

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยร่วมภาครัฐและเอกชน  
ระบบผลิตอัตโนมัติเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตขั้นสูง

เรื่อง

การพัฒนาอุปกรณ์เชิงหุ่นยนต์ด้านการแสดงผลในสามมิติ

โดย

ดร. วิทยา วัฒนสุโขประสิทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรกฎาคม 2548

## 3D Display

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอการพัฒนาอุปกรณ์เชิงหุ่นยนต์ด้านการแสดงผลในสามมิติ เป็นการออกแบบและพัฒนาระบบของการแสดงผลของการเรียงตัวของเข็มแบบ matrix ชุดค้นแบบ 3D-Display มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ 1. ส่วนประกอบทางกล 2. ส่วนประกอบทางวงจรไฟฟ้า และ โปรแกรมควบคุม ซึ่งในส่วนประกอบทางกลนั้นชุดเข็มสร้างด้วยวัสดุโลหะ โดยมีแม่เหล็กถาวรติดอยู่ที่ปลายด้านใน ซึ่งตัวเข็มจะถูกขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้าจากชุดขดลวดโซลินอยด์ ชุดขดลวดโซลินอยด์ถูกขับเคลื่อนตามตำแหน่งเข็มต่างๆด้วยสเตปมอเตอร์ ในส่วนของวงจรไฟฟ้านอกจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์แล้ว ได้ทำการออกแบบและเขียนโปรแกรมควบคุมและระบบการรับข้อมูลภาพแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 เป็นตัวรับค่า และได้ทำการส่งผ่านข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อใช้ควบคุมชุด 3D-Display

จากการทดสอบการทำงานของ 3D-Display โดยทำการใส่ภาพที่ต้องการแสดงผล โดยให้เป็นรูปทางเรขาคณิต ชุด 3D-Display ที่แสดงผลสามารถแสดงผลได้ แต่เกิดความคลาดเคลื่อนไม่ตรงตามค่าที่ประมาณไว้ตามทฤษฎี อย่างไรก็ตาม ได้ทำการศึกษาสาเหตุที่เกิดขึ้น และสรุปผลเพื่อทำการพัฒนาในขั้นต่อไป

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ	2
1.6 ตารางเวลาที่ใช้ดำเนินการ	2
บทที่ 2 ทัศนวิสัย	3
2.1 เกมส์	3
2.1.1 สภาวะเหมือนจริงที่ทดลองโดยเทคนิคคอมพิวเตอร์	3
2.1.2 เกมส์ในรูปแบบของกระดาน	5
2.2 ของเล่น	5
2.2.1 ของเล่นเคลื่อนไหว	5
2.2.2 หุ่นยนต์เสมือนสัตว์	7
2.2.3 หุ่นยนต์เสมือนมนุษย์	9
2.2.4 หุ่นยนต์ที่ตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น	10
2.2.5 หุ่นยนต์ต่อสู้	11
2.3 การแสดง	11
2.3.1 หุ่นยนต์จัดแสดง	11
2.3.2 หุ่นยนต์แสดงออกของอารมณ์ทางใบหน้า	12
2.4 แนะนำอุปกรณ์เชิงหุ่นยนต์ด้านการแสดงผล	12
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	13
3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	13
3.1.1 ความหนาแน่นสนามไฟฟ้า	13
3.1.2 เส้นแรงแม่เหล็ก	13
3.1.3 กฎของแอมปีแปร์	14
3.1.4 สนามแม่เหล็กของขดลวดโซลินอยด์	14
3.1.5 Relative Permeability	15

เรื่อง	หน้า
3.1.6 วัสดุทางแม่เหล็กไฟฟ้า	16
3.1.7 กฎของคูลอมบ์	16
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	17
3.2.1 สมการการเคลื่อนที่ของก้านที่พิจารณา	17
3.2.2 สมการของแรงแม่เหล็ก	18
บทที่ 4 การทดลองชุดต้นแบบ	19
4.1 การหาค่าเส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร	19
4.2 การทดลองชุดทดลองต้นแบบ	20
4.2.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง	20
4.2.2 อุปกรณ์ในการทดลอง	20
4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง	21
4.2.4 ผลการทดลอง	21
4.2.5 อภิปรายการทดลอง	22
4.2.6 สรุปผลการทดลอง	22
บทที่ 5 การออกแบบ 3D-Display	23
5.1 การออกแบบทางกล	23
5.1.1 ชุดแผ่นมอเตอร์	23
5.1.2 ชุดแผ่นวางพิน	28
5.1.3 ชุดส่งกำลัง	31
5.2 การออกแบบทางไฟฟ้าและโปรแกรม	33
5.2.1 หลักการและขั้นตอนการทำงาน	33
5.2.2 การควบคุมการเคลื่อนที่ของพิน	34
5.2.3 ระยะเวลาของการจ่ายกระแสของขดลวด โซลินอยด์	34
5.2.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบ	34
5.2.5 ระบบควบคุม	36
5.2.6 โปรแกรมใน Micro controller	36
5.2.7 โปรแกรมบน PC	36
5.2.8 อุปกรณ์สำหรับระบบควบคุมและระบบไฟฟ้า	40
บทที่ 6 การประกอบชิ้นส่วน 3D-Display	45
6.1 การประกอบชุดแผ่นเลื่อนขดลวด โซลินอยด์	45
6.2 การประกอบชุดเพลาคิดพู่เลย์ ไทม์มิ่ง	46
6.3 การประกอบชุดแผ่นยึดมอเตอร์	46
6.4 การประกอบชุดแท่งเคลื่อนที่	48

เรื่อง	หน้า
บทที่ 7 การทดลอง ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง	50
7.1 การคิดคำนวณการแสดงผลของพินในชุดกลไก 3D-display	51
7.2 การคิดคำนวณเวลาในการแสดงผลของ 3D-display	52
7.3 ขั้นตอนการทดลอง อภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง	53
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การทดลองหาค่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก	58
ภาคผนวก ข. การเลือกขนาดมอเตอร์ที่เหมาะสม	61
ภาคผนวก ค. ขนาดอ้างอิงของพลาสติกซูเปอร์รีน	65
ภาคผนวก ง. ตัวป้องกันสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กไฟฟ้า	66
ภาคผนวก จ. แบบกลไกของส่วนประกอบที่สำคัญ	71
ภาคผนวก ฉ. ส่วนของการควบคุม และวงจรไฟฟ้า	78

## บทที่ 1

### บทนำ (Introduction)

#### 1.1 ที่มาของโครงการวิจัย

ในปัจจุบันมีสิ่งที่ใช้สร้างสื่อและสื่อสารให้แก่นุชอย่างมากมายได้แก่ การแสดงผลทางจอ ทางทีวี และการแสดงผลตามป้ายโฆษณาต่างๆ กีฬาประเภทต่างๆ ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้ส่วนหนึ่ง แต่สิ่งดังกล่าวยังมีข้อจำกัดอยู่ งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาอุปกรณ์เชิงหุ่นยนต์ด้านการแสดงผลในสามมิติ เป็นการออกแบบและพัฒนาต้นแบบซึ่งมุ่งหวังให้สามารถแสดงผลในรูปแบบใหม่ ที่จะตอบสนองกับมนุษย์ได้ รวมทั้งให้ความสนุก ความบันเทิง สามารถรู้สึกได้จริง สัมผัสได้

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับหุ่นยนต์ด้านการแสดงผลและด้านที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์พบว่า สามารถแบ่งประเภทได้ทั้งหมด 3 ประเภท ดังนี้

Games	Toys	Display
- Virtual Reality	- Motion Toys	- Show Display
- Board	- Animal Robots	- Face Robot
	- Human Robots	
	- Responsible Robots	
	- Battle Robots	

#### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค้นคว้าประดิษฐ์ใหม่ทางด้านหุ่นยนต์ให้การแสดงผลที่โต้ตอบได้โดยใช้ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ (Electromagnetic)

2. เพื่อศึกษาเรื่องอิเล็กทรอนิกส์ (Electromagnetic) โดยทำการทดลองและเปรียบเทียบผลการทดลองกับทางทฤษฎี

3. เพื่อทำการออกแบบขั้นตอนการทำงาน การออกแบบทั้งระบบทางกลและทางไฟฟ้า รวมถึงการประกอบชิ้นงาน

#### 1.3 ขอบเขตโครงการ

1. สร้างชุดทดลองต้นแบบเพื่อหาค่าต่างๆที่จำเป็นในการสร้างชุดแสดงผลโดยที่ตำแหน่งแสดงผลมีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า

2. ออกแบบและศึกษาค้นชุดแสดงผล

3. ออกแบบและศึกษาค้นชุดควบคุม (Controller) เพื่อนำมาสร้างชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟให้กับชุดแสดงผล

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถให้ประโยชน์ทางด้านแสดงผลแบบโต้ตอบได้ โดยการนำชุดแสดงผลนั้นมาแสดงผลตามต้องการจากการสั่งงานจากชุดควบคุม และให้ประโยชน์ด้านความรู้ด้านระบบทางไฟฟ้าและทางกล นอกจากนี้ยังคาดหวังว่าจะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาการแสดงผลด้านต่างๆ โดยการนำโครงการนี้ไปศึกษาและทำการพัฒนาต่อไป

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ศึกษาข้อมูล และหลักการทำงานหุ่นยนต์ด้านการแสดงผลและด้านที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์
2. ศึกษาหลักการทำงานของตัวแสดง 3 มิติ ( 3D Display ) และทำการสร้างชุดทดลองแสดงการเคลื่อนที่ของตัวแสดงผล
3. ออกแบบ และสร้างชุดคั่นแบบที่ให้แสดงผลจริง
4. ประเมินและสรุปผลการทำการทำงาน และการทดลอง

## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรม

ในปัจจุบันได้มีสิ่งที่ใช้เพื่อสร้างความบันเทิงแก่นมนุษย์ อันได้แก่ กีฬาประเภทต่างๆ สัตว์เลี้ยง วิทยุ โทรทัศน์ รวมถึงเทคโนโลยีที่สร้างความบันเทิงต่างๆ สิ่งที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นสามารถตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้ส่วนหนึ่ง แต่ก็ยังคงมีข้อจำกัดอยู่ ยกตัวอย่างเช่น บางคนที่ต้องการขับรถแข่ง แต่ก็ยังพบว่า การขับรถแข่งมีอันตรายอยู่มาก นั่นรวมถึงการที่คนผู้นั้นยังไม่มีความสามารถหรือทักษะเพียงพอที่จะไปขับขีรถแข่งจริงๆ หรือคนที่ชอบการเลี้ยงสัตว์แต่ก็ไม่ต้องการให้สัตว์เลี้ยงของตนไปทำอันตรายแก่ผู้อื่น อีกทั้งไม่สามารถที่จะดูแลสัตว์เลี้ยงอย่างทั่วถึงหรือมีเวลาเพียงพอ เป็นต้น ทำให้เกิดแนวคิดที่เราควรมีสิ่งที่จะให้ความบันเทิงตอบสนองความต้องการและต้องควบคุมสิ่งนั้น ไม่ให้เกิดอันตรายแก่คนรอบข้างได้ เราจึงมุ่งความสนใจ ไปสู่หุ่นยนต์สำหรับความบันเทิง (Entertainment Robot)

เนื่องจากหุ่นยนต์สำหรับความบันเทิง สามารถที่จะตอบสนองกับมนุษย์ได้ ให้ความสนุก รู้สึกได้จริง สัมผัสได้ และสามารถควบคุมหุ่นยนต์นั้นได้ในระดับที่ปลอดภัย ดังที่เราจะพบเห็นอยู่ทั่วไป ตัวอย่างเช่น Asimo, Qrio, Technical LEGO, Car Simulation เป็นต้น

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับหุ่นยนต์สำหรับความบันเทิง ที่มีอยู่ภายในประเทศ และนอกประเทศไว้ เราสามารถแบ่งประเภทได้ทั้งหมด 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้

1. เกมส์ (Game): จำแนกย่อยได้เป็น สภาวะเสมือนจริงที่จำลองโดยเทคนิคทางคอมพิวเตอร์ (Virtual Reality) และเกมส์ในรูปแบบของกระดาน (Board Game)
2. ของเล่น (Toys): จำแนกย่อยได้เป็น ของเล่นเคลื่อนไหว (Motion Toys), หุ่นยนต์เสมือนสัตว์ (Animal Robots), หุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ (Human Robot), หุ่นยนต์ที่สนองตอบต่อสิ่งกระตุ้น (Responsible Robots) และหุ่นยนต์ต่อสู้ (Battle Robots)
3. การแสดง (Display): จำแนกย่อยได้เป็น หุ่นยนต์จัดแสดง (Display Robot), หุ่นยนต์แสดงออกของอารมณ์ทางใบหน้า (Faced Robot)

ต่อไปจะกล่าวถึงรายละเอียดพร้อมทั้งยกตัวอย่างหุ่นยนต์สำหรับความบันเทิงจากการจัดออกเป็นประเภทต่างๆ ข้างต้น

#### 2.1. เกมส์ (Game)

##### 2.1.1 สภาวะเสมือนจริงที่จำลองโดยเทคนิคทางคอมพิวเตอร์ (Virtual Reality)

การประดิษฐ์และคิดค้นในส่วนของเกมส์ประเภทนี้จะเน้นไปที่กีฬา และเครื่องเล่นต่างๆ เสียเป็นส่วนใหญ่รวมไปถึงการนำความรู้ทางด้านสภาวะเสมือนจริงนี้ไปใช้ในส่วนของการฝึกหัดขับรถยนต์ เครื่องบินในรูปแบบต่างๆ ก่อนการไปทดสอบในสถานการณ์จริงอีกด้วย ดังจะแสดงตัวอย่างได้ดังนี้

##### 2.1.1.1 การสร้างสถานการณ์เลียนแบบทางด้านกีฬา (Sports Simulation)



รูปที่ 2.1 รูปการสร้างสถานการณ์เลียนแบบทางด้านกีฬาด้านต่างๆ



ในกีฬาส่วนใหญ่จะมีการนำสภาวะเสมือนจริงที่จำลองโดยเทคนิคทางคอมพิวเตอร์มาใช้ในการฝึกซ้อมหรือเพื่อการวิเคราะห์ห้วงการเล่น โดยสิ่งที่เห็นด้านหน้าจะเป็นจอภาพที่จะแสดงลักษณะของพื้นที่เสมือนจริงหรือสภาพจำลองออกมาเพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความรู้สึกทางประสาทสัมผัสว่าได้เข้าไปอยู่ในสนามแข่งจริงๆ โดยใช้อุปกรณ์กีฬาที่ติดตัวเซ็นเซอร์ (Sensor) ไว้มุ่งกีฬาที่พบเห็นทั่วไปตัวอย่างเช่น กอล์ฟ, เบสบอล, เทนนิส, ฟุตบอล ยิงปืน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1

#### 2.1.1.2 การสร้างสถานการณ์เลียนแบบทางด้านการขับขี่ (Steering Simulation)

การสร้างสถานการณ์เลียนแบบทางด้านการขับขี่สามารถแยกออกเป็น 2 ประเภทคือ

##### 2.1.1.2 ก.) การสร้างสถานการณ์เลียนแบบทางด้านการรถยนต์ (Car Simulation)



(ก.)

(ข.)

(ค.)

#### รูปที่ 2.2 รูปแสดงการสร้างสถานการณ์เลียนแบบทางด้านการรถยนต์

การสร้างสถานการณ์เลียนแบบทางด้านการรถยนต์ เป็นการขับรถโดยที่ผู้ขับไม่จำเป็นต้องอยู่บนถนนจริง การใช้งานจะเป็นการรับภาพจากกล้องซึ่งติดตั้งไว้ที่ตัวรถจำลอง (รถวิทยุบังคับ) และส่งภาพมายังผู้ขับ (ดังรูปที่ 2.2 ก. และ ข.) นอกจากนี้ยังมี เครื่องสร้างสถานการณ์เลียนแบบที่เมื่อผู้ใช้นั่งบนเครื่องแล้ว จะมีการฉายภาพคล้ายเรานั่งบนรถซึ่งวิ่งบนผิวถนนสภาพต่างๆ และส่งความรู้สึกให้สามารถรับรู้ถึงสภาพของถนนได้ เช่น พื้นผิวขรุขระ บริเวณทางโค้ง (ดังรูปที่ 2.2 ค.)

ที่มา : [www.e-motek.com/entertainment/gallery/car.htm](http://www.e-motek.com/entertainment/gallery/car.htm)

##### 2.1.1.2 ข.) การสร้างสถานการณ์เลียนแบบทางด้านการบิน (Flight Simulation)

เช่นเดียวกับการสร้างสถานการณ์เลียนแบบทางด้านการรถยนต์แต่ในที่นี้นอกจากการสร้างสถานการณ์เลียนแบบการขับเครื่องบินแล้วยังพบว่าสามารถใช้กับเครื่องร่อนดังแสดงในรูปที่ 2.3



(ก.)

(ข.)

#### รูปที่ 2.3 รูปแสดงการสร้างสถานการณ์เลียนแบบในเครื่องร่อน

##### รูป 2.3ก. รูปเครื่องสร้างสถานการณ์เลียนแบบในเครื่องร่อน

##### รูป 2.3ข. รูปที่ปรากฏทางจอภาพ

การสร้างสถานการณ์เลียนแบบในเครื่องร่อนจะสร้างสถานการณ์เลียนแบบออกมาในรูปของภาพทางจอภาพโดยที่ผู้ใช้จะบังคับเครื่องในขณะที่เครื่องจะมีการสร้างแรงผ่านมาสู่ผู้ใช้ (Force Feedback) เสมือนมีลมด้านเพื่อให้เกิดความรู้สึกว่าอยู่ในสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น

ที่มา : <http://www.amusitronix.com/default.asp>

นอกจากนี้อาจพบออกมาในรูปแบบของเครื่องสร้างสถานการณ์เลียนแบบการโดยสารบนยานพาหนะ เช่น ยานอวกาศ รถแข่ง ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปเครื่องสร้างสถานการณ์เลียนแบบการโดยสารบนยานพาหนะ  
“Patriot XJ-5 with 360 degrees of rotation “

มีการแสดงภาพบนจอมอนิเตอร์ โดยเมื่อภาพที่เห็นมีการเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวารวมถึงการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบตัวเอง เครื่องจะตอบสนองกลับมาเสมือนว่าได้นั่งอยู่บนยานพาหนะ

### 2.1.2. เกมสไลด์รูปแบบของกระดาน (Board Game)

ตัวอย่างของเกมสไลด์ในรูปแบบของกระดานดังแสดงดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 รูปแสดงตัวอย่างของเกมสไลด์ในรูปแบบของกระดาน

ลักษณะการเล่นคือการที่เกมมีหุ่นยนต์ 4 ตัวสามารถเคลื่อนที่ได้เองบนกระดานซึ่งจะเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องเมื่อหุ่นยนต์ตัวอื่นหยุดอยู่กับที่ หุ่นยนต์สามารถเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาได้ โดยที่ผู้เล่นต้องพยายามหาเส้นทางให้หุ่นยนต์เดินและในเส้นทางนั้นต้องสามารถเก็บคะแนนหรือรางวัลให้มากที่สุด และเส้นทางนั้นต้องเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด เมื่อรางวัลถูกเก็บหมดแล้ว เกมก็จะสิ้นสุด ก็จะมาเปรียบเทียบรางวัลที่เก็บได้ว่าผู้เล่นคนใดได้รางวัลมากที่สุดก็จะเป็นผู้ชนะ

### 2.2. ของเล่น (Toys)

#### 2.2.1 ของเล่นเคลื่อนไหว (Motion Toys)

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ สามารถแบ่งเป็นประเภทหลักๆ ได้ 2 ประเภท คือ ใช้ขา และใช้ล้อ ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน แล้วแต่การออกแบบว่าต้องการให้ทำอะไร จุดประสงค์หลักของของเล่นเคลื่อนไหว คือ การเคลื่อนที่ และ ทำงานโดยจะตอบสนองต่อสิ่งต่างๆ ได้แก่ เสียง แสง รวมถึงการควบคุมด้วยคน เช่น รีโมทคอนโทรล

ตัวอย่างของของเล่นเคลื่อนไหวที่มีขายตามท้องตลาดแยกย่อยออกได้ดังนี้

##### 2.2.1.1 ประเภทใช้ล้อในการเคลื่อนที่

##### Scooter “Sound Controlled Robot”



รูปที่ 2.6 รูปหุ่นยนต์ Scooter “Sound Controlled Robot”

หุ่นยนต์ที่สามารถเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่เมื่อชนกับ สิ่งกีดขวาง โดยอัตโนมัติ หรือ อาจจะเปลี่ยนการเคลื่อนที่ได้เมื่อมีเสียงดัง เช่น ตะ โคน หรือ เสียงตบมือ

ที่มา : <http://www.robotbooks.com>

**Weasel Robot**

รูปที่ 2.7 รูปหุ่นยนต์ Weasel Robot

หุ่นยนต์ที่สามารถหาทางออกจาก Maze ได้โดยการใช้กฎมือซ้าย โดยจะมีเซ็นเซอร์ที่สามารถรับรู้ว่าเป็น กำแพง หรือ มุมห้อง และสามารถเดินตามเส้นได้ด้วย นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมความเร็วได้ด้วย

ที่มา : <http://www.robotbooks.com>

**CYBER K-NEX**

รูปที่ 2.8 รูปหุ่นยนต์ CYBER K-NEX

หุ่นยนต์สุนัข และ รถแข่ง ซึ่งจะตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมได้แก่ แสง และ เสียง นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลและสามารถโปรแกรมได้ เช่น เหา และ ยิงจรวดเมื่อมีผู้บุกรุกเข้าบ้านได้

ที่มา : <http://www.knex.co.uk>

**2.2.1.2 ประเภทใช้ขาในการเคลื่อนที่****Moon walker**

รูปที่ 2.9 รูปหุ่นยนต์ Moon walker

หุ่นยนต์ 4 ขาซึ่ง จะเคลื่อนที่เมื่อตรวจพบการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง หรือ เสียงคำสั่ง และ จะหยุดเมื่อเคลื่อนที่ได้ในระยะเวลาหนึ่ง

ที่มา : <http://www.robotbooks.com>

**"Scrambler" All Terrain Robot**

รูปที่ 2.10 รูปหุ่นยนต์ "Scrambler" All Terrain Robot

หุ่นยนต์ 6 ขาซึ่งมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจนกระทั่งเห็นสิ่งกีดขวาง โดยใช้อินฟราเรดเซ็นเซอร์จึงเปลี่ยนทิศทางเพื่อเดินหลบสิ่งกีดขวางนั้น

ที่มา : <http://www.robotbooks.com>

## Hexapod & Quadra pod



หุ่นยนต์เดิน 4 ขา



รูปที่ 2.11 รูปหุ่นยนต์ Hexapod & Quadra pod

และ 6 ขา ซึ่งแต่ละขาสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ จาก

บริษัท Joinmax

ที่มา: <http://81.137.225.197/competitionRobotics/default.asp>

## 2.2.2 หุ่นยนต์เสมือนสัตว์ (Animal Robots)

### 2.2.2.1 Dog Robot



รูปที่ 2.12 รูปหุ่นยนต์ Dog Robot

หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้ขา 4 ขา ตอบสนองต่อเสียงซึ่งสามารถเรียกชื่อได้ ตอบสนองต่อการสัมผัสและแรงภายนอก ส่งเสียงได้เหมือนกับสุนัข มีการเคลื่อนไหวต่างๆ เช่น หัว หาง ได้เหมือนกับสุนัขและมองเห็นสิ่งรอบข้างได้

ที่มา: [www.sony.com/aibo](http://www.sony.com/aibo)

### 2.2.2.2 Fish Robot



รูปที่ 2.13 รูปหุ่นยนต์ Fish Robot

หุ่นยนต์ปลาขนาดใหญ่ สามารถว่ายน้ำได้นาน 30 นาทีมีการดำรงชีวิตคล้ายปลาจริง ในรูปคือปลา "Sea bass" สร้างเพื่อใช้ศึกษาวิวัฒนาการของปลา

ที่มา: [news.bbc.co.uk](http://news.bbc.co.uk)

### 2.2.2.3 Serpentine Robot



รูปที่ 2.14 รูปหุ่นยนต์ Serpentine Robot

หุ่นยนต์สร้างเพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของงูเพื่อเป็นพื้นฐานของในการพัฒนาหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานสำรวจพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

ที่มา: [www.robot.mes.fitech.ac.jp](http://www.robot.mes.fitech.ac.jp)

### 2.2.2.4 Cat Robot



รูปที่ 2.15 รูปหุ่นยนต์ Cat Robot

หุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงที่ถูกออกแบบให้มีพฤติกรรมคล้ายแมวจริง เช่น การทำตาโตเพื่อเป็นการแสดงอารมณ์ ส่งเสียงร้องเพลง

ที่มา: [www.RoboToys.com](http://www.RoboToys.com)

### 2.2.2.5 Insect Robot



รูปที่ 2.16 รูปหุ่นยนต์ Insect Robot

“CYBUG” เป็นหุ่นยนต์ที่ออกแบบให้มี สัตว์ขาดัญญา และ พฤติกรรมเหมือนกับแมลง เช่น สามารถหาแหล่งพลังงาน (ในที่นี้คือพลังงาน ไฟฟ้าจาก ดอกทานตะวัน solar cell)

ที่มา: <http://www.jcminventures.com>

### 2.2.2.6 Turtle Robot



รูปที่ 2.17 รูปหุ่นยนต์ Turtle Robot

หุ่นยนต์เต่ารูปซ่ายมือนั้นสร้างเพื่อศึกษาระบบนิเวศในทะเล ซึ่งสามารถว่ายน้ำโดยใช้ขาเหมือนเต่า ส่วนรูปทางขวาเป็นหุ่นยนต์ที่เป็นของเล่นมีการเคลื่อนที่เหมือนเต่า

ที่มา: [www.robotstorehk.com](http://www.robotstorehk.com)

[www.yorku.ca/yfile](http://www.yorku.ca/yfile)

### 2.2.2.7 Kangaroo Robot



รูปที่ 2.18 รูปหุ่นยนต์ Kangaroo Robot

หุ่นยนต์จิงโจ้ซึ่งรูปแบบการสร้างเพื่อเป็นของเล่น การเคลื่อนที่ที่ทำเลียนแบบจิงโจ้ แต่ยังไม่เหมือนกับของจริงมากนัก

ที่มา: [www.robotfactory.com](http://www.robotfactory.com)

[www.robotstorehk.com](http://www.robotstorehk.com)

### 2.2.2.8 Monkey Robot



รูปที่ 2.18 รูปหุ่นยนต์ Kangaroo Robot

หุ่นยนต์ลิงมีการเคลื่อนที่และการเคลื่อนไหวต่างๆเหมือนกับลิงมาก เช่น การกระโดด การเดิน การห้อยโหน การวิ่ง การหยิบจับของ เป็นต้น

ที่มา: [www.thetech.org](http://www.thetech.org)

[www.amorphicrobotworks.org](http://www.amorphicrobotworks.org)

### 2. 2.2.9 Rabbit Robot



รูปที่ 2.19 รูปหุ่นยนต์ Rabbit Robot

หุ่นยนต์กระต่ายในรูปทางซ้ายมือสร้างเลียนแบบกระต่ายเพื่อใช้เป็นของเล่น ส่วนรูปทางขวามือสร้างเพื่อเลียนแบบการเคลื่อนที่ของกระต่ายให้คล้ายของจริงมากที่สุด ซึ่งจะมีการเคลื่อนไหวของขา การกระโดดคล้ายกับกระต่ายจริงๆ

ที่มา: [www.robotstorehk.com](http://www.robotstorehk.com)

[www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp](http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp)

### 2.2.2.10 Ant Robot



รูปที่ 2.20 รูปหุ่นยนต์ Ant Robot

หุ่นยนต์มดสร้างเพื่อเลียนแบบการเคลื่อนที่ของมด ซึ่งใช้ขา 6 ขาในการเดิน

ที่มา: [www.robotian.com](http://www.robotian.com)

[www.zumpo.com](http://www.zumpo.com)

### 2.2.2.11 Worm Robot



รูปที่ 2.21 รูปหุ่นยนต์ Worm Robot

หุ่นยนต์หนอนสามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนหนอน โดยลำตัวสามารถโค้งงอ ยืดและหดได้

ที่มา: [www.robotgroup.org](http://www.robotgroup.org)

### 2.2.2.12 Rat Robot



รูปที่ 2.22 รูปหุ่นยนต์ Rat Robot

หุ่นยนต์หนูจะเคลื่อนที่โดยการไถล้อ สามารถเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง และเลี้ยวไปมาได้

ที่มา: [www.takanishi.mech.waseda.ac.jp](http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp)

## 2.2.3 หุ่นยนต์เสมือนมนุษย์ (Human Robot)

หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนที่ รูปร่าง และการตอบสนองต่างๆคล้ายกับมนุษย์ หรือเรียกว่า "Humanoid"

- ด้านการเคลื่อนที่ หุ่นยนต์สามารถเดิน ขึ้น เคลื่อนไหวแขน มือ ศีรษะ และส่วนต่างๆ ได้
- ด้านรูปร่าง ส่วนต่างๆของหุ่นยนต์ถูกออกแบบให้มีรูปร่างคล้ายกับมนุษย์มากที่สุด แต่ก็ยังมีบางส่วนที่ไม่สามารถออกแบบให้คล้ายกับมนุษย์ได้เนื่องจากปัญหาด้านกลไกการเคลื่อนไหว
- ด้านการตอบสนอง หุ่นยนต์สามารถตอบสนองได้เช่นเดียวกับมนุษย์ คือ ตอบสนองทางด้านเสียง การทรงตัว แรงที่มากระทำ และจากภาพ



### 2.2.3.1 หุ่นยนต์ QRIO ของบริษัท SONY

#### ความสามารถของหุ่นยนต์ QRIO



- QRIO can walk on two feet and dance dynamically.
- QRIO can walk on an uneven surface
- Responding to outside Force
- Returning to an upright position
- Remembering people and talking
- Seeing and acting
- Acting with people

รูปที่ 2.23 รูปหุ่นยนต์ QRIO

ที่มา: [www.sony.com/qrio](http://www.sony.com/qrio)

### 2.2.3.2 หุ่นยนต์ ASIMO ของบริษัท HONDA

ประกอบด้วย 26 Degree of freedom ทำให้แต่ละส่วนสามารถเคลื่อนที่ได้แยกจากกันอย่างอิสระ และ ยังใช้รูปแบบสรีระของมนุษย์ ค้างนั้นจึงสามารถเคลื่อนไหวได้ใกล้เคียงกับมนุษย์มาก

นอกจากนี้ ASIMO ยังมีการคำนวณเกี่ยวกับความสมดุลอย่างมาก คือ สามารถขึ้น/ลงบันได และ ขึ้นขาเดียวได้



รูปที่ 2.24 รูปหุ่นยนต์ ASIMO

### 2.2.4 หุ่นยนต์ที่สนองตอบต่อสิ่งกระตุ้น (Responsible Robots)

#### 2.2.4.1 Humanoid Robot: Playing Catch



การเล่น โยน และ รับของ เป็นการเล่นชนิดหนึ่งที่ปลอดภัยสำหรับคนกับหุ่นยนต์

Humanoid



เนื่องจากหุ่นยนต์ Humanoid มีความสามารถรับ หรือ จับวัตถุที่ลอยอยู่ในอากาศได้โดยมีการตอบสนองแบบ Real-Time โดยอาศัยการคาดการณ์ การเคลื่อนที่ล่วงหน้าของวัตถุ ตัวอย่างการทำงาน ได้แก่ การเล่น 3 ball juggling ได้

ที่มา :

ATR ©

รูปที่ 2.25 รูปหุ่นยนต์ Humanoid Robot: Playing Catch

#### 2.2.4.2 The Ms. Dance R (Mobile Smart Dance Robot) Waltz และ Tango



เป็นหุ่นยนต์ที่สามารถเต้นรำ ร่วมกับคนได้โดยอาศัยการคาดการณ์ การเคลื่อนที่ในจังหวะต่อไปของคน จากระบบความดัน ที่กระทำจากแขน และ หลังของคู่เต้น นอกจากนี้ยังอาศัยการจดจำการเคลื่อนที่ของท่าเต้นจังหวะต่างๆ เช่น Waltz และ Tango

ที่มา: [www.torontodance.ca](http://www.torontodance.ca)

รูปที่ 2.26 รูปหุ่นยนต์ The Ms. Dance R (Mobile Smart Dance Robot) Waltz และ Tango

#### 2.2.4.3 R2-D2 Interactive Droid



หุ่นยนต์ที่สามารถตอบสนองคำสั่งต่างๆของคนได้ โดยระบบ Voice recognition ซึ่งสามารถค้นหาที่มาของเสียงได้ นอกจากนี้ยังสามารถ เดิน เล่นดนตรี และ มีการทำงานเหมือนกับ R2-D2 ในภาพยนตร์ STAR WARS ได้

ที่มา: [www.onrobo.com](http://www.onrobo.com)

รูปที่ 2.27 รูปหุ่นยนต์ R2-D2 Interactive Droid

#### 2.2.5 หุ่นยนต์ต่อสู้ (Battle Robots)



หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นเพื่อการแข่งขันโดยเฉพาะ รูปแบบของการแข่งขันคือการต่อสู้ หรือ ทำลายหุ่นยนต์ของฝ่ายตรงข้าม ดังนั้น หุ่นยนต์ต่อสู้แต่ละตัวจึงมีการออกแบบ และ สร้างอย่างเฉพาะเจาะจง โดยใช้อาวุธที่แตกต่างกัน เช่น ใบเลื่อย เหล็กแหลม แม้กระทั่ง เครื่องพ่นไฟ ระบบควบคุมมักเป็นการออกคำสั่งจากคนโดยตรง

ที่มา: [www.RobotCombat.com](http://www.RobotCombat.com)

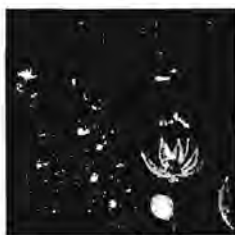
รูปที่ 2.28 รูปหุ่นยนต์ Battle Robot

### 2.3. การแสดง (Display)

#### 2.3.1 หุ่นยนต์จัดแสดง (Display Robot)

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะเน้นการแสดงออก เช่น เคลื่อนไหว เดินรำ ส่งเสียง หรือ เปลี่ยนรูปแบบ ซึ่งได้ถูก program มาก่อนแล้ว มีทั้งประเภทที่อาศัยการตอบสนองอัตโนมัติ ผ่านจาก sensor และ การควบคุมด้วยคนโดยตรง

