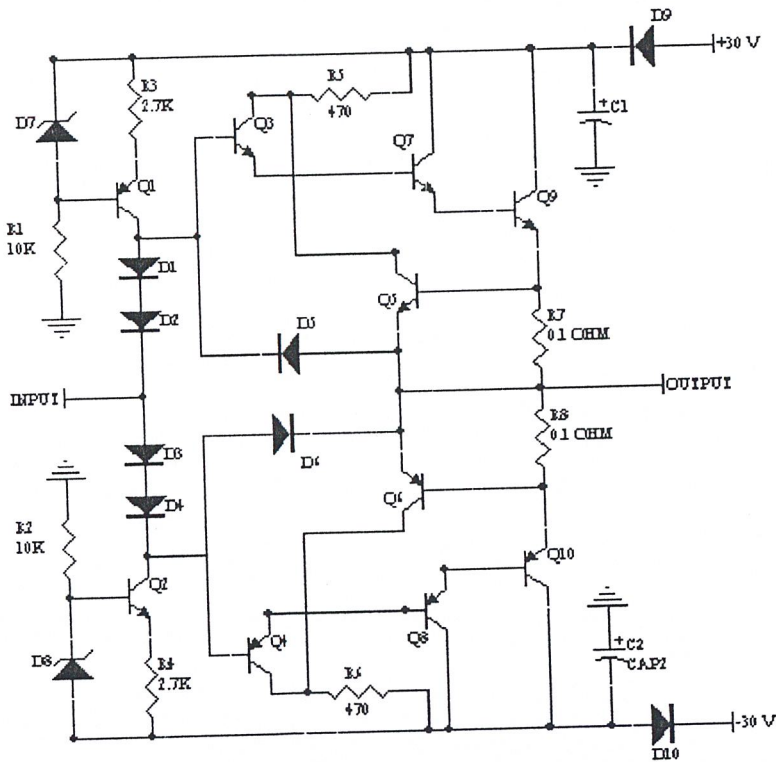
สำหรับ Q5, Q6 นั้น ใช้ จำกัด(Limit) กระแสไฟฟ้า I_C ของ Q7 หรือ Q8 ดังรูป

จาก แรงดันไฟฟ้า ที่คร่อม R7หรือ R8 เท่ากับ V_{BE} ของ Q5 หรือ Q6 เมื่อ กระแสไฟฟ้า I_C น้อย แรงดันไฟฟ้า ที่คร่อม R7 หรือ R8 จะน้อย และ ทำให้ V_{BE} ของ Q5 หรือ Q6 น้อย จะทำให้ จะดึง กระแสไฟฟ้า I_C ออกจาก Q3 หรือ Q4 น้อย แต่ถ้า กระแสไฟฟ้า I_C มาก จนทำให้ V_{BE} ของ Q5 หรือ Q6 ถึง 0.7 V จะดึง กระแสไฟฟ้า I_C ออกจาก Q3 หรือ Q4 มากดั่งนั้น เมื่อ R7หรือ R8 = 1 โอห์ม ดั่ง นั้น จะ จำกัด(Limit) กระแสไฟฟ้า I_C ของ Q7 หรือ Q8 ที่ประมาณ 0.7 แอมแปร์



รูปที่ 3.9 วงจร Darlington ที่มีการจำกัดกระแสไฟฟ้า

จากข้อจำกัดของการจ่ายกระแสของวงจร ทำให้ไม่เพียงพอสำหรับมอเตอร์ที่ต้องการใช้ (มอเตอร์ที่ใช้ต้องการกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 แอมแปร์ ขณะที่แกนกลมหมุน) จึงทำการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มเติมวงจรโดยลด R7, R8 เหลือ 0.1 โอห์ม(ทำให้ จำกัด(limit) กระแสไฟฟ้า 7 แอมแปร์) และเพิ่มทรานซิสเตอร์(Transistor) มา 2 ตัว คือ MJ15015 (NPN) และ MJ15016 (PNP) เพื่อรองรับการที่ต้องจ่ายกระแสไฟฟ้า I_c ที่ประมาณ 3-5 A ก็จะได้วงจรที่ใช้จริง ดังรูป



รูปที่ 3.10 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้จริง

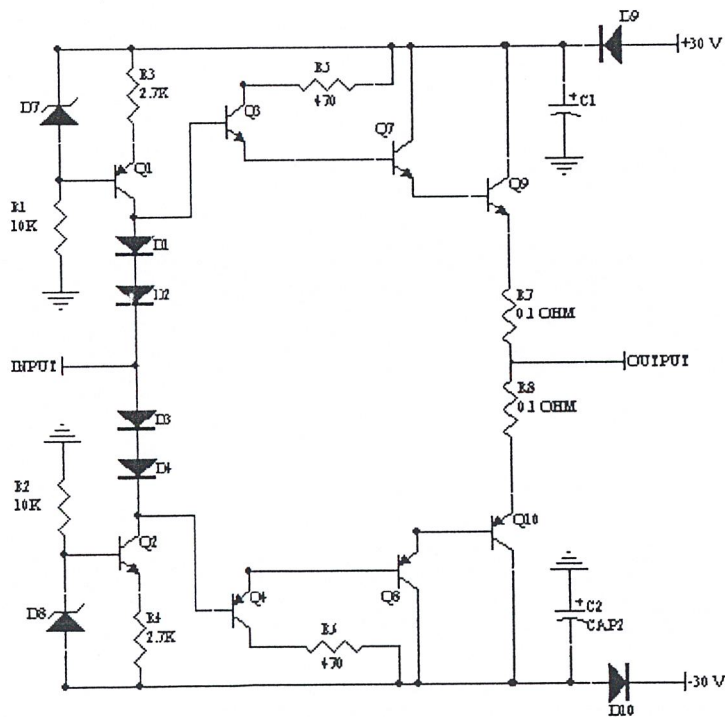
โดยมีเบอร์ของอุปกรณ์ในวงจรดังนี้

- D1,D2,D3,D4 ใช้ไดโอด(Diode) เบอร์ 1N4148
- D5,D6,D9,D10 ใช้ไดโอด(Diode) เบอร์ 1N4003
- D7,D8 ใช้ซีเนอร์ไดโอด(Zener Diode) 12 โวลท์ เบอร์ 1N5452
- Q1,Q4,Q6 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด PNP เบอร์ A1015
- Q2,Q3,Q5 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด NPN เบอร์ C1815
- Q7 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด NPN เบอร์ TIP31C
- Q8 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด PNP เบอร์ TIP32C

- Q9 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด NPN เบอร์ MJ15015
- Q10 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด PNP เบอร์ MJ15016
- C1,C2 ใช้ตัวเก็บประจุ(Capacitor) ชนิด อีเล็กโตรไลต์ ขนาด 100 uF 35 V

วงจรรูปที่ 3.10 นี้ใช้จริงในการทดลองในภาคเรียนที่ 1 แต่เมื่อได้ทำส่วนโครงสร้างแกนกลเสร็จแล้ว(มีภาระให้กับมอเตอร์ครบแล้ว)ปรากฏว่าวงจรนี้เกิดการดึงกระแสไฟฟ้าทางด้านสัญญาณขาเข้าด้วยและได้ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงวงจรใหม่โดยตั้งสมมุติฐานว่าวงจรที่จะใช้ได้จริงนั้นต้องไม่ดึงกระแสไฟฟ้าของสัญญาณด้านขาเข้า(เพราะสัญญาณด้านขาเข้ามาจากส่วนที่มีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ต่ำถ้าเกิดการดึงกระแสเกินความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าของมันแล้วจะทำให้อุปกรณ์ทางด้านสัญญาณขาเข้าเสียหายได้)

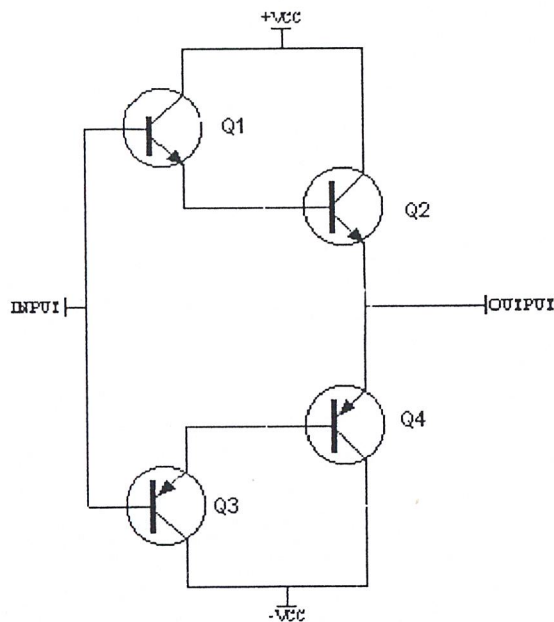
การทดลองที่ 3.2.1 เมื่อได้วิเคราะห์แล้วว่าวงจรในรูป 3.10 มีส่วนจำกัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าจึงได้ทดลองนำส่วนจำกัดกระแสไฟฟ้าออกดังรูป



รูปที่ 3.11 วงจรขับเคลื่อนที่ตัดส่วนจำกัดกระแสออก

เมื่อนำวงจรในรูป 3.11 ไปทดลองต่อจริงปรากฏว่าวงจรเกิดความเสียหายและจากการวิเคราะห์พบว่าวงจรนี้เกิด Offset จากวงจรส่วน Class AB ด้านต้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทั้งด้าน NPN และ PNP ทำงานพร้อมกันจึงเกิดความเสียหายขึ้น วงจรนี้จึงใช้ไม่ได้

การทดลองที่ 3.2.2 จากนั้นได้ทดลองต่อโดยนำส่วน Class AB ออกและตัดทรานซิสเตอร์ออกอีก 1 ชุด ทำให้เหลือวงจรดังรูป



รูปที่ 3.12 วงจรขับเคลื่อนที่ไม่ดึงกระแสไฟฟ้าด้านสัญญาณขาเข้า

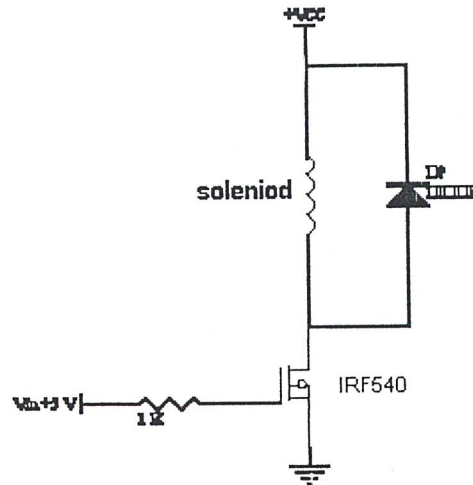
โดย

- Q1 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด NPN เบอร์ TIP31C
- Q3 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด PNP เบอร์ TIP32C
- Q2 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด NPN เบอร์ MJ15015
- Q4 ใช้ทรานซิสเตอร์(Transistor) ชนิด PNP เบอร์ MJ15016

เมื่อใช้วงจรนี้ต่อจริงแล้วตรงตามสมมุติฐานที่ไม่ดึงกระแสไฟฟ้าด้านสัญญาณขาเข้าวงจรนี้จึงเป็นวงจรที่ใช้จริงในโครงงานนี้

3.3 วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์

เป็นวงจรที่ใช้คุณสมบัติของ FET (Field Effect Transistor) ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่งมีรายละเอียดวงจรดังนี้



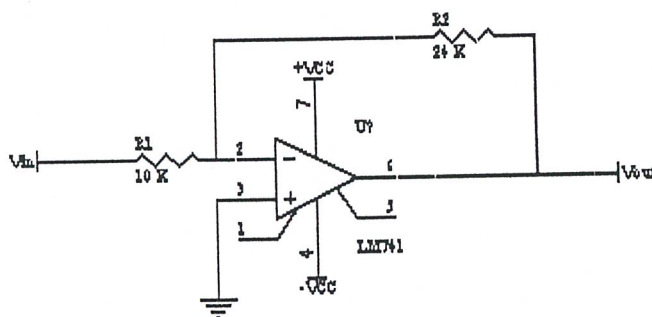
รูปที่ 3.13 วงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์

อธิบายวงจร

เมื่อมี สัญญาณแรงดันขาเข้า(Vin)เป็นบวก มากกระตุ้นให้ ทรานซิสเตอร์ทำงานที่ขา Gate มันจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจากขา Drain ไปยังขา Source ได้ ทำให้ โซลินอยด์(Soleniod) ทำงาน และ จะคงค้างสถานะการทำงานเดิมอยู่จนกว่าจะให้ สัญญาณแรงดันขาเข้า(Vin) เป็น 0 (Ground) ทำให้ทรานซิสเตอร์เลิกทำงานและโซลินอยด์ก็จะไม่ทำงานด้วย

3.4 วงจรขยายสัญญาณ(Signal Amplifier Circuits)

เนื่องจากสัญญาณควบคุมที่ออกมาจาก คอมพิวเตอร์ นั้นเป็นเป็นสัญญาณที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอต่อการจ่ายให้ภาระไฟฟ้า(ระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณควบคุมเท่ากับ -10 โวลต์ ถึง 10 โวลต์) ดังนั้น เราจึงสร้างวงจขยายสัญญาณขึ้นมาเพื่อขยายระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณควบคุมให้ได้ถึง -24 โวลต์ ถึง +24 โวลต์ วงจรมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.14 วงจขยายสัญญาณ

วงจขยายนี้ใช้คุณสมบัติของ Operation Amplifier มาทำเป็น Inverting Amplifier และเนื่องจากเราต้องการขยายสัญญาณจาก +/- 10 โวลต์ เป็น +/- 24 โวลต์ ดังนั้นเราจึงให้อัตราขยายของ Inverting Amplifier เป็น 2.4 เท่า จากสมการ ฟังก์ชันถ่ายโอน(Transfer function) ของ Inverting Amplifier

$$(V_{out})/(V_{in}) = -(R_2/R_1)$$

ดังนั้น จึงให้ R2 เท่ากับ 24 K และ R1 เท่ากับ 10 K จึงได้อัตราขยายเป็น 2.4 เท่า และเราก็จะสามารถขยายสัญญาณจาก +/- 10 โวลต์ เป็น +/- 24 โวลต์ได้

แต่เนื่องจากไม่สามารถ Operation Amplifier ที่จ่ายแรงดันขาออก(Vout) ได้ถึง +/- 24 โวลต์ได้(โดยดูจากพิสัยแรงดันที่ Operation Amplifier ต้องการ) ดังนั้นจึงใช้ Operation Amplifier เบอร์ LM741 ซึ่งมีพิสัยแรงดันที่ต้องการเท่ากับ +/- 22 โวลต์ ดังนั้นสัญญาณขาออก(Vout) สูงสุดที่ LM741 จะจ่ายได้ประมาณ +/- 20 โวลต์

ดังนั้นเราสามารถขยายสัญญาณจาก +/- 10 โวลต์ เป็น +/- 20 โวลต์ เท่านั้น

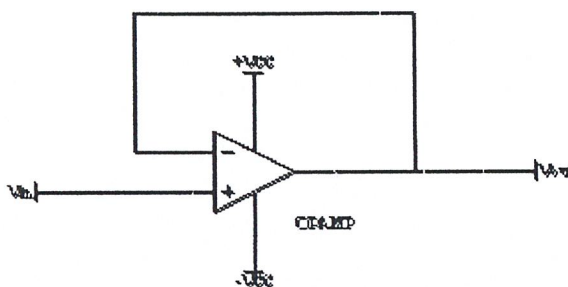
และเนื่องจากตัวแกนกลเรามีมอเตอร์อยู่ 4 ตัว จึงต้องมีสัญญาณควบคุม 4 สัญญาณ จึงต้องมีวงจขยายสัญญาณนี้ 4 ชุด

3.5 วงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่(Voltage Follower)

ก่อนที่จะต่อสัญญาณแรงดันควบคุมที่ส่งออกมาจาก คอมพิวเตอร์ มายังวงจรถ่ายโอนสัญญาณและวงจรถับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะต้องมีการคั่นด้วยวงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่ (Voltage Follower) เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเป็นภาระไฟฟ้ากัน>Loading) เพราะวงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่มีคุณสมบัติคือ

1. ถ่ายโอนแรงดันจากขาเข้าไปยังขาออกคงที่(สัญญาณขาเข้า = สัญญาณขาออก)
2. มีความต้านทานขาเข้าสูงมาก
3. มีความต้านทานขาออกต่ำมาก

ด้วยคุณสมบัติทั้ง 3 ประการดังกล่าว ทำให้ไม่เกิดกรณีเป็นภาระไฟฟ้ากัน>Loading) วงจรดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.15 แสดงวงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่(Voltage Follower)

และเนื่องจากเรามีสัญญาณควบคุมที่ส่งออกมาจาก คอมพิวเตอร์ จำนวน 4 สัญญาณควบคุม และมีสัญญาณเข้าไปยัง คอมพิวเตอร์อีก 4 สัญญาณ ดังนั้นเราต้องทำวงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่ เป็นจำนวน 8 ชุด และเลือกใช้ Operation Amplifier ที่จะนำมาต่อเป็น วงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่ เบอร์ LM324 ซึ่งเป็นวงจรรวม(Integrated Circuits) ที่มี Operation Amplifier 4 ตัว ต่อ 1 วงจร ดังนั้นเราจึงใช้ LM324 จำนวน 2 ตัว ซึ่งตัวที่ 1 นั้นต่อระหว่างสัญญาณควบคุมที่ส่งออกมาจากคอมพิวเตอร์ กับวงจรถ่ายโอนสัญญาณ และ ตัวที่ 2 ต่อระหว่าง ความต้านทานปรับค่าได้ที่ใช้วัดระยะการเคลื่อนที่ของแกนกล(Potentiometers) กับ สัญญาณขาเข้าไปยังคอมพิวเตอร์

3.6 วงจรปรับปรุงแรงดัน

หลังจากเราได้สร้างวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่ ระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์แล้ว แต่ถ้าในวงจรใดๆนั้น ต้องการแรงดันที่ไม่เท่ากันเราจึงต้องสร้างวงจรปรับปรุงแรงดันเพื่อปรับปรุงแรงดันให้มีหลายระดับเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มี

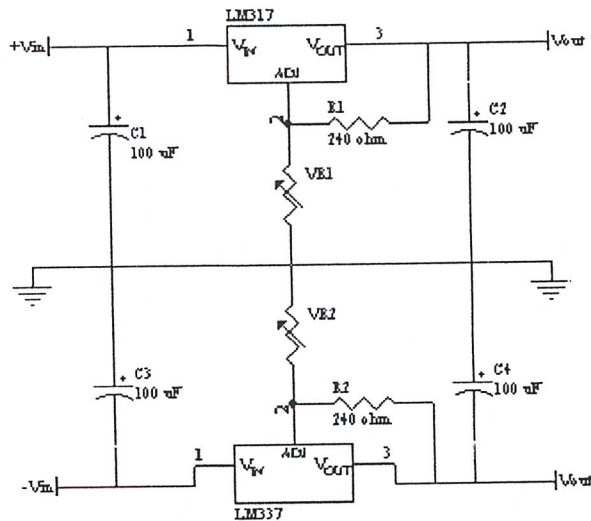
จากรูปที่ 3.1 ที่แสดงแผนผังของระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดเราสามารถสรุปได้ว่าจะต้องมี วงจรปรับปรุงแรงดันที่ต่างกันดังนี้

1. วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 12 โวลท์จ่ายให้กับวงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่
2. วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 22 โวลท์จ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณ
3. วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 26 โวลท์จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
4. วงจรปรับปรุงแรงดัน 24/0 โวลท์จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนโซลินอยด์
5. วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 5 โวลท์จ่ายให้กับความต้านทานปรับค่าได้

วงจรปรับปรุงแรงดันทั้ง 5 วงจรข้างต้นใช้วงจรจ่ายแรงดันคงที่(Voltage Regulator)ในการสร้างระดับแรงดันเกือบทุกวงจร แต่รายละเอียดจะต่างกันไปเล็กน้อยเนื่องจากเป็นระดับแรงดันคงที่ที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจะจำแนกรายละเอียดที่ละวงจรจากแรงดันมากไปน้อย ดังนี้

3.6.1 วงจรปรับปรุงแรงดัน +/- 26โวลท์จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เป็นวงจรที่ต่อจากวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพราะเป็นการระดับแรงดันที่ต้องการที่สูงที่สุด ใช้วงจรจ่ายแรงดันคงที่(Voltage Regulator) เบอร์ LM317 ซึ่งเป็นวงจรจ่ายแรงดันคงที่ทางด้านบวกที่ปรับค่าได้(Adjustable Positive Voltage Regulator) และ เบอร์ LM337 ซึ่งเป็นวงจรจ่ายแรงดันคงที่ทางด้านลบที่ปรับค่าได้(Adjustable Negative Voltage Regulator) และทั้งสองเบอร์นี้สามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้ 1.5 แอมแปร์ โดยมีรายละเอียดวงจรดังนี้



รูปที่ 3.16 วงจรจ่ายแรงดันคงที่ทั้งบวกและลบ

และสมการระหว่างตัวแปร VR1 และ Vout คือ

$$V_{out} = 1.25 \cdot (1 + (VR1/R1)) + I_{adj} \cdot VR1$$

โดย I_{adj} คือ กระแสที่ไหลผ่าน VR1 มีค่าประมาณ 50 ไมโครแอมแปร์

และสมการระหว่างตัวแปร VR2 และ Vout ก็เป็นเช่นเดียวกับข้างต้น

เราต้องการระดับแรงดัน +/- 26 โวลต์และจ่ายกระแสได้ 3.5 แอมแปร์อย่างต่ำ ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ R1 เป็น 240 โอห์ม ดังนั้น เราจะต้องใช้ VR1 และ VR2 เท่ากับ 4.7 K จึงจะได้ระดับแรงดันด้านขาออก เป็น +/- 26 โวลต์

และเราต้องการจ่ายกระแสไฟฟ้า 3.5 แอมแปร์อย่างต่ำ และ LM317 และ LM337 แต่ละตัวทนกระแสไฟฟ้าได้ตัวละ 1.5 แอมแปร์ดังนั้น จึงนำ LM317 มาขนานกัน 3 ตัว และ LM337 มาขนานกัน 3 ตัว เพื่อเพิ่มกระแสเป็น 4.5 แอมแปร์ทั้งทางด้านบวกและลบ

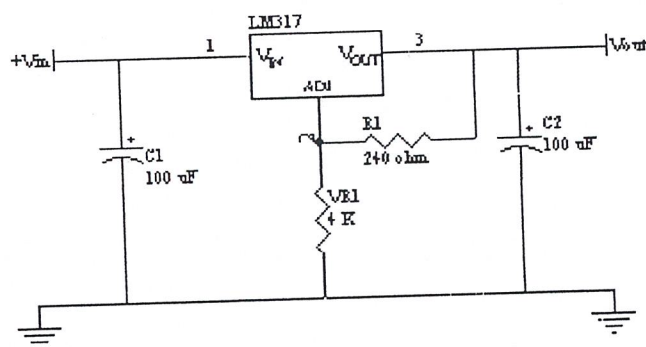
3.6.2 วงจรปรับปรุงแรงดัน 24/0 โวลต์จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนโซลีนอยด์

วงจรขับเคลื่อนโซลีนอยด์นั้นต้องการระดับแรงดัน 24/0 โวลต์ จะเห็นได้ว่าใช้ระดับแรงดันเพียงด้านเดียวคือด้านบวก และต้องการกระแสไฟฟ้า 1.5 แอมแปร์ เราจึงใช้วงจรจ่ายแรงดันคงที่เบอร์ LM317 เพียงตัวเดียวซึ่งจะเพียงพอทั้งระดับแรงดันและความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยจากสมการของ LM317 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง VR1 และ Vout

$$V_{out} = 1.25 \cdot (1 + (VR1/R1)) + I_{adj} \cdot VR1$$

โดย I_{adj} คือ กระแสที่ไหลผ่าน VR1 มีค่าประมาณ 50 ไมโครแอมแปร์

เราต้องการระดับแรงดัน 24 โวลต์และจ่ายกระแสได้ 1.5 แอมแปร์ ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ R1 เป็น 240 โอห์ม ดังนั้น เราจะต้องใช้ VR1 เท่ากับ 4 K จึงจะได้ระดับแรงดันด้านขาออก เป็น 24 โวลต์ ตามที่ต้องการโดยวงจรเป็นไปตามรูป

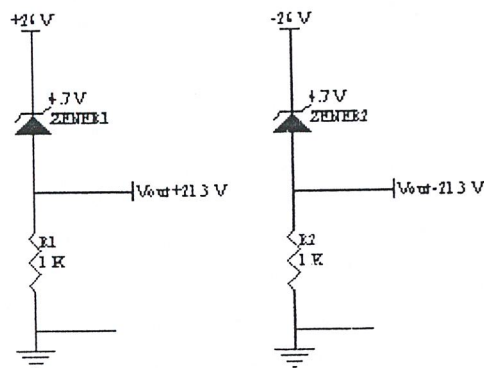


รูปที่ 3.17 วงจรปรับปรุงแรงดัน 24/0 โวลต์จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนโซลีนอยด์

และวงจรโซลีนอยด์ต้องการกระแส 1.5 แอมแปร์ ดังนั้นใช้ LM317 เพียงตัวเดียวก็เพียงพอ แต่วงจรโซลีนอยด์มี 2 ชุด เราจึงต้องทำวงจรปรับปรุงแรงดัน 24/0 โวลต์จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนโซลีนอยด์ 2 ชุดด้วยเช่นกัน

3.6.3 วงจรปรับแรงดัน +/- 22 โวลต์จ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณ

เนื่องจากเรามี วงจรปรับแรงดัน +/- 26 โวลต์ที่จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง และเนื่องจากวงจรขยายสัญญาณต้องการกระแสไม่มาก ดังนั้นเราจึงนำ สัญญาณขาออก V_{out} ของ วงจรปรับแรงดัน +/- 26 โวลต์ที่จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมาต่อด้วย ซีเนอริไดโอด 4.7 โวลต์ และ ความต้านทาน 1 กิโลโห์มดังรูป

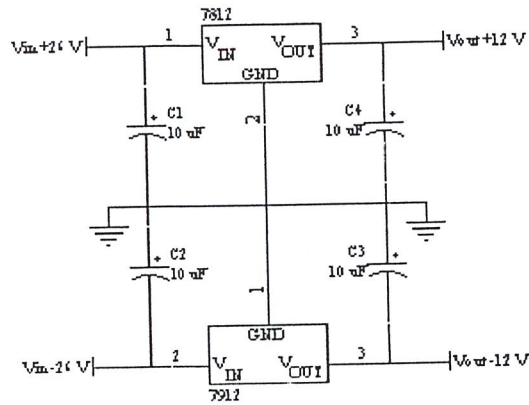


รูปที่ 3.18 วงจรปรับแรงดัน +/- 22 โวลต์จ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณ

เราจะได้ วงจรปรับแรงดัน +/- 22 โวลต์จ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณ ทั้ง 4 ชุด โดยใช้ วงจรปรับแรงดัน +/- 22 โวลต์เพียงแค่ชุดเดียวเท่านั้น เพราะกระแสที่วงจรขยายสัญญาณต้องการนั้นน้อยมาก