##### 2.3.1.1 CYBER FLORA: Robotic flowers



Cyber flora เป็นหุ่นยนต์ที่มีการจำลองพฤติกรรมของทั้งสัตว์ และ พืช ร่วมกัน ซึ่งสามารถตอบสนองกับมนุษย์ได้เสมือนมีชีวิตจริง ซึ่งในขณะนี้ผู้ผลิตกำลังมีแผนการที่จะพัฒนาให้สามารถรับรู้อารมณ์ของคนได้ ผ่านทางด้าน Fluid Dynamics และ คำนวณเสียง

ที่มา: <http://robotic.media.mit.edu/projects/cyberflora/cyberflora-movie.html>

รูปที่ 2.29 รูปหุ่นยนต์ CYBER FLORA: Robotic flowers

##### 2.3.2.2 Office Plant #1



หุ่นยนต์ที่ถูกออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับดอกไม้ในทะเลทราย จุดประสงค์เพื่อสร้างบรรยากาศในห้องทำงาน มีการตอบสนองต่อ เสียง สภาพแสง และ ยังสามารถประยุกต์เข้ากับการรับส่งอีเมลล์ของผู้ใช้ได้อีกด้วย การตอบสนองเป็นรูปแบบของ การเคลื่อนไหวอย่างค่อยเป็นค่อยไป และ สลับซับซ้อนคล้ายดอกไม้จริง

ที่มา: [www.contrib.andrew.cmu.edu/~bohlen](http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~bohlen)

รูปที่ 2.30 รูปหุ่นยนต์ Office Plant #1



## 2.3.2 หุ่นยนต์แสดงออกของอารมณ์ทางใบหน้า (Faced Robot)

### 2.3.1 K-Bot



หุ่นยนต์ที่มีใบหน้าผู้หญิง ซึ่งสามารถแสดงใบหน้าได้ 28 รูปแบบ เช่น ยิ้ม ชักคิ้ว กระพริบตา ฯลฯ รวมทั้งมีกล้องในดวงตาเพื่อจดจำคนได้ ระบบการทำงานประกอบด้วย กล้ามเนื้อ 24 มัดเพื่อการควบคุมลักษณะการเคลื่อนไหวทั้งหมด K-Bot เป็นรุ่นที่พัฒนา โดย ต่อจาก Andy ซึ่งมีรูปแบบการเคลื่อนไหวน้อยกว่า  
ที่มา: [www.NewScientist.com](http://www.NewScientist.com)

รูปที่ 2.31 รูปหุ่นยนต์ K-Bot

### 2.3.2 Robotic F.A.C.E. (Facial Alerting in a Communication Environment)



F.A.C.E.เป็น โครงการที่พยายามทำการควบคุมการ เคลื่อนที่ของใบหน้าหุ่นยนต์โดยวิธีการที่ไม่ซับซ้อนนัก ซึ่ง ส่วนหัวดังกล่าวเป็นการประยุกต์ใช้จากของเล่น คือ Yano Toy โดยการใช้มอเตอร์และ ระบบเฟืองในการเคลื่อนไหว และมี เซ็นต์เซอร์เพื่อป้องกันความเสียหายโดย การเคลื่อนไหว ประกอบด้วย 3 degree of freedom ซึ่งสามารถควบคุมรูปแบบ การแสดงสีหน้าได้ 9 แบบ เช่น หน้านิ่ง คิใจ เสียใจ โกรธ ฯลฯ

ที่มา: [Mark Newman and Stefan Marti Speech Interface Group,](#)

[MIT Media Lab](#)

รูปที่ 2.32 รูปหุ่นยนต์ Robotic F.A.C.E. (Facial Alerting in a Communication Environment)

## 2.4 แนะนำโครงการหุ่นยนต์เพื่อความบันเทิง

จากปริทัศน์วรรณกรรมข้างต้นจะพบว่าหุ่นยนต์เพื่อความบันเทิงมีอยู่แล้วอย่างมากมายในหลายๆ ประเภททางคณะผู้จัดทำโครงการจึงพยายามคิดหาแนวทางเพื่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านหุ่นยนต์เพื่อความบันเทิง ต่อไป และได้พบว่ามี การแสดง (Display) ซึ่งน่าสนใจและอาจเป็นแนวทางใหม่ในการต่อยอดต่อไปได้ ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 รูปการแสดงซึ่งเกิดภาพจากการเคลื่อนที่ของพินขนาดเล็กเป็นรูปต่างๆ

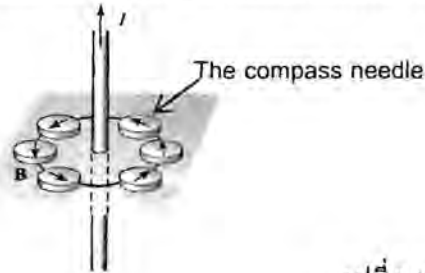
จากรูปทางคณะผู้จัดทำขออ้างอิงโดยใช้ชื่อเรียกว่า "3D - Display" จากลักษณะซึ่งสามารถดัดแปลงเป็น สื่อต่างๆ ได้หลากหลาย หากสามารถควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมมาแสดงภาพน่าจะเป็น โครงการที่น่าสนใจจึง พยายามคิดค้นและออกแบบควบคุมโครงการที่เรียกว่า "3D - Display "

## บทที่ 3

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

## 3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของทางแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟ จะพบว่าจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้เป็นเส้น (The Compass Needles) ที่จะชี้ไปทางขั้วเหนือ โดยเส้นสนามแม่เหล็กจะเป็นวงปิดรอบสายไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่าน และความสัมพันธ์ของทิศทางสนามแม่เหล็กจะเป็นไปตามกฎมือขวา (Right - Hand Rule) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กฎมือขวา (Right - Hand Rule)

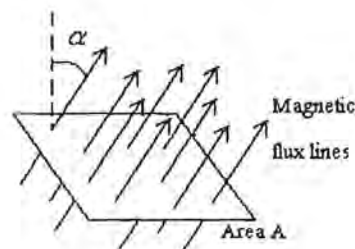
## 3.1.1 ความหนาแน่นสนามไฟฟ้า (The Flux Density)

ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า คือ แรง ต่อ โมเมนต์กระแส ซึ่งหน่วยคือ นิวตัน ต่อ แอมแปร์-เมตร (Newton per Ampere - Meter) หรือ เวเบอร์ ต่อตารางเมตร (Weber per Square Meter)

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{\text{weber}}{\text{square.meter}} \quad \dots (3.1)$$

## 3.1.2 เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux)

ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เป็นการวัดความหนาแน่น ของจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก ( $\psi_m$ ) ต่อ พื้นที่หนึ่งหน่วยที่ตั้งฉากกับเส้นแรงแนั้น ดังนั้นปริมาณจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่หนึ่งหน่วย คือ พื้นที่ คูณ ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 3.2

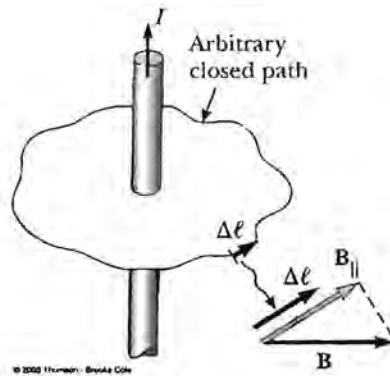


รูปที่ 3.2 เส้นแรงแม่เหล็ก และพื้นที่

$$\phi_m = BA \cos \alpha \quad \dots (3.2)$$

หน่วย : นิวตัน-เมตร ต่อ แอมแปร์ (Newton-Meter per Ampere) หรือ เวเบอร์ (Weber)

3.1.3 กฎของแอมป์แปร์ (Ampere's Law)



รูปที่ 3.3 ขดลวดนำไฟฟ้า

ดังรูปที่ 3.3 เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลผ่านขดลวด และความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่ได้จากขดลวดนั้น ดังสมการ

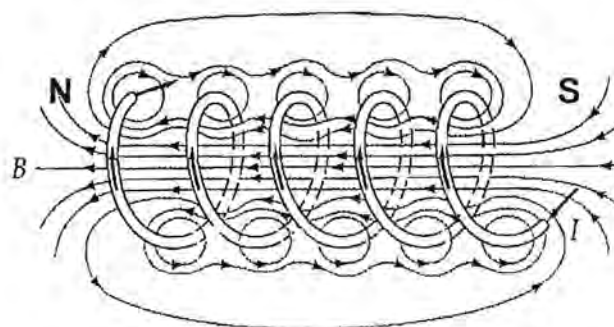
$$\oint B \cdot dl = \mu I \quad \dots (3.3)$$

โดยที่

- $\mu$  = Permeability of medium (Henrys per Meter)
- $I$  = Current in wire (Ampere)

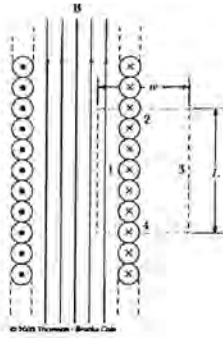
พบว่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กรอบวงปิด และทิศทางของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมีทิศทางเดียวกับระยะทางที่เปลี่ยนไปของเส้นวงปิด

3.1.4 สนามแม่เหล็กของขดลวดโซลินอยด์ (Magnetic Field of a Solenoid)



รูปที่ 3.4 โซลินอยด์

ถ้าเรานำขดลวดทองแดงมาขดให้เป็นวงกลมปิด เราจะเรียกสิ่งนี้ว่า โซลินอยด์ (Solenoid) ดังรูปที่ 3.4 และเมื่อเราทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดที่เราพันขึ้น พบว่ามันจะมีพฤติกรรมเหมือนแม่เหล็ก ซึ่งเราจะเรียกว่า กระแสแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet)



รูปที่ 3.5 ภาพตัดขวางขดลวด โซลินอยด์

ถ้าความยาวของขดลวด โซลินอยด์ มากกว่ารัศมีของขดลวด แล้วเราจะได้ว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในจะเท่ากันทุกที่ และภายนอกจะเท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 3.5 และจาก Ampere Law จะได้สมการสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเท่ากับ

$$B = \frac{\mu NI}{l} \quad \dots(3.4.1)$$

โดยที่

$\mu$  = Permeability of medium (Henrys per Meter)  
ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุดปลายด้านใดด้านหนึ่งของ โซลินอยด์ เท่ากับ

$$B = \frac{\mu NI}{2l} \quad \dots (3.4.2)$$

### 3.1.5 Relative Permeability

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \dots (3.5)$$

โดยที่

- $\mu_r$  = Relative Permeability (Dimensionless)
- $\mu$  = Permeability (Henrys/Meter)
- $\mu_0$  = Permeability of vacuum ( $4\pi \times 10^{-7}$  Henrys/Meter)

การแบ่งประเภทของผลทางแม่เหล็กไฟฟ้า แบ่งจากค่า Permeability ของสุญญากาศเป็นเกณฑ์ โดยแสดงในตาราง 3.1

### 3.1.6 วัสดุทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Materials)

ในวัสดุทุกชนิดสามารถที่จะได้รับผลจากสนามแม่เหล็ก ซึ่งเราสามารถที่จะแบ่งวัสดุตามพฤติกรรมได้ 3 ประเภท คือ

1. ไดแมกเนติกส์ (Diamagnetic)
2. พาราแมกเนติกส์ (Paramagnetic)
3. เฟอร์โรแมกเนติกส์ (Ferromagnetic)

เมื่อนำวัสดุทั้ง 3 ชนิดมาตรวจสอบผลทางแม่เหล็กไฟฟ้าพบว่าวัสดุประเภทไดแมกเนติกส์ (Diamagnetic), พาราแมกเนติกส์ (Paramagnetic) จะแสดงผลทางแม่เหล็กที่อ่อน แต่เฟอร์โรแมกเนติกส์ (Ferromagnetic) จะแสดงผลทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่แข็งแรงมาก หากว่าวัสดุที่แสดงผลทางแม่เหล็กที่อ่อนมากๆ จะถูกจัดเป็นนอนแมกเนติกส์ (Nonmagnetic) ดังนั้นเราสามารถทำการจำแนกชนิดของวัสดุเป็นในแต่ละประเภท ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางจำแนกชนิดของวัสดุ

วัสดุ	ประเภท	Relative Permeability $\mu_r$
บิสมีท	Diamagnetic	0.99983
เงิน	Diamagnetic	0.99993
ทองแดง	Diamagnetic	0.999991
สูญญากาศ	Nonmagnetic	1
อากาศ	Paramagnetic	1.0000004
อลูมิเนียม	Paramagnetic	1.00002
โคบอล	Ferromagnetic	130
นิกเกิล	Ferromagnetic	600
เหล็กอ่อนละมุน	Ferromagnetic	2000
เหล็ก ( 0.2 impurity )	Ferromagnetic	5000

### 3.1.7 กฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law)

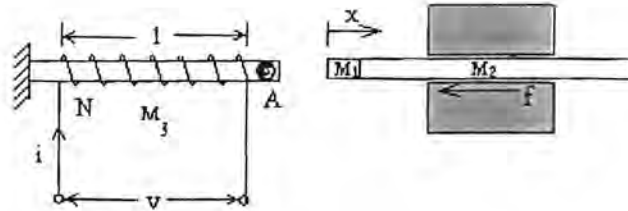
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{Q_{m1}Q_{m2}}{r^2} \vec{a}_r \quad \dots(3.6)$$

โดยที่

- $\vec{F}$  = Force (Newtons)
- $\vec{a}_r$  = unit vector along line joining poles
- $Q_{m1}, Q_{m2}$  = Magnetic charges (Weber)
- $\mu_0$  = Permeability of air ( $4\pi \times 10^{-7}$  Henrys/Meter)
- $r$  = distance between charges (Meter)

จากสมการข้างต้น พบว่าแรงที่เกิดขึ้นมีทิศทางตามขั้วของแม่เหล็ก คือ ถ้าขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้วเหมือนกัน แล้วจะทำให้เกิดแรงผลักกัน แต่ถ้าขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้วต่างกันแล้วแรงที่ส่งออกมาจะเป็นแรงดูดกันระหว่างขั้วแม่เหล็ก 2

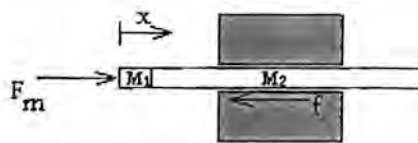
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 3.6 แบบจำลองชุด 3D - Display

การจำลองระบบ 3D - Display ให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะทำนายพฤติกรรมของระบบที่เรากำลังสนใจ ดังนั้นจุดประสงค์ในการหาแบบจำลองของระบบ 3D - Display นี้ คือ ระยะเวลาเคลื่อนที่ของก้านที่แสดงผล ซึ่งเราสามารถแยกการพิจารณาได้ 2 ชั้น ดังนี้

3.2.1 สมการการเคลื่อนที่ของก้านที่พิจารณา



รูปที่ 3.7 ชุดก้านแม่เหล็กถาวร

จากรูปที่ 3.7 จะได้สมการ

$$(M_1 + M_2)\ddot{x} + c\dot{x} = F_m(x) - f \quad \dots (3.7.1)$$

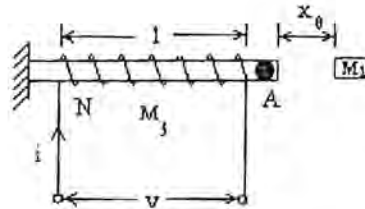
โดยที่  $M_1$  = มวลของแม่เหล็ก,  $M_2$  = มวลก้าน,  $F_m$  = แรงแม่เหล็กชั่วคราว,  $f$  = แรงเสียดทานระหว่างก้านกับพื้น เริ่มพิจารณาจากแรงเสียดทาน โดย  $\mu$  = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างวัสดุ

$$f = \mu(M_1 + M_2)g \quad \dots (3.7.2)$$

นำสมการ (7.1) แทนค่าในสมการ (7) และจัดรูปสมการ

$$\ddot{x} + \frac{c}{(M_1 + M_2)}\dot{x} = \frac{F_m(x)}{(M_1 + M_2)} - \mu g \quad \dots (3.7.3)$$

## 3.2.2 สมการของแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 3.8 ชุดโซลินอยด์

ถ้านำโซลินอยด์ซึ่งมีแกนวัสดุตัวนำอยู่ข้างในเมื่อจ่ายกระแสไฟให้แก่โซลินอยด์ จะพบว่าแกนวัสดุตัวนำจะแสดงอำนาจทางแม่เหล็ก และแกนเหล็กนั้นจะส่งอำนาจทางแม่เหล็กไปยังแม่เหล็กถาวรที่อยู่ติดกับแกน

พบว่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่ออกมาตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของปลายด้านหนึ่งของแกน ดังนั้นพิจารณาสมการ

(2) และสมการ (4.2) จะได้

$$\phi_m = \frac{\mu ANI}{2l} \quad \dots (3.7.4)$$

จากสมมติฐานว่าค่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ตลอดจนถึงแม่เหล็กถาวร ดังนั้นแรงที่เกิดขึ้นจากระบบนี้ เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็ก ของแม่เหล็กถาวรกับโซลินอยด์ เราจึงพิจารณาสมการ (6) และสมการ (7.3) ดังนี้

$$F(x) = \frac{\mu_r \phi_{M1} IAN}{8\pi \cdot l} \frac{1}{x^2} \quad \dots (3.7.5)$$

โดยที่  $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$  ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ทำแกนวัสดุตัวนำ,  $\phi_{M1}$  = ปริมาณเส้นแรงของแม่เหล็กถาวร,  $I$  = กระแสไฟ,  $A$  = พื้นที่หน้าตัดของแกนวัสดุตัวนำ,  $N$  = จำนวนขดลวดพันโซลินอยด์,  $l$  = ระยะของโซลินอยด์

จากสมการ (7.5) พบว่าแรงที่เกิดขึ้น มี 2 ลักษณะ คือ แรงดูด และแรงผลัก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเส้นแรงสนามแม่เหล็กที่สร้างจากโซลินอยด์ และการวางขั้วแม่เหล็กถาวร

ดังนั้นในการทดลองนี้จะพิจารณาแรงที่ผลักกันออกไปเท่านั้น และสมการการเคลื่อนที่ของก้อน จะได้จากสมการ (7.3) และสมการ (7.5)

$$\ddot{x} + \frac{c}{(M_1 + M_2)} \dot{x} = \frac{\mu_r \phi_{M1} IAN}{8\pi \cdot l(M_1 + M_2)} \frac{1}{x^2} - \mu g \quad \dots (3.7.6)$$

## บทที่ 4

## การทดลองชุดต้นแบบ

ในการออกแบบเบื้องต้นของชุดทดลองจริงนั้น ได้มีการทำชุดต้นแบบขึ้นมาเพื่อต้องการวิเคราะห์ลักษณะบางประการ ,การประมาณขนาดของชุดทดลองจริงรวมถึงวัสดุที่จะใช้ย่อย่างคร่าวๆ

เนื่องจากแม่เหล็กถาวรที่เรานำมาใช้ นั้น ไม่ได้บอกปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กมาให้ก่อนที่เราจะทำการทดลองกับชุดต้นแบบจึงได้มีการออกแบบการหาปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรดังนี้

## 4.1 การหาค่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร

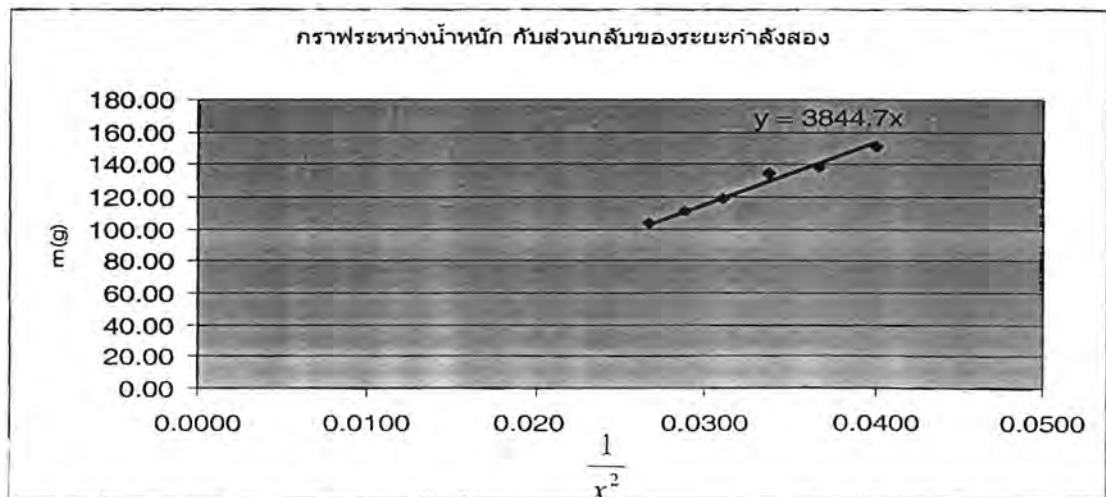
## 4.1.1 จุดประสงค์การทดลอง : เพื่อหาค่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 4.1 ชุดการทดลองหาปริมาณเส้นแม่เหล็ก

เราสามารถสร้างชุดต้นแบบอย่างง่ายเพื่อที่จะหาปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กได้จากกฎของนิวตัน และกฎของคู-ลอมป์ ทำให้เราได้ความสัมพันธ์ที่อยู่ในรูปสมการ (4.1) จากนั้นทดลองชุดทดลองซึ่งข้อมูล และวิธีการทดลองอยู่ในภาคผนวก ก. เมื่อได้ข้อมูลแล้วนำข้อมูลที่ได้อาพล็อตกราฟระหว่างมวลกับส่วนกลับของระยะทางกำลังสอง ดังกราฟที่ 4.1

$$m = \frac{\phi^2}{4\pi g \mu_0 x^2} \quad (4.1)$$



กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและส่วนกลับของระยะห่างของแท่งแม่เหล็กกำลังสอง



จากความชันของกราฟจะทำให้ได้ค่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก ( $\phi$ ) เท่ากับ  $2.44 \times 10^{-5}$  เวเบอร์

#### 4.2 การทดลองชุดทดลองต้นแบบ

##### 4.2.1 จุดประสงค์การทดลอง

1. เพื่อหาค่าระยะที่เคลื่อนที่ไป และกลับของพิน
2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนที่กับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ขดลวด โซลินอยด์
3. เพื่อนำผลการทดลองมาใช้ในการออกแบบชุดแสดงผลจริง

เมื่อทำการทดลองหาค่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กแล้ว ต่อจากนั้นจึงได้ทำชุดทดลองเพื่อทดลองตามจุดประสงค์ข้างต้น เพื่อเปรียบเทียบกับสมการ (3.7.6)

$$\ddot{x} + \frac{c}{(M_1 + M_2)} \dot{x} = \frac{\mu_r \phi_{M_1} AN}{8\pi \cdot l (M_1 + M_2)} \frac{I}{x^2} - \mu g$$

โดยสมการข้างต้นนี้ใช้อินพุท คือ กระแสไฟที่ใช้ให้กับขดลวดขดลวด โซลินอยด์ (I) และผลลัพธ์ คือ ระยะทางของตัวแสดงผล (x) โดยมีเงื่อนไข คือ

1. ไม่มีความหน่วง ( $c = 0$ )
2. สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างไม้กับผิวแม่เหล็ก เท่ากับ 0.2 – 0.6
3. ระยะเริ่ม เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ( $x_0 = 5 \text{ mm.}$ )
4. กระแสไฟที่ให้แก่ขดลวด 0 – 1 แอมแปร์

ดังนั้นจึงได้ทำชุดทดลองดังรูปที่ 4.2 ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้



รูปที่ 4.2 ชุดการทดลองขดลวด โซลินอยด์

##### 4.2.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. ขดลวด โซลินอยด์ ซึ่งใช้ลวดเบอร์ 40 มีจำนวนรอบขดลวด 1200 รอบ และความยาวขดลวด โซลินอยด์ 9 มิลลิเมตร
2. แกนเหล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร
3. พินและแม่เหล็กถาวร มวลรวม 10 กรัม
4. ชุดต้นแบบ
5. แหล่งจ่ายไฟตรง (DC Power supply) 0 – 35 โวลต์
6. ไม้บรรทัด

#### 4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับระยะเริ่มต้นจากชุดทดลองให้ได้ระยะ 5 มิลลิเมตร โดยที่แนวกลางของขดลวด โซลินอยด์ กับพินจะตรงกัน

2. ปรับแหล่งจ่ายไฟให้อายุกระแสไฟให้แก่ขดลวดขดลวด โซลินอยด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.50 แอมแปร์

3. วัดระยะที่พินเคลื่อนที่ไปได้

4. เมื่อทำการวัดระยะที่แสดงผลเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มทำการทดลองใหม่ โดยการเปลี่ยนกระแสไฟที่ให้แก่ขดลวดเป็น 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 แอมแปร์ ตามลำดับ

เมื่อทำการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อสลักพินให้เคลื่อนที่ไปเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงทำการหาระยะที่สามารถดึงพินกลับมายังตำแหน่งเดิม ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. กำหนดระยะของพินมายังตำแหน่ง ต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่ 30 มิลลิเมตร

2. ปรับแหล่งจ่ายให้อายุกระแสไฟกลับทางให้แก่ขดลวด โซลินอยด์ โดยปรับให้กระแสที่จ่ายเท่ากับ 1 แอมแปร์

3. ถ้าพินกลับมายังตำแหน่งเดิม ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร ให้ทำการบันทึกค่าระยะตำแหน่งที่กำหนด และถ้าพิน ไม่มีการเคลื่อนที่ให้ทำการลดระยะของพินลงมา ทีละ 2 มิลลิเมตร แล้วจึงทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 2

#### 4.2.4 ผลการทดลอง

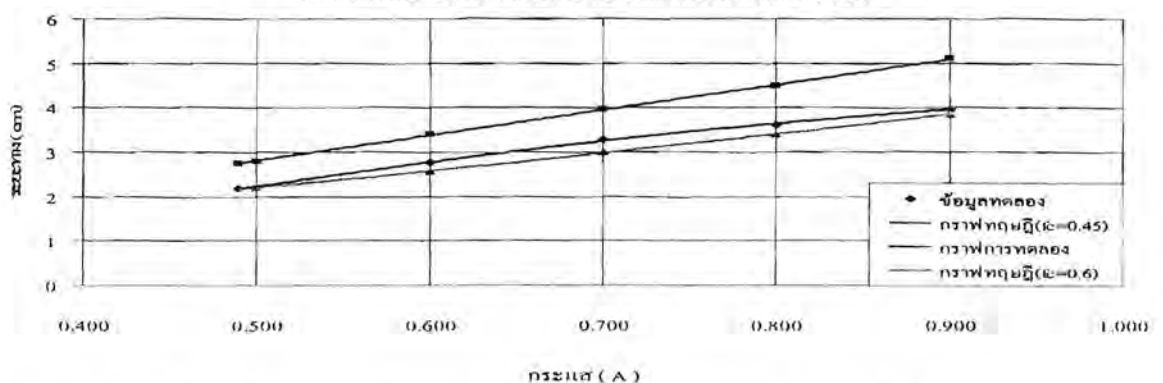
ตารางที่ 1 : ระยะทางที่เคลื่อนที่ไปของพิน

Current(A)	Distance(mm)										Avg
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.490	18	21	21	21	22	22	23	23	23	23	21.7
0.500	22	21	23	20	21	22	23	23	23	23	22.1
0.600	30	30	27	27	27	28	28	27	26	26	27.6
0.700	32	31	33	32	34	34	34	33	33	33	32.9
0.800	37	36	36	36	35	35	35	35	38	38	36.1
0.900	39	41	41	39	40	40	39	39	39	40	39.7

ตาราง 4.1 แสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของพิน

เมื่อเก็บข้อมูลดังตารางที่ 4.1 จากนั้นได้นำมาพล็อตกราฟเทียบกับสมการ(7.6) และได้กราฟที่ 4.2

กราฟระหว่างระยะทางที่เคลื่อนที่ไป กับกระแสที่ใช้ในขดลวดโซลินอยด์



กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่พินเคลื่อนที่ไปและกระแสที่ใช้ในขดลวดโซลินอยด์

ซึ่งกราฟทางทฤษฎีนั้นใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ 0.45, 0.6 ตามลำดับ พบว่าสมการนี้ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงที่ทดลองได้ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 24.97%, 5.14% ตามลำดับ

ตารางที่ 2 : ตำแหน่งของพื้นที่ขดลวดโซลินอยด์สามารถดึงกลับที่เดิม

Current(A)	Position (mm)
1	20

ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งของพื้นที่ขดลวดโซลินอยด์สามารถดึงกลับที่เดิม

#### 4.2.5 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองสังเกตได้ว่าระยะเวลาการเคลื่อนที่ไปของพินจะได้ระยะที่มากกว่าตำแหน่งในการดึงพินกลับมาตำแหน่งเดิม ทำให้เมื่อทำการทำชุดทดลองจริงสิ่งที่จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งในการเคลื่อนที่จะถูกกำหนดด้วยระยะเวลาดึงกลับด้วยระยะ 20 มิลลิเมตร โดยใช้กระแส 1 แอมแปร์ ที่เป็นแบบนี้เนื่องมาจากว่าถ้าระยะไกลมากขึ้นปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กของโซลินอยด์จะไม่เป็นแนวเส้นตรง เส้นแรงจะวกกลับรอบขดลวดโซลินอยด์ทำให้ปริมาณเส้นแรงที่ส่งไปหาแม่เหล็กที่พินมีปริมาณน้อยลงจึงมีผลต่อการดึงพินกลับมายังตำแหน่งเดิม

เมื่อทำการทดลองจะพบว่ายิ่งเพิ่มค่ากระแสจะทำให้ขดลวดโซลินอยด์ร้อนขึ้น ดังนั้นเรากำหนดกระแสที่จ่ายให้แก่ขดลวดโซลินอยด์มีค่าเท่ากับ 1 แอมแปร์ เพื่อไม่ให้ขดลวดโซลินอยด์เสียหาย

#### 4.2.6 สรุปผลการทดลอง

1. ระยะของก้านที่เคลื่อนที่ไป และกลับจะถูกกำหนดด้วยค่ากระแส ซึ่งในการเคลื่อนที่ไปกระแสที่ใช้จะอยู่ในช่วง 0.5 – 1 แอมแปร์ และการเคลื่อนที่กลับนั้นจะใช้กระแสที่ค่ามากที่สุด เท่ากับ 1 แอมแปร์

2. ระยะของพินซึ่งจะถูกจำกัดด้วยระยะเวลาดึงกลับของขดลวดโซลินอยด์ มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร โดยใช้กระแส 1 แอมแปร์

3. สมการความสัมพันธ์สามารถใช้ทำการทำนายพฤติกรรมของระบบ 3D-Display ได้

## บทที่ 5

### การออกแบบ 3D-Display

การออกแบบ 3D-Display แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- การออกแบบทางกล
- การออกแบบทางวงจรไฟฟ้า และ โปรแกรม

#### 5.1 การออกแบบทางกล

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบแบบจำลอง 3D - Display ซึ่งได้แบ่งเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

- ชุดแผ่นมอเตอร์ (Motor Plate Set)
- ชุดแผ่นวางพิน (Pin Plate Set)
- ชุดส่งกำลัง (Power Train Set)

##### 5.1.1 ชุดแผ่นมอเตอร์ (Motor Plate Set)

ชุดแผ่นมอเตอร์มีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ ขดลวดโซลินอยด์ (Solenoid ขดลวดโซลินอยด์), แผ่นยึดคอยด์ (ขดลวดโซลินอยด์ Plate), แผ่นรูปตัวแอล (Plate L) & แผ่นยึดสายพาน (Plate of Pulley), ลิเนียร์สไลด์ (Linear Slide), ฐานยึดลิเนียร์สไลด์ (Linear Slide Base), พูลเลย์ไทม์มิ่ง (Timing Pulley), แบริ่ง (Bearing), เฟลาเย็ค พูลเลย์ไทม์มิ่ง (Timing Pulley Shaft), มอเตอร์ (Motor) และแผ่นยึดมอเตอร์ (Motor Plate)

###### 5.1.1.1 ขดลวดโซลินอยด์

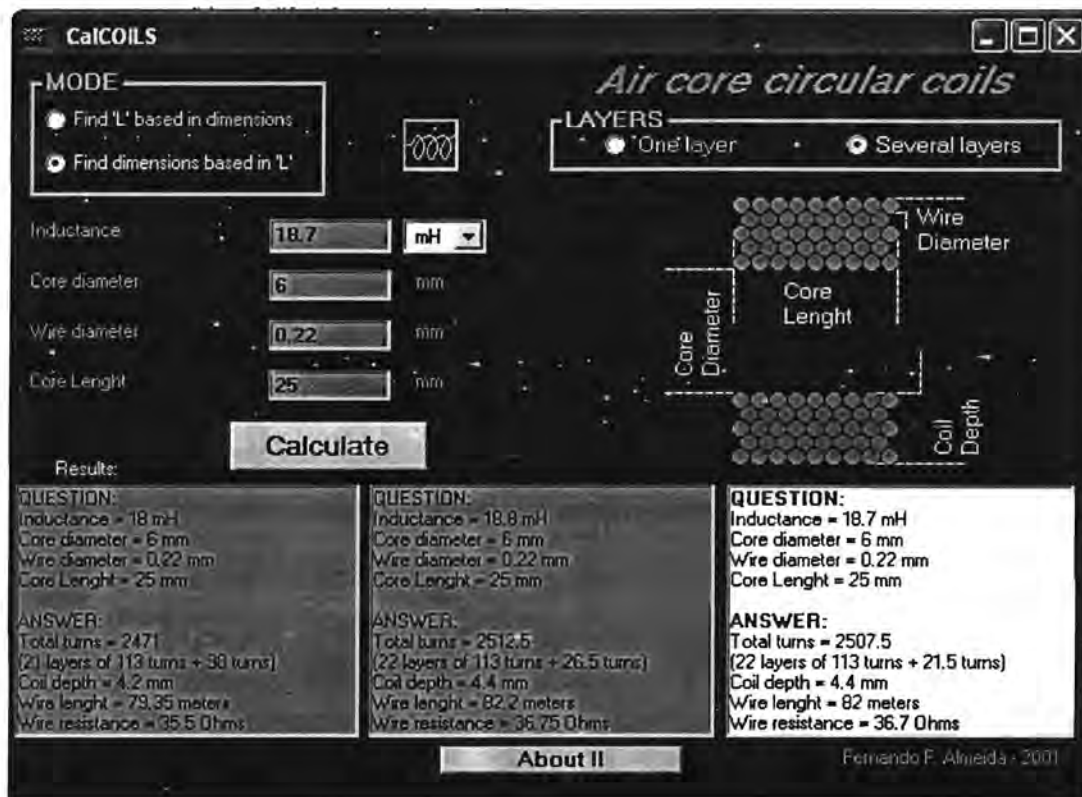
###### ขั้นตอนการออกแบบขดลวดโซลินอยด์

เริ่มจากการนำข้อมูลที่ได้จากการออกแบบและทดลองชุดต้นแบบในบทที่แล้วมาใช้ในการอ้างอิง ลักษณะการทำงานและออกแบบขดลวดโซลินอยด์ซึ่งจะได้ว่า