3.6.4 วงจรปรับแรงดัน +/- 12 โวลต์จ่ายให้กับวงจรจ่ายอินแรงดันคงที่

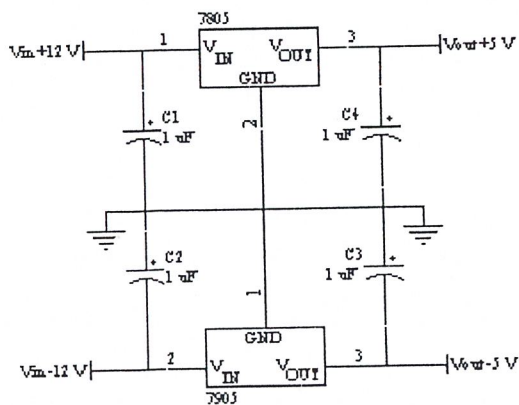
เนื่องจากเรามี วงจรปรับแรงดัน +/- 26 โวลต์ที่จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง และเนื่องจากวงจรจ่ายอินแรงดันคงที่ที่มีการใช้กระแสไฟฟ้าไม่มาก ดังนั้นเราจึงนำ สัญญาณขาออก (V_{out}) ของ วงจรปรับแรงดัน +/- 26 โวลต์ที่จ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายเป็น สัญญาณขาเข้า (V_{in}) ของ วงจรจ่ายแรงดันคงที่ เบอร์ 7812 และ 7912 เพราะวงจรจ่ายแรงดันคงที่ เบอร์ 7812 มีสัญญาณขาออกเป็นแรงดัน 12 โวลต์คงที่ และ เบอร์ 7912 มีสัญญาณขาออกเป็นแรงดัน -12 โวลต์คงที่ ดังนั้นจึงสามารถใช้เพียงอย่างละตัวได้ โดยวงจรมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.19 วงจรปรับแรงดัน +/- 12 โวลต์จ่ายให้กับวงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่

3.6.5 วงจรปรับแรงดัน +/- 5 โวลต์จ่ายให้กับความต้านทานปรับค่าได้

เนื่องจากเรามี วงจรปรับแรงดัน +/- 12 โวลต์ที่จ่ายให้กับวงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่ และเนื่องจากความต้านทานปรับค่าได้มีการใช้กระแสไฟฟ้าน้อยมาก ดังนั้นเราจึงนำ สัญญาณขาออก (V_{out}) ของ วงจรปรับแรงดัน +/- 12 โวลต์ที่จ่ายให้กับวงจรถ่ายโอนแรงดันคงที่จ่ายเป็น สัญญาณขาเข้า (V_{in}) ของ วงจรจ่ายแรงดันคงที่ เบอร์ 7805 และ 7905 เพราะวงจรจ่ายแรงดันคงที่ เบอร์ 7805 มีสัญญาณขาออกเป็นแรงดัน 5 โวลต์คงที่ และ เบอร์ 7905 มีสัญญาณขาออกเป็นแรงดัน -5 โวลต์คงที่ ดังนั้นจึงสามารถใช้เพียงอย่างละตัวได้ โดยวงจรมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.20 วงจรปรับแรงดัน +/- 5 โวลต์จ่ายให้กับความต้านทานปรับค่าได้

บทที่ 4

ส่วนการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์

ในปัจจุบันนี้ถือได้ว่าคอมพิวเตอร์มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นเครื่องคำนวณที่ถือได้ว่าดีที่สุด และนิยมใช้มากที่สุด ดังนั้นการควบคุมแขนกลผ่านทางคอมพิวเตอร์จึงถือได้ว่าสะดวก และเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับระบบจำลองนี้

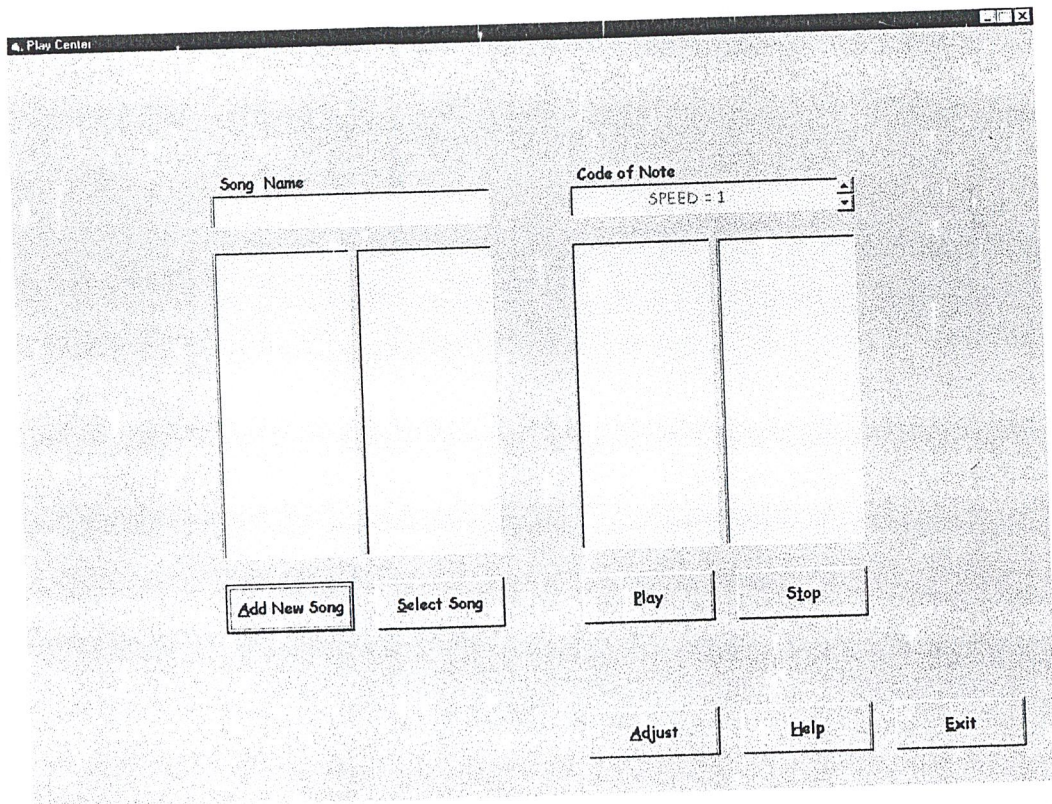
โดยจะมีการแบ่งส่วนการควบคุมออกเป็น 3 ส่วน

1. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ โดยแสดงผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และรับคำสั่งจากเมาส์ (Mouse) และคีย์บอร์ด (Key Board)
2. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก จะส่งค่าผ่านทางตัวแปลงสัญญาณจากสัญญาณระดับเป็นสัญญาณต่อเนื่อง โดยใช้ การ์ดรุ่น PCL - 726 เพื่อส่งค่าออกไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก จากนั้นจะรับสัญญาณป้อนกลับจากภายนอกโดยผ่านทางตัวแปลงสัญญาณจากสัญญาณต่อเนื่องเป็นสัญญาณระดับ โดยใช้ การ์ดรุ่น GPC 3100 เพื่อรับค่าเข้าสู่ส่วนประมวลผล
3. ส่วนประมวลผล จะรับข้อมูลที่แสดงระะยะการหมุน และการเคลื่อนที่ของแขนกลจากภายนอก และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ต้องการภายใน แล้วส่งข้อมูลในการบังคับทิศทางการหมุนและการเคลื่อนที่ออกไปยังอุปกรณ์ภายนอก

4.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้นั้นได้โปรแกรมโดยภาษาเบสิก(Visual Basic) จึงให้ผลในส่วนการติดต่อกับผู้ใช้ดูสวยงามและเข้าใจได้ง่าย อีกทั้งยังง่ายต่อการเขียน และแก้ไขโปรแกรมอีกด้วย ในการใช้งานมีทั้งหมด 6 หน้า แยกเป็นส่วนๆได้ดังนี้

การแสดงผลส่วนกลาง (Play Center) มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.1 หน้าจอการแสดงผลส่วนกลาง

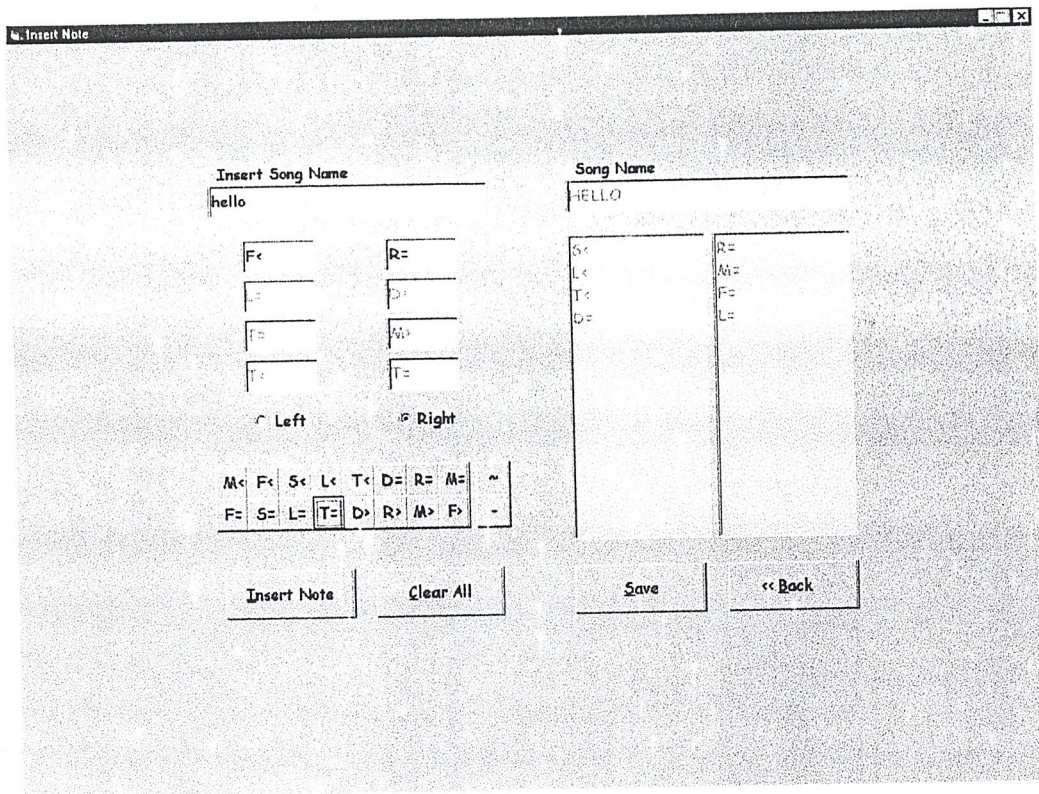
ผู้ใช้อย่างสามารถเลือกไปยังหน้าจอต่างๆได้ดังนี้

1. การเพิ่มรหัสเพลงใหม่ โดยเลือกปุ่มคำสั่ง Add New Song
2. การเลือกรหัสเพลง โดยเลือกปุ่มคำสั่ง Select Song
3. การเปลี่ยนแปลงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของลูกช้องโดยเลือกปุ่มคำสั่ง Adjust
4. การอ่านข้อมูลการใช้เพิ่มเติมโดยเลือกปุ่มคำสั่ง Help และสามารถทราบข้อมูลของผู้จัดทำได้ในหน้านี้ โดยเลือกปุ่มคำสั่ง Creator จากหน้าจอนี้

โปรแกรมจะอ่านค่าตัวโน้ตเพลงจากแฟ้มเอกสารที่ผู้ใช้ได้เลือกมา ซึ่งเก็บอยู่ในรูปของตัวหนังสือ (Textfile.txt) จากนั้นโปรแกรมจะแปลงโน้ตเพลงเป็นรหัส เพื่อนำไปคำนวณต่อไปเมื่อผู้ใช้ได้เลือกปุ่มคำสั่ง Play

มีการแสดงผลการเล่น โดยเลือกปุ่มคำสั่ง Play และสั่งหยุดการแสดงผลการเล่นที่ปุ่มคำสั่ง Stop สามารถเลือกระดับความเร็วได้ 3 ระดับ และ ออกจากโปรแกรมโดยเลือกปุ่มคำสั่ง Exit

การเพิ่มรหัสเพลงใหม่ (Add New Song) มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.2 หน้าจอการเพิ่มโน้ตเพลงใหม่

การเพิ่มโน้ตเพลงใหม่สามารถทำได้โดยง่ายเนื่องจากได้ทำปุ่มโน้ตเพลงไว้ให้เลือก ซึ่งช่องวงใหญ่นั้นมีจำนวนลูกข้อน 16 ลูก เป็นโน้ตเพลงตั้งแต่ "มี" เสียงต่ำ ไปจนถึง "ฟา" เสียงสูง โดยผู้ใช้จะต้องใส่ชื่อเพลงเสียก่อน หลังจากนั้นจึงจะเพิ่มโน้ตเพลง การเพิ่มโน้ตเพลงทำได้ครั้งละ 4 จังหวะ เนื่องจากระบบการเล่นดนตรีจะแบ่งเป็นห้องเพลง โดยหนึ่งห้องจะมี 4 จังหวะ

เนื่องจากแขนกลนี้ไม่สามารถที่จะเล่นไขว้แขนกันได้เหมือนคนจริงๆ จึงมีการตรวจสอบการใส่ข้อมูลเพื่อไม่ให้มีการไขว้แขนเกิดขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อแขนกลได้ โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบเมื่อเลือกปุ่ม Insert แล้วจึงนำค่าไปเก็บไว้ได้

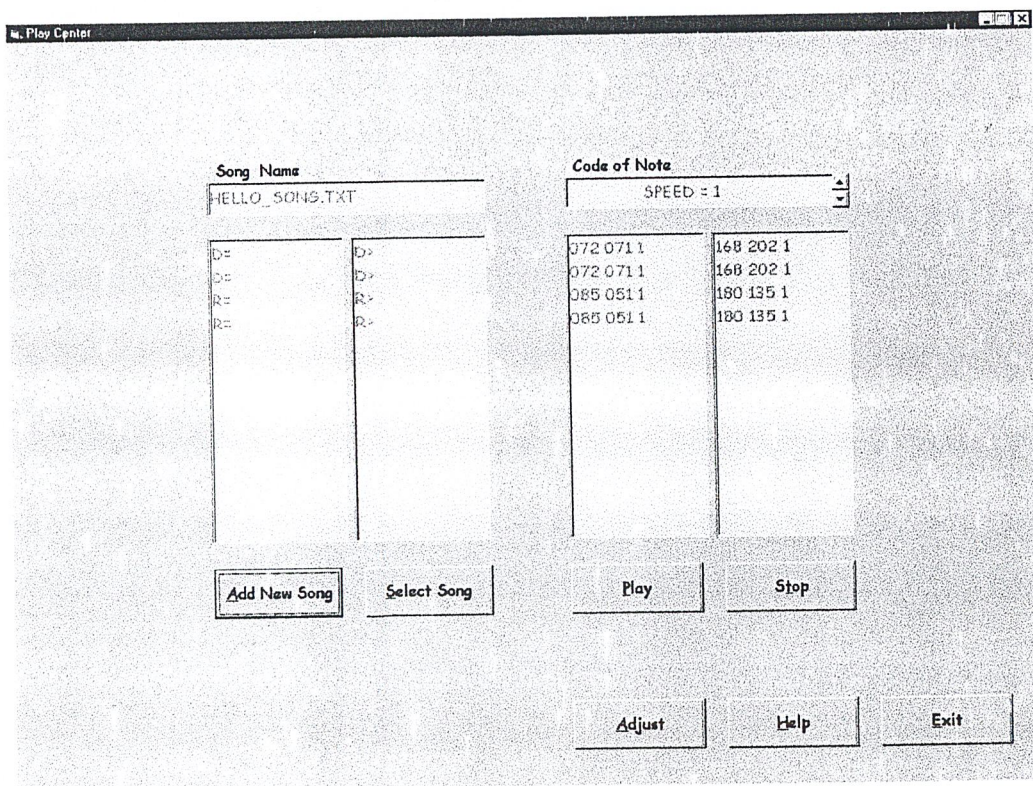
หลังจากที่ผู้ใช้ได้เพิ่มโน้ตเพลงเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้จะทำการบันทึกข้อมูลโดยเลือกปุ่ม Save ซึ่งโปรแกรมจะเก็บข้อมูลไว้ในแฟ้มชื่อเดียวกับที่ผู้ใช้กำหนดชื่อเพลงต่อด้วย "_SONG.TXT" เพื่อแยกจากแฟ้มข้อมูลทั่วไป แล้วจึงเลือกปุ่ม Back เพื่อกลับไปยังการแสดงผลส่วนกลาง

การเลือกรหัสเพลง (Select Song) มีลักษณะดังนี้



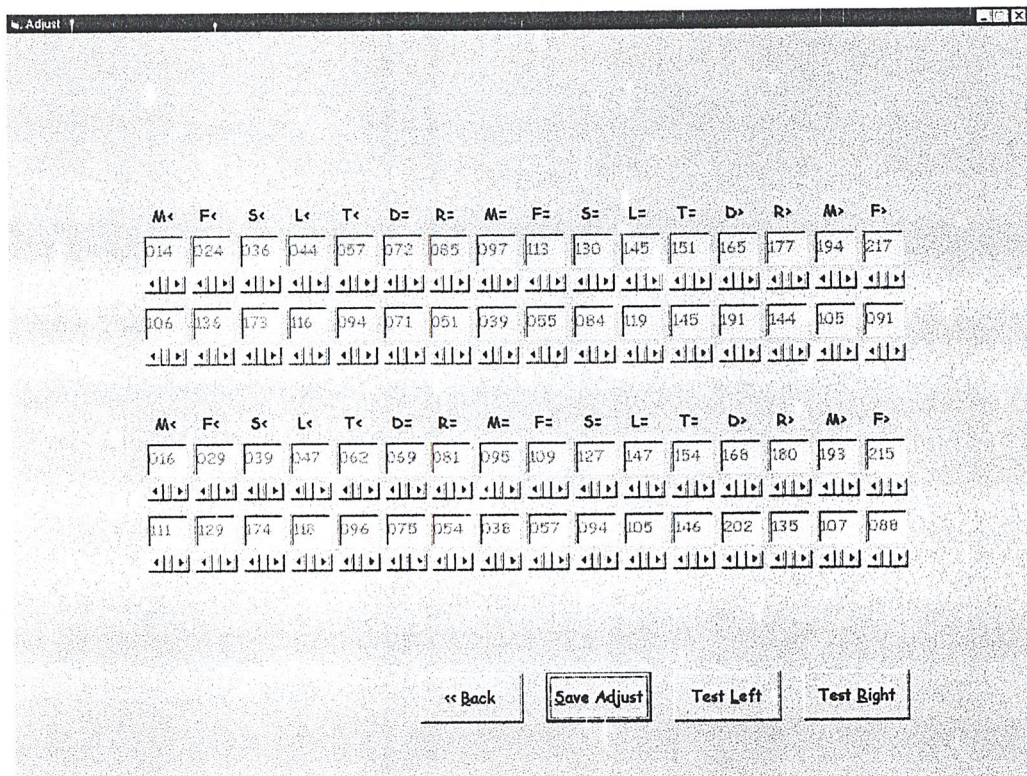
รูปที่ 4.3 หน้าจอการเลือกรหัสเพลง

ผู้ใช้สามารถเลือกรหัสเพลงที่ต้องการได้โดยการเลือกจากรายชื่อเพลง แล้วเมื่อเลือกปุ่ม OK รหัสเพลงที่เลือกก็จะไปปรากฏอยู่ที่ การแสดงผลส่วนกลาง พร้อมทั้งได้แปลงค่าโน้ตเพลงเป็นรหัสไว้สำหรับคำนวณต่อไป



รูปที่ 4.4 หน้าจอการแสดงผลส่วนกลางที่มีการเลือกเพลงและแปลงรหัส

การเปลี่ยนแปลงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของลูกข้อ (Adjust) มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.5 หน้าจอการเปลี่ยนแปลงค่าเปรียบเทียบตำแหน่งของลูกข้อ

ในการวางแขนกลในแต่ละครั้งนั้น เราไม่สามารถวางให้อยู่ในตำแหน่งเดิมได้ อีกทั้งขนาดของข้อวงใหญ่ในแต่ละเครื่องก็ยังมีรัศมีความโค้งที่แตกต่างกันออกไปจึงไม่สามารถกำหนดค่าที่แน่นอนลงไปได้ว่าตำแหน่งใด มีค่าเท่าใด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าเปรียบเทียบ เพื่อให้แขนกลนั้นสามารถปฏิบัติตามคำสั่งได้อย่างสมบูรณ์ขึ้น

ในการเปลี่ยนแปลงค่าเปรียบเทียบ จะต้องทำทั้งแขนซ้าย และแขนขวา เนื่องจากค่าในการวัดของทั้งสองแขนในระยะ และองศาการหมุนเดียวกันนั้นมีค่าไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากความผิดพลาดทางกล เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าเปรียบเทียบเรียบร้อยแล้ว ให้เลือกปุ่ม Save Adjust เพื่อเก็บค่าเปรียบเทียบนี้ จากนั้นให้เลือกปุ่ม Test Left เพื่อทดสอบการทำงานของแขนซ้าย และเลือกปุ่ม Test Right เพื่อทดสอบการทำงานของแขนขวา หลังจากนั้นเลือกปุ่ม Back เพื่อกลับไปยังหน้าจอการแสดงผลส่วนกลาง

4.2 ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

เนื่องจากข้อมูลภายในคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณระดับ และข้อมูลจากภายนอกเป็นสัญญาณต่อเนื่อง ดังนั้นจึงไม่สามารถติดต่อกันได้โดยตรง จึงทำให้ต้องมีอุปกรณ์ไว้สำหรับติดต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

1. การรับข้อมูลจากภายนอก โดยผ่านทาง พี ซี ไอ การ์ด (PCI Card) รุ่น 3100 ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณต่อเนื่อง มาเป็นสัญญาณระดับ (Analog to Digital) ซึ่งมีความสามารถรับอยู่ในช่วง +5 ถึง -5 โวลต์ โดยมีความละเอียดเท่ากับ 10 โวลต์ / FFFH คือประมาณ 0.025 โวลต์ แต่เนื่องจากวงจรจ่ายแรงดันกระแสตรง มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างจึงทำให้ได้รับค่าที่ไม่แน่นอน

การทดลองที่ 4.1

ระดับแรงดัน (v)	การรับข้อมูลจากภายนอก (H)				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ความแตกต่าง
-5.0 V	45A	465	463	466	12
-4.0 V	585	586	584	57E	8
-3.0 V	6A1	6A0	69E	69F	3
-2.0 V	7B9	7B7	7B8	7B6	3
-1.0 V	8C6	8C8	8CA	8C7	4
0.0 V	9D	9E3	9D7	9E2	10
1.0 V	AFC	AFF	AF4	AFB	11
2.0 V	C2F	C30	C2E	C2C	4
3.0 V	D3F	D3D	D3A	D3B	5
4.0 V	E53	E52	E50	E4E	5
5.0 V	F7B	F7C	F78	F7A	4

สรุปผลการทดลอง

จากตารางจะเห็นได้ว่าการรับค่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่ยังไม่เกิน 1 หลัก คือความแตกต่างยังมีค่าน้อยกว่า 16 อยู่ ซึ่งข้อมูลที่รับเข้ามาเป็น 3 หลัก ดังนั้นจึงสามารถนำค่าที่รับเข้ามาไปใช้ในการคำนวณได้เลย

2. การส่งข้อมูลออกไปภายนอก โดยผ่านทาง การ์ดรุ่น PCL - 726 ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณระดับ มาเป็น สัญญาณต่อเนื่อง (Digital to Analog) ซึ่งมีความสามารถในการจ่ายระดับแรงดันอยู่ในช่วง +5 ถึง -5 โวลท์ โดยมีความละเอียดเท่ากับ 10 โวลท์ / FFFH คือ ประมาณ 0.00244 โวลท์ แต่เนื่องจากวงจรจ่ายแรงดันกระแสตรง มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างจึงทำให้ได้รับค่าที่ไม่แน่นอน

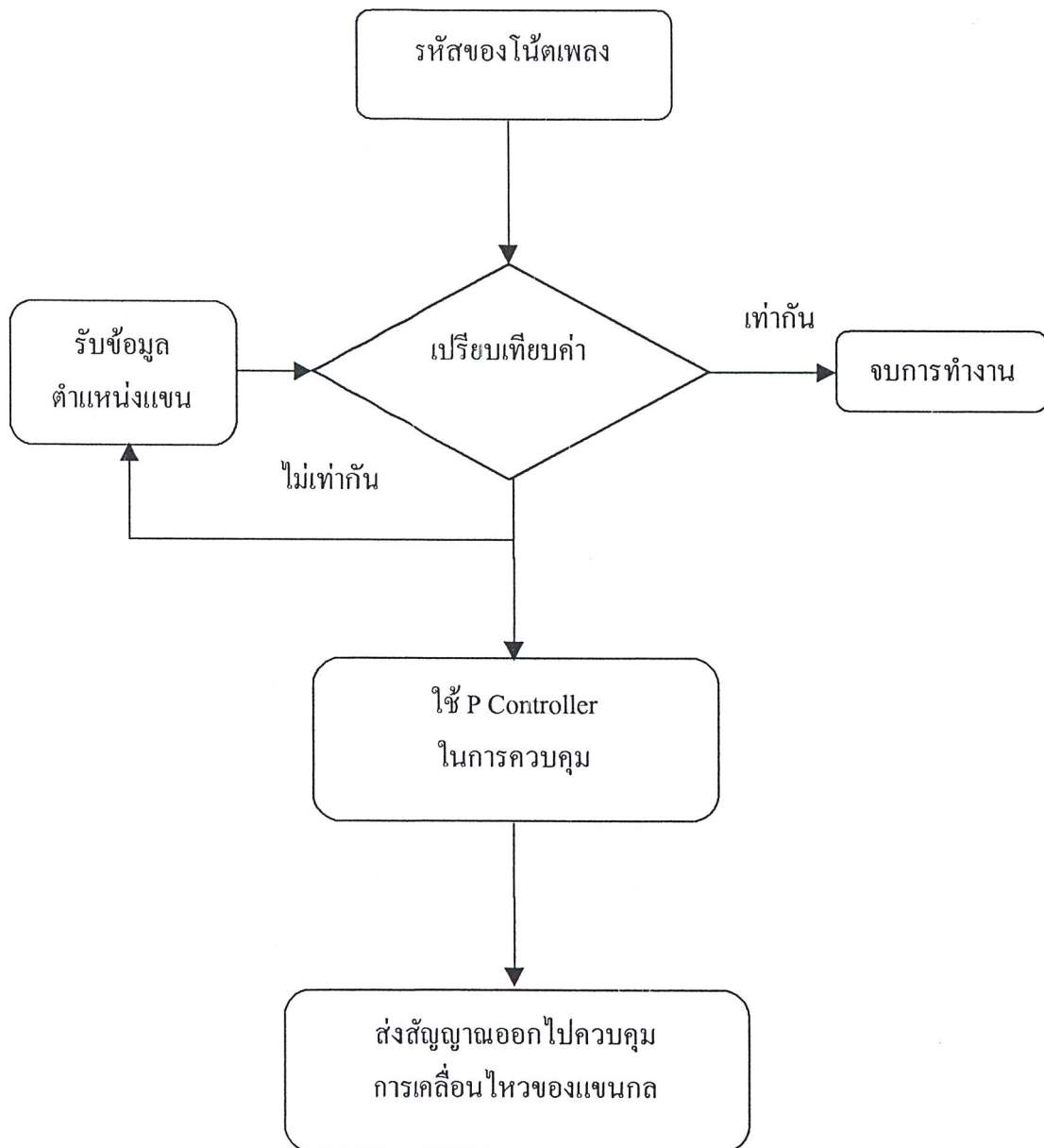
การทดลองที่ 4.2

ค่าที่ส่งออกไป(H)	แรงดันที่ได้ (V)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ความแตกต่าง
111	-4.34	-4.32	4.33	0.02
222	-3.81	-3.80	-3.84	0.04
333	-3.01	-3.05	-3.08	0.07
444	-2.33	-2.38	-2.35	0.05
555	-1.58	-1.56	-1.58	0.02
666	-0.75	-0.78	-0.73	0.05
777	-0.04	-0.03	-0.08	0.05
888	+0.07	+0.05	+0.12	0.07
999	+0.72	+0.74	+0.72	0.02
AAA	+1.63	+1.59	+1.58	0.05
BBB	+2.25	+2.24	+2.19	0.06
CCC	+2.78	+2.77	+2.80	0.03
DDD	+3.61	+3.62	+3.58	0.07
EEE	+4.23	+4.25	+4.27	0.04