###### เงื่อนไขในการออกแบบ

1. พินจะต้องแสดงผลในระยะที่แตกต่างกันได้อย่างชัดเจน และสามารถที่จะดึงพินนั้นกลับมายังตำแหน่งเดิมได้เช่นกัน
2. จากชุดต้นแบบเราพบว่าระยะที่หลักพินมีค่าเท่ากับ 40 มิลลิเมตร และระยะที่ใช้ในการดึงพินกลับมายังตำแหน่งเดิมมีค่าประมาณ 20 มิลลิเมตร ด้วยกระแสไฟที่เท่ากันซึ่งเท่ากับ 1 แอมแปร์ ดังนั้นสรุปได้ว่าระยะหลักพินมีค่ามากกว่า ระยะที่ดึงพินกลับมาที่ตำแหน่งเดิม ทำให้การออกแบบต้องคำนึงถึงระยะที่ใช้ในการดึงพินกลับมากกว่า
3. จากผลการทดลองกับชุดต้นแบบในข้อ 2 ระยะที่แสดงผลจะต้องมีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และเนื่องจากการออกแบบข้างต้นขนาดพินมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพราะว่ามีตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร (Magnetic Shield) ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มรอบในการพันขดลวดให้มากขึ้นกว่าชุดต้นแบบ เพื่อให้ระยะที่แสดงผลจะต้องมีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และในกรณีถ้าพันขดลวดมากขึ้นความต้านทานจะมีค่ามากขึ้นทำให้ต้องลดขนาดความต้านทาน ดังนั้นต้องเลือกขนาดขดลวดที่พันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
4. ภายในแกนกลางของขดลวดโซลินอยด์ ต้องให้มีวัสดุประเภทเฟอร์โรแมกเนติกส์ (Ferromagnetic) คือ แกนเหล็ก เพื่อให้เพิ่มค่า Relative Permeability ซึ่งมีผลต่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก และต้องเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของแกนกลางของขดลวดเพื่อให้ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กมีค่ามากขึ้นตามสมการ ( 3.7.4 )

5. กระแสไฟที่จ่ายให้แก่ขดลวดโซลินอยด์ต้องมีค่าไม่เกิน 1 แอมแปร์ เพื่อไม่ให้เกิดผลต่อความร้อนในขดลวดและการผลึกพินให้เคลื่อนที่จะใช้ขั้วต่อแอมป์ที่จะใช้สามารถให้แรงดันไฟได้เท่ากับ 24 โวลต์ ส่วนในการดัดพินให้กลับมายังที่เดิมจะใช้แหล่งจ่ายไฟอื่น (DC Power supply) ซึ่งสามารถให้แรงดันได้เท่ากับ 40 โวลต์ และรีเลย์ควบคุม (Relay)



รูปที่ 5.1 โปรแกรมแสดงการคำนวณขดลวด โซลินอยด์

สำหรับในการออกแบบขดลวดโซลินอยด์ จะใช้โปรแกรม Cal ขดลวดโซลินอยด์ เพื่อช่วยในการประมาณค่าความต้านทาน ขนาด ค่าเหนี่ยวนำของขดลวดโซลินอยด์ รวมถึงหลักการในการออกแบบข้างต้น และวัสดุที่สามารถนำมาใช้ เช่น ขนาดขดลวด แกนเหล็ก เป็นต้น ทำให้เราทดลองคำนวณจากโปรแกรมดังกล่าวซึ่งแสดงในรูปที่ 5.1 สรุปว่าขดลวดโซลินอยด์ที่จะใช้สำหรับแบบจำลอง 3D-Display มีลักษณะเฉพาะ ดังนี้

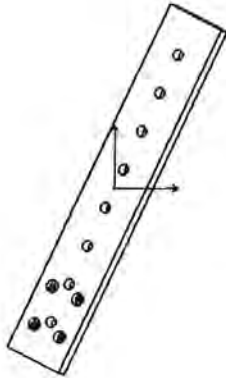
1. ขนาดแกนเหล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความยาวโซลินอยด์ 25 มิลลิเมตร
2. จำนวนรอบขดลวดที่พันแกนเหล็กเท่ากับ 2500 รอบ
3. ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 35 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.22 มิลลิเมตร ทำให้โซลินอยด์มีค่าความต้านทานเท่ากับ 36.7 โอห์ม

#### 5.1.1.2 แผ่นยึดคอยล์

แผ่นยึดคอยล์ ทำหน้าที่ยึดขดลวดโซลินอยด์โดยที่พบว่าไม่ได้รับแรงกระทำใดๆ นอกจากรับน้ำหนักของขดลวดโซลินอยด์ การยึดขดลวดโซลินอยด์นั้นจะใช้วิธีขันเกลียวเข้ากับแผ่นยึดคอยล์

### เงื่อนไขในการออกแบบ

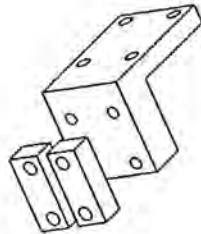
การออกแบบต้องการให้มีน้ำหนักเบาเพื่อลดภาระให้กับลิเนียสไลด์เนื่องจากต้องนำขดลวดโซลินอยด์ที่ได้ทำการยึดกับแผ่นยึดคอกซ์แล้วไปทำการยึดต่อเข้ากับลิเนียสไลด์อีกครั้ง ในที่นี้จึงเลือกใช้อะลูมิเนียมเนื่องจากอะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา แข็งแรง และทำการได้ง่าย โดยเลือกใช้อะลูมิเนียมหนา 3/8 นิ้ว ขนาดกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 180 มิลลิเมตรทำการเจาะรูเกลียวขนาด M5 ทั้งหมด 8 รู และเจาะรูสำหรับยึดกับลิเนียสไลด์อีก 4 รู โดยใช้น็อตหัวจมในการยึด ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 รูปแผ่นยึด โซลินอยด์

#### 5.1.1.3 แผ่นรูปตัวแอล และแผ่นยึดสายพาน

แผ่นรูปตัวแอลทำหน้าที่ยึดสายพานกับลิเนียสไลด์ การที่ต้องออกแบบแผ่นรูปตัวแอลนี้เนื่องจากไม่สามารถเจาะรูที่ลิเนียสไลด์ได้จึงต้องใช้แผ่นมาเสริมเพื่อช่วยยึดสายพานกับลิเนียสไลด์โดยเลือกวัสดุเป็นอะลูมิเนียมทำเป็นรูปตัวแอล และมีแผ่นปิดยึด โดยใช้น็อต มีลักษณะดังรูปที่ 5.3

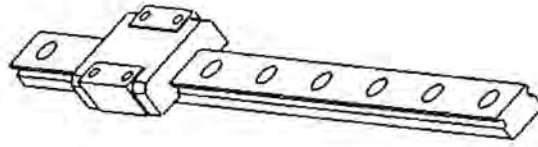


รูปที่ 5.3 รูปแผ่นรูปตัวแอลและแผ่นยึดสายพาน

#### 5.1.1.4 ลิเนียสไลด์

ในการออกแบบการเคลื่อนที่ของขดลวดโซลินอยด์ทั้ง 8 อัน เลือกใช้ลิเนียสไลด์มาใช้สไลด์สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและซึ่งโดยคุณสมบัติแล้วสามารถที่จะรับแรงบิด (Torque) ได้มาก ซึ่งแบบจำลองนี้ลิเนียสไลด์ต้องรับน้ำหนักของ ขดลวดโซลินอยด์ และแผ่นยึดคอกซ์สำหรับระยะเวลาการเคลื่อนที่ของลิเนียสไลด์นั้นต้องสอดคล้องกับระยะของฟันทั้ง 8 แถวโดยมีระยะ 140 มิลลิเมตร ต้องเลือกลิเนียสไลด์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะนี้หรือมากกว่าพอประมาณ จากการเลือกลิเนียสไลด์ที่มีจำหน่าย เลือกลิเนียสไลด์ที่เคลื่อนที่ได้ระยะ 160 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5.4

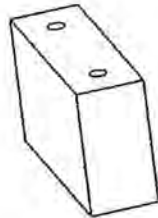




รูปที่ 5.4 รูปลิเนียร์สไลด์

#### 5.1.1.5 ฐานยึดลิเนียร์สไลด์

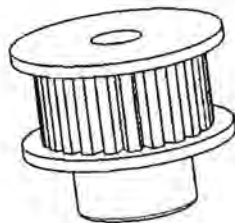
ในการยึดลิเนียร์สไลด์นั้นเราจะต้องยกให้รางของลิเนียร์สไลด์ยกห่างจากแผ่นซีคมอเตอร์เนื่องจากต้องให้เกิดความสัมพันธ์กับความห่างของสายพานไทม์มิ่งจากแผ่นซีคมอเตอร์ จึงออกแบบให้ใช้อะลูมิเนียมให้มีน้ำหนักเบา ขนาด 40 x 12 x 22.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 รูปฐานยึดลิเนียร์สไลด์

#### 5.1.1.6 พูเลย์ไทม์มิ่ง

เลือกใช้พูเลย์ไทม์มิ่ง Code 22-3M 09 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 รูปพูเลย์ไทม์มิ่ง Code 22-3M 09

#### 5.1.1.7 แบริ่ง

เลือกแบริ่งชนิด Deep groove ball bearings, stainless steel, with flange เบอร์ W 638/4-2ZR รูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 รูปแบริ่ง

### 5.1.1.8 เพลายึดพูลเลย์ไทม์มิ่ง

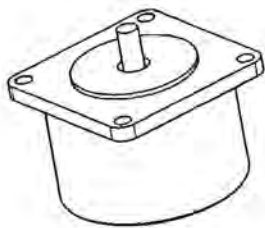
เพลายึดพูลเลย์ไทม์มิ่งทำหน้าที่ยึดพูลเลย์ไทม์มิ่ง โดยเลือกใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เนื่องจากต้องการความแข็งแรง โดยจะมีการสวมอัดแบร็งเข้ากับเพลายึดพูลเลย์ไทม์มิ่งก่อนจะสวมอัดพูลเลย์ไทม์มิ่ง เข้ากับแบร็งด้านบนอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจะทำเกลียวทั้ง 2 ด้านของเพลายึดพูลเลย์ไทม์มิ่งเพื่อใส่ล้อยึดกันพูลเลย์ไทม์มิ่ง หูด ส่วนอีกด้านใช้ยึดกับแผ่นยึดมอเตอร์ ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 รูปเพลายึดพูลเลย์ไทม์มิ่ง

### 5.1.1.9 มอเตอร์

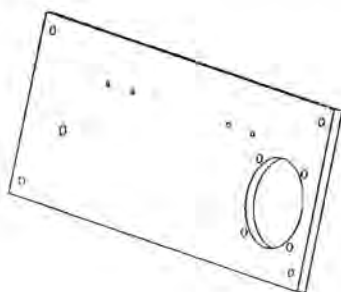
มอเตอร์ที่เลือกใช้จะเลือกใช้ สเตปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ ดังจะกล่าวต่อไปในชุดส่งกำลัง มอเตอร์ที่เลือกใช้ดังแสดงในรูปที่ 5.9 โดยมีรายละเอียดภาคผนวก ข.



รูปที่ 5.9 รูปสเตปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

### 5.1.1.10 แผ่นยึดมอเตอร์

แผ่นยึดมอเตอร์ทำหน้าที่ยึดติเนียร์สไลด์, เพลายึดพูลเลย์ไทม์มิ่งและ มอเตอร์ ซึ่งแผ่นยึดมอเตอร์นี้จะต้องรับน้ำหนักของส่วนประกอบดังที่กล่าวมาแล้วแต่เนื่องจากการประกอบโดยรวมมีการประกอบเข้ากับแผ่นยึดฟันซึ่งมีความหนากว่าจึงไม่ต้องระวังว่าแผ่นยึดมอเตอร์จะล้ม อีกประเด็นหนึ่งคือต้องมีการเจาะรูบนแผ่นก่อนข้างเยอะจึงเลือกใช้วัสดุซึ่งสามารถแมชชีนได้ง่ายแต่ไม่ต้องหนามาก คือเลือกใช้แผ่นอะลูมิเนียมหนา 2/8 นิ้ว ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 รูปแผ่นยึดมอเตอร์



### 5.1.2 ชุดแผ่นวางพิน (Pin Plate Set)

ชุดแผ่นวางพินประกอบด้วยแท่งพิน โดยในแต่ละพินเกิดจากการประกอบของ แม่เหล็ก (Magnet), แท่งเคลื่อนที่ (Moving Rod), ตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร (Magnetic Shield) และตัวอ้างอิงตำแหน่ง (Position Reference) จากนั้นจึงนำพินทั้ง 64 อันประกอบเข้ากับแผ่นวางพิน (Pin Plate) ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละส่วนประกอบดังนี้

#### 5.1.2.1 แม่เหล็ก

แม่เหล็กที่ใช้ในแบบจำลอง 3D - Display นี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ในการออกแบบเบื้องต้นต้องการให้มีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งขนาดของแม่เหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่านี้คือ 5 มิลลิเมตร แต่ เนื่องจากจะมีปัญหาเรื่องแรงผลักและแรงดึงของแม่เหล็กเมื่อขนาดของแม่เหล็กลดลง ทำให้แรงลดลงโดยที่ไม่ทราบลักษณะแนวโน้มการลดลงของแรงแม่เหล็ก จึงเลือกใช้แม่เหล็กขนาด 8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5.11



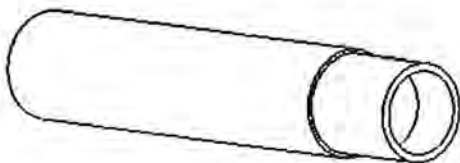
รูปที่ 5.11 รูปแม่เหล็กทรงกระบอก

#### 5.1.2.2 แท่งเคลื่อนที่

แท่งเคลื่อนที่ทำหน้าที่แสดงผลของการเคลื่อนที่อันเกิดจากแรงผลักและแรงดึงซึ่งส่งผ่านมาจากขดลวดโซลินอยด์สู่แม่เหล็กที่ยึดติดอยู่ด้านท้ายของแท่งเคลื่อนที่ และเนื่องจากแท่งเคลื่อนที่เป็นชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เข้าออกด้วยแรงผลักและแรงดึง ทำให้ชิ้นส่วนนี้สัมผัสกับพื้นผิวของแผ่นวางพินโดยตรง ในการออกแบบต้องทำให้แท่งเคลื่อนที่มีน้ำหนักเบาและมีผิวเรียบเพื่อให้เกิดแรงเสียดทานน้อยอีกทั้งต้องมีความสม่ำเสมอตลอดความยาว

รูปร่างของแท่งเคลื่อนที่ได้เลือกใช้เป็นแท่งพื้นที่หน้าตัดกลมเนื่องจากแท่งกลมทำให้เกิดแรงเสียดทานน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดเหลี่ยม และทำให้เกิดความสะดวกในการแมชชีนแผ่นวางพินอีกด้วย

การเลือกขนาดของแท่งเคลื่อนที่ได้พิจารณาเส้นผ่าศูนย์กลางจากขนาดของแม่เหล็กซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร จึงควรให้ขนาดของแท่งเคลื่อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กที่สุดที่เป็นขนาดมาตรฐาน (Nominal Size) แต่ยังคงสามารถที่จะยึดแม่เหล็กขนาดดังกล่าวไว้ได้ ส่วนความยาวของแท่งเคลื่อนที่ได้อ้างอิงมาจากการทดลองจากในบทที่ 4 โดยระยะที่ต้องการคือระยะที่แท่งเคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ไป - กลับได้โดยใช้ขดลวดโซลินอยด์ชุดเดียว นั่นคือระยะประมาณ 20 มิลลิเมตรแต่เผื่อระยะออกไปอีกประมาณ 10 มิลลิเมตร เนื่องจากยังผลกระทบจากตัวแปรอื่นซึ่งมองไม่เห็นจากแบบจำลอง 3D - Display ซึ่งสร้างออกมา รวมกับความหนาของแผ่นวางพิน ซึ่งหนา 12.7 มิลลิเมตรและระยะที่จะต้องใส่ตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรอีก 10 มิลลิเมตร ดังนั้นให้Rodมีความยาวทั้งหมด 52 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 รูปแท่งเคลื่อนที่

อีกประเด็นหนึ่งคือวัสดุที่ใช้จึงได้สำรวจและนำวัสดุที่มีอยู่ในท้องตลาดมาเปรียบเทียบดังนี้

- เทฟรอน
- พลาสติกพีวีซี
- พลาสติกซูเปอร์รีน
- อะครีลิก

วัสดุทั้ง 4 ชนิดมีลักษณะดังนี้

ลักษณะ/วัสดุ	เทฟรอน	พลาสติกพีวีซี	พลาสติกซูเปอร์รีน	อะครีลิก
ความเรียบ	เรียบดีมาก	เรียบ	เรียบ	เรียบ
ความสม่ำเสมอ	ดีมาก	ปานกลาง	ดี	ดี
ราคา	380 บาท/เมตร	120 บาท/เมตร	80 บาท/เมตร	200 บาท/เมตร

ตาราง 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุตามท้องตลาดที่มีลักษณะเป็นแท่งพื้นที่หน้าตัดกลม

จากตารางพบว่า เทฟรอนมีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุด แต่เนื่องจากมีราคาแพงกว่าวัสดุอื่นมากจึงไม่เลือกใช้ เมื่อพิจารณาวัสดุ 3 ชนิดที่เหลือ จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันแต่พลาสติกซูเปอร์รีนมีราคาถูกกว่าชนิดอื่น จึงเลือกใช้พลาสติกซูเปอร์รีนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10.35 มิลลิเมตร อ้างอิงขนาดในภาคผนวก ก. ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐาน (Nominal Size) จากที่ใช้วัสดุที่คุณสมบัติใกล้เคียงรองลงมาแต่ราคาไม่สูงมากนักก็ทั้งยังเป็นขนาดมาตรฐานที่มีขายอยู่แล้วทำให้สามารถลดต้นทุนได้มาก

#### 5.1.2.3 ตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร

เนื่องจาก แบบจำลอง 3D-Display อาศัยแรงแม่เหล็กในการขับเคลื่อนที่ให้เคลื่อนที่ไปกลับและมีจำนวนพินทั้งหมด 64 อัน ซึ่งจะต้องนำพินมาวางไว้ใกล้กัน ทำให้เกิดปัญหาระหว่างการดูด - ผลักระหว่างแม่เหล็ก 2 อัน ระยะที่จะวางแม่เหล็กแล้วไม่เกิดแรงกระทำระหว่างกันจะต้องวางห่างกันประมาณ 30 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่มากเกินไป ดังนั้นจึงต้องหาวิธีที่จะป้องกันแรงแม่เหล็กของแม่เหล็ก 2 อันจากการค้นคว้าสามารถหาวิธีที่เหมาะสมคือ การใช้วัสดุแรงแม่เหล็กที่แผ่ออกมา และวัสดุที่เหมาะสมที่สุดคือ เหล็ก อ้างอิงในภาคผนวก ง.

จึงทำการเลือกท่อเหล็กขนาด 4/8 นิ้ว โดยทำการตัดท่อเหล็กให้มีความยาว 10 มิลลิเมตรแล้วทำการสวมอัดติดกับแท่งเคลื่อนที่ในด้านเดียวกับที่สวมแม่เหล็ก ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 รูปตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร

การสวมตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรกับแท่งเคลื่อนที่นี้ต้องสวมให้ขอบของท่อเหล็กพอดีกับขอบของแม่เหล็ก เนื่องจากถ้าให้ตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรยาวเกินขอบลงมาจะเป็นการลดแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไป - กลับ ส่งผลให้ระยะการเคลื่อนที่ของพินลดลง

#### 5.1.2.4 ตัวอ้างอิงตำแหน่ง

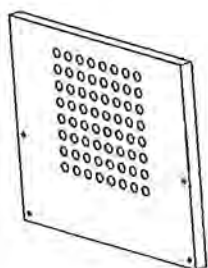
เลือกใช้แหวนรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 12 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6.4 มิลลิเมตร และความหนา 0.8 มิลลิเมตร โดยเลือกใช้แหวนรองมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูใส่แท่งเคลื่อนที่เพื่อทำหน้าที่เป็นบ่าให้กับแท่งเคลื่อนที่ เมื่อแท่งเคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่งอ้างอิงหรือเคลื่อนที่กลับ มีลักษณะดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 รูปตัวอ้างอิงตำแหน่ง

#### 5.1.2.5 แผ่นวางพิน

แผ่นวางพินทำหน้าที่เป็นช่องการเคลื่อนที่ของพินซึ่งจะต้องสัมผัสกับตัวพินโดยตรง การออกแบบแผ่นวางพินนี้ต้องการวัสดุที่ทำให้เกิดความเสียดทานน้อยที่สุดกับพลาสติกซูเปอร์รีนกล่าวคือมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Coefficient) น้อยนั่นเอง วัสดุที่ใช้ทำแผ่นวางพินในที่นี้เลือกใช้อะลูมิเนียมเนื่องจากเหตุผลดังกล่าว อีกทั้งยังสามารถแมชชีนง่ายเนื่องจากแผ่นวางพินต้องมีการเจาะรูจำนวน 64 รู หลังจากเลือกวัสดุแล้ว ก็พิจารณาความหนาที่ต้องใช้โดยใช้อะลูมิเนียมหนา 4/8 นิ้ว ซึ่งความหนานี้จะต้องเป็นระยะที่เหมาะสมกับความยาวของพิน จากการทดลองในชุดต้นแบบถ้าหากพินมีส่วนที่อยู่นอกแผ่นวางพินมากโดยมาจากการที่เราออกแบบความหนาของแผ่นวางพินน้อยเกินไปหรือเจาะรูมีความคลาดเคลื่อนสูง จะทำให้พินเอียงและไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงเลือกแผ่นอะลูมิเนียมที่มีความหนา 4/8 นิ้ว และออกแบบให้รูที่ต้องเจาะลงบนแผ่นวางพินมีขนาดที่พอดีกับพินคือ 10.5 มิลลิเมตรค่าความเผื่อ +0.007 และ -0.002 มิลลิเมตรพร้อมทั้งทำการลบคม 45 องศา เพื่อป้องกันการเสียดสีของพินกับรูบนแผ่นวางพิน ดังรูปที่ 5.15

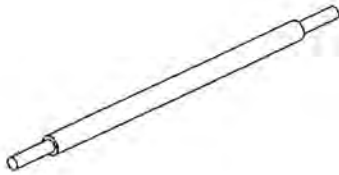


รูปที่ 5.15 รูปแผ่นวางพิน

จากชุดแผ่นมอเตอร์และชุดแผ่นวางพินที่ได้ออกแบบไว้แล้ว จะต้องนำทั้ง 2 ชุดมาประกอบกัน โคนวางขนานกันทั้งแผ่นการกำหนดระยะจะมีเพลากำหนดระยะ (Holding Shaft) ซึ่งมีแนวทางการออกแบบดังนี้

#### 5.1.2.6 เพลากำหนดระยะ

เพลากำหนดระยะทำหน้าที่ยึดชุดแผ่นมอเตอร์กับชุดแผ่นวางพิน โดยออกแบบให้สามารถปรับระยะระหว่างชุดทั้งสองได้ ออกแบบให้ใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตรทำเกลียวขนาด M5 ที่ปลายทั้งสองด้าน ให้ระยะระหว่างเกลียวเป็นระยะที่น้อยที่สุดที่ทั้งสองชุดจะสามารถห่างกันได้คือระยะ 150 มิลลิเมตร และทำเกลียวให้ยาวออกไปด้านละ 20 มิลลิเมตร โดยเผื่อระยะที่ต้องใส่ผ่านทั้งสองชุดซึ่งหนา 2/8 และ 4/8 นิ้ว ตามลำดับ และมีระยะที่สามารถปรับได้ด้านละประมาณ 10 มิลลิเมตรเป็นระยะเผื่อหากงานที่สั่งแมชชีนออกมาเกิดความคลาดเคลื่อนก็สามารถใช้แหวนรองรองเพื่อเพิ่มระยะห่างของแผ่นทั้ง 2 ชุด ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 รูปเพลากำหนดระยะ

### 5.1.3 ชุดส่งกำลัง (Power Train Set)

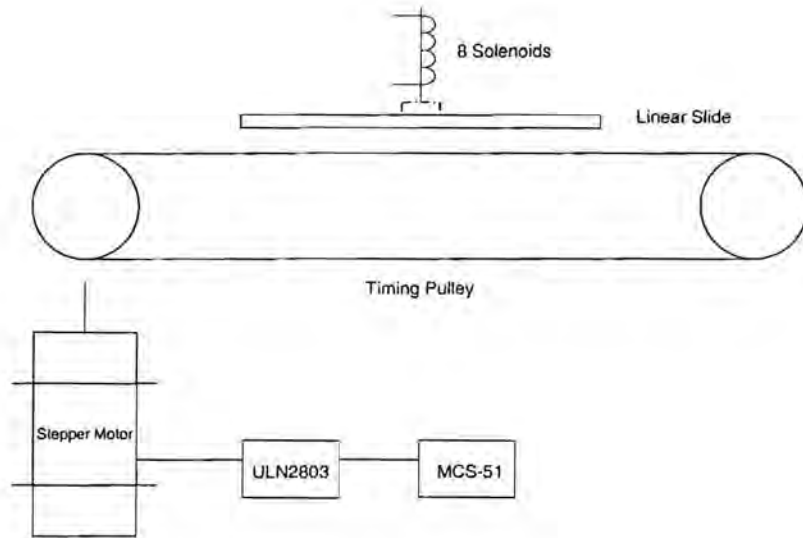
#### 5.1.3.1 ข้อมูลในการออกแบบของชุดส่งกำลังขับเคลื่อนแบบจำลอง 3D-Display มีดังนี้

1. สำหรับแบบจำลอง 3D-Display จะมีจำนวนฟันจำนวน 8 คอสมป์ x 8 แถว (64อัน) ทำให้ต้องมีขดลวดโซลินอยด์เท่ากับ 64 อันซึ่งมาก และค่าใช้จ่ายในการพันขดลวดโซลินอยด์สูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดจำนวนขดลวดจาก 64 อันให้เหลือ 8 อัน แล้วใช้ระบบส่งกำลังมาแทนที่
2. เนื่องจากถ้าใช้ระบบส่งกำลังแล้วจะต้องมีความเร็วในการขับเคลื่อนซึ่งเราอ้างอิงจากความเร็วฟิล์มของภาพยนตร์เท่ากับ 24 เฟรมต่อวินาที (fps) หรือ 24 เฮิร์ต ทำให้คนสามารถเห็นเป็นภาพต่อเนื่องของเฟรมแต่ละเฟรม[อ้างอิงในweb]
3. ในการส่งกำลังของแบบจำลอง 3D-Display ต้องการความแม่นยำทางตำแหน่งเพื่อให้พื้นที่หน้าตัดแม่เหล็กถาวร กับพื้นที่หน้าตัดแกนกลางขดลวดโซลินอยด์อยู่ในแนวตรงกัน
4. ต้องการความเรียบง่ายในการควบคุมตำแหน่ง และความเร็ว

จากข้อมูลในการออกแบบของชุดส่งกำลังขับเคลื่อนแบบจำลอง 3D-Display ที่กล่าวมาข้างต้นจะได้ว่า

#### 5.1.3.2 ส่วนประกอบทางกลของระบบส่งกำลัง มีดังนี้

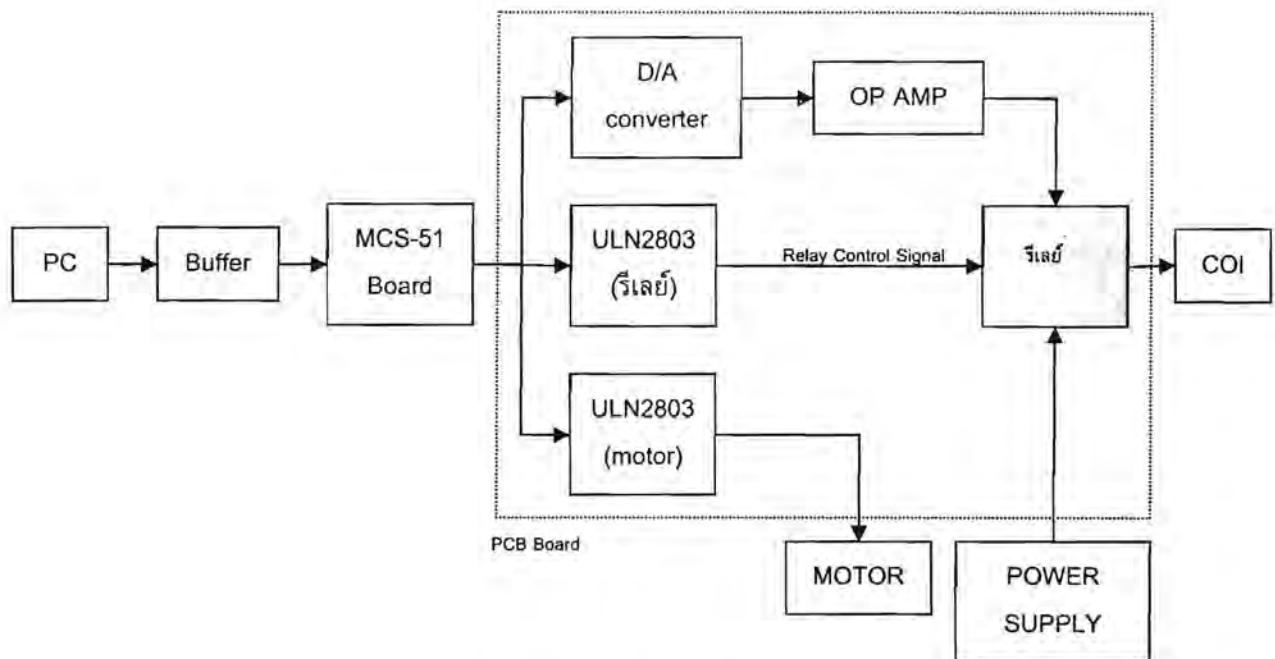
1. ดันกำลัง คือ สเตปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar Step Motor) มีความละเอียด 1.8 องศาต่อสเตป (deg/step) เนื่องจากง่ายต่อการควบคุมความตำแหน่ง และความเร็ว ในการใช้สเตปมอเตอร์สามารถควบคุมความเร็วได้โดยการ โปรแกรมในไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51
2. ความแม่นยำของสเตปมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับความละเอียด ซึ่งเราสามารถที่จะปรับความละเอียด โดยการเปลี่ยนแปลงการขับเคลื่อนแบบเต็มขั้น (Full-step) ไปเป็นแบบครึ่งขั้น (Half-step) ทำให้ความละเอียดเป็น 0.9 องศาต่อสเตป (deg/step) [อ้างอิงหนังสือ]
3. การส่งกำลังจะใช้ฟูล์ไทม์มิ่ง และสายพานไทม์มิ่ง เนื่องจากการส่งกำลังแบบนี้จะไม่เกิดการสั่น ไตล ทำให้มีความแม่นยำของตำแหน่ง และเส้นสายพานไทม์มิ่งนั้นจะนำไปติดกับรางเลื่อน (Linear Slide) ซึ่งที่ตัวรางเลื่อนนี้จะประกอบไปด้วยขดลวดโซลินอยด์



รูปที่ 5.17 แผนผังการทำงานของระบบส่งกำลัง

## 5.2 การออกแบบทางไฟฟ้าและโปรแกรม

### 5.2.1 หลักการ และ ขั้นตอนการทำงาน



รูปที่ 5.18 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์

ข้อมูลที่ต้องการแสดงผลบน 3D Display จะถูกล่งผ่านจากเครื่อง PC ผ่านทาง serial port ไปยัง micro controller (MCS 51) เพื่อทำการประมวลผลข้อมูลดังกล่าว และ ส่งผ่านสัญญาณออกทาง port ที่เหมาะสม ซึ่ง port ดังกล่าวจะเชื่อมต่อกับ ส่วนของการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวด (coil) และ ส่วนการควบคุมมอเตอร์ ซึ่งจะทำงานสัมพันธ์กันทั้งระบบ

จำนวน port ที่ใช้นั้นมีทั้งหมด 6 port ซึ่งแต่ละ port มี 8 บิต (Bit) และ port แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ จาก MCS 51 โดยตรงจำนวน 3 port และ จากการขยาย port ด้วย IC 8255 จำนวน 4 port ซึ่งมีหน้าที่ดังนี้

เชื่อมต่อจาก	Port	หน้าที่	จำนวน บิต
8255	A	ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสู่ ขดลวด โซลินอยด์ ทั้ง 8 อัน ( 1 ขดลวด โซลินอยด์ ใช้สัญญาณควบคุม 4 บิต )	32 บิต
	B		
	C		
MCS-51	1		
	2	- ควบคุมการจ่ายแรงดันสำหรับการควบคุมมอเตอร์ - ควบคุมการเปิดปิด signal relay ในกระบวนการติดตั้ง	4 บิต 1 บิต
	3	เป็น port I/O สำรองเพื่อการออกแบบเพิ่มเติมในอนาคต	8 บิต
	0	ควบคุมการรับส่งข้อมูลของ 8255	8 บิต