สรุปผลการทดลอง

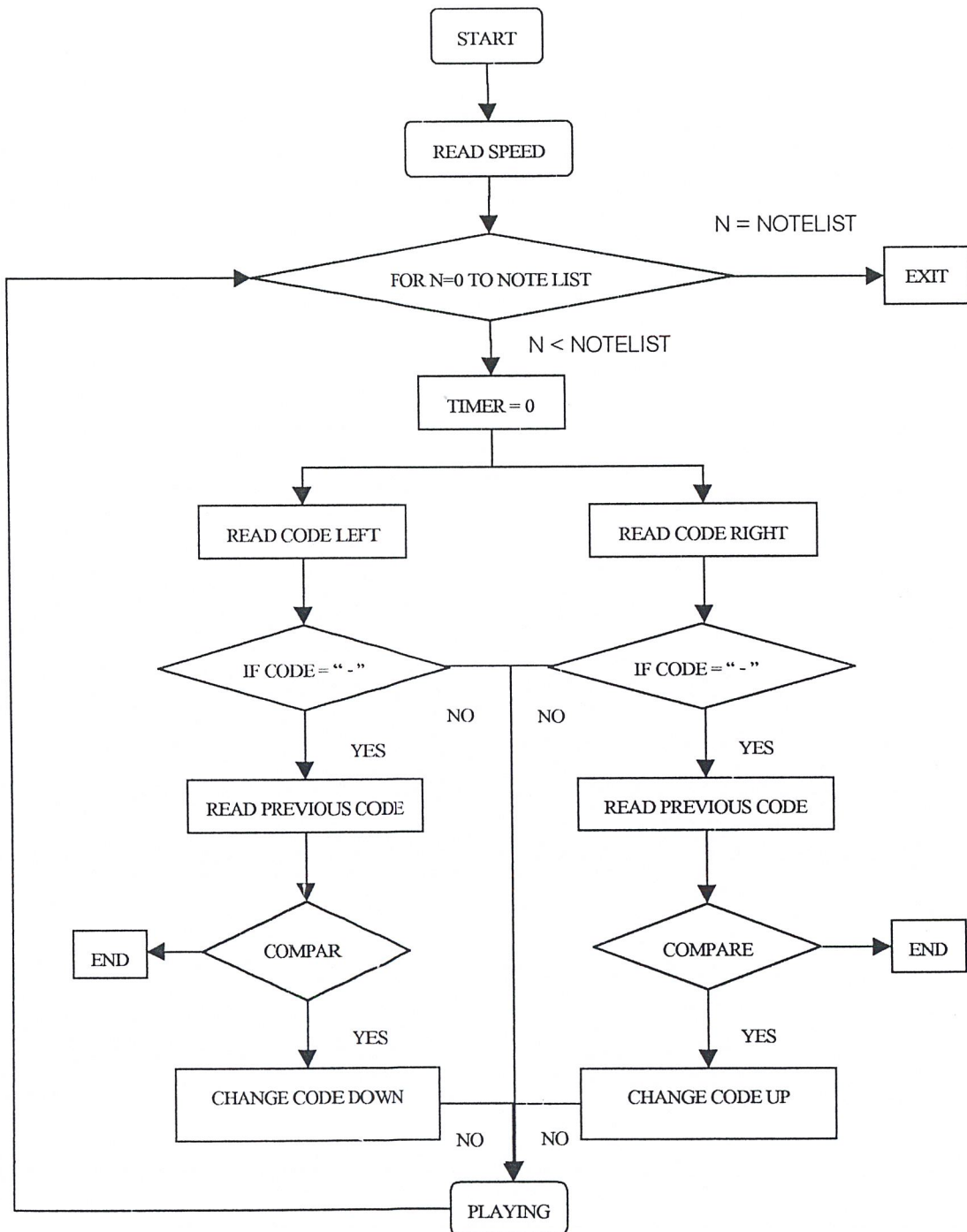
จากตารางจะเห็นได้ว่าการรับค่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่ยังไม่เกิน 0.1 โวลท์ ความแตกต่างมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระดับแรงดันสูงสุด ดังนั้นจึงสามารถนำระดับแรงดันไปจ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณได้เลย

4.3 ส่วนประมวลผล

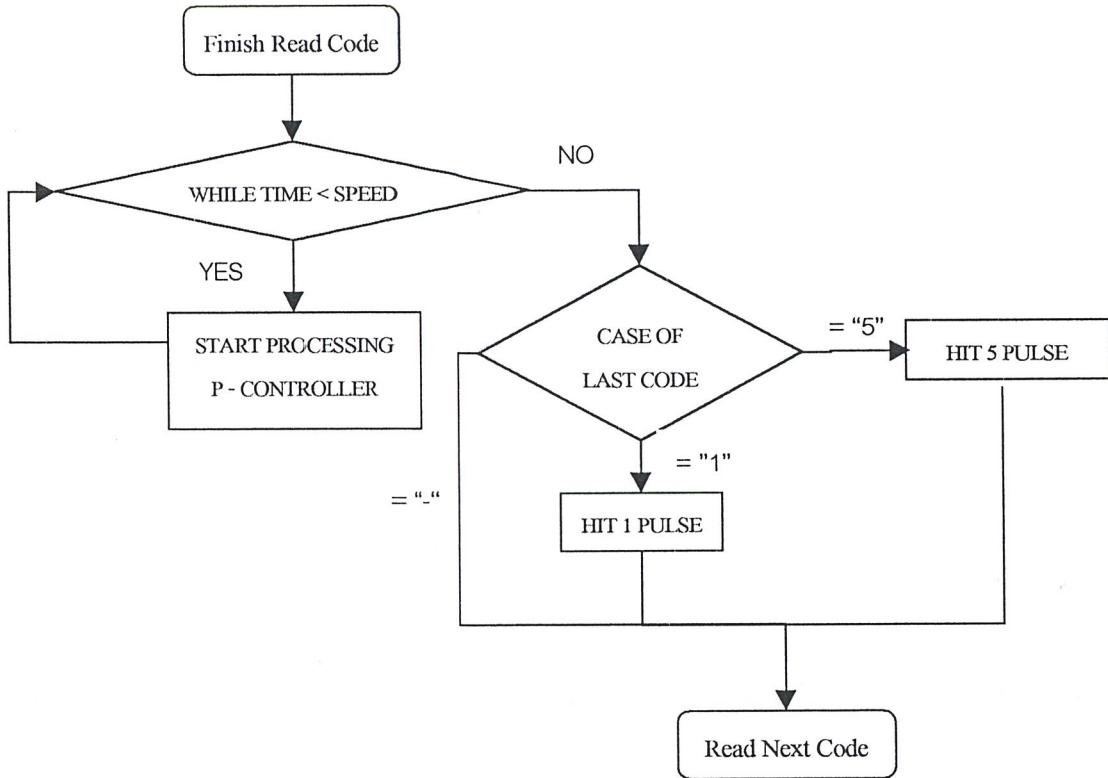


รูปที่ 4.6 แผนผัง ขั้นตอนการคำนวณของการควบคุมแกนกล

ในโปรแกรมนี้จะมีการประมวลผลเพื่อควบคุมอุปกรณ์ภายนอก และรับสัญญาณป้อนกลับ เมื่อมีการเลือกปุ่มคำสั่ง "Play" และ "Stop" เท่านั้น โดยที่ ปุ่มคำสั่ง "Stop" จะทำการหยุดการทำงาน ไม่ว่าจะมีการประมวลผลอยู่ในขั้นตอนใดก็ตาม



รูปที่ 4.7 แผนผังการอ่าน และเก็บค่ารหัสในเทปเพลง



รูปที่ 4.8 แผนผังการตีลูกซิ่ง

บทที่ 5

สรุป และวิจารณ์

แขนกลดีซิ่งวงใหญ่ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆดังต่อไปนี้ โครงสร้างทางกล ,โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบให้มีความสัมพันธ์กัน

โครงสร้างทางกล

เริ่มต้นออกแบบโดยการศึกษาลักษณะของข้อมงใหญ่ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. เป็นทรงกลมแบน ทำให้รัศมีจากจุดศูนย์กลางไปยังลูกข้อมงแต่ละลูกไม่เท่ากันจึงได้ทำการสร้างส่วนยึดและหดแขน
2. ลูกข้อมงลูกแรก และลูกสุดท้ายทำมุมกับจุดศูนย์กลางเป็น 270 องศา จึงต้องสร้างฐานเป็นทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยม เพื่อให้แขนกลหมุนได้ 300 องศา

โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์

ทำการออกแบบโดยใช้ข้อมูลจาก คุณลักษณะของอุปกรณ์

1. คุณลักษณะของมอเตอร์ ใช้คำนวณวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้น
2. คุณลักษณะของการ์ดอินเทอร์เฟซ ใช้คำนวณวงจรขยายสัญญาณ โดยมีวงจรปรับปรุงแรงดันเป็นอุปกรณ์เสริมเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต่าง ๆ กัน

ส่วนการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์

ทำการออกแบบโดยใช้ข้อมูลของระบบ และการ์ดอินเทอร์เฟซ

1. ระบบการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น สามารถประมาณสมการคุณลักษณะให้เป็นสมการอันดับหนึ่งได้ ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมจึงสามารถใช้ P – Controller ในการควบคุมระบบนี้

2. การใช้การ์ดอินเทอร์เฟซนั้นต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะติดต่อกับการ์ด โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นนั้น เป็นโปรแกรมที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะได้ เพราะแต่ละการ์ดมีโปรแกรมในการติดต่อเฉพาะตัว

ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข

1. เนื่องจากไม่สามารถทราบข้อมูลที่ถูกต้องของอุปกรณ์ เช่นมอเตอร์ จึงทำให้วงจรต่าง ๆ นั้นไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ แต่เนื่องจากมีการทดลองและคุณค่าชัดเจนความผิดพลาดให้แก่วงจรต่าง ๆ จึงทำให้สามารถทำการทดลองควบคุมระบบได้ แต่หากต้องการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะที่แน่นอน ก็จะทำให้งบประมาณสูงขึ้น ซึ่งไม่เหมาะสมในการนำมาจำลองกับระบบนี้
2. ความต้านทานชนิดปรับค่าได้นั้นมีความผิดพลาดในตัวเองค่อนข้างสูง ทำให้การควบคุมเกิดความผิดพลาดในตำแหน่งขณะที่เข้าสู่เสถียรภาพแล้ว แต่ถ้าหากมีการใช้อุปกรณ์อื่นที่มีคุณภาพสูงกว่านี้ปัญหาก็จะหมดไป แต่จะส่งผลให้งบประมาณสูงขึ้นเช่นกัน
3. จากความไม่ชำนาญในการใช้อุปกรณ์ทางกล เช่น สว่าน และเครื่องกลึง เป็นต้น ทำให้โครงสร้างทางกลมีความไม่เที่ยงตรง จึงส่งผลให้ผลตอบสนองของระบบเข้าสู่เสถียรภาพได้ช้า ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดย เพิ่มเป็น PID – Controller ก็จะทำให้ผลตอบสนองเข้าสู่เสถียรภาพได้เร็ว และเที่ยงตรงมากขึ้น
4. แขนกลที่สร้างขึ้นมานั้นมีข้อจำกัดอยู่มากจึงไม่สามารถเล่นตามโน้ตเพลงได้ทันที ดังนั้นต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจสอบโน้ตเพลงที่ใส่ข้อมูลลงไป
5. ความไม่เข้าใจวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์อย่างแท้จริงทำให้เมื่อเกิดปัญหาต่างๆขึ้นแล้วไม่สามารถแก้ไขวงจรนั้นๆ ได้ ดังนั้นจึงได้ทำการเปลี่ยนมาใช้วงจรที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายเพื่อที่จะสามารถ แก้ไขและปรับปรุงให้เหมาะสมกับระบบที่ได้ทำการทดลองนี้
6. ปัญหาสุดท้ายเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นโดยความผิดพลาดเล็กๆน้อยๆ แต่ส่งผลให้กับระบบโดยรวม คือ การต่อสายไฟ เนื่องจากการต่อที่ไม่แน่นอน ทำให้สายไฟเกิดค่าความต้านทาน วงจรนั้นๆ จึงมีคุณลักษณะที่เปลี่ยนไป ซึ่งได้ทำการตรวจสอบ และแก้ไข เป็นส่วนๆ ทำให้ทราบว่าความผิดพลาดไม่ได้เกิดจากวงจร แต่เกิดจากเชื่อมต่อสายไฟนั่นเอง

โครงการนี้ได้สร้างแกนกลตี้อรงวงใหญ่ขึ้น เพื่อศึกษาการควบคุมระยะและการเคลื่อนที่ของแกนกล ให้สามารถตี้อรงตามโน้ตเพลงได้ถูกต้อง จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าการใช้ P – Controller ในการควบคุมนั้นให้ผลที่ยังไม่เที่ยงตรง แต่สามารถควบคุมให้แกนกลเคลื่อนไปในทิศทางที่ต้องการได้ เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูงมากนักจึงสามารถควบคุมระบบนี้จากโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาได้ หากแต่ความไม่เที่ยงตรงของโครงสร้างทางกลนั้นทำให้สามารถตี้อรงเฉพาะในจังหวะซ้ำๆเท่านั้น ถึงอย่างไรก็ตามขึ้นงานและโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาก็ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในโครงการนี้

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, คู่มืออิเล็กทรอนิกส์, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2538.

Stephen J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals, 3rded, McGraw-Hill Book Co., Inc., Singapore, 1999.

Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering, 3rded, Prentice-Hall Co., Inc., New Jersey, 1997.

กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล, จำลอง ครูอุตสาหกรรม, Visual basic ฉบับโปรแกรมเมอร์, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, บริษัท ดวงกลมสมัย จำกัด, 2542.

ภาคผนวก

หลักการทํางานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นทรานสดิวเซอร์แรงบิด ซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษคือ แรงบิดของเพลามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ แรงบิดของเพลามอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟลักซ์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็กและขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ R ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลากับกระแสเท่ากับ

$$T = K \times \Phi \times I$$

เมื่อ T คือ แรงบิดของเพลามีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร

Φ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์

I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์

K คือ ค่าคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลาก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้าเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวมันเอง แรงดันไฟฟ้านี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลามอเตอร์และด้านการไหลของกระแสไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลามอเตอร์คือ

$$E = K \times \Phi \times W$$

เมื่อ E คือ แรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (Back emf) มีหน่วยเป็น โวลต์

Φ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์

W คือ ความเร็วของมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที

มอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร มีคุณลักษณะความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ เป็นแบบเชิงเส้นดังรูป ที่ทำให้ง่ายต่อการควบคุมตำแหน่ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ทางเชิงกล

$$\text{จาก } \sum \text{Torque} = J \times d\omega(t)/dt \quad (1)$$

$J(t)$: โมเมนต์ออฟอินเนอเซีย (Moment Of Inertia) : กิโลกรัม/ตารางเมตร

$T_f(t)$: แรงบิดเสียดทานในที่นี้คิดเฉพาะวิสคอสฟริกชัน (viscost friction)
: นิวตัน-เมตร

$T_d(t)$: แรงบิดจากมอเตอร์ : นิวตัน-เมตร

$T_L(t)$: แรงบิดจากผลของภาระ (Load) : นิวตัน-เมตร

$\omega(t)$: ความเร็วเชิงมุม : เรเดียน/วินาที

N : อัตราทดรอบเฟือง

$\theta(t)$: ตำแหน่งเชิงมุม : เรเดียน

$$\sum \text{Torque} = T_d - T_f - T_L$$

$$\sum \text{Torque} = T_d - B\omega(t) - T_L \quad (2)$$

แทนค่า (2) ใน (1)

$$T_d(t) - B\omega(t) - T_L(t) = J \times d\omega(t)/dt$$

$$T_d(t) - T_L(t) = J \times d\omega(t)/dt + B\omega(t)$$

ให้ $T_d(t) - T_L(t) = T(t)$

$$T(t) = J \times d\omega(t)/dt + B\omega(t) \quad (3)$$

ทำการแปลงลาปลาซ สมการ (3) โดยให้สภาวะเริ่มต้น $\omega(0) = 0$ เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอน

$$T(s) = Js\omega(s) + B\omega(s)$$

$$\omega(s)/T(s) = 1/(Js+B) \quad (4)$$

เนื่องจากว่า

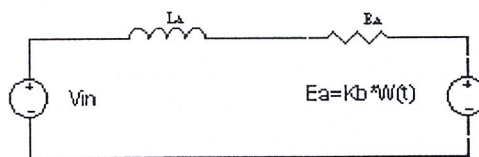
$$\theta(t) = \int \omega(t)dt \quad (5)$$

ทำการแปลงลาปลาซ สมการ (5) โดยให้สภาวะเริ่มต้น $\omega(0) = 0$ เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอน

$$\theta(s) = 1/Ns \times \omega(s)$$

$$\theta(s)/\omega(s) = 1/Ns \quad (6)$$

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า



วงจรเทียบเคียงทางไฟฟ้า

จากกฎของเคอร์ชอฟ(KVL)

$$V_{in}(t) - L_a - R_a I_A(t) - e_a(t) = 0 \quad (7)$$

e_a : แรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (Back emf) ; โวลต์

R_a : ความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์ ; โอห์ม

L_a : ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดอาเมเจอร์ ; เฮนรี่

V_{in} : แรงดันขาเข้า (input) ; โวลท์

$i_a(t)$: กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานของขดลวดอาเมเจอร์

$$V_{in}(t) - e_a(t) = L_a \frac{di_a(t)}{dt} + R_a i_a(t) \quad (8)$$

ให้ $V_{in}(t) - e_a(t) = v(t)$

$$v(t) = L_a \frac{di_a(t)}{dt} + R_a i_a(t) \quad (9)$$

ทำการแปลงลาซ สมการ (9) โดยให้สภาวะเริ่มต้น $\omega(0) = 0$ เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอน

$$V(s) = (L_a s + R_a) I_a(s)$$

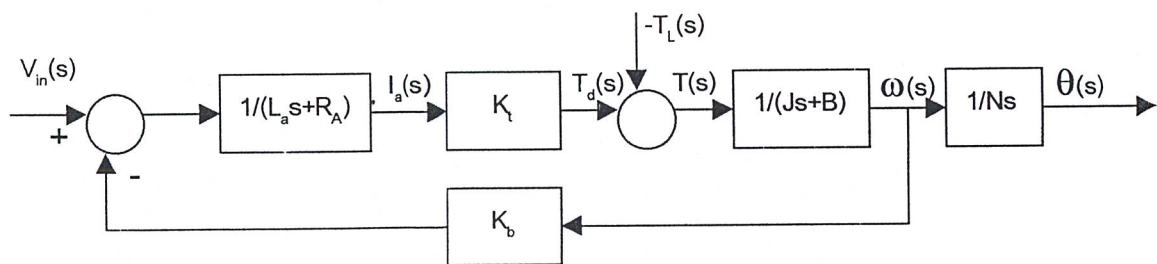
นำระบบทางเชิงกลและทางไฟฟ้ามาเชื่อมต่อกัน โดยให้ระบบรวมมี $V(s)$ เป็นอินพุต, $\theta(s)$ เป็น เอาท์พุต และความสัมพันธ์ที่ใช้เชื่อมต่อบetween ระบบทั้ง 2 เป็นดังนี้

$$T_d(t) = K_t i_a(t) \quad (10)$$

$$E_a(t) = K_b \omega(t) \quad (11)$$

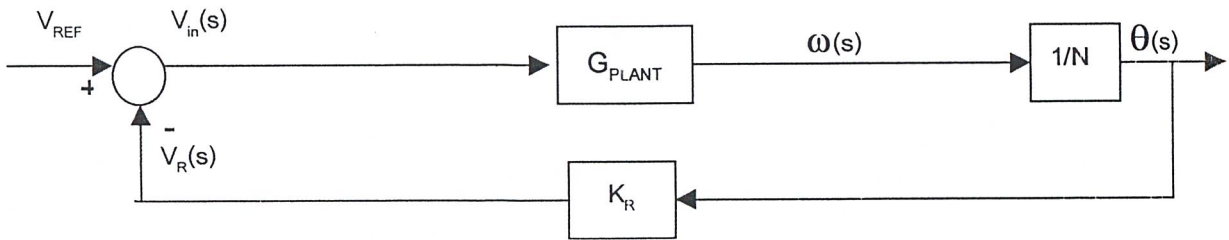
K_t : ค่าคงที่ของแรงบิด (Torque Constant)

K_b : ค่าคงที่ของแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ (Back emf constant)

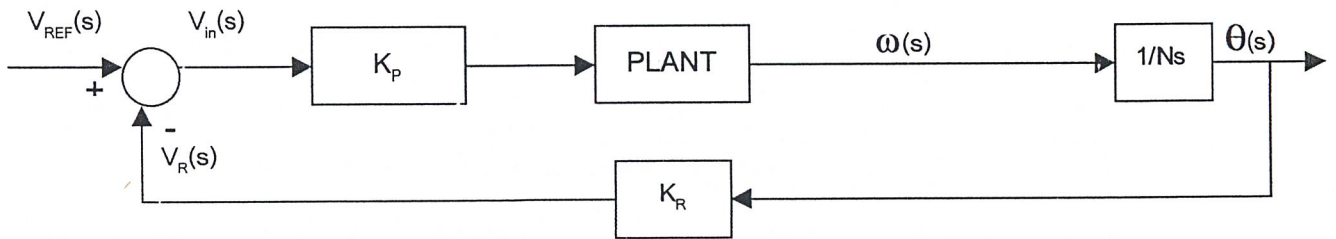


บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สมมติให้ Forward Part ให้เป็น Plant 1 Plant ดังรูป



เราประมาณ G_{PLANT} เป็น First Order ($G_{PLANT} = 1/(Ts+1)$) ดังนั้น ทางด้าน Forward Path พิจารณา input เป็น โวลท์ output เป็น θ เราจะได้ Forward Path เป็น second order และเป็น Type one (pole 1 ตัวที่ origin ได้มาจากการ อินทิเกรต ω ให้เป็น θ) ดังนั้นเมื่อ reference input เป็น unit step input จากทฤษฎีการหา steady state error ทำให้เรารู้ว่า ยังมี ค่า steady state error อยู่ (θ output ยังไม่สามารถเท่ากับ θ reference ได้) เราสามารถกำจัด steady state error ให้เป็น ศูนย์ ได้โดย ใช้ P controller ดังรูป



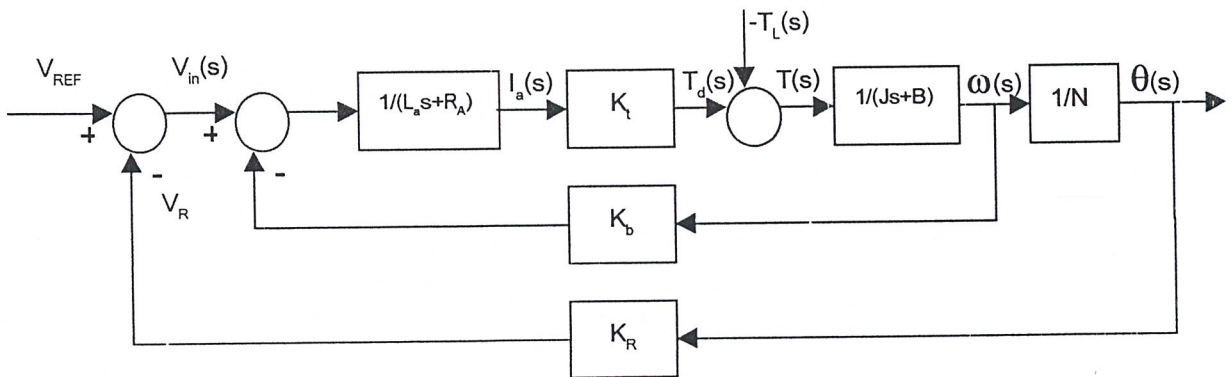
บล็อกไดอะแกรมที่ใช้ P controller ควบคุม

โดย K_p คือ ค่าคงที่ของ P controller

หลักการควบคุมตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback control system) สามารถควบคุมตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ได้โดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งเชิงมุมจริง (θ) เปรียบเทียบกับตำแหน่งเชิงมุมอ้างอิง (θ_r) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ผลต่างระหว่างตำแหน่งอ้างอิงกับตำแหน่งเชิงมุมจริง ($\theta_r - \theta$) จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าลัพท์ ($V - V_r$) ทำให้มอเตอร์ระแแสดงตรงหมุนเพื่อลดผลต่างแรงดันไฟฟ้า ($\theta_r - \theta$) หรือผลต่างระหว่างตำแหน่งเชิงมุมอ้างอิง (θ_r) กับตำแหน่งเชิงมุมจริง (θ) ให้เหลือน้อยที่สุด

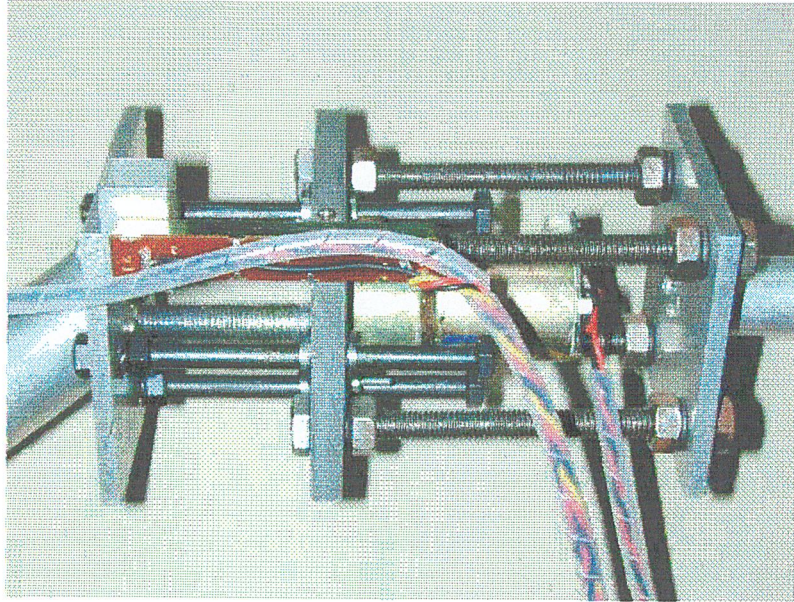
ดังนั้นจากบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์กระแสตรงเราทำการเพิ่ม อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) ซึ่งก็คือ โพเทนชิโอมิเตอร์ในส่วนของ Feedback Part ดังรูป