ตาราง 5.2 หน้าที่และการส่งผ่านข้อมูลทาง Port



### 5.2.2 การควบคุมการเคลื่อนที่ของพิน

ระยะการเคลื่อนที่ของพิน (Pin) จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับ ขดลวดโซลินอยด์ เนื่องจากขดลวด โซลินอยด์ มีคุณสมบัติเป็น gyrator เพราะฉะนั้น หลักการควบคุมระยะการเคลื่อนที่ของพิน ก็คือการควบคุมการจ่ายกระแสแก่ ขดลวด โซลินอยด์ นั่นเอง แต่ในทางปฏิบัติ การควบคุมกระแสโดยตรงนั้นทำได้ค่อนข้างยาก เมื่อเทียบกับการควบคุมแรงดัน แต่เนื่องจากความต้านทานจากผลของความเหนี่ยวนำใน ขดลวด โซลินอยด์ ( $X_L$ ) มีผลน้อยมาก สำหรับการใส่ไฟฟ้ากระแสตรง และผลของ Back-EMF สามารถจำกัดค่าได้ ดังนั้นจึงเป็นการเหมาะสมที่จะ ออกแบบให้การควบคุมระยะการเคลื่อนที่ของพิน โดยการควบคุมแรงดัน แทน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- การดันออก

สัญญาณ Digital สำหรับควบคุมการจ่ายแรงดัน 4 บิต ของแต่ละ ขดลวด โซลินอยด์ จะถูกแปลงเป็นสัญญาณ analog (0-5 Volt) แบ่งความละเอียด 16 ระดับ โดยวงจร DAC (Digital to Analog Converter) จากนั้นนำไปผ่านวงจร OP-AMP เพื่อขยายแรงดันให้เพียงพอต่อการควบคุม (0-24 Volt) ซึ่งจะได้กระแสสูงสุดประมาณ 550 mA

- การดึงกลับ

การดึงกลับนั้นจะต้องใช้กระแสที่มากกว่าการดันออก ณ ระยะเท่ากัน ประมาณ 2 – 3 เท่า ซึ่งแรงดัน 24 Volt จาก OP-AMP นั้นไม่เพียงพอ จึงออกแบบให้ใช้ power supply ค่อยเสริมโดยที่ สัญญาณควบคุมจะทำหน้าที่เปิด หรือ ปิด การจ่ายไฟผ่านทาง signal relay เท่านั้น แรงดันที่ใช้ คือ ประมาณ 48 Volt ซึ่งจะให้กระแสมากถึงประมาณ 1.2 A ทั้งนี้กระแสสูงสุดพิจารณาจากการทนกระแสของ ขดลวด โซลินอยด์ เป็นหลัก

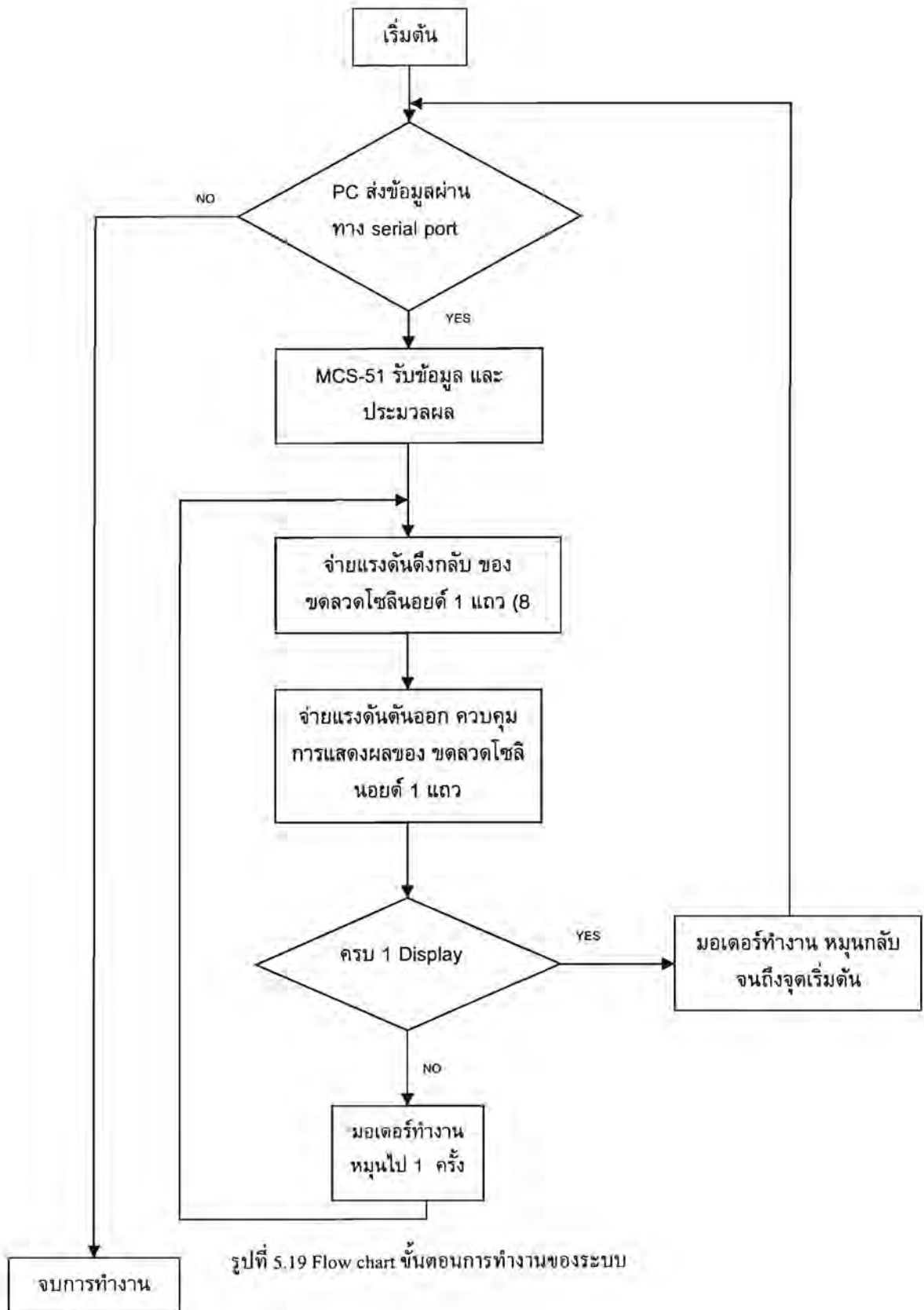
### 5.2.3 ระยะเวลาของการจ่ายกระแสผ่าน ขดลวดโซลินอยด์

เมื่อพิจารณาเฉพาะการดันออก เวลาของการจ่ายกระแสจะพิจารณาจากการเข้าสู่ steady state ของการเคลื่อนที่ของพิน โดยสามารถประมาณได้จากการทำ simulation ของระบบ ซึ่งจะพบว่าระยะการเคลื่อนที่ที่ยังไกลจำเป็นต้อง ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่ามากที่สุดคือ 150 msec. เพื่อความสะดวกในการควบคุม จึงออกแบบให้การเคลื่อนที่ทั้ง 16 ระดับ ใช้ระยะเวลาในการจ่ายกระแสขั้นต่ำ เท่ากับ 150 msec. เท่ากันทั้งหมด ทั้งนี้ระยะเวลาดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์ กับระยะเวลาขั้นต่ำของการแสดงผลของแต่ละ Display ซึ่งควบคุมจาก โปรแกรมบน PC ด้วย สำหรับขั้นตอนการดึงกลับนั้น เป็นไปในลักษณะเดียวกัน (เวลาดังกล่าวเป็นเวลาโดยประมาณ ซึ่งต้องปรับตั้งอีกครั้งหนึ่ง)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะการเคลื่อนที่ของพิน สามารถดูได้จาก ภาคผนวก ฉ.

### 5.2.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

MCS-51 รับข้อมูลจำนวน 32 ตัวอักษร จาก PC แล้วนำมาประมวลผลเพื่อเตรียมการแสดงผล โดยการแสดงผลจะแบ่งออกเป็น 8 แถว ซึ่งจะแสดงผลโดยควบคุมการจ่ายแรงดันผ่าน ขดลวด โซลินอยด์ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของพิน ครั้งละ 1 แถว (8 พิน) (ซึ่งการควบคุมพิน ในแต่ละครั้งจะจ่ายแรงดันดึงกลับมาสู่จุดเริ่มต้น ก่อนที่จะจ่ายแรงดันดันออก) จากนั้นจึงควบคุมมอเตอร์เพื่อเลื่อนชุด ขดลวด โซลินอยด์ ไปกระทำต่อพิน ในแถวต่อไป จนกระทั่งครบ 8 แถว มอเตอร์จึงหมุนเลื่อนชุด ขดลวด โซลินอยด์ กลับมาสู่จุดเริ่มต้น เตรียมรับข้อมูลและแสดงผลต่อไป





### 5.2.5 ระบบควบคุม (Control System)

ได้ออกแบบเป็น Open Loop ทั้งหมด เนื่องจากเหตุผลหลายประการ ดังนี้

- 1) ระบบไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก และ ระยะการเคลื่อนที่ของพิน คือ 3 cm แบ่งเป็น 16 ช่วง ซึ่งมีความละเอียดมากพอ
- 2) ระบบไม่ซับซ้อน จึงควบคุมได้ง่าย
- 3) ออกแบบได้ง่าย ไม่ซับซ้อน เนื่องจากไม่มีการป้อนกลับ
- 4) ราคาถูกลง เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ตรวจวัด (sensor)

### 5.2.6 โปรแกรม ใน Micro Controller

เนื่องจาก MCS-51 สามารถรองรับภาษาได้ 2 ภาษา คือ C และ Assembly เมื่อพิจารณาถึงข้อดี ข้อเสียแล้ว จึงเลือกที่จะเขียนด้วยภาษา C เนื่องจากเป็นภาษาระดับสูงที่สามารถเข้าใจได้ง่ายกว่า ถึงแม้ว่าอาจมีข้อด้อยกว่าภาษา Assembly เล็กน้อยในเรื่องของความแม่นยำด้านเวลา ซึ่งมีผลน้อยมาก ในระดับ  $\mu s$

โปรแกรมบน MCS-51 สามารถแบ่งเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

- 1) ส่วนการรับส่งข้อมูลผ่าน serial port
- 2) ส่วนการจัดเก็บตัวอักษร ASCII Code ลงใน Matrix 4x8
- 3) ส่วนการส่งสัญญาณ ออกทาง port และการควบคุมมอเตอร์

### 5.2.7 โปรแกรมบน PC

เนื่องจากต้องการให้มี Interface ที่ใช้งานง่ายและเห็นภาพชัดเจน จึงเลือกใช้ Visual Basic ในการออกแบบ นอกจากนั้น Visual Basic ยังมี component สำหรับการติดต่อผ่านทาง serial port สำเร็จรูป ง่ายต่อการใช้งาน แต่ข้อเสียของ Visual Basic ที่เด่นชัดคือ ความไม่เป็น real time อย่างไรก็ตาม สามารถแก้ไขโดยการชดเชยเวลาซึ่งทำได้โดยการเขียนโปรแกรมที่เหมาะสม

โปรแกรมบน PC สามารถแบ่งเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1. ส่วนการกรอกข้อมูล
2. Color Level Simulation
3. ASCII Encoding
4. ส่วนการรับส่งข้อมูลผ่าน serial port

#### 5.2.7.1 ส่วนการกรอกข้อมูล

ได้มีการออกแบบให้กรอกข้อมูลระดับ(0-15) ลงบน Matrix 8 x 8 รวม 64 cell ซึ่งสอดคล้องกับ cell ของอุปกรณ์แสดงผล โดยที่ระดับต่ำสุด คือ "0" จนถึงระดับสูงสุดคือ "15" รวม 16 ระดับ

\*\*\*หมายเหตุ การใส่ตัวเลขนอกเหนือจากช่วงดังกล่าวจะทำให้การประมวลผลผิดพลาด \*\*\*

#### 5.2.7.2 Color Level Simulation

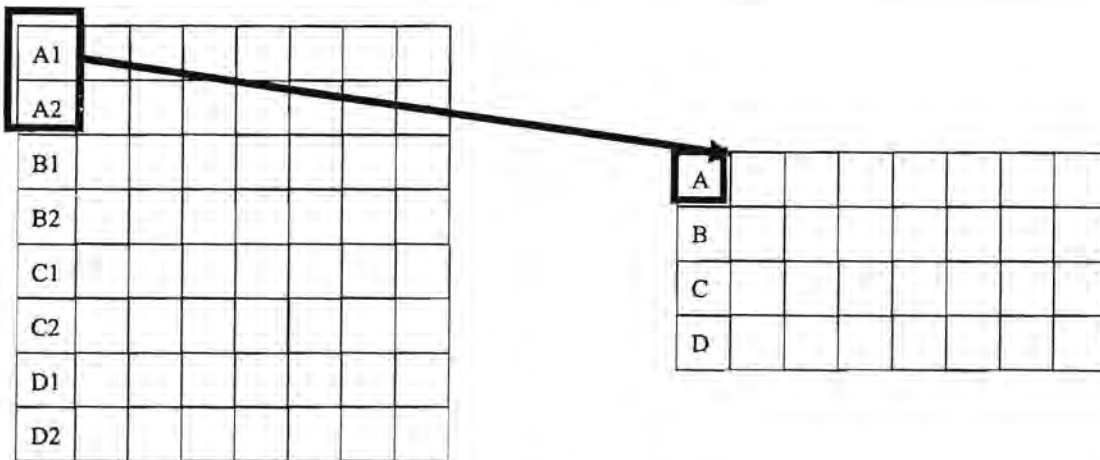
ได้ออกแบบให้มีการจำลองลักษณะที่จะแสดงบนอุปกรณ์แสดงผล 3D Display ด้วยสีเข้มอ่อนแตกต่างกัน ซึ่งจะไล่สีตามการส่องสว่าง 16 ระดับ โดยที่สีสว่างแสดงถึง ระดับสูง และสีมืดแสดงถึง ระดับต่ำ

\*\*\* หมายเหตุ ในกรณีที่ใส่ตัวเลขนอกเหนือจากช่วงดังกล่าว จะมีการเตือนด้วยสีแดงที่ Cell นั้น \*\*\*

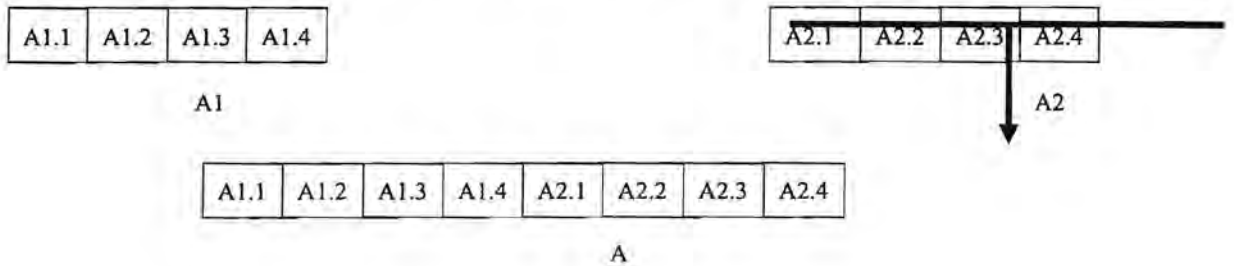
5.2.7.3 ASCII Encoding

เนื่องจาก ASCII Code มีการจัดเก็บตัวอักษรด้วยหน่วยความจำขนาด 8 บิต (256 ตัวอักษร) และการแสดงผลของ 3D Display 1 cell มีทั้งหมด 16 ระดับ(4 บิต) ซึ่งสังเกตได้ว่า 1 ตัวอักษรสามารถเก็บค่าระดับของ 3D Display ได้ 2 cell พอดี ดังนั้น เพื่อความรวดเร็วในการส่งข้อมูล และ กำเนินถึงข้อจำกัดของหน่วยความจำบน MCS-51 จึงออกแบบให้การจัดเก็บข้อมูลใน Micro Controller เป็น Matrix 4 X 8 ( เก็บข้อมูลชนิดตัวอักษร รวม 32 ตัวอักษร) ต่อ 1 Display

กล่าวโดยสรุปแล้ว หน้าที่ของส่วน ASCII Encoding คือ การแปลงข้อมูลตัวเลข 0-15 ของแต่ละ cell จำนวน 64 cell เป็น ASCII Code 32 ตัวอักษรนั่นเอง โดยมีหลักการจัดเรียงดังนี้



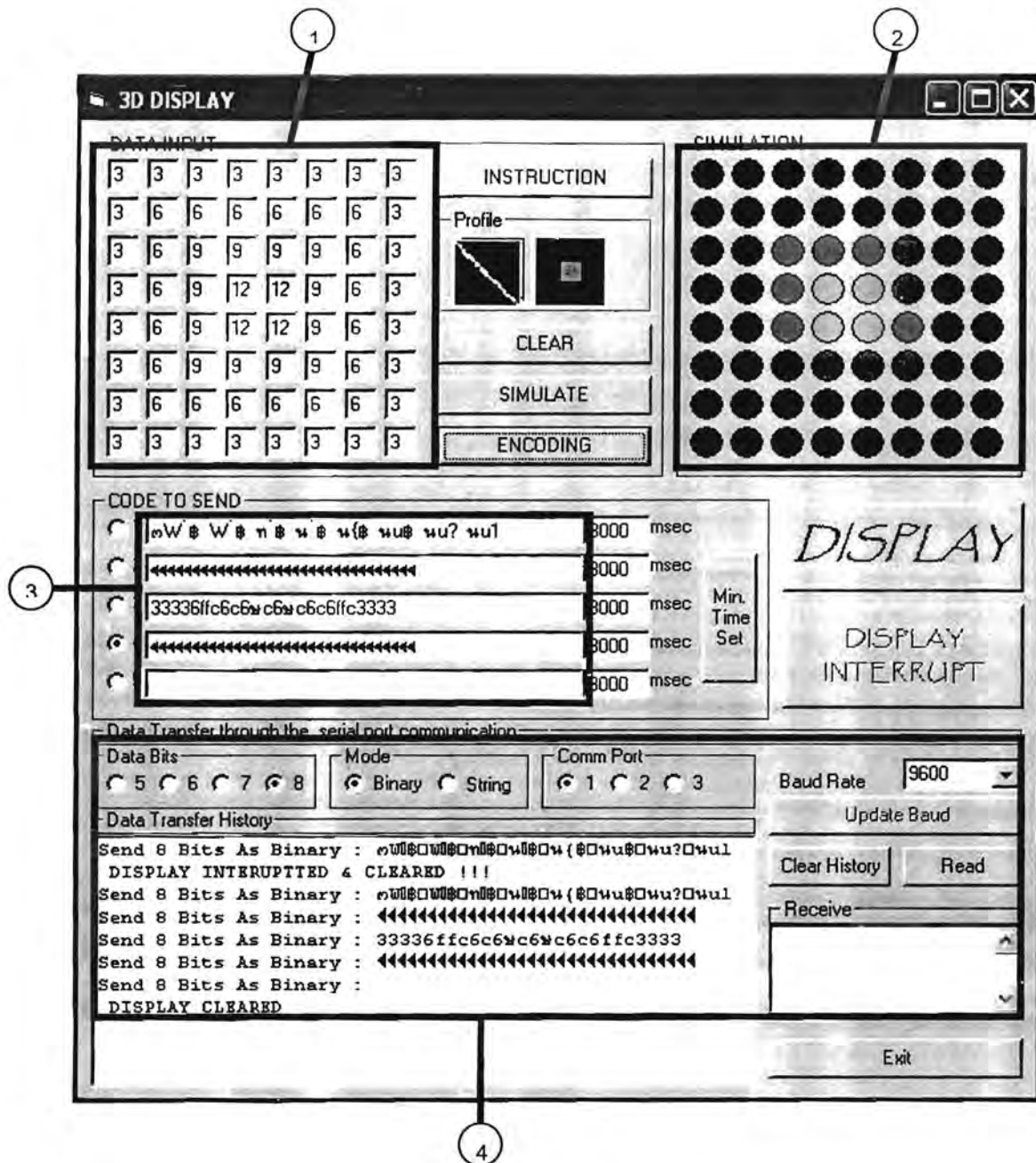
A (ASCII Code 8 บิต) ได้จากการรวมกันของ A1 (4 บิต) และ A2 (4 บิต)



5.2.7.4 ส่วนการรับส่งข้อมูลผ่าน serial port

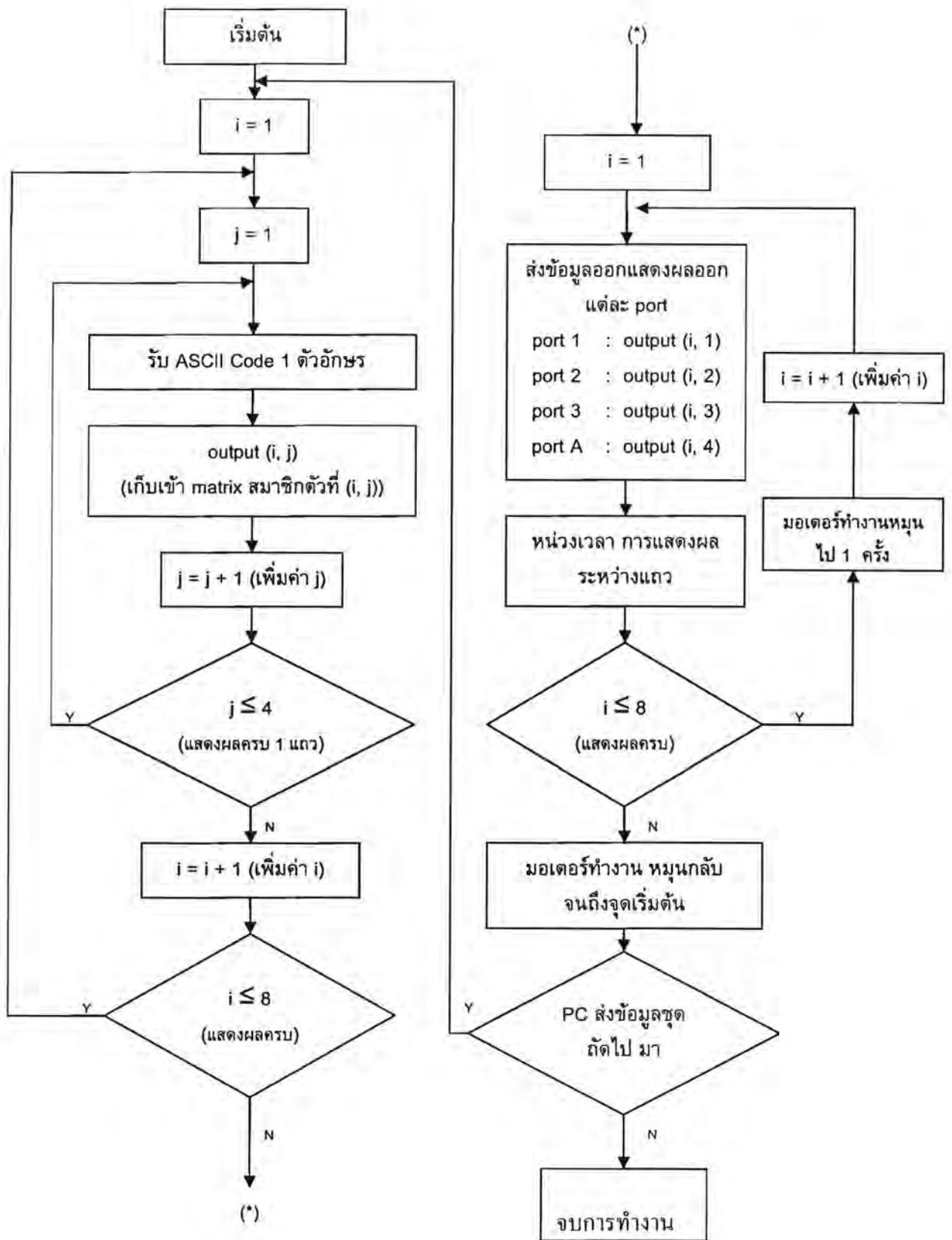
อุปกรณ์ได้มีการออกแบบให้แสดงผลทันทีเมื่อรับข้อมูลครบ (32 ตัวอักษร) ดังนั้น หลังจากการแสดงผลครั้งแรกแล้ว การแสดงผลครั้งถัดไปสามารถทำได้โดยการส่งข้อมูลชุดถัดไปมา ตามกระบวนการเดิม เพื่อไม่ให้มีการขัดกันระหว่างข้อมูลแต่ละชุด จึงได้ออกแบบให้มีการหน่วงเวลาเกิดขึ้น โดยควบคุมที่ช่วงระยะเวลาที่เว้นระหว่างการส่งข้อมูลแต่ละชุด ซึ่งจะควบคุมที่โปรแกรมบนเครื่อง PC

สำหรับช่วงระยะเวลาห่างอย่างน้อย ของการส่งข้อมูลแต่ละชุดนั้น คำนวณ โดยประมาณจาก การแสดงผล Display 1 ชุด ซึ่งใช้เวลา ประมาณ 2-3 วินาที



รูปที่ 5.20 ภาพแสดงหน้าจอ Interface

- 1) ส่วนการกรอกข้อมูล
- 2) Color Level Simulation
- 3) ASCII Encoding
- 4) ส่วนการรับส่งข้อมูลผ่าน serial port



รูปที่ 5.21 MCS-51 Program FLOW CHART

## 5.2.8 อุปกรณ์สำหรับ ระบบควบคุม และ ระบบไฟฟ้า

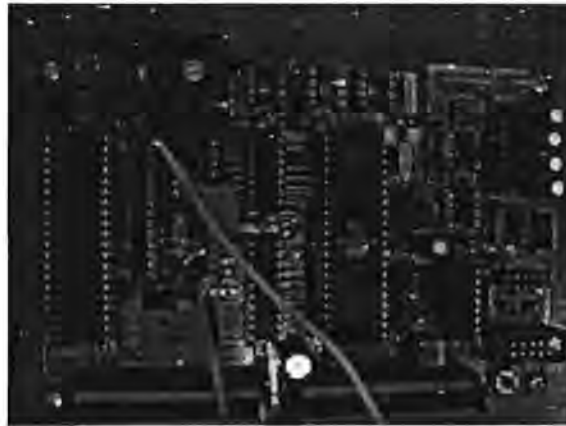
### 5.2.8.1 Micro Controller (AT89S53)

เหตุผลที่เลือกใช้ Micro Controller ในการประมวลผลเนื่องจาก สามารถต่อ port I/O ได้เป็นจำนวนมาก เพียงพอกับความต้องการ ให้ประสิทธิภาพดีในด้านการประมวลผล และ มีราคาไม่แพงอีกด้วย

AT89S53 เป็น micro controller ในตระกูล MCS-51 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีของบริษัท Intel มีความเร็วในการประมวลผล ได้ถึง 24 MHz ซึ่งมีความเร็วเพียงพอกับความต้องการ จุดเด่นอีกประการหนึ่งของ MCS-51 คือ สามารถโปรแกรมด้วยภาษา C ได้ และสามารถรองรับการต่อขยาย port ได้ด้วย IC 8255 ได้โดยตรงอีกด้วย

เพื่อความสะดวกในการต่อวงจรสำหรับ MCS-51 และ IC 8255 จึงเลือกใช้ circuit board สำเร็จรูป คือ CP-S8252 V.2 (ETT) โดยมีเหตุผล ดังนี้

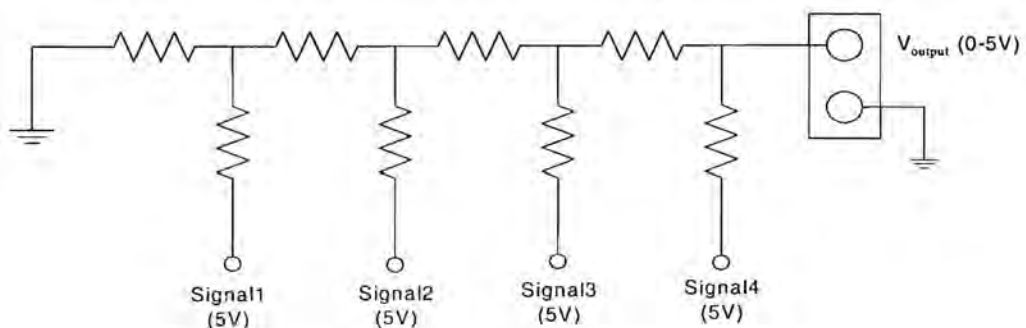
- 1) มีจำนวน port พอดีกับการใช้งาน คือ 6 port I/O (48 บิต)
- 2) มีความยืดหยุ่น สามารถรองรับ MCS-51 ได้ทั้งรุ่น AT89S53 และ AT89S8252
- 3) สามารถบันทึกโปรแกรมการทำงาน ลงบน Micro Controller ได้โดยตรง
- 4) ความเร็วในการประมวลผล 18.432 MHz



รูปที่ 5.22 Board CP-S89252 V.2

### 5.2.8.2 DAC (Digital to Analog Converter)

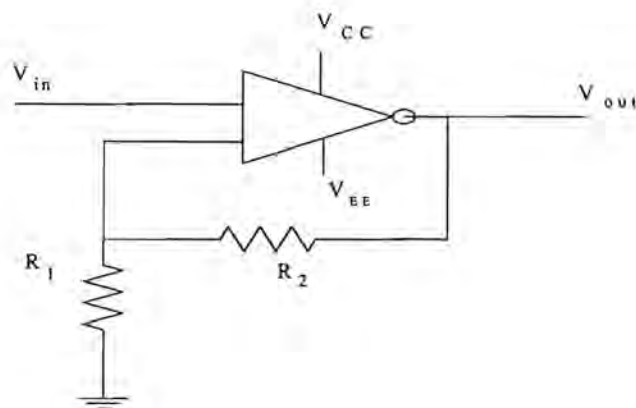
วงจร DAC ใช้การต่อชุดตัวต้านทานซึ่งสามารถกำหนดจำนวน บิต ได้ตามความต้องการ ในระบบนี้ใช้เพียง 4 บิต สำหรับแต่ละสัญญาณ analog เท่านั้น ซึ่งในท้องตลาดทั่วไปจะมีตั้งแต่ 8 บิต ขึ้นไป นอกจากนี้ ยังสามารถทำได้ง่าย และมีความถูกต้องแม่นยำ ในระดับกว่า 95% ใกล้เคียงกับแบบ IC ทั่วไป



รูปที่ 5.23 วงจร D/A

### 5.2.8.3 OP-AMP (L272)

หน้าที่ของ OP-AMP คือ ขยายแรงดันให้เพียงพอต่อการควบคุม (ประมาณ 0-24 Volt) จากสัญญาณ Analog 0 -5 Volt โดยเลือกใช้อัตราขยาย 5 เท่า โดยใช้วงจรขยายแบบไม่กลับขั้ว (Noninverting Amplifier) การควบคุมแรงดันให้แม่นยำนั้น สามารถปรับได้จากค่า VEE (จาก power supply) ซึ่งจะปรับให้สูงกว่า 24 Volt เล็กน้อย เหตุผลที่เลือกใช้ OP-AMP ในการจ่ายแรงดันสำหรับขั้นตอนการดันออก เพราะ มีความเป็นเชิงเส้น และความแม่นยำสูงในช่วงการใช้งานที่ต้องการ และ ราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับ อุปกรณ์ Amplifier แบบอื่นๆ สำหรับ L272 นั้นสามารถรองรับแรงดันได้สูงสุดถึง 40 Volt และกระแส 1 A

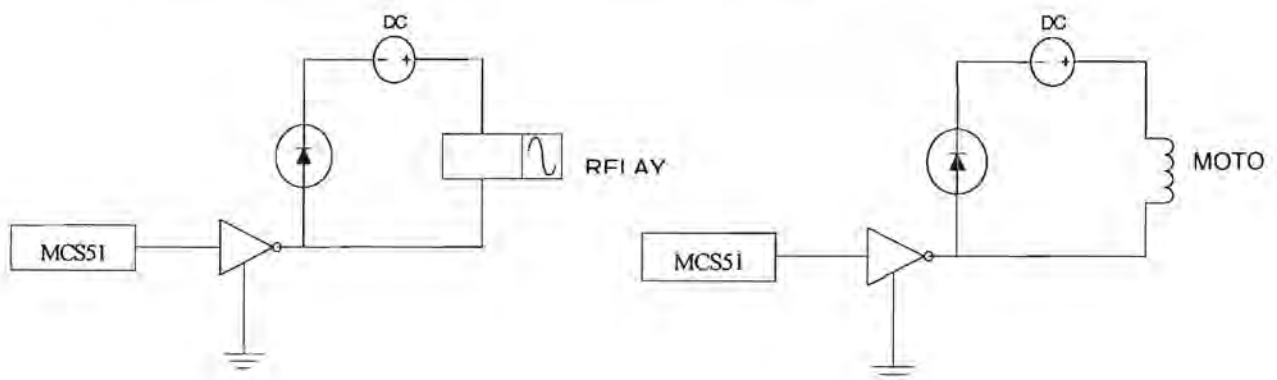


$$V_{out} = V_{in} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

รูปที่ 5.24 Noninverting Amplifier

### 5.2.8.4 ULN 2803

หน้าที่สำคัญของ ULN2803 คือ การควบคุมการเปิดปิด การจ่ายแรงดันไฟฟ้าสำหรับ Stepping Motor และ Signal รีเลย์ ซึ่งต้องการแรงดัน 15 Volt ซึ่งมากเกินไปที่จะใช้แรงดันจากสัญญาณจาก MCS-51 โดยตรง หลักการทำงานของ ULN2803 คือ การใช้สัญญาณจาก MCS-51 ควบคุมการไหลของกระแสผ่าน ชุดของ transistor โดยกระแสจะมาจากแรงดัน 15 Volt จาก power supply ภายนอกนั่นเอง



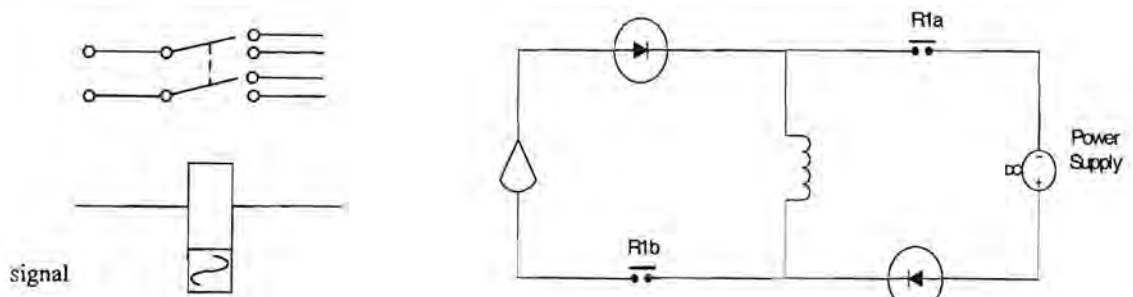
รูปที่ 5.25 ทำงานของ ULN2803 สำหรับ รีเลย์ และ มอเตอร์

### 5.2.8.5 Signal Relay (RY12W-K)

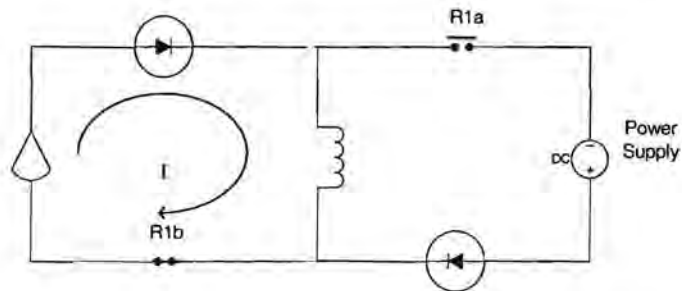
กลไกการทำงานของ รีเลย์ ในวงจรนี้ใช้เพื่อการตัดต่อกระแส ระหว่างการทำงาน 2 กรณี คือ

- 1) การดันออก ใช้กระแสประมาณ 0.4 – 1 A จาก OP-AMP
- 2) การดึงกลับ ใช้กระแสประมาณ 0.8 – 1.2 A จาก power supply ภายนอก

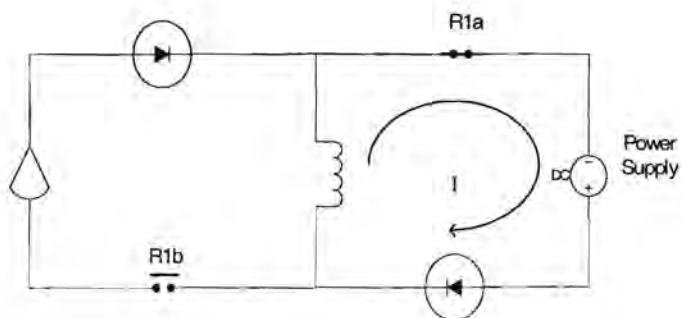
ซึ่งกระแสไฟฟ้าของทั้ง 2 กรณีจะไหลผ่าน ขดลวดโซลินอยด์ ในทิศทางตรงกันข้ามกัน เพื่อสร้างแรงจากสนามแม่เหล็กทิศทางตรงข้ามกัน ดังนั้นจึงได้ออกแบบวงจรซึ่งประกอบด้วย รีเลย์ และ Diode เพื่อควบคุมการไหล ดังนี้



รูปที่ 5.26 วงจรตัดต่อกระแสสองทิศทาง โดยใช้รีเลย์



รูปที่ 5.27 รูปแสดงการทำงานของ รีเลย์ ขณะจ่ายกระแสดันออก



รูปที่ 5.28 รูป แสดงการทำงานของ รีเลย์ ขณะจ่ายกระแสดึงกลับ



Signal Relay ที่เลือกใช้ คือ RY12W-K ซึ่งเป็น Ultra High Sensitivity มีความเร็วในการตอบสนองเร็วถึง 25 msec และสามารถรองรับกระแสได้ถึง 2 A

สำหรับ Diode ที่เลือกใช้ คือ FR301 ซึ่งเป็น Fast Recovery Rectifiers เพื่อประสิทธิภาพในการป้องกันความเสียหาย จากกระแสตกค้าง และไหลผิดทาง ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้น ได้จากการทำงานของ รีเลย์

#### 5.2.8.6 Power Supply

การจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบ ได้ออกแบบจัดสรรชนิดของแหล่งพลังงานตามความเหมาะสม โดย

- Adapter เลือกใช้กับส่วนที่ไม่ต้องการปรับตั้งความละเอียดเลข และ ต้องการกำลังไม่สูงมาก

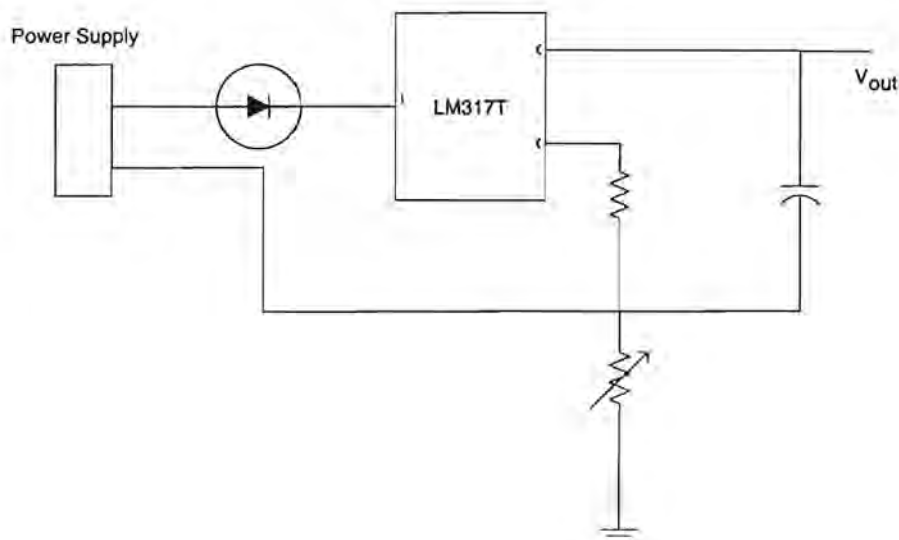
รายละเอียดการเลือกใช้ มีดังนี้

1. ไฟเลี้ยง Micro Controller ใช้ adapter 220V/9V ต่อโดยตรงจากไฟ 220 Volt AC
2. Power supply สำหรับ motor และ รีเลย์ ใช้ adapter 220V/9V ต่อโดยตรงจากไฟ 220 Volt AC โดยจะผ่าน ULN 2803 แปลงได้ 15 Volt ตามต้องการ โดยค้นด้วย regulator

#### Regulator (LM317T)

หน้าที่การทำงาน คือ รับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่มาจากแหล่งจ่ายไฟ ก่อนเข้าสู่สเตปเปอร์มอเตอร์ โดยค่าช่วงความดันขาออกเท่ากับ 1.2 - 37 โวลต์ และสามารถทนกระแสไฟขาออกได้มากที่สุดเท่ากับ 1.5 A

หลักการทำงานของ LM317T ใช้วิธีการแบ่งแรงดันให้เป็นแรงดันขาออก, แรงดันปรับค่าได้ ซึ่งแรงดันที่ปรับค่าได้จะถูกควบคุมด้วยการปรับจากความต้านทานปรับค่าได้ และที่ใช้ไดโอดที่บริเวณแหล่งจ่าย เนื่องจากว่าอาจจะเกิดกระแสไหลย้อนซึ่งเกิดจากขดลวดภายในสเตปมอเตอร์ แสดงได้ดังรูป



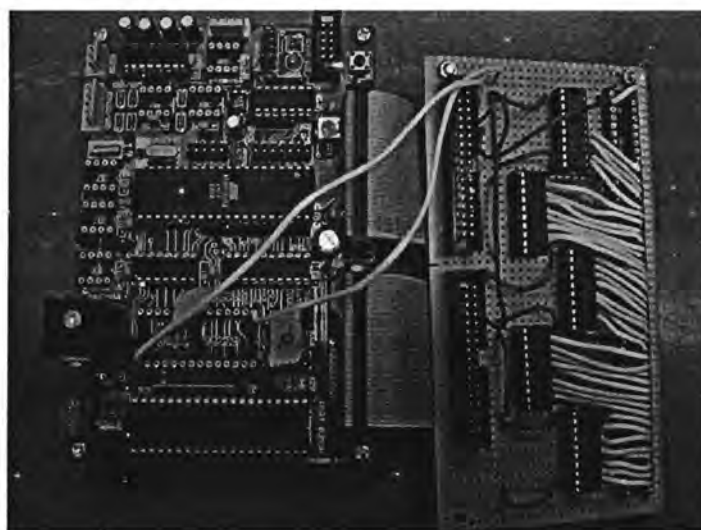
รูปที่ 5.29 วงจรปรับค่าแรงดัน

- เครื่อง Power supply เลือกใช้กับส่วนที่ต้องการปรับแต่งความละเอียดภายหลังได้ และกำลังสูง เนื่องจาก

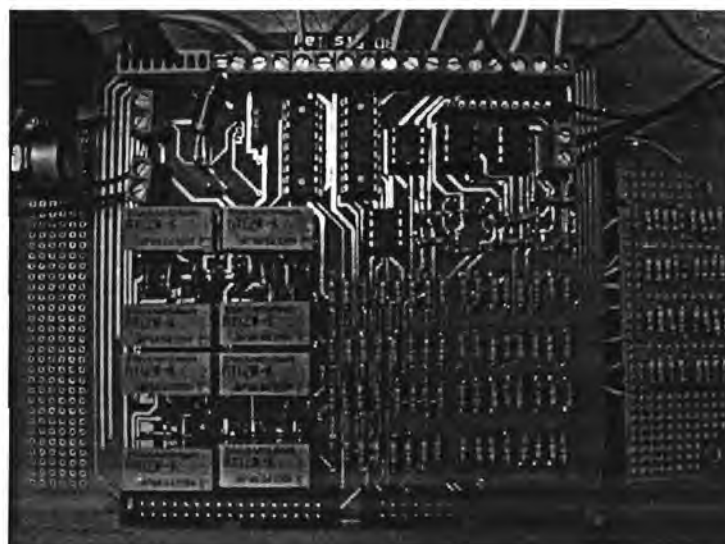
- 1) เครื่องสามารถจ่ายแรงดัน หรือ กระแสได้คงที่และ แม่นยำมาก
- 2) เครื่องสามารถปรับแต่งการจ่ายไฟได้อย่างอิสระ เพื่อการแก้ไขและปรับปรุงภายหลัง
- 3) เครื่องสามารถจ่ายแรงดัน หรือ กระแส สูงๆ ได้

รายละเอียดการเลือกใช้ มีดังนี้

1. OPAMP ใช้เนื่องจากต้องการปรับแต่งการจ่ายแรงดันให้เหมาะสมภายหลัง
2. ส่วนการดึงกลับของ พิน ใช้เนื่องจากต้องการกระแสสูงกว่าปรกติ



รูปที่ 5.30 ชุดแผงวงจรสำหรับ MCS-51 พร้อม Buffer



รูปที่ 5.31 ชุดแผงวงจรสำหรับควบคุม 3D-Display

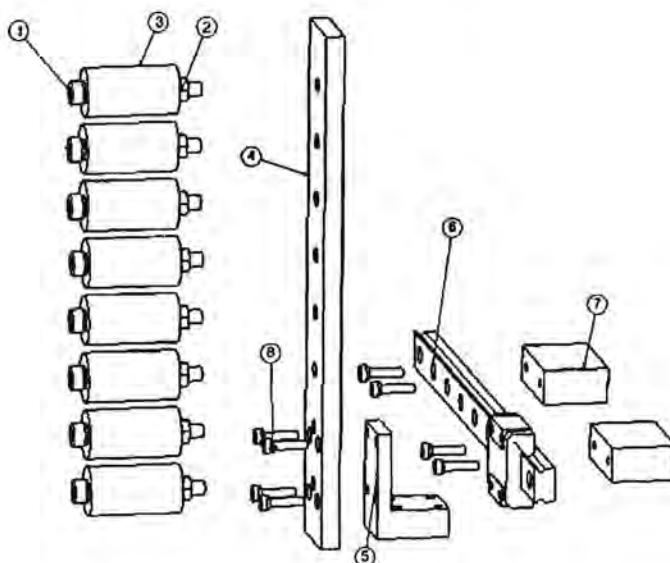
## บทที่ 6

## Hardware Assembly

จากส่วนของ Hardware Design ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในบทที่แล้ว ในบทนี้เราจะกล่าวถึงขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ โดยจะกล่าวแยกออกเป็น 2 ชุดนั่นคือชุดแผ่นมอเตอร์ (Motor Plate Set) ซึ่งจะกล่าวถึงชุดย่อยคือชุดแผ่นเลื่อนคอยด์ (Coil Plate Slide Set) และ ชุดเพลาขีดยุ่ย์ไทม์มิ่ง (Timing Pulley Shaft Set) ก่อนจะมาทำการประกอบบนแผ่นขีดยุ่ย์มอเตอร์ (Motor Plate) ส่วนอีกชุดคือ ชุดแผ่นวางพิน (Pin Plate Set) โดยที่มีชุดแท่งเคลื่อนที่ (Rod Set) เป็นชุดย่อยเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ

การประกอบนั้นจะมีพื้นฐานของการประกอบอยู่ที่แผ่นเพลท 2 แผ่นอันได้แก่ แผ่นขีดยุ่ย์มอเตอร์ และแผ่นวางพิน ซึ่งจะมีการประกอบชิ้นส่วนย่อยลงบนแผ่นเพลทก่อนจนครบ จากนั้นจึงนำทั้ง 2 ชุดมาขีดยุ่ย์ต่อกันด้วยเพลากำหนดระยะ (Holding Shaft) เพื่อเป็นการกำหนดระยะห่างตามที่ได้ออกแบบไว้ระหว่างแม่เหล็กและปลายขดลวดโซลินอยด์ (Solenoid Plate)

## 6.1 การประกอบชุดแผ่นเลื่อนขดลวดโซลินอยด์



No.	Name	Q'TY
1	Bolt M5x40	8
2	Nut M5x40	8
3	Copper Wire No.35	-
4	Solenoid Plate	1
5	Plate L	1
6	Linear Slide	1
7	Linear Slide Base	2
8	Bolt M3x12	8

รูปที่ 6.1 รูปแสดงการประกอบของชุดแผ่นเลื่อนคอยด์

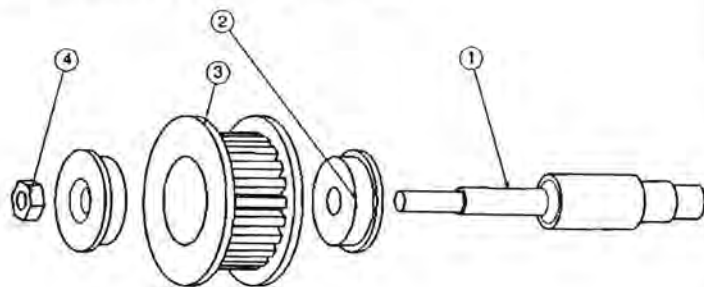
รูปที่ 6.1 เป็นรูปที่แสดงการประกอบชุดแผ่นเลื่อนคอยด์โดยมีชื่อและจำนวนของชิ้นส่วนย่อยตามที่ได้แสดงไว้ในตารางด้านข้างและมีขั้นตอนการประกอบดังนี้

1. นำ น็อตตัวผู้ขนาด M5 x 40 และ น็อตตัวเมีย ขนาด M5 ซึ่งได้ประกอบกันพร้อมทั้งหันลวดทองแดงแบบขนานไว้จำนวน 2500 รอบสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก มาประกอบเข้ากับ แผ่นเลื่อนคอยด์โดยการขันเข้ากับรูที่ทำเกลียวในไว้ของ แผ่นเลื่อนคอยด์ ดังรูปที่ 5.1 จนครบทั้ง 8 ชุด

2. นำ ชุดแผ่นเลื่อนคอยด์ที่ได้ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วจากข้อ 1. มาประกอบเข้ากับแผ่นรูปตัวแอล ซึ่งจะใช้เป็นตัวยึดสายพาน และลิเนียร์สไลด์โดยใช้ น็อตตัวผู้ ขนาด M3 x12 จำนวน 4 ตัวเป็นตัวยึดทั้ง 3 ชิ้นเข้าด้วยกันดังรูปที่ 5.1

3. จากนั้นขีดยุ่ย์รางของ ลิเนียร์สไลด์ เข้ากับ ฐานขีดยุ่ย์ลิเนียร์สไลด์ ทั้ง 2 อันเพื่อเป็นการกำหนดระยะห่างของสายพานจากผิวของแผ่นขีดยุ่ย์มอเตอร์ด้วย น็อตตัวผู้ ขนาด M3 x 12 จำนวน 4 ตัว

6.2 การประกอบชุดเพลาชั้คพูเลย์ไทม์มิ่ง



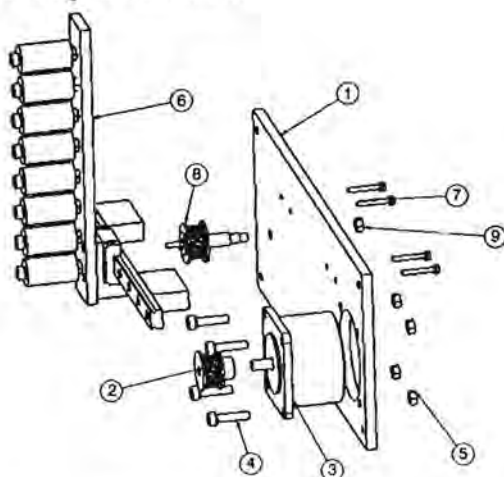
No.	Name	Q'TY
1	Timing Pulley Shaft	1
2	Bearing	2
3	Timing Pulley	1
4	Nut M3	1

รูปที่ 6.2 รูปแสดงการประกอบของชุดเพลาชั้คพูเลย์ไทม์มิ่ง

รูปที่ 6.2 เป็นรูปที่แสดงการประกอบชุด เพลาชั้คพูเลย์ไทม์มิ่ง มีชื่อและจำนวนของชิ้นส่วนย่อยตามที่ได้แสดงไว้ในตารางด้านล่างและมีขั้นตอนการประกอบดังนี้

- นำ เพลาชั้คพูเลย์ไทม์มิ่ง ที่ได้เตรียมไว้ มาทำการประกอบโดยใส่แบริ่ง ซึ่งจะพบว่าจะสามารถสวมได้พอดีโดยขอบด้านในของแบริ่ง จะชนกับบ่าของ เพลาชั้คพูเลย์ไทม์มิ่ง ที่ได้ทำบ่ารับผิวโค้งไว้ เนื่องจากเราต้องการระยะการประกอบที่แน่นอน
- นำ แบริ่ง ที่ได้ทำการเจาะแกนให้พอดีกับเส้นผ่าศูนย์กลางนอกของ แบริ่ง มาทำการสวมอัดเข้าด้วยกัน โดยการประกอบขั้นตอนนี้จะต้องให้ Center Line ของชิ้นส่วนทุกชิ้นที่ประกอบตรงกันพร้อมทั้งผิวที่ประกอบกันต้องพอดีเพื่อป้องกันการสลิป
- จากนั้น ประกอบแบริ่งอีกตัวเข้ากับ เพลาชั้คพูเลย์ไทม์มิ่ง จนเสร็จโดยที่ต้องให้ Center Line อยู่ในแนวเดียวกันส่วนที่ประกอบไว้ข้างต้นแล้วเช่นกัน
- จากนั้นขัน น็อตตัวเมีย ขนาด M 3 เพื่อกันการหลุดจาก เพลาชั้คพูเลย์ไทม์มิ่งของพูเลย์ไทม์มิ่ง และแบริ่ง ดังรูปที่ 6.2

6.3 การประกอบชุดแผ่นยึดมอเตอร์



รูปที่ 6.3 รูปแสดงการประกอบของชุดแผ่นยึดมอเตอร์

No.	Name	Q'TY
1	Motor Plate	1
2	Timing Pulley	1
3	Motor	1
4	Bolt M5 x 20	4
5	Nut M5	4
6	Coil Plate Slide Set	1
7	Bolt M3 x 20	4
8	Timing Pulley Shaft Set	1
9	Nut M 5	1

รูปที่ 6.3 เป็นรูปที่แสดงการประกอบชุดแผ่นยึดมอเตอร์โดยมีชื่อและจำนวนของชิ้นส่วนย่อยตามที่ได้แสดงไว้ในตารางด้านล่างและมีขั้นตอนการประกอบดังนี้

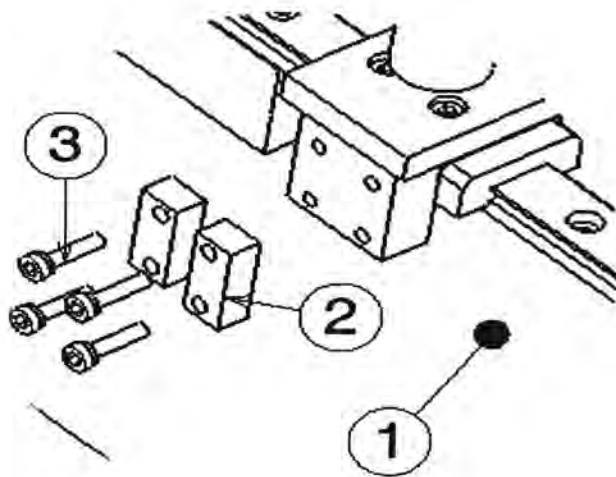
1. นำมอเตอร์ใส่ในช่องรูปร่างกลมของแผ่นยึดมอเตอร์โดยนำค้ำที่เป็นทรงกระบอกของมอเตอร์ลงในช่องก่อนจะพบว่าบริเวณที่เป็นบ่าของมอเตอร์จะชนขอบด้านบนของแผ่นยึดมอเตอร์พอดีจึงให้รูยึดของมอเตอร์ตรงกับรูยึดของแผ่นยึดมอเตอร์พร้อมทั้งทำการยึดด้วย น็อตตัวผู้ ขนาด M 5 x20 และ น็อตตัวเมีย ขนาด M 5 จนครบทั้ง 4 ตำแหน่ง

2. นำพูลเลย์โทมมิ่งสวมติดกับแกนของมอเตอร์ในตำแหน่งที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งจะต้องได้ระดับเดียวกับ พูลเลย์โทมมิ่งซึ่งยึดติดกับเพลาชดพูลเลย์โทมมิ่งจะนำมาประกอบกับ แผ่นยึดมอเตอร์ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.3

3. หลังจากทีประกอบในส่วนของมอเตอร์จนเสร็จ เราจะนำ ชุดแผ่นเลื่อนคอคด์ มาประกอบเข้ากับแผ่นยึดมอเตอร์โดยให้นำค้ำที่เป็น ฐานยึดลิเนียร์สไลด์ มาประกอบเข้ากับรูที่เจาะไว้บนแผ่นยึดมอเตอร์ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งจะใช้น็อตตัวผู้ ขนาด M 3 x20 ยึดทางด้านหลัง ของ แผ่นยึดมอเตอร์จำนวน 4 ตัว

4. ในส่วนของ ชุดเพลาชดพูลเลย์โทมมิ่ง เราจะนำ เพลาชดพูลเลย์โทมมิ่ง ค้ำ ที่เป็น เกลียวนอกขนาด M 5 ใส่ ในรูที่เจาะไว้บนแผ่น Motor Plate ในตำแหน่งที่แสดงไว้ดังรูป 6.3 โดยจะมีส่วนที่เป็นเกลียวยื่นออกมาด้านหลังของแผ่นยึดมอเตอร์ซึ่งจะใช้น็อตตัวเมีย ขนาด M 5 เป็นชิ้นส่วนในการประกอบ

เมื่อติดตั้งทุกส่วนประกอบบนแผ่นยึดมอเตอร์เรียบร้อยแล้วก็นำสายพานมาติดตั้งกับพูลเลย์โทมมิ่งโดยที่จะยึดสายพานให้อยู่ระหว่าง แผ่นรูปตัวแอลและแผ่นยึดสายพานโดยจะทำให้สายพานตึงด้วยการดึงสายพานพร้อมทั้งขัน น็อตตัวผู้ ขนาด M3 x12 ยึดจนแน่นดังรูปที่ 6.4

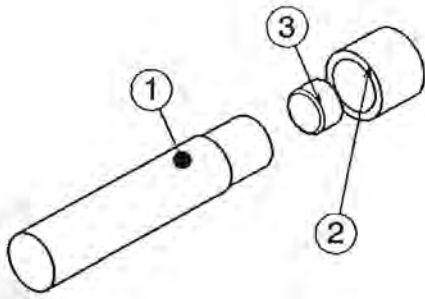


No.	Name	Q'TY
1	Motor Plate Set	1
2	Plate of Pulley	2
3	Bolt M3 x 12	4

รูปที่ 6.4 รูปแสดงการประกอบของสายพาน

หลังจากที่เราได้ทำการประกอบชุดแผ่นยึดมอเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นการประกอบในส่วนของชุดแผ่นวางพิน โดยจะขอกล่าวถึงการประกอบชุดแท่งเคลื่อนที่ซึ่งเป็นชุดย่อยก่อนที่จะนำมาประกอบบน แผ่นวางพิน จนเป็นชุดแผ่นวางพิน

#### 6.4 การประกอบ ชุดแท่งเคลื่อนที่



No.	Name	Q'TY
1	Moving Rod	64
2	Magnetic Shield	64
3	Magnet	64

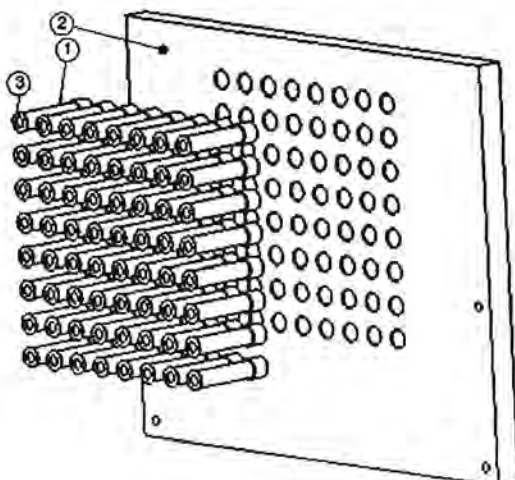
#### รูปที่ 6.5 รูปแสดงการประกอบของชุดแท่งเคลื่อนที่

รูปที่ 6.5 เป็นรูปที่แสดงการประกอบแท่งเคลื่อนที่โดยมีชื่อและจำนวนของชิ้นส่วนย่อยตามที่ได้แสดงไว้ในตารางด้านข้างและมีขั้นตอนการประกอบดังนี้

1. นำแม่เหล็กใส่ลงในช่องทรงกระบอกด้านท้ายของแท่งเคลื่อนที่จะพบว่าสามารถใส่ได้จนพิศพอดี โดยจากการประกอบดังกล่าว เมื่อประกอบแล้วผิวของแม่เหล็กจะพอดีกับปลายแท่งเคลื่อนที่พอดี
2. นำตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรสวมประกอบกับแท่งเคลื่อนที่ทางด้านซึ่งประกอบกับแม่เหล็กแล้วโดยขอบของตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรจะพอดีกับขอบของแท่งเคลื่อนที่เช่นเดียวกับ ดังรูปที่ 6.5
3. ทำการประกอบชุดแท่งเคลื่อนที่, แม่เหล็ก และ ตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรตามที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดจำนวน 64 ชุด

Note: ต้องคำนึงถึงด้านของ แม่เหล็ก ด้วยโดย ในการใส่ แม่เหล็ก ในแท่งเคลื่อนที่ชิ้นต่อไปต้องตรวจสอบด้านของแม่เหล็กจากการนำไปใกล้ๆ แม่เหล็ก อันที่ใส่ลงในแท่ง เคลื่อนที่ แล้วหากเกิดการดูดหรือผลักรันให้นำแม่เหล็กใส่ในแท่งเคลื่อนที่ โดยให้ด้านที่ดูดหรือผลักรันนั้นหันออกมาจากแท่ง เคลื่อนที่

#### การประกอบชุดแผ่นวางหิน



1	Rod Set	1
2	Rod Plate	64
3	Bush	64

รูปที่ 6.6 รูปแสดงการประกอบของชุดแผ่นวางหิน

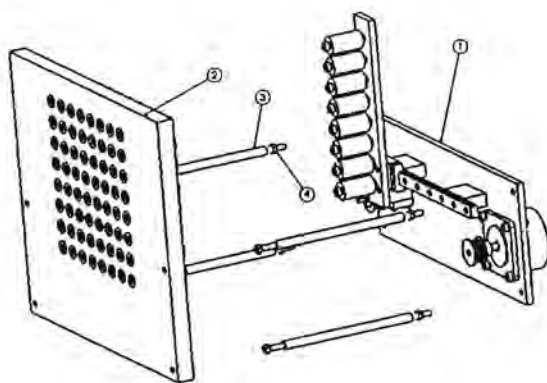


รูปที่ 6.6 เป็นรูปที่แสดงการประกอบชุดแผ่นวาง핀 โดยมีชื่อและจำนวนของชิ้นส่วนย่อยตามที่ได้อธิบายไว้ในตารางด้านข้างและมีขั้นตอนการประกอบดังนี้

1. นำชุด เคลื่อนที่ ที่ผ่านการประกอบจำนวน 64 ชุดมาใส่ลงในแผ่นวาง핀ที่ได้มีการเจาะรูสำหรับใส่แท่ง เคลื่อนที่ จำนวน 64 รู โดยขนาดความเผื่อที่ใช้จะต้องเป็นค่าที่สามารถทำให้แท่ง เคลื่อนที่ เคลื่อนที่เข้า - ออกได้อย่างสะดวก

2. จากนั้นนำแหวนรองติดกาวเข้ากับอีกด้านของแท่งเคลื่อนที่ดังรูปที่ 6.6

จากการประกอบที่ได้กล่าวมาแล้ว เราจะได้ชุดแผ่นฮึดมอเตอร์และชุดวาง핀ซึ่งทั้ง 2 ชุดนี้จะได้นำมาประกอบดังรูปที่ 6.7



No	Name	Q'TY
-		
1	Motor Plate Set	1
2	Pin Plate Set	1
3	Holding Shaft	4
4	Nut M5	4

รูปที่ 6.7 รูปแสดงการประกอบของชุดแผ่นฮึดมอเตอร์และชุดวาง핀

รูปที่ 6.7 เป็นรูปที่แสดงการประกอบชุดแผ่นฮึดมอเตอร์และชุดวาง핀 โดยมีชื่อและจำนวนของชิ้นส่วนย่อยตามที่ได้อธิบายไว้ในตารางด้านข้างและมีขั้นตอนการประกอบดังนี้

- นำเพลากำหนดระยะรวมเข้าในรูซึ่งเจาะไว้บนแผ่นเพลททั้ง 2 ชุด ให้ตรงกันทั้ง 4 ตำแหน่งจะพบว่าสามารถสวมเข้าจนชนขอบข้างซึ่งได้ทำการแมชชีนไว้บนเพลากำหนดระยะพอดี
- จากนั้นใช้น็อตตัวเมียขันยึดปิดด้านที่เป็นเกลียวนอกขนาด M 5 ขึ้นออกมาด้านหลังแผ่นเพลททั้ง 2 ชุด

Note: จากการประกอบเราต้องการรักษาระยะจากชุดคลวดโซลินอยด์ถึงแม่เหล็กเป็นระยะ 5 มิลลิเมตร โดยเมื่อประกอบแล้วระยะที่ได้น้อยกว่า 5 มิลลิเมตรสามารถใช้แหวนรองสวมเข้าไประหว่างข้างของเพลากำหนดระยะและแผ่นเพลทใดเพลทหนึ่งเพื่อให้ได้ระยะห่างของชุดคลวดโซลินอยด์ถึงแม่เหล็กตามที่ออกแบบไว้



## บทที่ 7

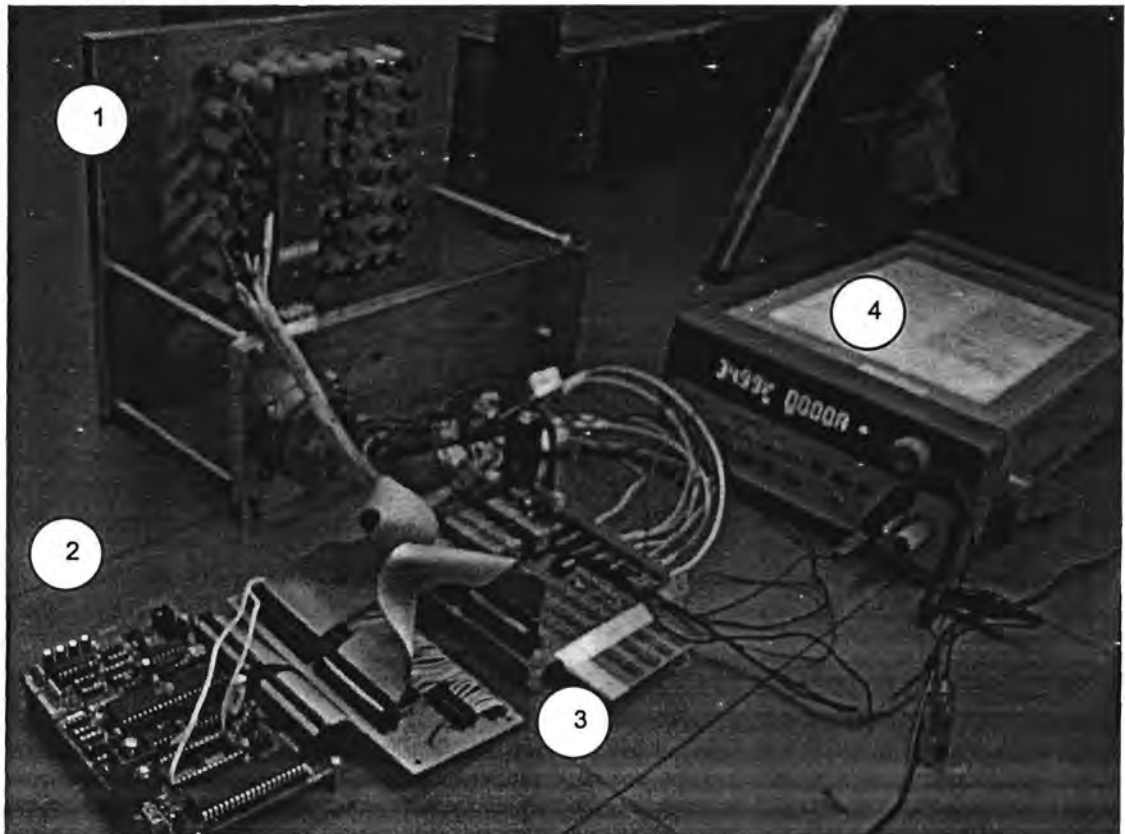
## การทดลอง ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