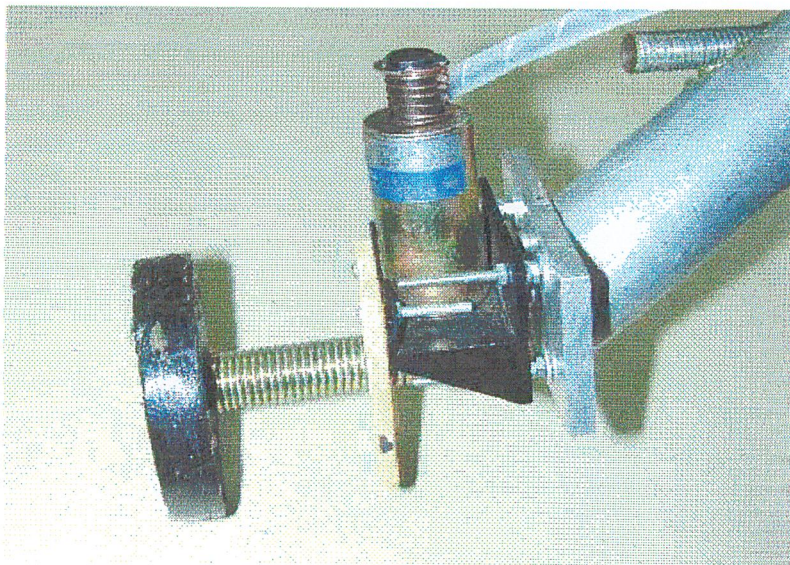
บล็อกไดอะแกรมที่ได้โพเทนชิโอมิเตอร์แล้ว

โดย K_R คือ ค่าคงที่ของโพเทนชิโอมิเตอร์

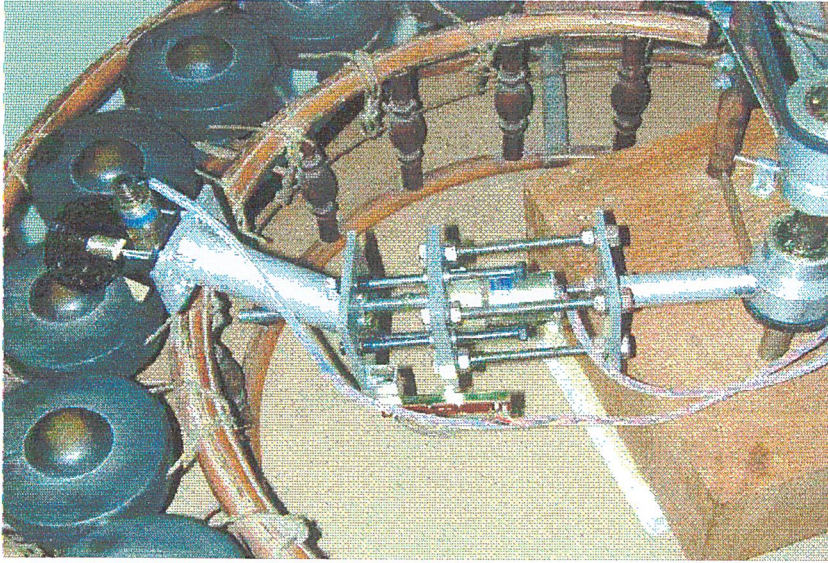
ภาพส่วนประกอบของแขนกลที่ใช้งานจริง



ส่วนยึด-หดของแขนกล



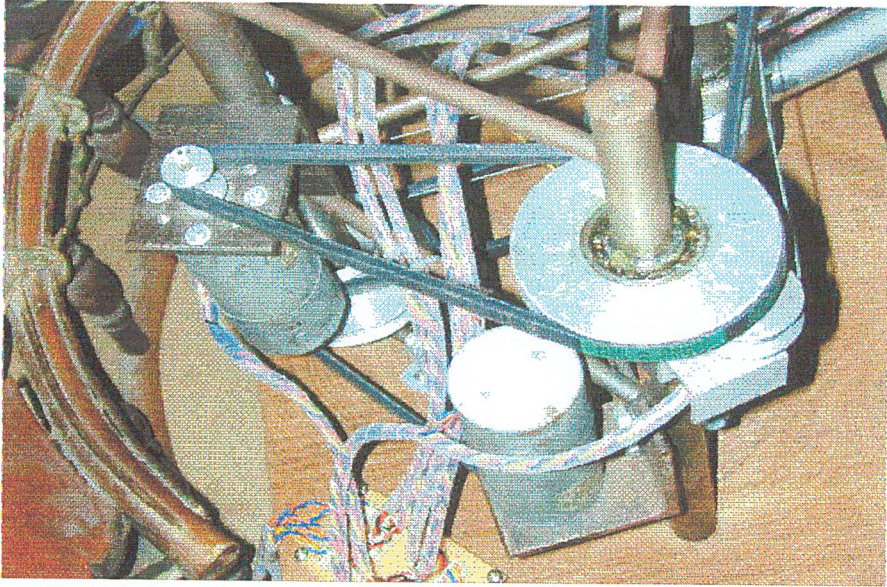
ส่วนตีของแขนกล



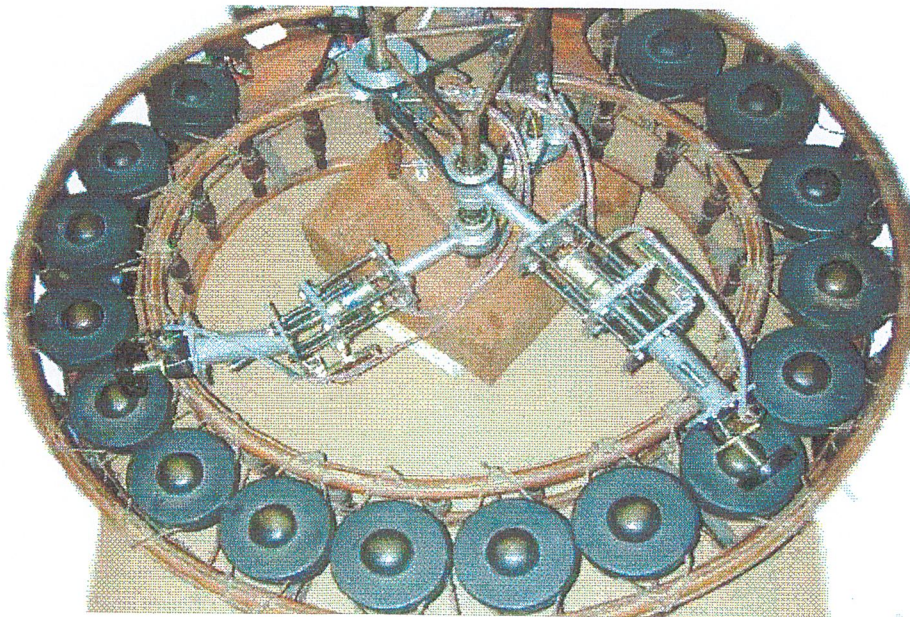
ส่วนของแขนกล 1 แขน



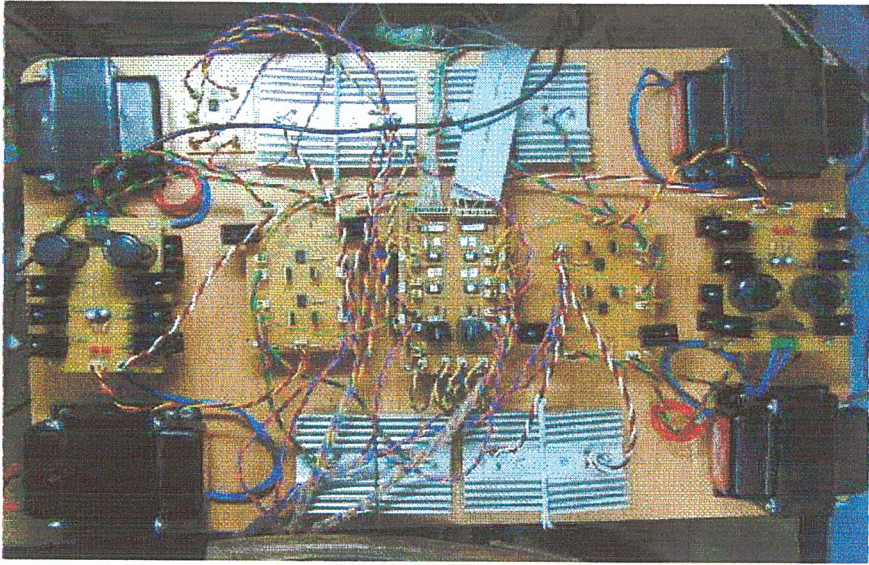
ภาพด้านข้างของแขนกล



ส่วนฐานของแขนกล

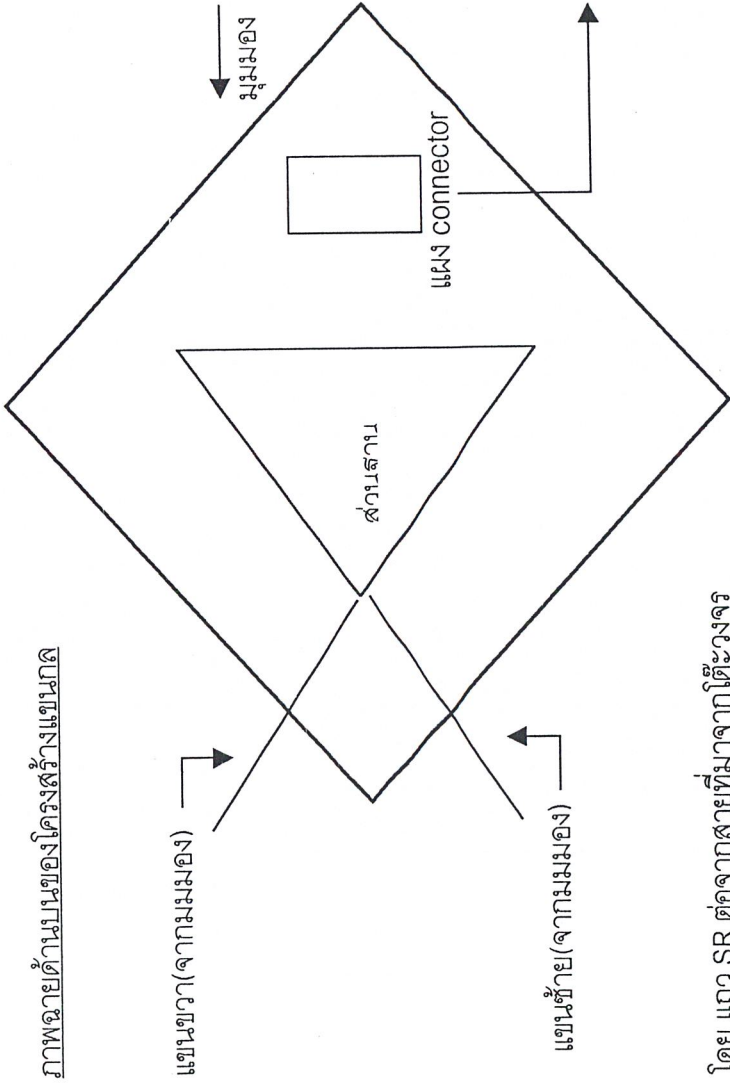


โครงสร้างแขนกลทั้งหมด



ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของแขนกล

ภาพถ่ายด้านบนของโครงสร้างแขนง



โดย แถว SR ต่อจากสายที่มาจากใต้วงจร

แถว MR ต่อไปยังภาวะไฟฟ้าส่วนแขนขวา

แถว SL ต่อจากสายที่มาจากใต้วงจร

แถว ML ต่อไปยังภาวะไฟฟ้าส่วนแขนซ้าย

และ PM ต่อไปยังความต้านทานปรับค่าได้ของส่วนยึด-หัดแขน

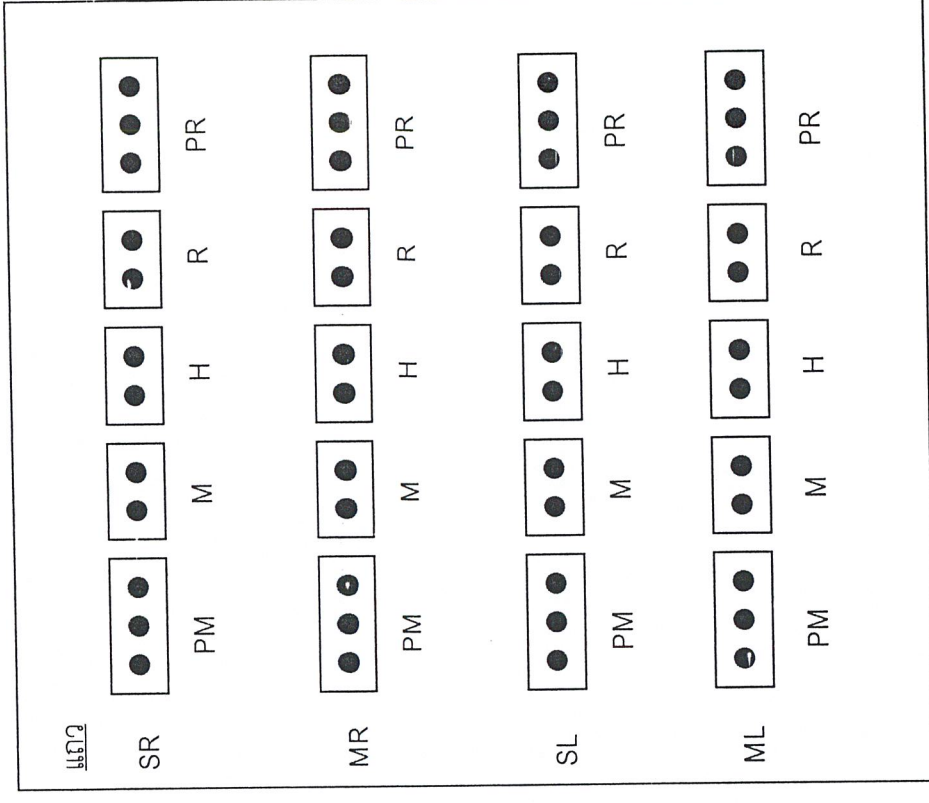
PR ต่อไปยังความต้านทานปรับค่าได้ของส่วนหมุนแขน

M ต่อไปยังมอเตอร์ที่ใช้ยึด-หัดแขน

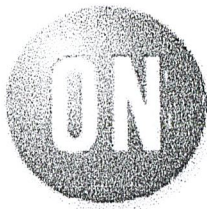
R ต่อไปยังมอเตอร์ที่ใช้หมุนแขน

H ต่อไปยังโซลินอยด์ที่ใช้ดี

ภาพถ่ายของแผง Connector



TIP31A, TIP31B, TIP31C, (NPN), TIP32A, TIP32B, TIP32C, (PNP)



ON Semiconductor™

<http://onsemi.com>

Complementary Silicon Plastic Power Transistors

Designed for use in general purpose amplifier and switching applications.