จากการสร้างชุด 3D-display ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1.ทางกลไก 2.ทาง โปรแกรมควบคุม เราจึงนำชุด 3D-display นี้มาทำการทดลอง โดยมีจุดประสงค์ที่จะให้ชุดทดลองนี้แสดงผลได้เป็นรูปภาพสามมิติตามที่ได้โปรแกรมรูปภาพไว้ในหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่ง pin ที่แสดงผลในแต่ละตำแหน่งจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ประมาณด้วยสมการ (7.6) โดยมีสมมติฐานว่าไม่มีความหน่วง( $c=0$ ) ดังสมการ (7.7)

$$\ddot{x} = \frac{\mu_r \phi_{M1} I A N}{8\pi \cdot l (M_1 + M_2)} \frac{1}{x^2} - \mu g \quad (7.7)$$

ต่อจากนั้นทำการจับเวลา เพื่อหาค่าความเร็วในการแสดงผลของชุดทดลอง  
อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดกลไก 3D-display
2. บอร์ดควบคุม CP-S8252 V2.0
3. บอร์ดวงจรไฟไฟฟ้า และ ไอซี 3D-display
4. แหล่งจ่ายไฟ 0-35 V
5. หน้าจอแสดงผลโปรแกรม Visual Basic 6



รูปที่ 7.1 ภาพรวมอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 7.2 บอร์ดวงจรไฟฟ้า และ ไอซี 3D-display

### 7.1 การคิดคำนวณการแสดงผลของพินในชุดกลไก 3D-display

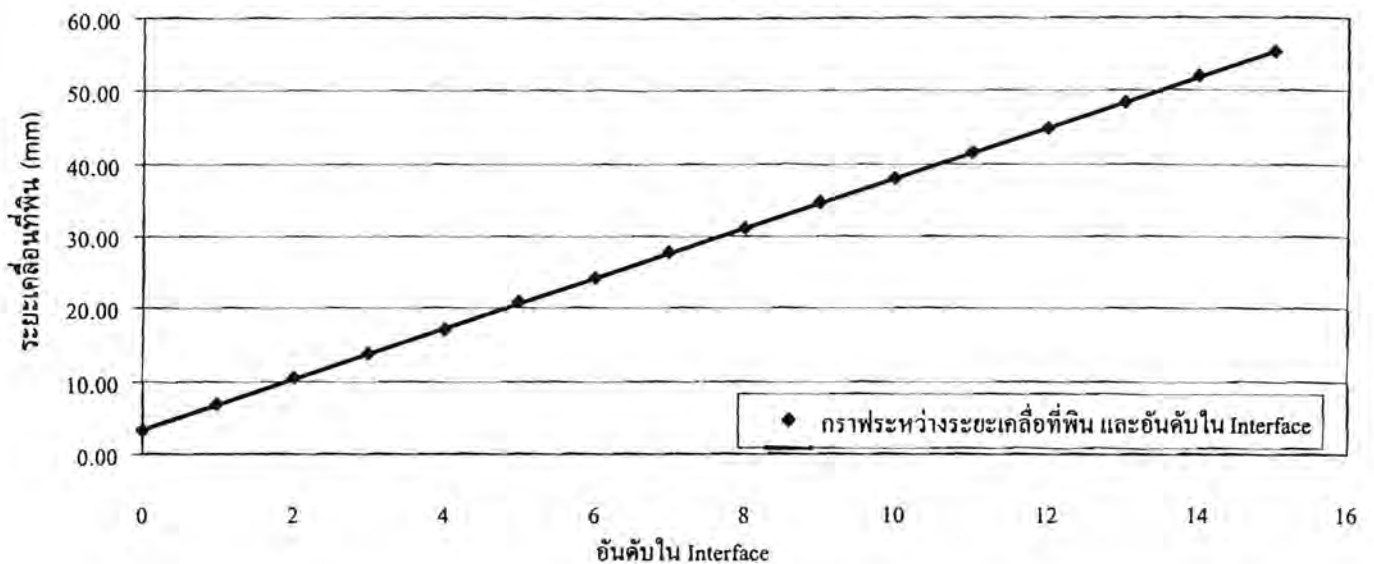
ในการทดสอบชุดทดลองก่อนหน้านี พบว่าระยะที่แสดงผลนั้นจะขึ้นอยู่กับกระแสที่ใช้ให้กับ โซลินอยด์ จากนั้นหาค่ากระแสที่สามารถใช้ควบคุมชุดกลไก 3D-display และความสามารถของบอร์ดที่ใช้ พบว่าค่ากระแสถูกระบุเป็นลำดับตั้งแต่ 0 – 15 และในแต่ละขั้นจะใช้แรงดัน เท่ากับ 1.5 โวลต์ ซึ่งเราสามารถหาค่ากระแสได้จากแรงดันที่เราป้อนเข้า ตามกฎของโอห์ม ต่อมาได้นำเสนอการ (7.7) หากความสัมพันธ์ระหว่างระยะแสดงผล กับ กระแส ซึ่งโดยใช้ Matlab หาค่าทดลอง ได้แก่ ระยะแสดงผล และเวลาแสดงผลของพิน 1 อัน ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ตารางแสดงระยะการเคลื่อนที่ และเวลาแสดงผลของ 1 พิน ในแต่ละอันดับใน Interface

อันดับใน Interface	กระแสไฟ (A)	ระยะที่เคลื่อนที่ (mm)	เวลาแสดงผล $t_{res}$ (s)
0	0.0375	3.40	0.062
1	0.0750	6.90	0.075
2	0.1125	10.40	0.088
3	0.1500	13.80	0.100
4	0.1875	17.00	0.109
5	0.2250	20.80	0.118
6	0.2625	24.20	0.124
7	0.3000	27.70	0.129
8	0.3375	31.20	0.135
9	0.3750	34.60	0.142
10	0.4125	38.00	0.147
11	0.4500	41.50	0.153
12	0.4875	45.00	0.157
13	0.5250	48.50	0.164
14	0.5625	51.90	0.168
15	0.6000	55.40	0.173

จากตารางที่ 7.1 สามารถนำมาเขียนกราฟระหว่างระยะเคลื่อนที่ของพิน และอันดับใน Interface ดังนี้

กราฟที่ 7.1 กราฟระหว่างระยะเคลื่อนที่พิน และอันดับใน Interface



## 7.2 การคิดคำนวณเวลาในการแสดงผลของ 3D-display

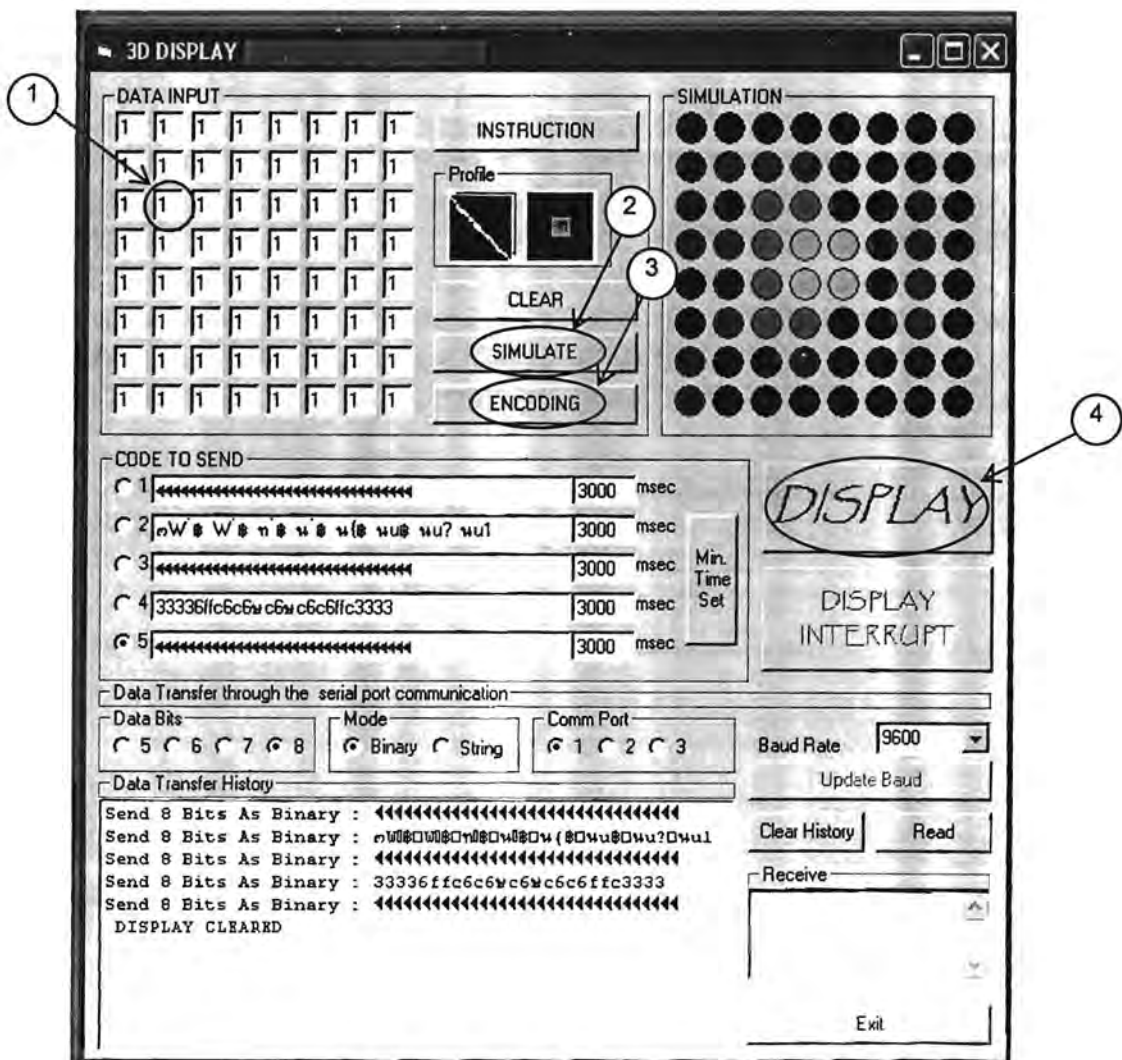
จากชุดกลไก 3D-display มีการใช้สเตปมอเตอร์เป็นต้นกำลังสำหรับส่งผ่านการเคลื่อนที่ของชุดลดวอดโซลินอยด์ เพื่อให้โซลินอยด์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของพินที่จัดไว้ทั้งหมด 8 แถว แถวละ 8 อัน โดยความเร็วที่ใช้เคลื่อนที่เท่ากับ 10 ภาพต่อวินาที (fps) พบว่าเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ระหว่างพิน เท่ากับ 0.15 วินาที ดังนั้นเวลาในเคลื่อนที่ทั้งหมดของมอเตอร์ เท่ากับ 1.05 วินาที ดังนั้นเวลาที่ใช้แสดงผลของ 3D-display จะแสดงในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ตารางเวลาการแสดงผล 3D-display ในแต่ละอันดับใน Interface

อันดับใน Interface	เวลาแสดงผลทั้งหมดของ pin(s)	เวลาทั้งหมดของมอเตอร์(s)	เวลารวม(s)
0	0.496	1.05	1.55
1	0.600	1.05	1.65
2	0.700	1.05	1.75
3	0.800	1.05	1.85
4	0.868	1.05	1.92
5	0.940	1.05	1.99
6	0.990	1.05	2.04
7	1.032	1.05	2.08
8	1.080	1.05	2.13
9	1.136	1.05	2.19
10	1.176	1.05	2.23
11	1.224	1.05	2.27
12	1.256	1.05	2.31
13	1.312	1.05	2.36
14	1.344	1.05	2.39
15	1.384	1.05	2.43

### 7.3 ขั้นตอนการทดลอง อภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ทดลองให้เรียบร้อย จากนั้นทำการใส่รูปภาพที่ต้องการให้แสดงผลที่ 3D-display โดยใส่ที่ DATA INPUT ซึ่งค่าอันดับที่สามารถใส่ได้มีค่าตั้งแต่ 0 -15
2. ทดลองจำลองระบบแสดงผลของภาพที่ต้องการที่ SIMULATION บนโปรแกรม เพื่อให้ได้ภาพที่จะแสดงผลตามต้องการ โดยกดที่ปุ่ม SIMULATE
3. แปลงข้อมูลภาพ SIMULATION จากโปรแกรมไปเป็นโค้ด ASCII ที่ต้องการส่งโดยกดที่ปุ่ม ENCODING
4. ทำการส่งโค้ดไปยังพอร์ต และบอร์ดควบคุมเพื่อส่งออกชุด 3D-display โดยกดที่ปุ่ม DISPLAY ดังรูปที่
5. จับเวลา และวัดระยะที่แสดงผลของชุด 3D-display



รูปที่ 7.3 หน้าจอแสดงผลโปรแกรม Visual Basic 6

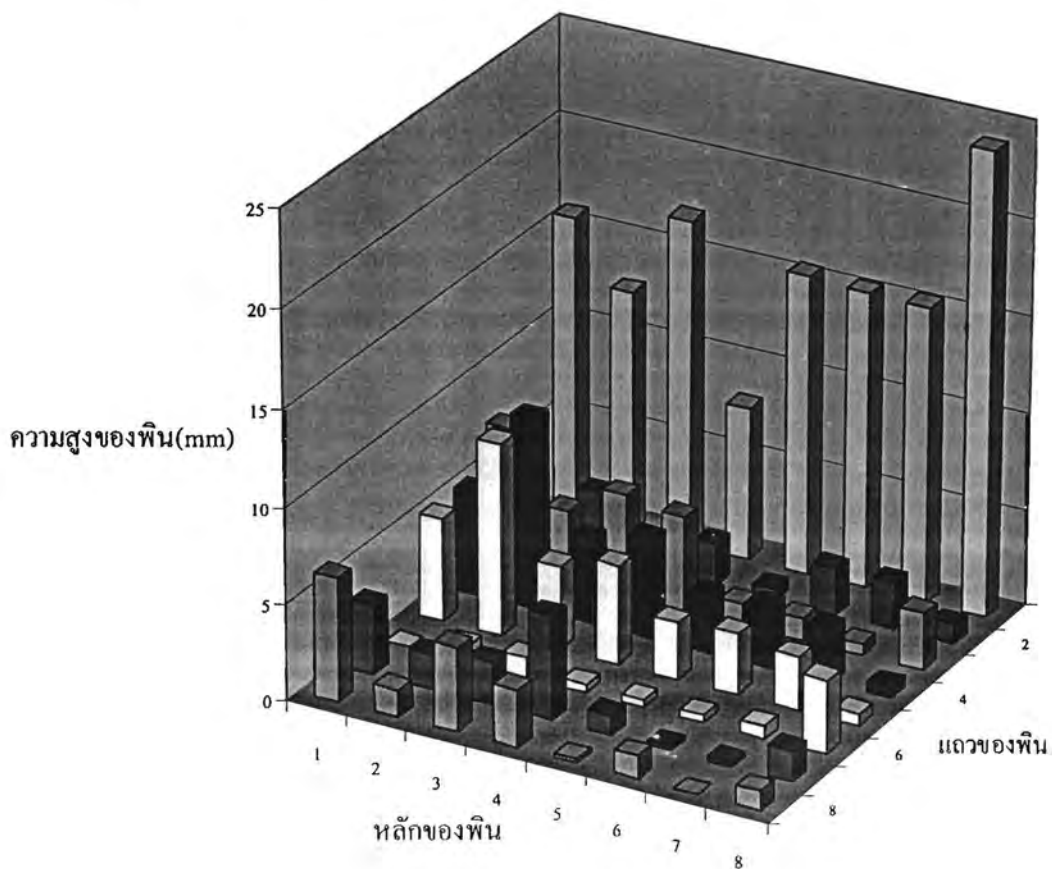
## ผลการทดลอง



รูปที่ 7.4 รูปขณะแสดงผลของ 3D-Display ที่ 0 - 16 ระดับ

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่า การควบคุม 16 ระดับนั้นยังไม่สามารถทำให้เห็นชัดเจนได้ ดังนั้น จึงทดลองการควบคุมแบบ เปิด-ปิด (on-off) โดยจะจ่ายแรงดันแค่สองค่าเท่านั้น คือ 0 และ 24 โวลต์

เมื่อทำการทดลองชุดใหม่โดยจ่ายแรงดัน 24 โวลต์ ให้กับพินทั้งหมดพร้อมกัน จะได้ว่ามีระยะการแสดงผลเฉลี่ยที่แตกต่างกันตามแต่ละพินซึ่งสามารถบอกระยะเฉลี่ยในแต่ละพินได้โดยบอกเป็น แกว x หลัก กราฟที่ 7.1 กราฟแสดงระยะแสดงผลเฉลี่ยของแต่ละพิน



### อภิปรายผลการทดลอง

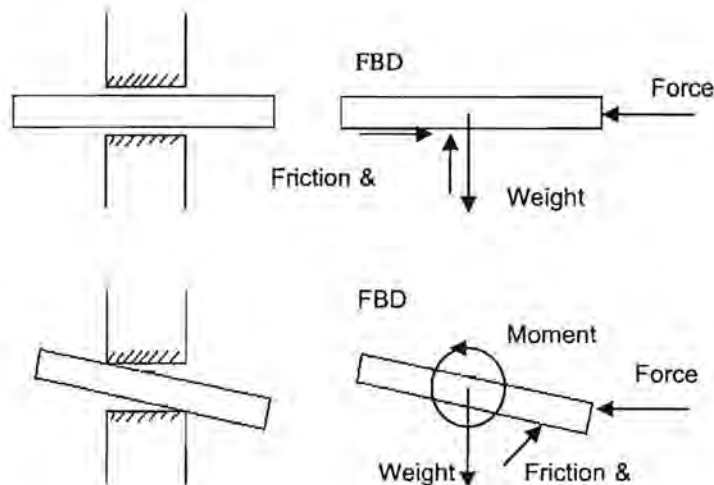
จากผลการทดลองเห็นว่ระยะการเคลื่อนที่แต่ละพิน เมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟที่เท่ากันแล้ว ผลที่ได้คือระยะของพินที่แสดงผลได้ผลไม่มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นมาจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่

#### 1. แนวศูนย์กลางระหว่างพิน และโซลินอยด์

แนวศูนย์กลางที่ไม่ตรงกันนั้น จะทำให้แรงกระทำไม่สามารถกระทำต่อพินได้เต็มที่ ทำให้ประสิทธิภาพน้อยลง สาเหตุที่เกิดการเอียงกันได้แก่ การควบคุมสเตปมอเตอร์ไม่สามารถทำได้แม่นยำเพียงพอ เพราะเราคิดว่าการเลือกโซสเตปมอเตอร์สามารถควบคุมตำแหน่งได้โดยการป้อนพัลส์ที่ต้องการให้แก่มอเตอร์ แต่การควบคุมนั้นเป็นการควบคุมแบบวงเปิด (Open loop control) จึงไม่ทราบตำแหน่งที่แท้จริง และในชุด 3D-Display นั้นต้องการความแม่นยำของแนวศูนย์กลางที่มากกว่านี้ รวมทั้งการกำหนดตำแหน่งในครั้งแรกของสเตปมอเตอร์

#### 2. ความเสียดทาน สามารถแบ่งวิเคราะห์ได้ 2 ประการ คือ

- ความเสียดทานระหว่างแผ่นยึดพิน และ พิน มีผลเล็กน้อย
- ความเสียดทานเนื่องจากการกระดก หรือ เอียงของพินภายในช่อง ทำให้มีโมเมนต์ต้านเกิดขึ้น การกระดกนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจาก การเอียงของแนวศูนย์กลางระหว่าง พิน กับ โซลินอยด์ เพราะแม่เหล็กถาวร(ขณะที่ยังไม่มีการจ่ายไฟนั้น) จะมีแรงดูดกับปลายพิน ให้เข้าใกล้กันอยู่เสมอ ดังนั้น เมื่อ มีการเอียงศูนย์กลาง ก็จะทำให้ปลายพินขยับตามทำให้เอียง เกิดความเสียดทานขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้พินเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย หรือ อาจไม่เคลื่อนที่เลย



รูปที่ 7.5 รูปแสดงแรงเสียดทานที่เกิดกับพิน

#### 3. ระยะห่างเริ่มต้นระหว่างพิน กับขดลวด

ระยะดังกล่าวของขดลวดแต่ละอันจะไม่เท่ากัน จากการทดลองจะสามารถสังเกตได้ว่า ระยะยิ่งใกล้ จะมีแนวโน้มที่จะสามารถส่งแรงได้มากกว่า

### สรุปผลการทดลอง

พบว่า การควบคุมระยะการเคลื่อนที่พินให้แม่นยำนั้น ในชุดต้นแบบไม่สามารถทำได้ เนื่องจากปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระยะการเคลื่อนที่ อันได้แก่

- ความเสียดทาน
- ระยะเริ่มต้น



สำหรับการควบคุมตำแหน่งแนวศูนย์กลางของพิน และโซลินอยด์นั้นต้องการความแม่นยำทางตำแหน่งที่มาก และเนื่องจากระบบขับเคลื่อนเป็นสเตปมอเตอร์ และเป็นแบบระบบเปิด(Open loop control) ซึ่งในระบบนี้มีเงื่อนไข เช่น การกำหนดตำแหน่งแรก จำนวนพัลส์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละชุดตำแหน่งพิน เป็นต้น ทำให้ระบบขับเคลื่อนนั้นมีประสิทธิภาพลดลงมากทำให้ไม่สามารถกำหนดความต้องการทางตำแหน่งได้ ดังนั้นจึงควรออกแบบให้เป็นระบบปิด (feedback Control) หรือสามารถที่จะออกแบบให้แต่ละพินนั้นมีโซลินอยด์แต่ละอันเพื่อความแม่นยำของแนวศูนย์กลาง

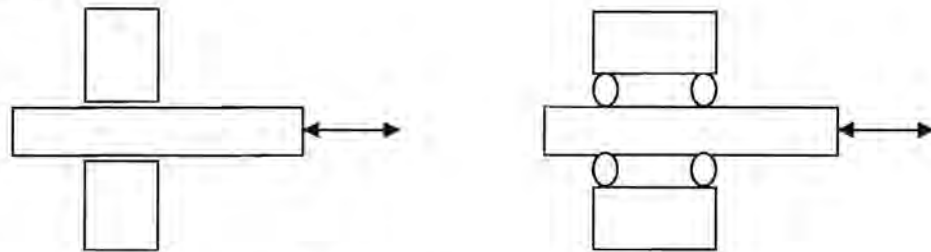
### แนวทางการแก้ไขและพัฒนา 3D-Display ในอนาคต

#### 1. การลดเซยการจ่ายแรงดันของพินแต่ละพิน

เนื่องจากแต่ละพินมีระยะการเคลื่อนที่เฉลี่ยไม่เท่ากัน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.8 เซนติเมตร สำหรับแรงดัน 24 โวลต์ เพราะฉะนั้น สำหรับพินที่เคลื่อนที่ได้มาก หรือ น้อย กว่า 0.8 เซนติเมตร ถ้ามีการผูกค่าแฟกเตอร์สำหรับค่าแรงดันที่เหมาะสมของแต่ละพิน ก็สามารถปรับให้เป็นมาตรฐานได้ทั้งหมด

#### 2. การลดแรงเสียดทาน

เนื่องจากปัจจุบันช่องใส่พินเป็นแบบ sliding contact ซึ่งมี ระยะ clearance เล็กน้อยเพื่อลดแรงเสียดทาน และ ระบายน้ำตัดสั้น จึงทำให้มีโอกาสกระดก และติดขัดได้สูง เพราะฉะนั้นถ้าออกแบบใหม่โดยใช้ rolling contact ซึ่งมีระยะ clearance fit พอดี และเพิ่มระยะหน้าตัดขึ้นเพื่อลดโอกาสกระดก



รูปที่ 7.6 รูปแสดงการสัมผัสแบบ sliding contact และ rolling contact

#### 3. การใช้การควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับมอเตอร์ และ การเคลื่อนที่ของพิน

เพิ่ม contact switch สำหรับมอเตอร์ ที่แต่ละตำแหน่งของแถว เพื่อ เพิ่มความแม่นยำของแนวศูนย์กลางของโซลินอยด์ กับพิน และเพิ่มเซนเซอร์ระยะทางตรวจวัดการเคลื่อนที่ของแต่ละพิน การเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ทางไฟฟ้า

จะเห็นได้ว่าระยะการเคลื่อนที่ของพินนั้นขึ้นกับกระแสเป็นหลัก ดังนั้นการเพิ่มความสามารถของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในการรองรับกระแสได้มากขึ้นนั้นเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้

อุปกรณ์ที่ควรเปลี่ยน ได้แก่

- OP-AMP ปัจจุบันรองรับกระแสได้สูงสุด 1 แอมป์
- โซลินอยด์ ปัจจุบันรองรับกระแสได้สูงสุด 1.2 แอมป์



### บรรณานุกรม

- John D.Kraus, Ph.D., "Electromagnetic," McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1953
- kottan-labs.bgsu.edu/202/Chapter%2019.7-11.ppt
- [http://www.skf.com/skf/productcatalogue/catalogue/prodtab.jsp?tab=1\\_1\\_4&lang=en&pafurl=%2Fportal%2Fskf%2Fhome%2Fproducts%3Fpaf\\_dm%3Dshared%26paf\\_gm%3Dcontent%26paf\\_gear\\_id%3D4400006](http://www.skf.com/skf/productcatalogue/catalogue/prodtab.jsp?tab=1_1_4&lang=en&pafurl=%2Fportal%2Fskf%2Fhome%2Fproducts%3Fpaf_dm%3Dshared%26paf_gm%3Dcontent%26paf_gear_id%3D4400006)
- มงคล อัครโกวิทกรณ, "การลดสัญญาณรบกวน" ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ
- ธันวา ศรีประโม่ง , "การเขียนโปรแกรมภาษาซี สำหรับงานวิศวกรรม"
- ชีววัฒน์ ประกอบผล , "การประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์"
- สัจจะ จรัสรุ่งรวีร , "Visual Basic 6: Basic & Advanced"
- Paul Horowitz HARVARD UNIVERSITY, Winfield Hill ROWLAND INSTITUTE OF SCIENCE CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS, "THE ART OF ELECTRONICS"
- นักประดิษฐ์ หุ่นยนต์ แปลและเรียบเรียงจาก The Robot Builder's Bonanza เขียนโดย Gordon McComb แปลและเรียบเรียงโดย ร.อ. วาที ปริยพงศ์
- กฤษดา ไชยเย็น, อรรถพล บุญยะโกคา และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตร์วิไล "เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม "
- บริษัท อีทีที จำกัด "CP – S8252 V2.0 ET Flash Technology Control Board with In – System down Board "
- บุญชัย กิ่งรุ่งเพชร, "คู่มือ Protel 99"

## ภาคผนวก ก.

การทดลองหาค่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก

จุดประสงค์การทดลอง

1. เพื่อหาค่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กถาวร

## ทฤษฎี

ในการออกแบบการทดลองง่ายๆ ถ้าเราให้แม่เหล็กทั้งสองก้อนต่างจุดกันในระยะใดระยะหนึ่ง แล้วเพิ่มน้ำหนักถ่วงเข้าไปจนกระทั่งแรงที่ดูดกันของแม่เหล็กทั้งสองนั้นเท่ากับน้ำหนักที่ถ่วงเข้าไปทำให้แม่เหล็กแยกออกจากกัน ดังนั้นแรงที่ดูดกันจะสามารถหาได้จากน้ำหนักที่นำไปถ่วง

จากแนวคิดข้างต้น จึงทำการสร้างชุดทดลอง โดยมีสมมติฐานว่าปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กนั้นตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของแม่เหล็กถาวร ดังนั้นจากกฎของคูลอมบ์สำหรับแม่เหล็กไฟฟ้า และกฎของนิวตัน

$$F = \frac{\phi_1 \phi_2}{4\pi\mu_0 x^2}$$

$$F = mg + ma$$

เมื่อไม่มีการเคลื่อนที่  $a = 0$  และจากการจัดรูปสมการจะได้

$$m = \frac{\phi^2}{4\pi g \mu_0 x^2}$$

โดยที่

m	คือ	มวลของชุดถ่วงน้ำหนัก (กิโลกรัม)
x	คือ	ระยะห่างระหว่างแม่เหล็กซึ่งมีขนาดเท่ากัน (เมตร)
$\phi$	คือ	ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กถาวร (เวเบอร์)
$\mu_0$	คือ	Permeability of vacuum ( $4\pi \times 10^{-7}$ เฮนรีต่อเมตร)

อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ ก.1



รูปที่ ก.2

1. แม่เหล็กถาวรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร จำนวน 2 ก้อน
2. น้ำหนักถ่วง
3. ที่ใส่น้ำหนัก
4. แผ่นไม้อัดหนา 5 มิลลิเมตร
5. แผ่นกระดาษหนา 0.122 มิลลิเมตร
6. กรวยใส่น้ำ
7. ที่ชั่งน้ำหนักดิจิทัล
8. ไมโครมิเตอร์

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งการทดลองโดยให้แม่เหล็กวางอยู่บนแผ่นไม้ จากนั้นนำแม่เหล็กอีกชิ้นติดไว้ด้านล่างแผ่นไม้ ดังรูปที่ ก.3
2. นำที่ใส่น้ำหนักติดไว้ด้านล่างของแผ่นไม้ ขึ้นต่อไปใส่น้ำหนักถ่วง เมื่อแม่เหล็กทั้งสองใกล้จะแยกห่างจากกันจึงเปลี่ยนจากน้ำหนักถ่วงเป็นน้ำ โดยใส่น้ำจนกระทั่งแม่เหล็กทั้งสองแยกออกจากกัน ดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.3



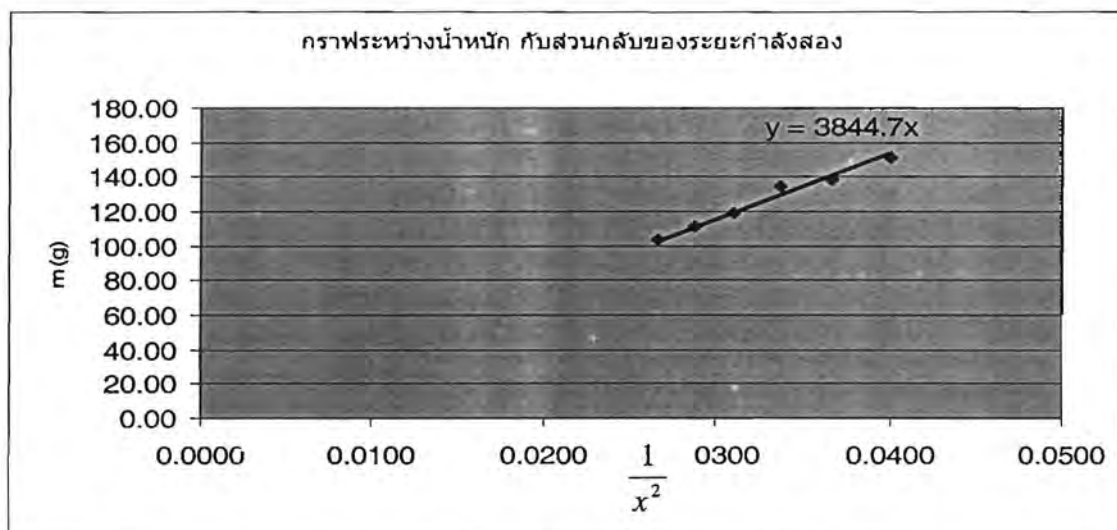
รูปที่ ก.4

3. นำน้ำหนักที่อยู่ในที่ใส่น้ำหนักไปชั่งเพื่อทำการบันทึกค่าน้ำหนัก
4. ทำการเพิ่มระยะการดูดกันของแม่เหล็กโดยการใส่กระดาษที่เตรียมไว้บนแผ่นไม้อัด จากนั้นจึงทำการทดลองในขั้นที่ 1 - 4

#### ผลการทดลอง

ระยะห่างแท่งแม่เหล็ก ( mm )	น้ำหนักถ่วง ( g )			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5.000	150.80	156.10	146.70	151.20
5.224	131.30	136.80	138.50	138.27
5.448	132.70	133.20	135.80	134.80
5.672	109.10	111.50	108.50	118.80
5.896	112.90	113.20	104.70	111.53
6.120	105.60	99.60	105.70	103.30

จากผลการทดลองนำข้อมูลมาพล็อตกราฟระหว่างส่วนกลับของระยะทางกำลังสอง กับมวลที่ถ่วงจะได้กราฟเส้นตรงซึ่งผ่านจุดกำเนิด ดังกราฟที่ 1 ดังนั้นเมื่อนำค่าความชันมาคำนวณหาปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก ( $\phi$ ) มีค่าเท่ากับ  $2.44 \times 10^5$  เวเบอร์

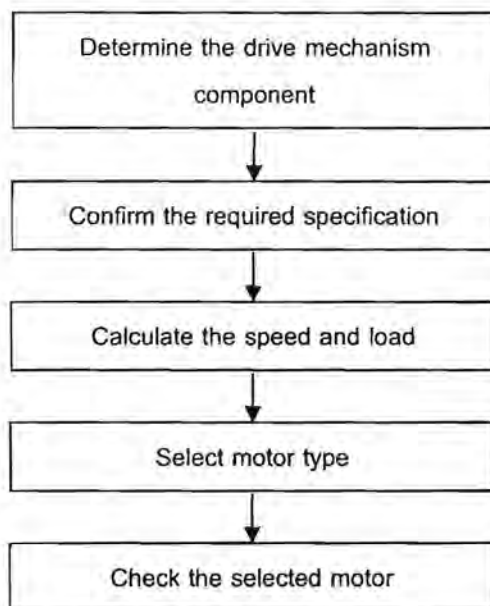


กราฟที่ ก.1 กราฟระหว่างน้ำหนักกับส่วนกลับของระยะกำลังสอง

## ภาคผนวก ข.

## การเลือกขนาดมอเตอร์ที่เหมาะสม

สำหรับในส่วนนี้จะกล่าวถึงการขั้นตอนการคำนวณเพื่อหามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อใช้ในงาน 3D-display ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้



## 1. ทากลไกที่ใช้ในการคำนวณ

ตรวจสอบลักษณะที่สำคัญของการออกแบบ เช่น กลไกในการขับเคลื่อน ขนาด ระยะการเคลื่อนที่ และ คาบเวลาการเคลื่อนที่ เป็นต้น