- Collector–Emitter Saturation Voltage –
 $V_{CE(sat)} = 1.2 \text{ Vdc (Max) @ } I_C$
 $= 3.0 \text{ Adc}$
- Collector–Emitter Sustaining Voltage –
 $V_{CEO(sus)} = 60 \text{ Vdc (Min) – TIP31A, TIP32A}$
 $= 80 \text{ Vdc (Min) – TIP31B, TIP32B}$
 $= 100 \text{ Vdc (Min) – TIP31C, TIP32C}$
- High Current Gain – Bandwidth Product
 $f_T = 3.0 \text{ MHz (Min) @ } I_C$
 $= 500 \text{ mAdc}$
- Compact TO-220 AB Package

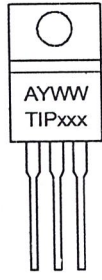
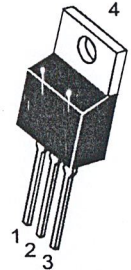
**3 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY
SILICON
60–80–100 VOLTS
40 WATTS**

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP31A TIP32A	TIP31B TIP32B	TIP31C TIP32C	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CB}	60	80	100	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB}	5.0			Vdc
Collector Current Continuous Peak	I_C	3.0 5.0			A dc
Base Current	I_B	1.0			A dc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	40 0.32			Watts W/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016			Watts W/ $^\circ\text{C}$
Unclamped Inductive Load Energy (Note 1)	E	32			mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	–65 to +150			$^\circ\text{C}$

1. $I_C = 1.8 \text{ A}$, $L = 20 \text{ mH}$, P.R.F. = 10 Hz, $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_{BE} = 100 \Omega$.

MARKING DIAGRAM



**TO-220AB
CASE 221A-09
STYLE 1**

xxx = Specific Device Code:
 31A, 31B, 31C, 32A, 32B, 32C
 A = Assembly Location
 Y = Year
 WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 6 of this data sheet.



Complementary Silicon High-Power Transistors

... PowerBase™ complementary transistors designed for high power audio, stepping motor and other linear applications. These devices can also be used in power switching circuits such as relay or solenoid drivers, dc-to-dc converters, inverters, or for inductive loads requiring higher safe operating area than the 2N3055 and MJ2955.

- Current-Gain — Bandwidth-Product @ $I_C = 1.0 \text{ Adc}$
 $f_T = 0.8 \text{ MHz (Min) - NPN}$
 $= 2.2 \text{ MHz (Min) - PNP}$
- Safe Operating Area — Rated to 60 V and 120 V, Respectively

***MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	2N3055A MJ2955A	MJ15015 MJ15016	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	120	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	100	200	Vdc
Collector-Emitter Voltage Base Reversed Biased	V_{CEV}	100	200	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	7.0		Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	15		Adc
Base Current	I_B	7.0		Adc
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	115 0.65	180 1.03	Watts W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200		$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	0.98	$^\circ\text{C/W}$

*Indicates JEDEC Registered Data. (2N3055A)

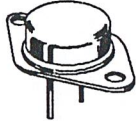
NPN
2N3055A

MJ15015 *

MJ2955A
PNP
MJ15016 *

*ON Semiconductor Preferred Device

15 AMPERE
COMPLEMENTARY
SILICON
POWER TRANSISTORS
60, 120 VOLTS
115, 180 WATTS



CASE 1-07
TO-204AA
(TO-3)

Preferred devices are ON Semiconductor recommended choices for future use and best overall value.

LM741

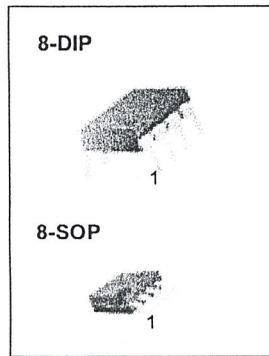
Single Operational Amplifier

Features

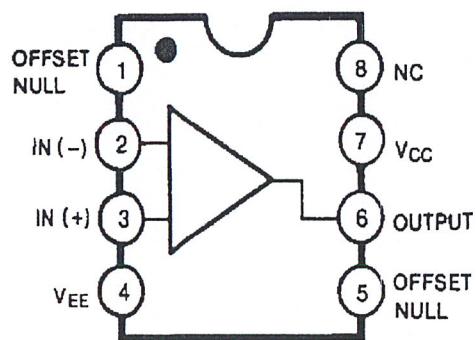
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

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



Internal Block Diagram



LM124/LM224/LM324/LM2902

Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

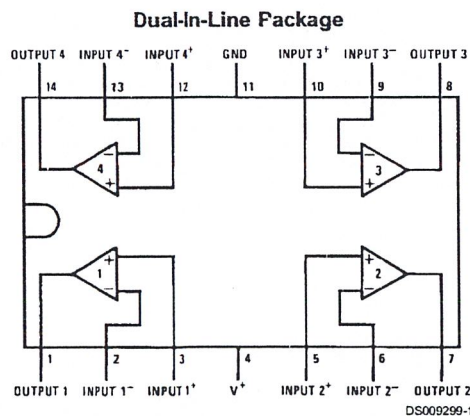
Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
 - Single supply 3V to 32V
 - or dual supplies $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV and offset current: 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to $V^+ - 1.5V$

Connection Diagram



Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883 (Note 2), LM124AJ/883 (Note 1), LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M, LM324MX, LM324AM, LM324AMX, LM2902M, LM2902MX, LM324N, LM324AN, LM324MT, LM324MTX or LM2902N LM124AJRQML and LM124AJRQMLV (Note 3)

See NS Package Number J14A, M14A or N14A

Note 1: LM124A available per JM38510/11006

Note 2: LM124 available per JM38510/11005

LM137/LM337 3-Terminal Adjustable Negative Regulators

General Description

The LM137/LM337 are adjustable 3-terminal negative voltage regulators capable of supplying in excess of $-1.5A$ over an output voltage range of $-1.2V$ to $-37V$. These regulators are exceptionally easy to apply, requiring only 2 external resistors to set the output voltage and 1 output capacitor for frequency compensation. The circuit design has been optimized for excellent regulation and low thermal transients. Further, the LM137 series features internal current limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them virtually blowout-proof against overloads.

The LM137/LM337 serve a wide variety of applications including local on-card regulation, programmable-output voltage regulation or precision current regulation. The LM137/LM337 are ideal complements to the LM117/LM317 adjustable positive regulators.

Features

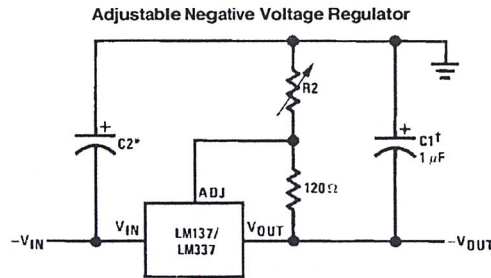
- Output voltage adjustable from $-1.2V$ to $-37V$
- 1.5A output current guaranteed, $-55^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
- Line regulation typically 0.01%/V
- Load regulation typically 0.3%
- Excellent thermal regulation, 0.002%/W

- 77 dB ripple rejection
- Excellent rejection of thermal transients
- 50 ppm/ $^{\circ}C$ temperature coefficient
- Temperature-independent current limit
- Internal thermal overload protection
- P+ Product Enhancement tested
- Standard 3-lead transistor package
- Output is short circuit protected

LM137 Series Packages and Power Capability

Device	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
LM137/337	TO-3 (K)	20W	1.5A
	TO-39 (H)	2W	0.5A
LM337	TO-220 (T)	15W	1.5A

Typical Applications



TL/H/9067-1

Full output current not available at high input-output voltages

$$-V_{OUT} = -1.25V \left(1 + \frac{R2}{120\Omega} \right) + (-I_{ADJ} \times R2)$$

†C1 = 1 μF solid tantalum or 10 μF aluminum electrolytic required for stability

*C2 = 1 μF solid tantalum is required only if regulator is more than 4" from power-supply filter capacitor

Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients



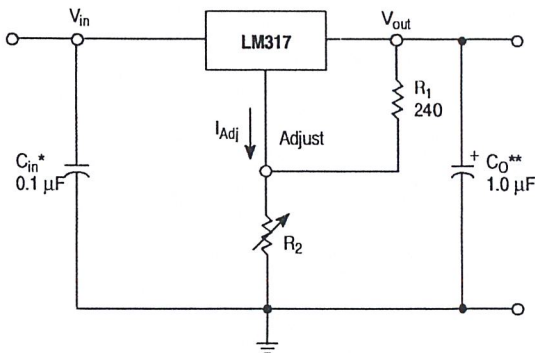
1.5 A Adjustable Output, Positive Voltage Regulator

The LM317 is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of 1.2 V to 37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow-out proof.

The LM317 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM317 can be used as a precision current regulator.

- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between 1.2 V and 37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Available in Surface Mount D²PAK, and Standard 3-Lead Transistor Package
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages

Standard Application



* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
 ** C_o is not needed for stability, however, it does improve transient response.

$$V_{out} = 1.25 V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

Since I_{Adj} is controlled to less than 100 μA , the error associated with this term is negligible in most applications.

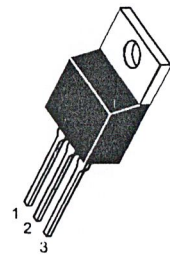
LM317

THREE-TERMINAL ADJUSTABLE POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

T SUFFIX
 PLASTIC PACKAGE
 CASE 221A

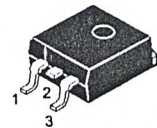
Heatsink surface
 connected to Pin 2.



Pin 1. Adjust
 2. V_{out}
 3. V_{in}

D2T SUFFIX
 PLASTIC PACKAGE
 CASE 936
 (D²PAK)

Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.



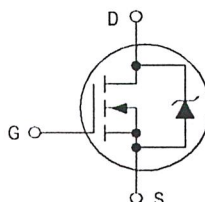
ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM317BD2T	$T_J = -40^\circ \text{ to } +125^\circ \text{C}$	Surface Mount
LM317BT		Insertion Mount
LM317D2T	$T_J = 0^\circ \text{ to } +125^\circ \text{C}$	Surface Mount
LM317T		Insertion Mount

Product Preview
TMOS E-FET™
Power Field Effect Transistor
N-Channel Enhancement-Mode Silicon Gate

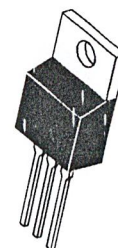
This advanced TMOS power FET is designed to withstand high energy in the avalanche and commutation modes. This new energy efficient design also offers a drain-to-source diode with a fast recovery time. Designed for low voltage, high speed switching applications in power supplies, converters, and PWM motor controls. These devices are particularly well suited for bridge circuits where diode speed and commutating safe operating area are critical and offer additional safety margin against unexpected voltage transients.

- Avalanche Energy Specified
- Source-to-Drain Diode Recovery Time Comparable to a Discrete Fast Recovery Diode
- Diode is Characterized for Use in Bridge Circuits
- I_{DSS} and $V_{DS(on)}$ Specified at Elevated Temperature



IRF540

TMOS POWER FET
27 AMPERES
100 VOLTS
 $R_{DS(on)} = 0.070 \text{ OHMS}$



CASE 221A-09
TO-220AB

MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Drain-to-Source Voltage	V_{DSS}	100	Vdc
Drain-to-Gate Voltage ($R_{GS} = 1.0 \text{ M}\Omega$)	V_{DGR}	100	Vdc
Gate-to-Source Voltage — Continuous	V_{GS}	± 20	Vdc
— Non-repetitive ($t_p \leq 10 \text{ ms}$)	V_{GSM}	± 40	Vpk
Drain Current — Continuous	I_D	27	Adc
— Continuous @ 100°C	I_D	19	
— Single Pulse ($t_p \leq 10 \mu\text{s}$)	I_{DM}	95	Apk
Total Power Dissipation	P_D	145	Watts
Derate above 25°C		1.16	$\text{W}/^\circ\text{C}$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Single Pulse Drain-to-Source Avalanche Energy — STARTING $T_J = 25^\circ\text{C}$ ($V_{DD} = 50 \text{ Vdc}$, $V_{GS} = 10 \text{ Vdc}$, PEAK $I_L = 27 \text{ Apk}$, $L = 1.0 \text{ mH}$, $R_G = 25 \Omega$)	EAS	365	mJ
Thermal Resistance — Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	0.86	$^\circ\text{C}/\text{W}$
— Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" from case for 10 seconds	T_L	260	$^\circ\text{C}$

This document contains information on a product under development. Motorola reserves the right to change or discontinue this product without notice. E-FET is a trademark of Motorola, Inc. TMOS is a registered trademark of Motorola, Inc.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องจากได้รับคำแนะนำ ความรู้ จาก อาจารย์ถาวร เบญจนาสุทธิ อาจารย์ที่ปรึกษา และได้รับความกรุณาจากอาจารย์ พรสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์อินเทอร์เน็ตการ์ดในภาคเรียนที่ 1 , อาจารย์จنگล งามวิวิทย์ ในการแปลคู่มือภาษา ญี่ปุ่น และอาจารย์ที่ปรึกษาสมทบ , อาจารย์เกียรติศักดิ์ คมวัชระ ในการช่วยวิเคราะห์ห่วงจร , อาจารย์ นานุกิ ที่ช่วยแก้ปัญหาการ์ดอินเทอร์เน็ต

อีกทั้งต้องขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และนํ้ามณฑา , ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และฟีดิ่ง รวมถึงชุมชนรอบอห , ชมรมซอฟท์บอล และห้องโปรเจค ที่หอเบญจรัตน์ ห้อง 1

ขอขอบคุณนาย กานต์ ที่สอนวิธีการใช้ลวดสลิง , นายจ๊อบ และ นายเอ ที่ช่วยแนะนำวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง , น.ส.โบ ที่ให้ข่าวสารมาตลอด และเพื่อนๆ 4E ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา และที่ขาดไม่ได้คือ นายตี๋ และ นาย โย้ค 4D , นายไม้ 4C , น.ส. จุ่ม 2D, พี่โจ๊ก รุ่น 36 และ พี่ยุทธ รุ่น 29

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณ พ่อ แม่ และญาติพี่น้องทั้งหลาย ที่ให้การอุปการะมาตลอด อีกทั้งงบประมาณของภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมเป็นอย่างดี