## 2. ระบุลักษณะที่ต้องการ

ระบุลักษณะเฉพาะให้ชัดเจน เพื่อใช้กับระบบขับเคลื่อน และอุปกรณ์ เช่น ช่วงความเร็ว ความแม่นยำของตำแหน่ง ความต่างศักย์ที่ใช้กับมอเตอร์ เป็นต้น

## 3. คำนวณความเร็ว และโหลด

คำนวณค่าโหลดทอร์ก (Load torque), โหลดอินเนอร์เชีย (Load inertia), ความเร็ว (Speed) ที่เพลาขับเคลื่อนมอเตอร์

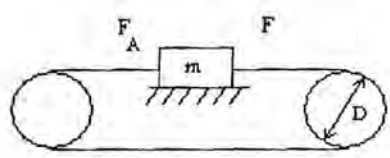
## 4. เลือกมอเตอร์

เลือกขนาดของสเตปมอเตอร์ โดยการเลือกชนิดมอเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะที่ต้องการ

## 5. ตรวจสอบสเตปมอเตอร์

ตรวจสอบลักษณะเฉพาะของสเตปมอเตอร์ มอเตอร์ พูล์ย ความแข็งแรงของกลไก เวลาเร่ง (Acceleration time), ทอร์กเร่ง (Acceleration torque) เพื่อให้เหมาะสมกับกลไกที่ออกแบบ

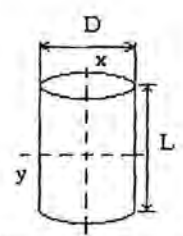
สูตรคำนวณทอร์กไหลด  
กลไกสามขพานและพูเลย์ไทม์มิ่ง (Wire Belt Mechanism)



$$T_L = \frac{F}{2\pi\eta} \frac{\pi D}{i} = \frac{FD}{2\eta i} \quad [\text{oz-in}] \quad (1)$$

$$F = F_A + m(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad [\text{Oz}] \quad (2)$$

สูตรคำนวณอินเนอร์เทียโมเมนต์



$$J_x = \frac{1}{8} m D^2 = \frac{1}{32} \rho L D^4 \quad [\text{Oz-in}^2] \quad (3)$$

$$J_y = \frac{1}{4} m \left( \frac{D^2}{4} + \frac{L^2}{3} \right) \quad [\text{Oz-in}^2] \quad (4)$$

สูตรคำนวณวัตถุที่เคลื่อนที่แบบเส้นตรง

$$J = m \left( \frac{A}{2\pi} \right)^2 \quad [\text{Oz-in}^2] \quad (5)$$

เมื่อ

F	คือ	แรงในการเคลื่อนที่
J <sub>x</sub>	คือ	อินเนอร์เทียรอบแกน x
J <sub>y</sub>	คือ	อินเนอร์เทียรอบแกน y
η	คือ	ประสิทธิภาพ (0.85)
i	คือ	อัตราทดรอบพูเลย์
F <sub>A</sub>	คือ	แรงภายนอก
m	คือ	มวล
μ	คือ	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของรางเลื่อน (Linear Slide)
α	คือ	มุมเอียงของพูเลย์ 2 อัน
D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางพูเลย์
ρ	คือ	ความหนาแน่น
L	คือ	ความยาว

สเต็ปมอเตอร์ (Stepped motor)

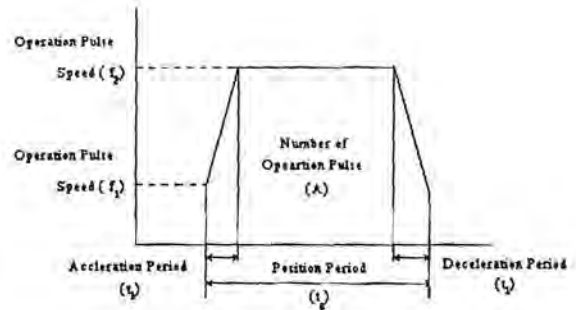
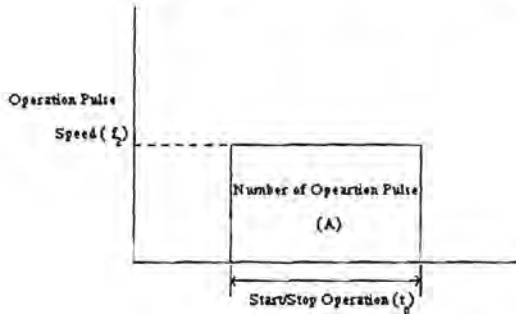
ในหัวข้อนี้อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการในการเลือกสเต็ปมอเตอร์ โดยการหารูปแบบการเคลื่อนที่ การคำนวณโพลด์ทอร์ก

1. รูปแบบการใช้งาน

รูปแบบการใช้งานของสเต็ปมอเตอร์ มี 2 รูปแบบการเคลื่อนที่ ดังนี้

1.1 การใช้งานแบบเปิด/ปิด ( รูปที่ ข.1)

1.2 การใช้งานแบบเร่งและหน่วง ( รูปที่ ข.2 )



รูปที่ ข.1 การใช้งานแบบเปิด/ปิด

รูปที่ ข.2 การใช้งานแบบเร่งและหน่วง

โดยส่วนใหญ่จะเป็นการใช้งานแบบเร่งและหน่วง และเมื่อใดก็ตามที่อินเนอร์ทีียโพลด์มีค่าน้อย จะใช้การพิจารณาการใช้งานเป็นแบบเปิด/ปิด

2. การหาค่าจำนวนพัลส์ที่ใช้งาน [พัลส์]

จำนวนพัลส์ที่ใช้งาน คือ จำนวนของสัญญาณพัลส์ซึ่งขึ้นกับมุมของสเต็ปมอเตอร์ โดยที่มีการเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B

$$\text{Operating Pulse (A)} = \frac{\text{Distance per Movement}}{\text{Distance per Motor Rotation}} \times \text{No of pulse}$$

required for

[Pulses]

1 Motor Rotation

$$= \frac{l}{\text{rev}} \times \frac{360^\circ}{\theta_s} \tag{6}$$

เมื่อ

$\theta_s$  คือ มุมสเต็ปมอเตอร์

3. การหาความเร็วพัลส์ที่ใช้งาน  $f_2$  [Hz]

3.1 การใช้งานแบบเปิด/ปิด

$$\text{Operating Pulse Speed } (f_2) \text{ [Hz]} = \frac{\text{Number of Operating Pulses [pulses]}}{\text{Positioning Period [s]}}$$

$$= \frac{A}{t_0} \tag{7}$$



## 3.2 การใช้งานแบบเร่งและหน่วง

$$Period[s] = Positioning Period[s] \times 0.25 \quad (8)$$

$$Operating Pulse = \frac{\text{Number of Operating Pulses} - \text{Starting Pulse} \times \text{Acceleration Period}[s]}{\text{Positioning Period}[s] - \text{Acceleration Period}[s]} \times \text{Speed}[Hz]$$

$$Speed f_2[Hz] = \frac{A - f_1 \cdot t_1}{t_0 - t_1} \quad (9)$$

## 4. การคำนวณความเร็วใช้งานจากความเร็วพัลส์ใช้งาน

$$Operating Speed[r/min] = Operating Pulse Speed[Hz] \times \frac{Step Angle}{360^\circ} \times 60 \quad (10)$$

5. การคำนวณโหลดทอร์ก  $T_L$   
ดูจากสมการ (1)6. การคำนวณทอร์กเร่ง  $T_a$ 

## 6.1 การใช้งานแบบเปิด/ปิด

$$Acceleration Torque (T_a) [oz-in] = \left( \frac{Inertia of Rotor}{[oz-in^2]} + \frac{Total Inertia}{[oz-in^2]} \right) \times \frac{\pi \times Step Angle^\circ \times (Operating Pulse Speed)^2 [Hz]}{180^\circ \times coefficient}$$

$$= (J_0 + J_L) \times \frac{\pi \cdot \theta_s \cdot f_2^2}{180^\circ \cdot n} \quad ; n : 3.6/\theta_s \quad (11)$$

## 6.2 การใช้งานแบบเร่งและหน่วง

$$Acceleration Torque (T_a) [oz-in] = \left( \frac{Inertia of Rotor}{[oz-in^2]} + \frac{Total Inertia}{[oz-in^2]} \right) \times \frac{\pi \times Step Angle^\circ}{180^\circ} \times \frac{Operating Pulse - Starting Pulse}{Acceleration Period[s]} \times \frac{Speed[Hz]}{Speed[Hz]}$$

$$= (J_0 + J_L) \times \frac{\pi \cdot \theta_s}{180^\circ} \times \frac{f_2 - f_1}{t_1}$$

7. การคำนวณทอร์กที่ต้องการ  $T_M$ 

$$Required Torque = \left( \frac{Load Torque}{[oz-in]} + \frac{Acceleration Torque}{[oz-in]} \right) \times Safety Factor$$

$$T_M [oz-in] = (T_L + T_a) \times S_f$$

## ภาคผนวก ค.

ขนาดอ้างอิงของพลาสติกซูบเปอร์รีน ตามท้องตลาดมีค่าเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10.3 มิลลิเมตรแต่เพื่อความแน่ใจจึงทำการวัดขนาดแล้วหาค่าเฉลี่ย

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพลาสติกซูบเปอร์รีน ที่ใช้ทำโครงการ

ครั้งที่	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
1	10.36
2	10.34
3	10.35
4	10.35
5	10.34
6	10.34
7	10.34
8	10.35
9	10.35
10	10.33
11	10.35
12	10.36
13	10.33
14	10.36
15	10.34
16	10.33
17	10.35
18	10.35
19	10.33
20	10.36
Avg.	10.3455

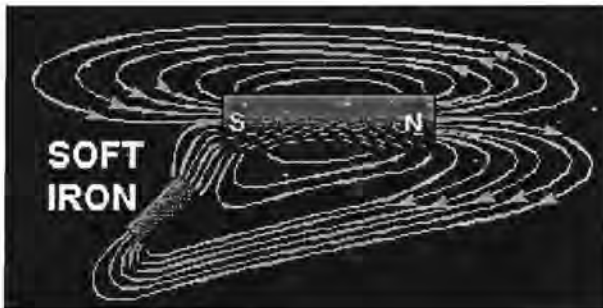
ตาราง ค.1 แสดงการเฉลี่ยค่าเส้นผ่าศูนย์กลางแท่งซูบเปอร์รีน

ค่าที่ใช้ในการออกแบบจึงเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.35 มิลลิเมตร

## ภาคผนวก ง.

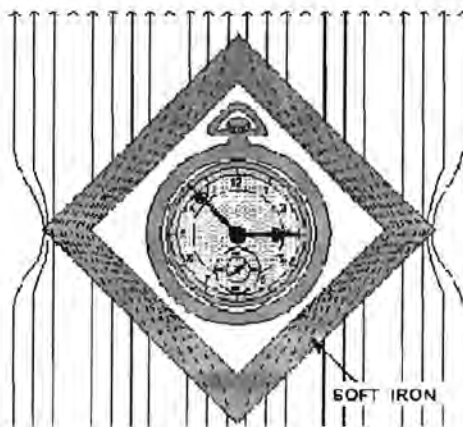
## ตัวป้องกันสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กไฟฟ้า

There is no known INSULATOR for magnetic flux. If a nonmagnetic material is placed in a magnetic field, there is no appreciable change in flux - that is, the flux penetrates the nonmagnetic material. For example, a glass plate placed between the poles of a horseshoe magnet will have no appreciable effect on the field although glass itself is a good insulator in an electric circuit. If a magnetic material (for example, soft iron) is placed in a magnetic field, the flux may be redirected to take advantage of the greater permeability of the magnetic material, as shown in figure 1-17. Permeability, as discussed earlier, is the quality of a substance which determines the ease with which it can be magnetized.



รูปที่ ง.1 สนามแม่เหล็กเมื่อใกล้ตัวป้องกันสนามแม่เหล็ก

The sensitive mechanisms of electric instruments and meters can be influenced by stray magnetic fields which will cause errors in their readings. Because instrument mechanisms cannot be insulated against magnetic flux, it is necessary to employ some means of directing the flux around the instrument. This is accomplished by placing a soft-iron case, called a MAGNETIC SCREEN or SHIELD, about the instrument. Because the flux is established more readily through the iron (even though the path is longer) than through the air inside the case, the instrument is effectively shielded, as shown by the watch and soft-iron shield in figure 1-18.

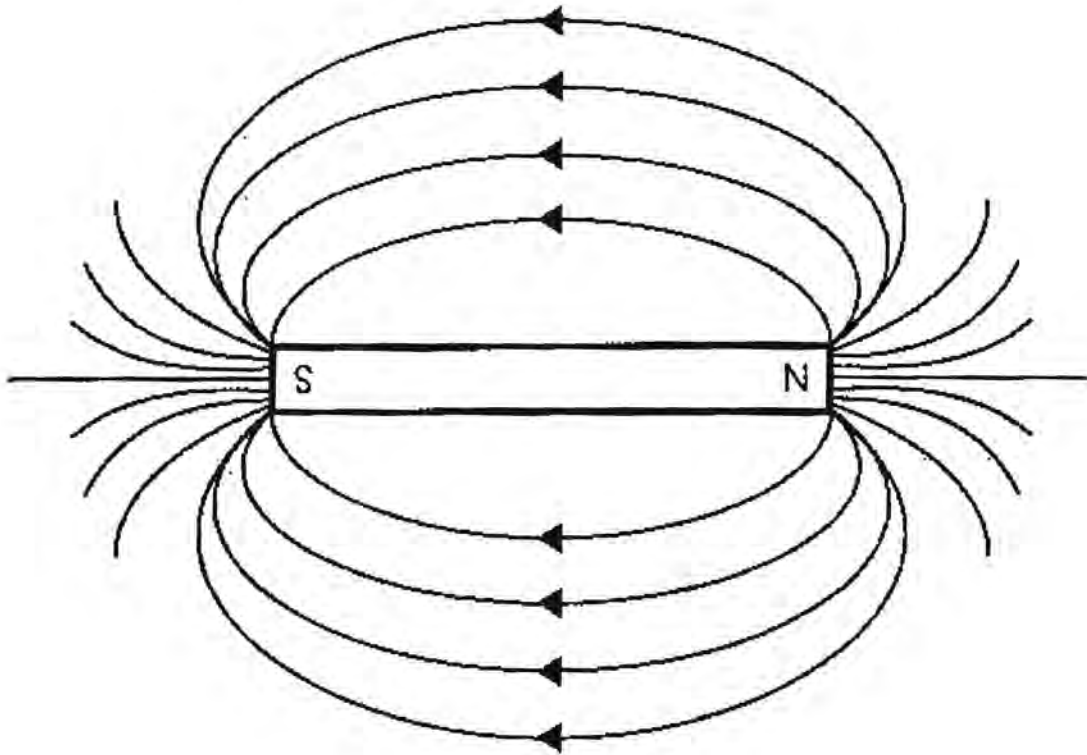


รูปที่ ง.2 ผลของเหล็กอ่อนต่อสนามแม่เหล็ก

การเลือกใช้วัสดุสำหรับตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรอ้างอิงจาก

Website: <http://my.execpc.com/~rheadley/magfield.htm> โดยมีเนื้อหาดังนี้

This is a drawing of a single magnet all by itself showing what magnetic field lines look like:



รูปที่ ๓.3 สนามแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็ก

Now, compare this to the diagrams in the links above from an accurate simulation. You can see these magnetic fields yourself by placing a magnet under a piece of paper and sprinkling iron filings onto the paper. Spray the paper with Krylon to make the iron filings stick in place. They will trace out the field lines just like the drawing above. Or, get a plastic box with iron filings in it, and place a magnet under the box. Or, put a magnet into a Mysterious Magnet Tube to see the iron filings surround the magnet in the middle.

**What can shield a magnetic field?** EXPT

This makes a great science fair project!

1. The goal is to determine what can shield a magnetic field.
2. You will need a source of a magnetic field, such as an electromagnet or a strong rare-earth magnet.

3. Next, you will need a way to determine if the magnetic field has changed strength. Certainly a sure way to do this is to measure the flux using a Gauss meter. Another method is to use a compass to see if it is still affected the same way it was before the proposed shield was put in place.
4. Finally, you will need some plates of various materials to try as shields. I would recommend: wood, Plexiglas, Styrofoam, brass, copper, aluminum, steel, iron, paper, stainless steel, and any other materials you think may work.
5. Measure the strength of the magnetic field about 2" away from the magnet. Note the value of the meter or response of the compass. Keep the meter probe or compass in one position during the experiment.
6. Place the material between the magnet and the probe or compass and see what happens. Note the material and the result.
7. What you'll find is that only steel and iron will work as a shield. If it is very thin, it's effectiveness is decreased.

References to shielding: <http://www.magnetic-shield.com/>  
<http://www.mushield.com/index.html>  
<http://www.advancemag.com/>

Here's a project that did the above.

#### A Science Fair Project

Here is a science fair project which covered four areas:

1. A Hall-Effect Gauss meter for measuring the strength of magnetic fields
2. A selection of magnets to compare their strengths using the Gauss meter
3. Two electromagnets, one DC and one AC, with a variable control on them, to see how their strengths are adjustable
4. Various plates of metal to see how well they shield magnetic fields (as described above)



รูปที่ ๓.๕ อุปกรณ์ทดลองการป้องกันสนามแม่เหล็กของวัสดุ

This shows the box with the equipment inside, and the display material.



รูปที่ ง.6 รูปเกาส์มิเตอร์ในกล่องทดลอง

This is a close-up of the Gauss meter equipment in the top half. The voltmeter is on the left. The circuitry is in the middle on a breadboard. The power supply is on the right.

The bottom half is a collection of various types of magnets, all under Plexiglas. The probe is at the end of the cable laying on top. By taking the probe and holding it over the various magnets, we are able to measure the strength and polarity of the magnets.



รูปที่ ง.6 รูปอิเล็กทรอนิกส์

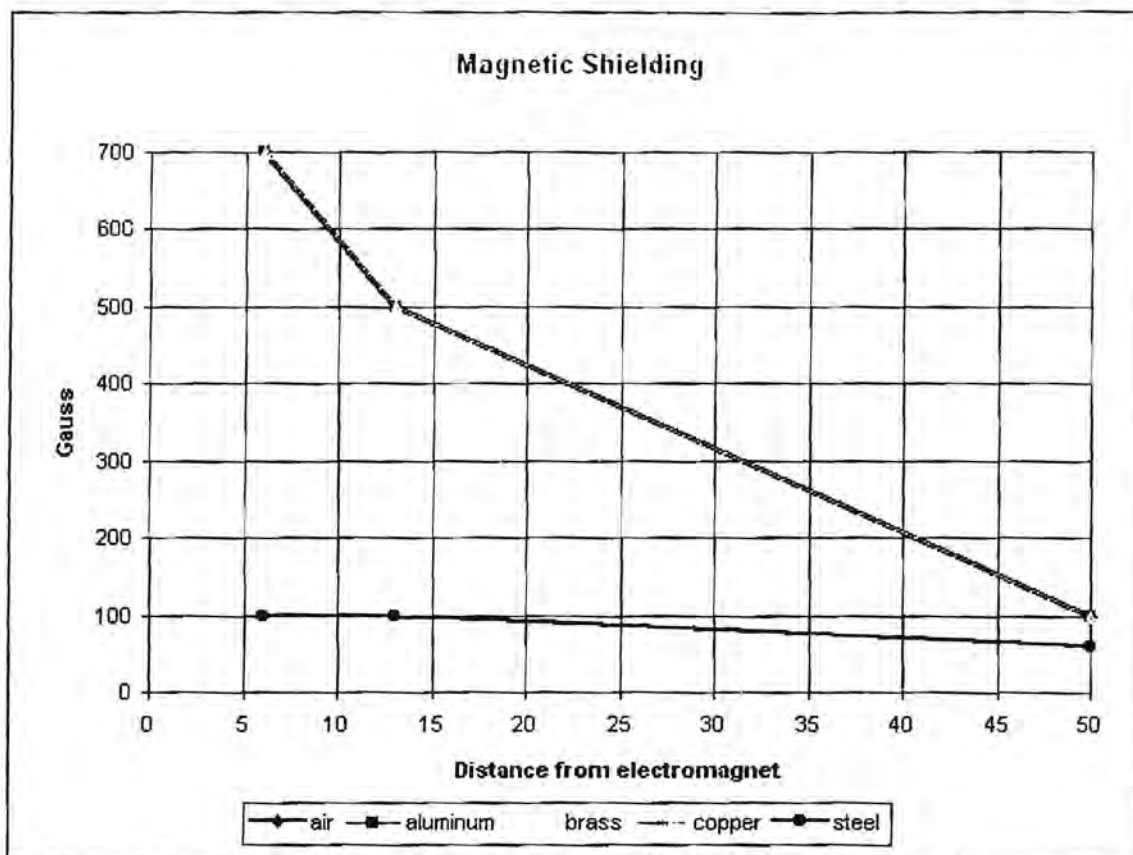
This shows the electromagnets on the left. There is a DC electromagnet at the bottom, an AC electromagnet in the middle, and a variac for controlling the voltage to them at the top. The Gauss meter probe can also measure the strength of these electromagnets, and their polarities. (The AC electromagnet indicates both a N and a S pole, since it is switching between them 60 times a second.)



รูปที่ ง.7 วัสดุที่ใช้ทดลอง

This is a collection of metal plates which can be placed over a magnet or electromagnet, and the strength of the magnetic field on the top side of the plate can be measured, determining how well it shields the magnetic field. The plates are made of steel, aluminum, brass and copper.

Results of the shielding experiment were:



กราฟที่ ง.1 ค่า ความสัมพันธ์เกาส์และระยะทางห่างจากอิเล็คโตรแมกเนติกส์เมื่อใช้วัสดุต่างๆ

#### Gauss readings

#### Distance between probe and electromagnet

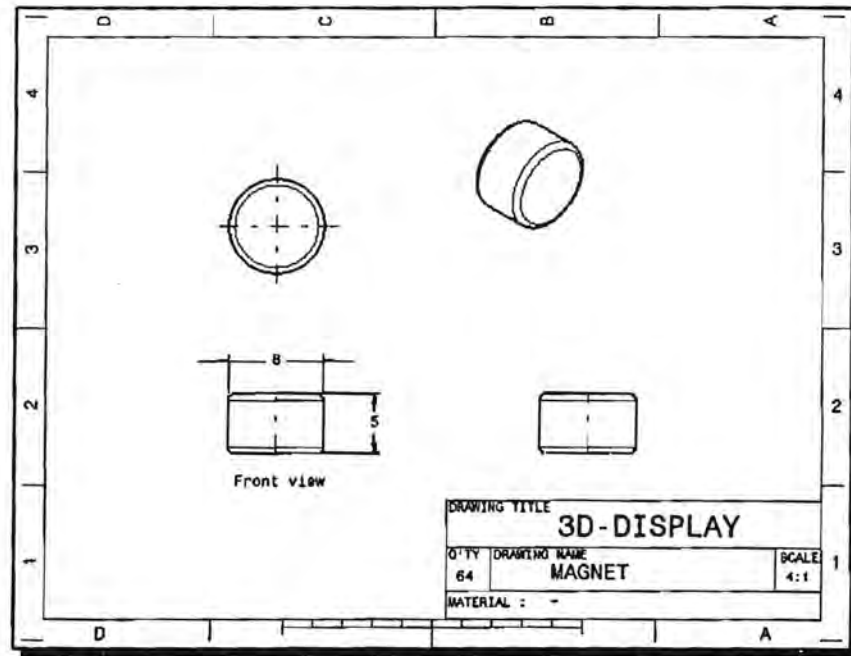
Material	6	13	50 mm
air	700	500	100
aluminum	700	500	100
brass	700	500	100
copper	700	500	100
steel	100	100	60

ตาราง ง.1 ค่าเกาส์ที่อ่านได้ที่ระยะห่างจากอิเล็คโตรแมกเนติกส์ค่าต่างๆ เมื่อใช้วัสดุต่างกัน

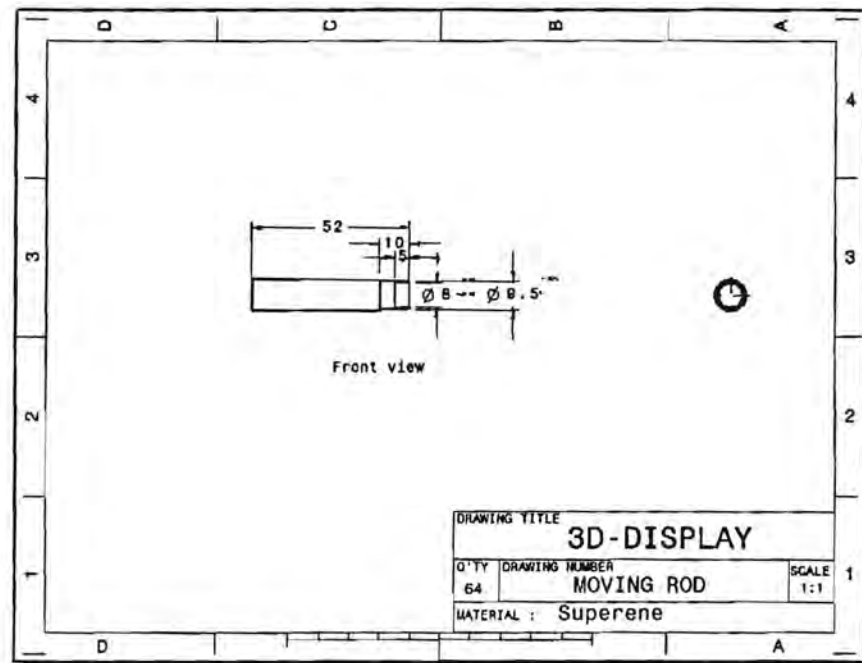


ภาคผนวก จ.  
แบบกลไกของส่วนประกอบที่สำคัญ

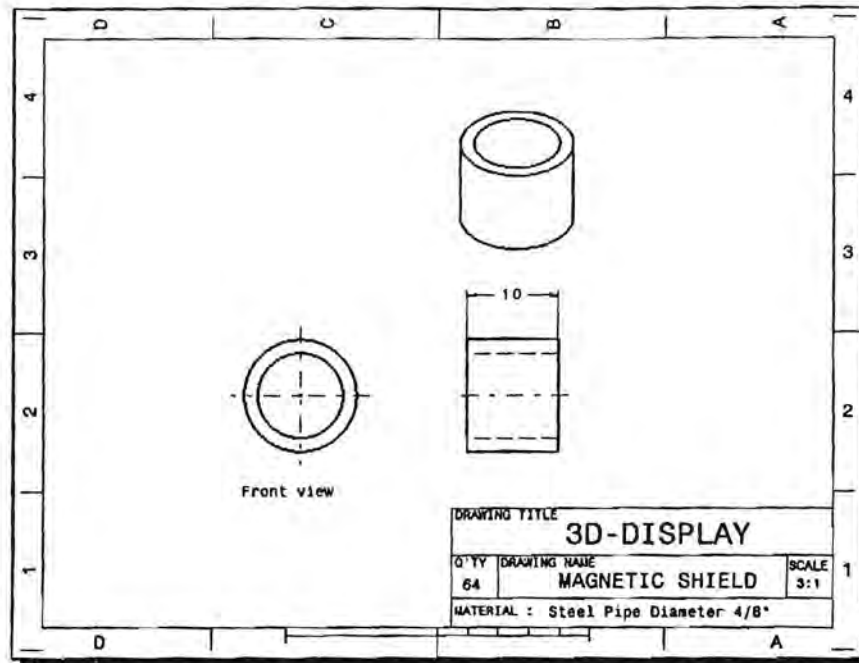
ในการออกแบบแบบจำลอง 3D – Display ชั้นส่วนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นชั้นส่วนที่ออกแบบโดยผู้จัดทำเอง, ชั้นส่วนสำเร็จ และสลิคเกลียว อ้างอิงจากหนังสือตารางโลหะ ซึ่งเป็นคู่มือวัสดุที่จัดทำขึ้นตามมาตรฐานของเยอรมัน แบบเครื่องกลที่แสดงต่อไปนี้ คือแบบของชั้นส่วนหลักๆ



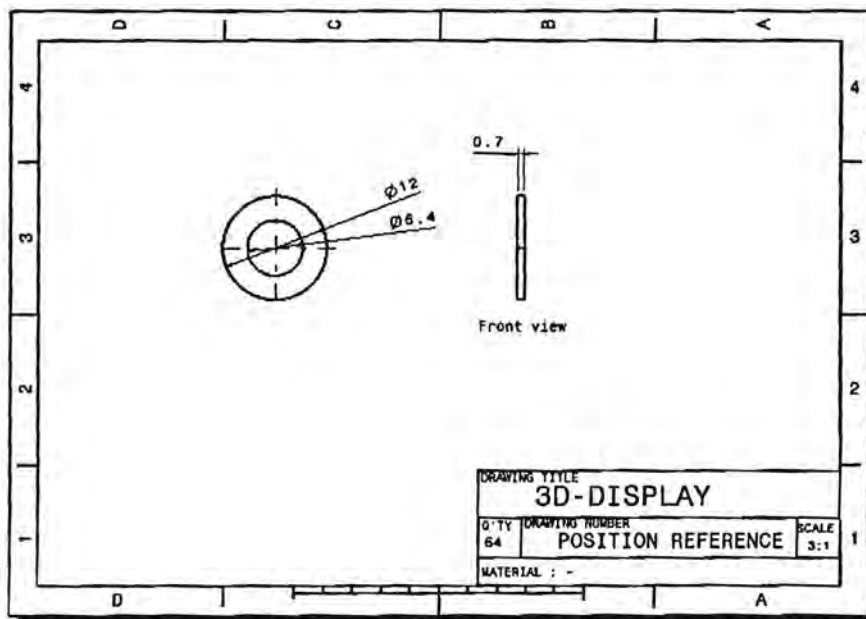
รูปที่ จ.1 แม่เหล็ก



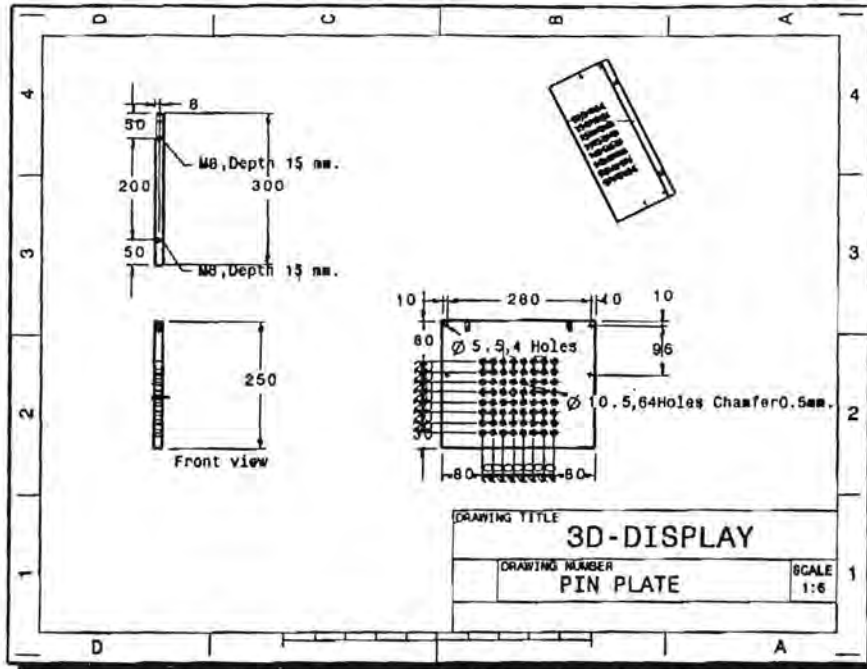
รูปที่ จ.2 แท่งเคลื่อนที่



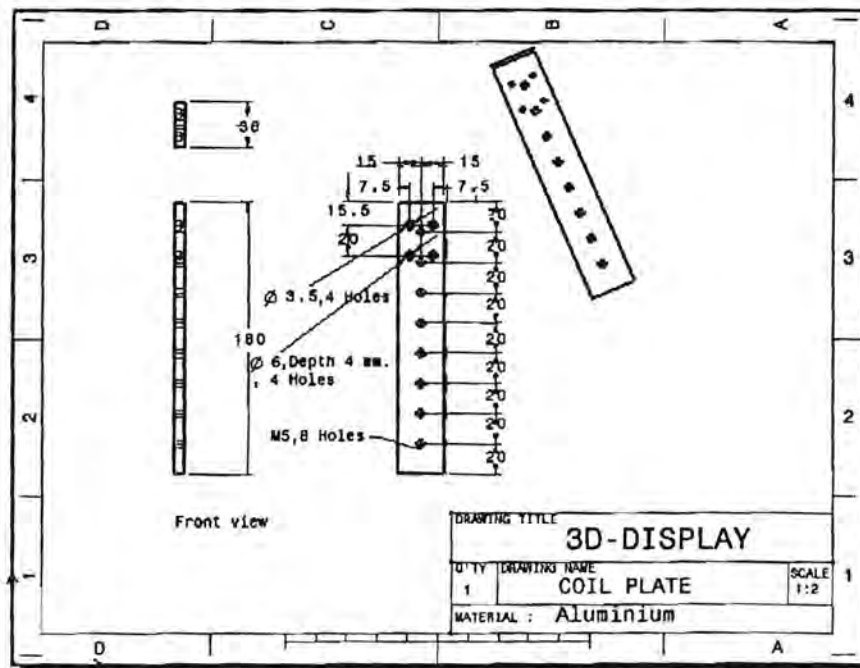
รูปที่ จ.3 ตัวป้องกันสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร



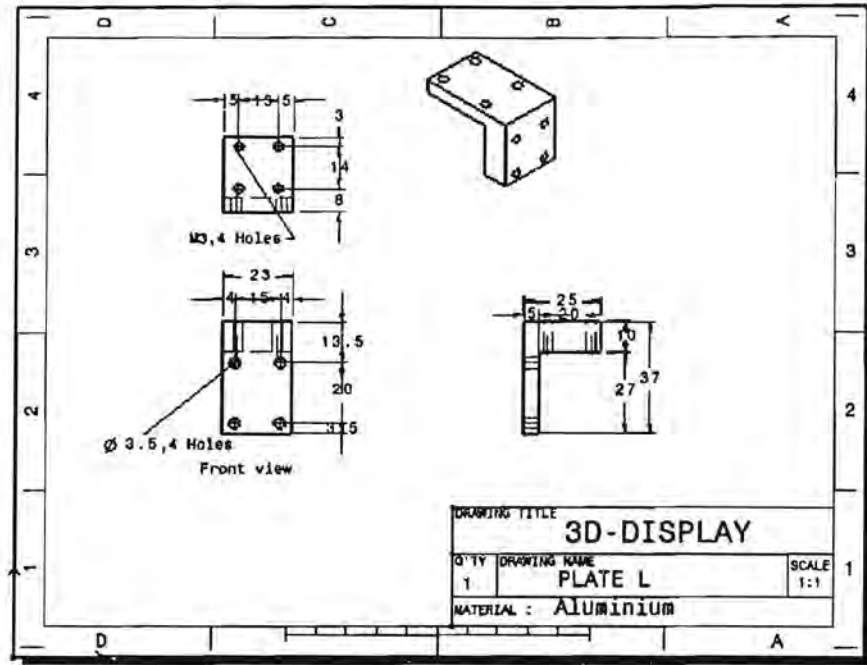
รูปที่ จ.4 แหวนรอง



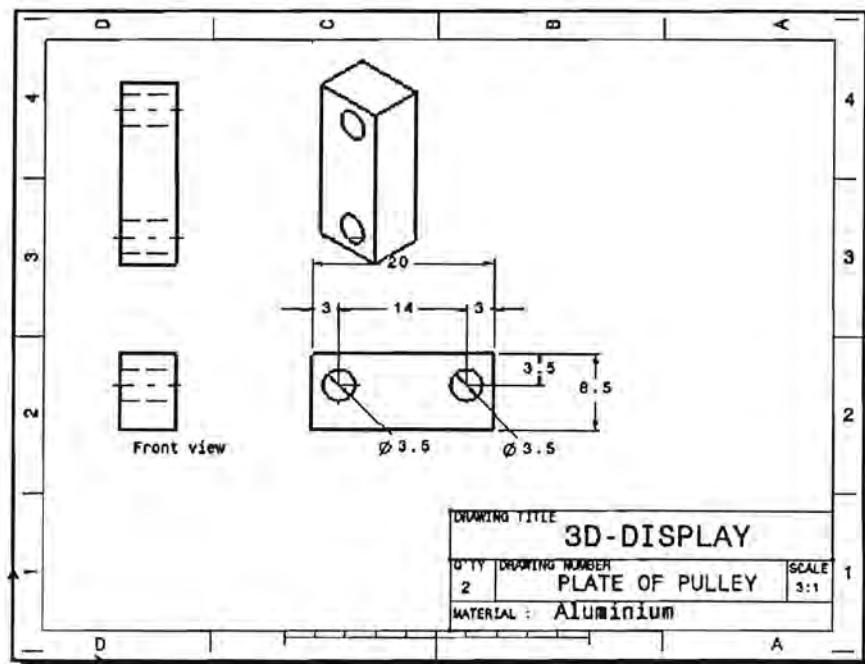
รูปที่ จ.5 แผ่นวางพิน



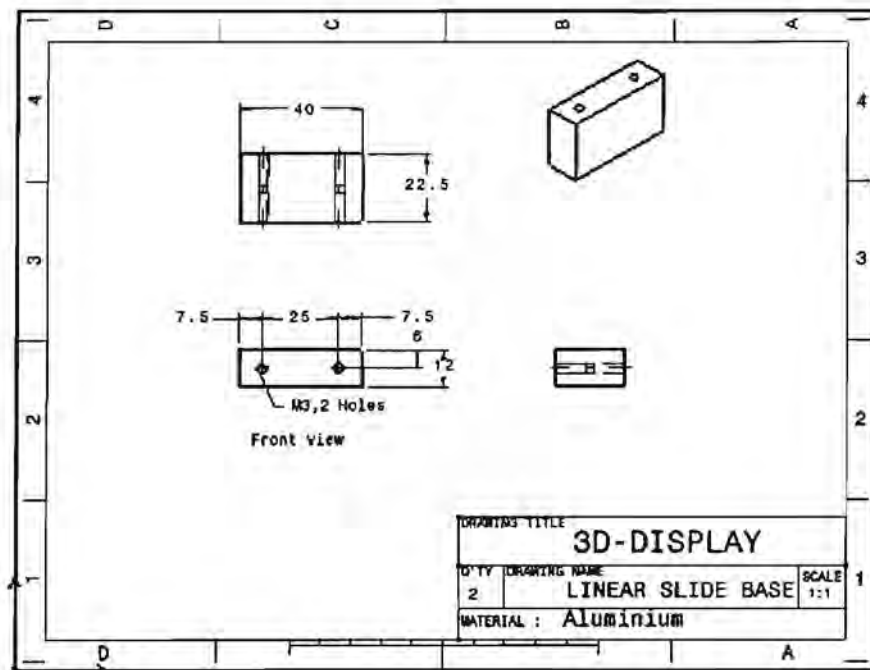
รูปที่ จ.6 แผ่นเลื่อนคอยด์



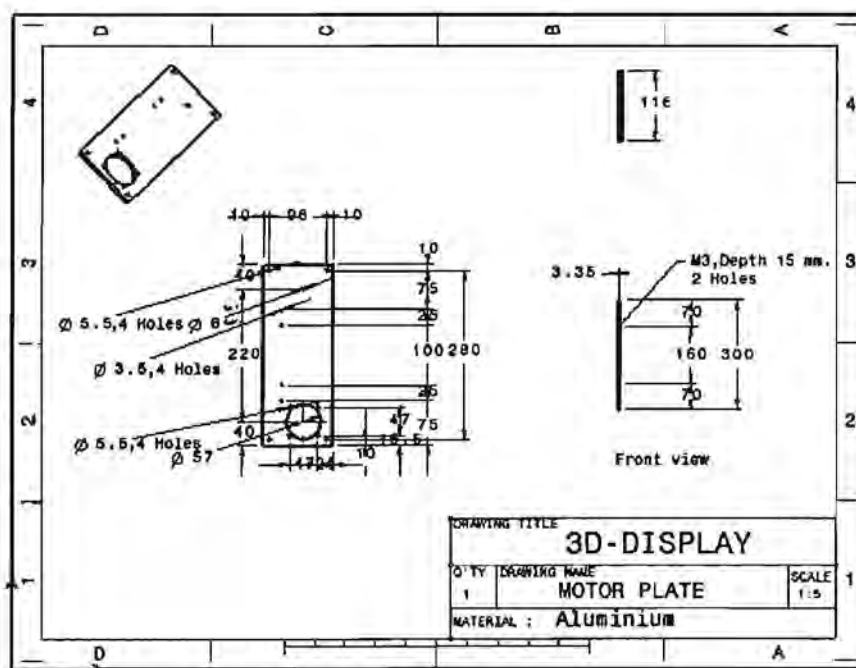
รูปที่ จ.7 แผ่นรูปตัวแอล



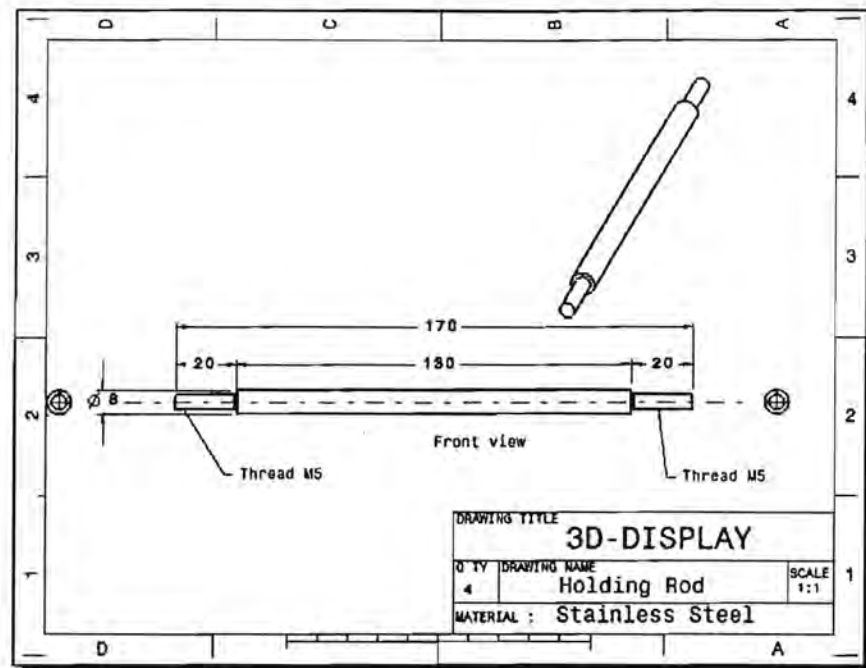
รูปที่ จ.8 แผ่นยึดสายพาน



รูปที่ จ.9 ฐานยี่ดลื่นยี่รส์ไลด์



รูปที่ จ.10 แผ่นยี่ตมอเตอ์



รูปที่ จ.11 เพลากำหนดระยะ



## ภาคผนวก ฉ.

ส่วนของการควบคุม และวงจร ไฟฟ้า ซึ่งในภาคผนวกนี้จะประกอบด้วย

- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการเคลื่อนที่ของพิน
- Datasheet ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- Schematics Diagram ของแผงวงจร
- โปรแกรม

**MATLAB****ข้อมูลของระบบ**

```

function xdot=nl_magnet(t,x)

    c=0;
    m=0.016;
    k=5.26e-005;
    fc=0.7;
    fcs=0.55;
    g=9.81;

    damp=-c/m;
    const=k/m;
    I=0.728;
    if x(2) >= 0
        frict=fc*g;
    else frict=0;
    end

    xdot(1,1)=x(2);
    xdot(2,1)=damp*x(2)+const*I/(x(1))^2-frict;

```

**การแก้สมการและพล็อตกราฟโดย Numerical Methods โดยฟังก์ชัน ode45()**

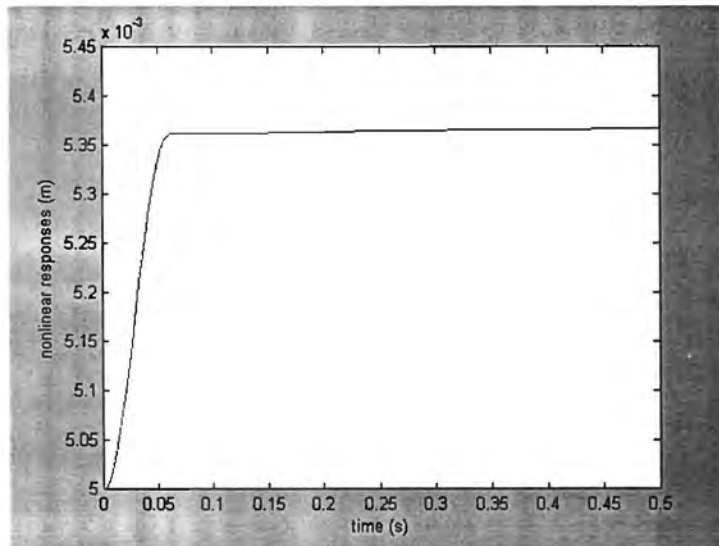
```

clear all
t0=0; tf=0.5;
x0=[0.005 0]';
[t_nl, x_nl]=ode45('nl_magnet',[t0 tf],x0);
figure,plot(t_nl,x_nl(:,1),'r')
%grid on
xlabel('time (s)')
ylabel('nonlinear responses (m)')

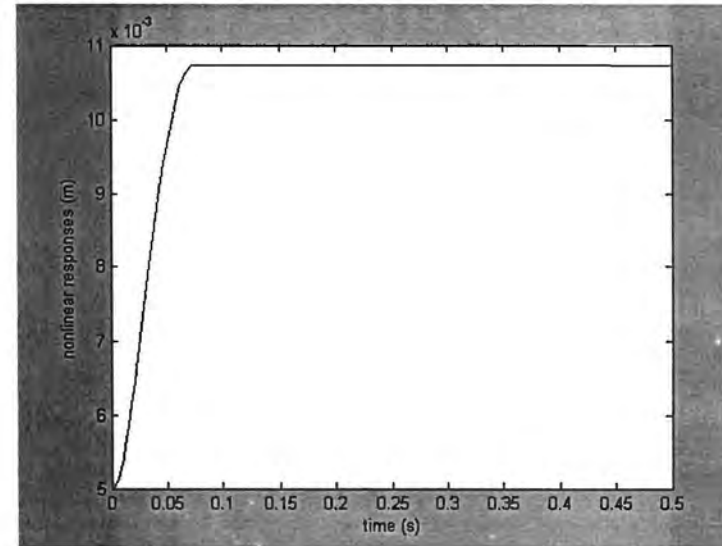
```

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลา กับระยะการเคลื่อนที่ของพิน ที่กระแสระดับต่างของ แบบจำลอง 3D-Display

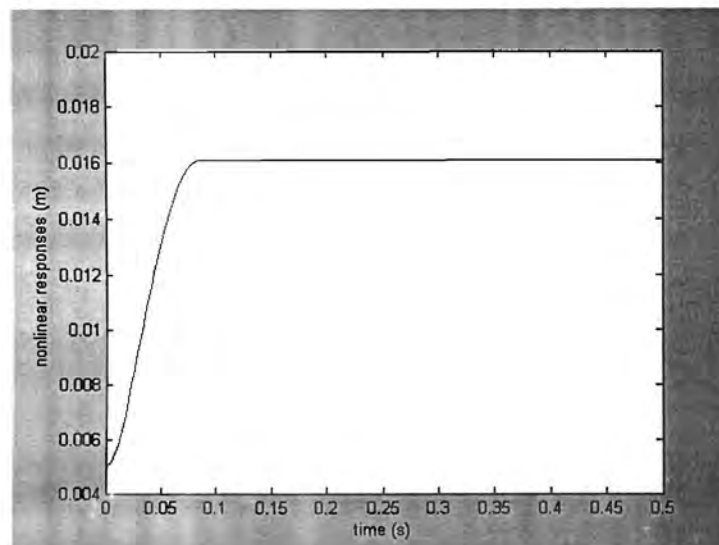
$I=0.056$  A



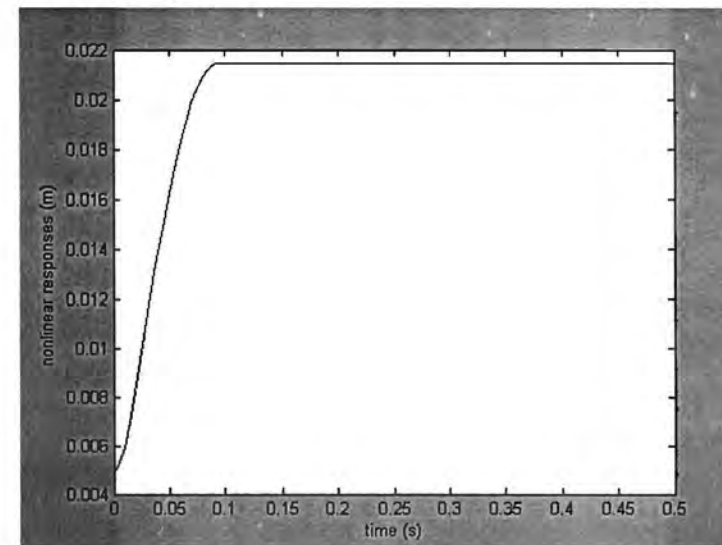
$I=0.112$  A

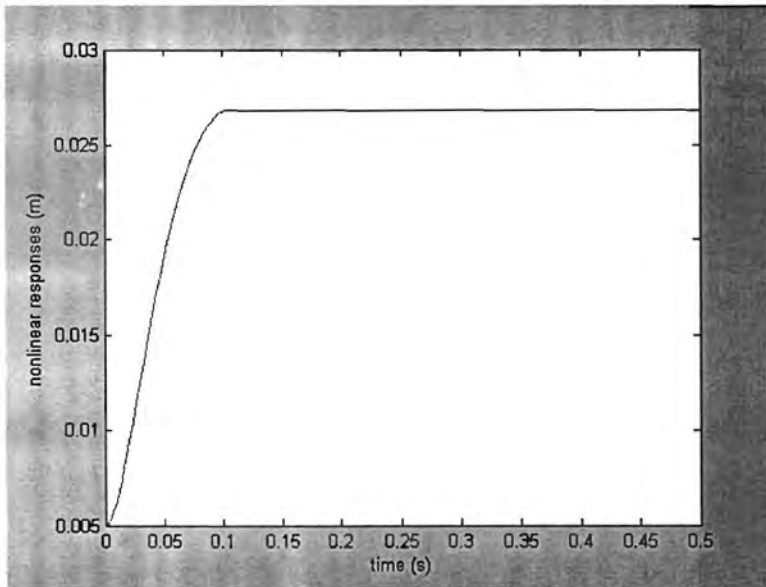


$I=0.168$  A



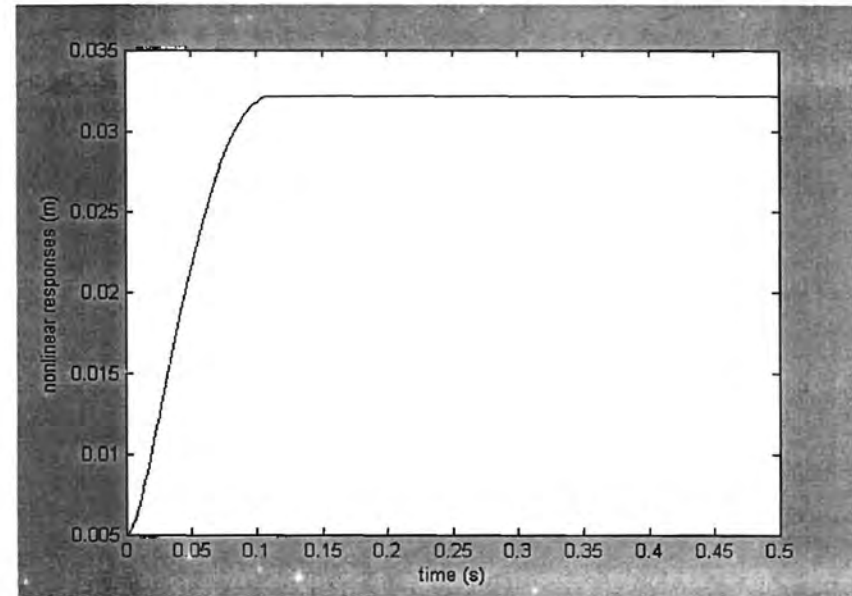
$I=0.224$  A





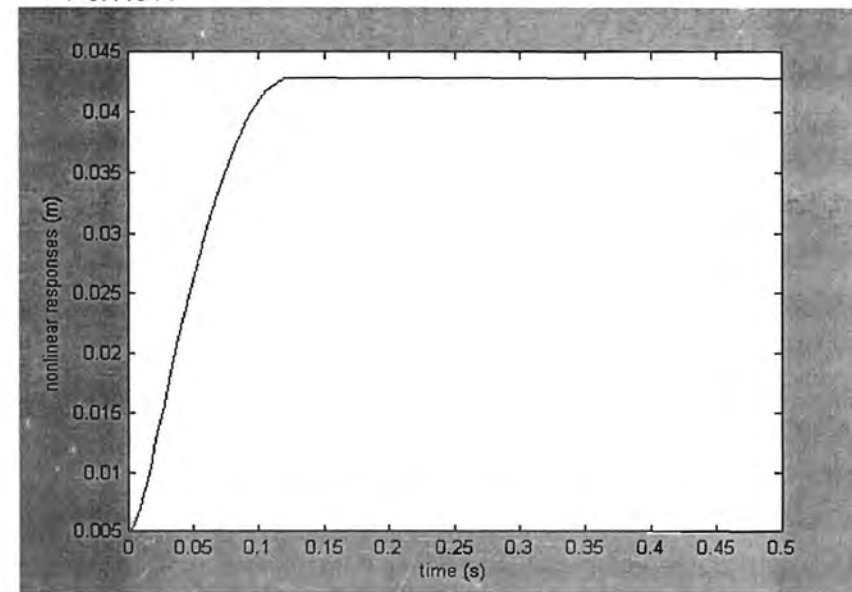
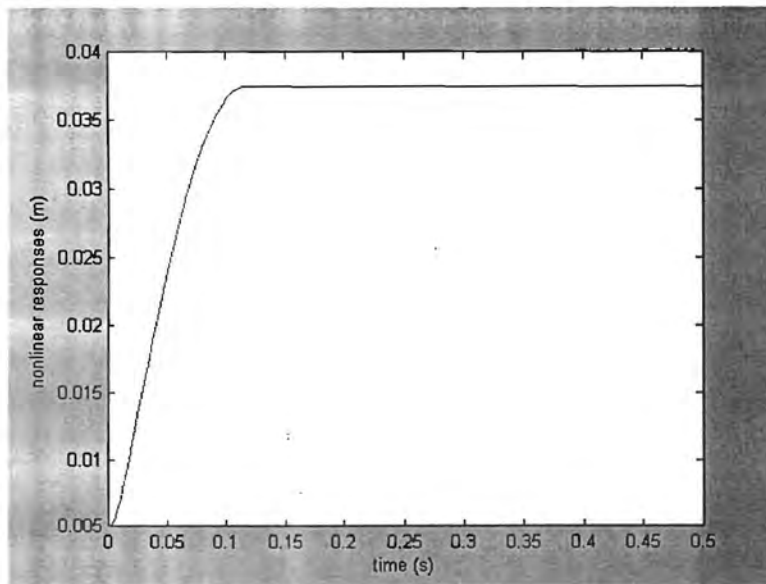
$I=0.280$  A

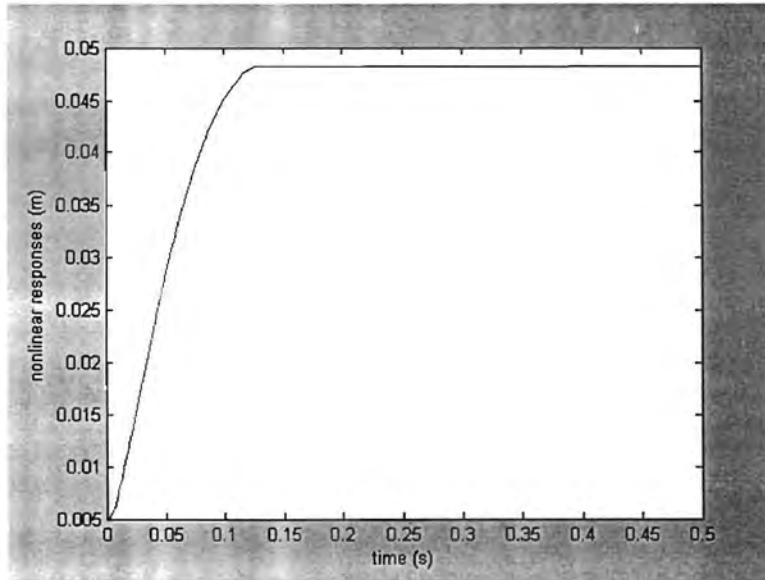
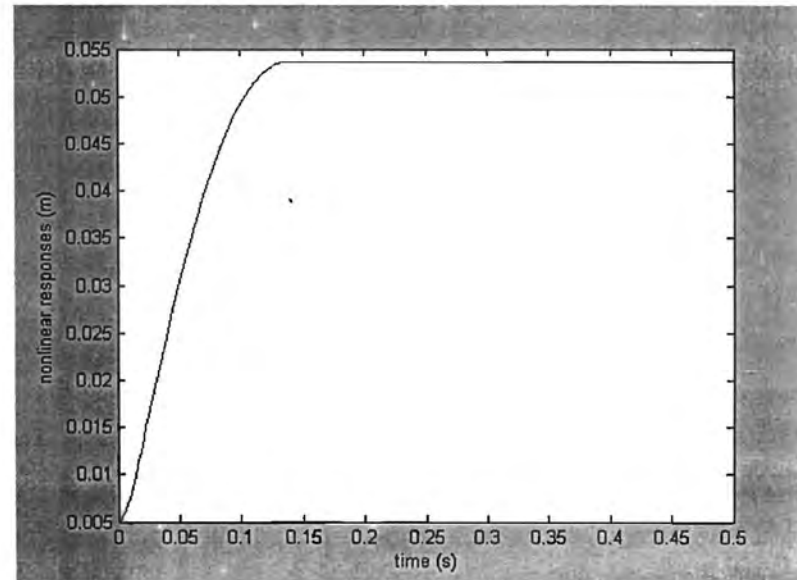
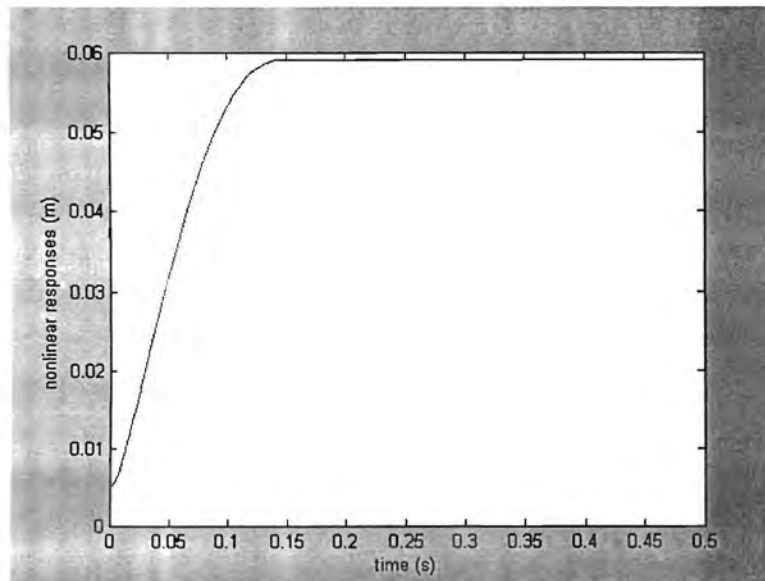
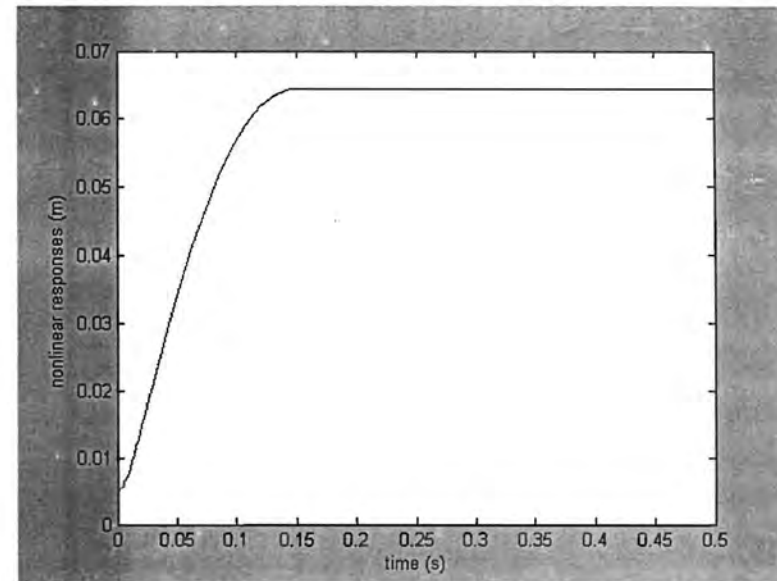
$I=0.392$  A



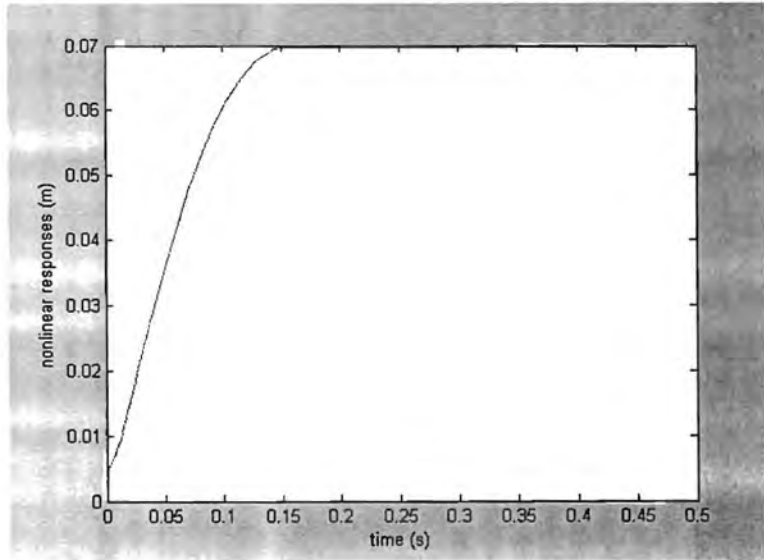
$I=0.336$  A

$I=0.448$  A

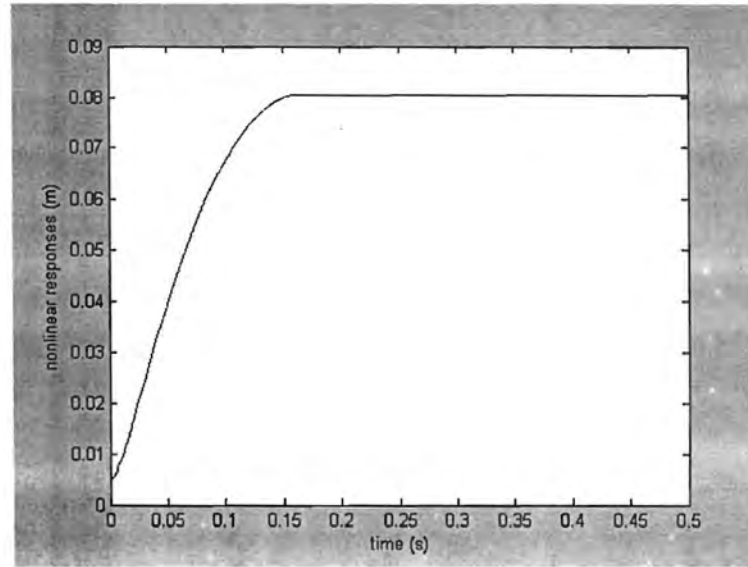


$I=0.504$  A $I=0.560$  A $I=0.616$  A $I=0.672$  A

I=0.728 A



I=0.84 A



## Features

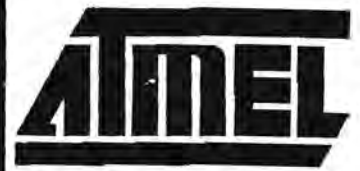
- Compatible with MCS-51™ Products
- 12K Bytes of In-System Reprogrammable Downloadable Flash Memory
  - SPI Serial Interface for Program Downloading
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 6V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Nine Interrupt Sources
- Programmable UART Serial Channel
- SPI Serial Interface
- Low Power Idle and Power Down Modes
- Interrupt Recovery From Power Down
- Programmable Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power Off Flag

## Description

The AT89S53 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 12K bytes of Downloadable Flash programmable and erasable read only memory. The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Downloadable Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Downloadable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S53 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT89S53 provides the following standard features: 12K bytes of Downloadable Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, programmable watchdog timer, two Data Pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S53 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset.

The Downloadable Flash can be changed a single byte at a time and is accessible through the SPI serial interface. Holding RESET active forces the SPI bus into a serial programming interface and allows the program memory to be written to or read from unless Lock Bit 2 has been activated.



**8-Bit  
Microcontroller  
with 12K Bytes  
Flash**

**AT89S53**

07875-B-12/97

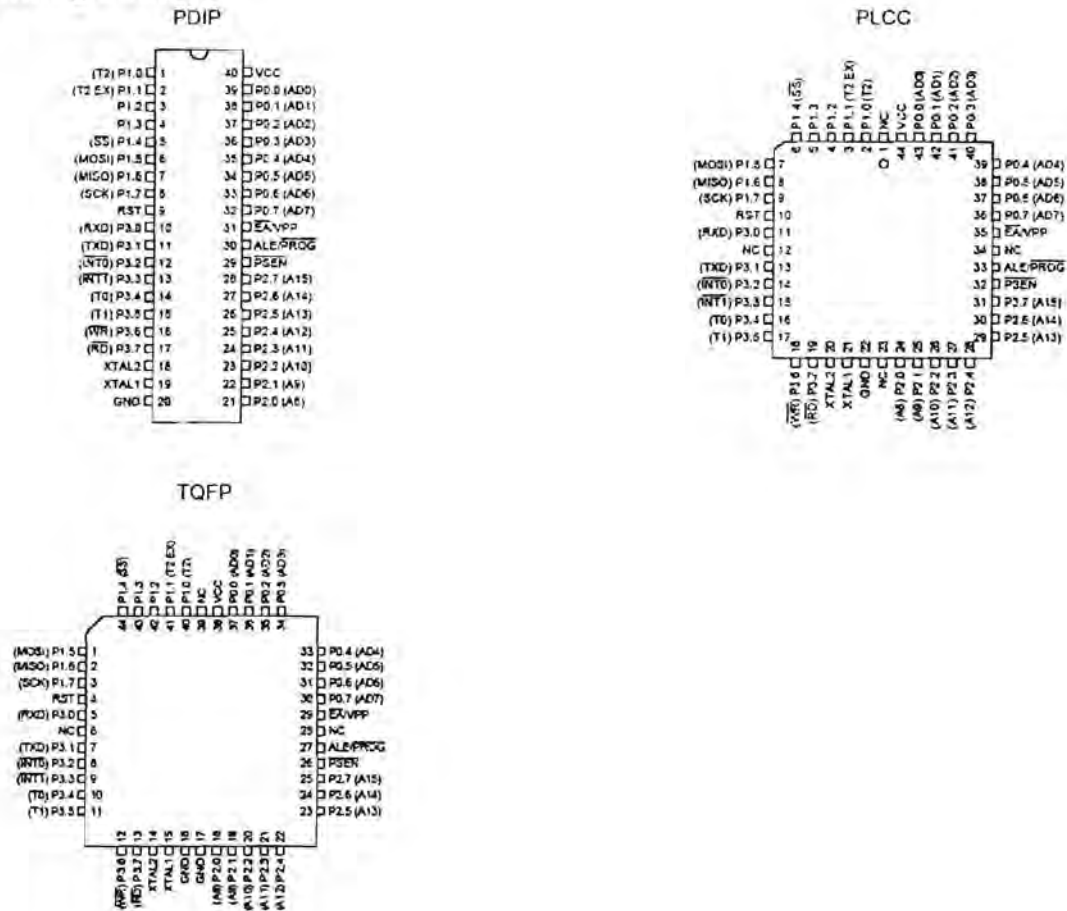


4-217





## Pin Configurations



### Pin Description

**V<sub>CC</sub>**  
Supply voltage.

**GND**  
Ground.

#### Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

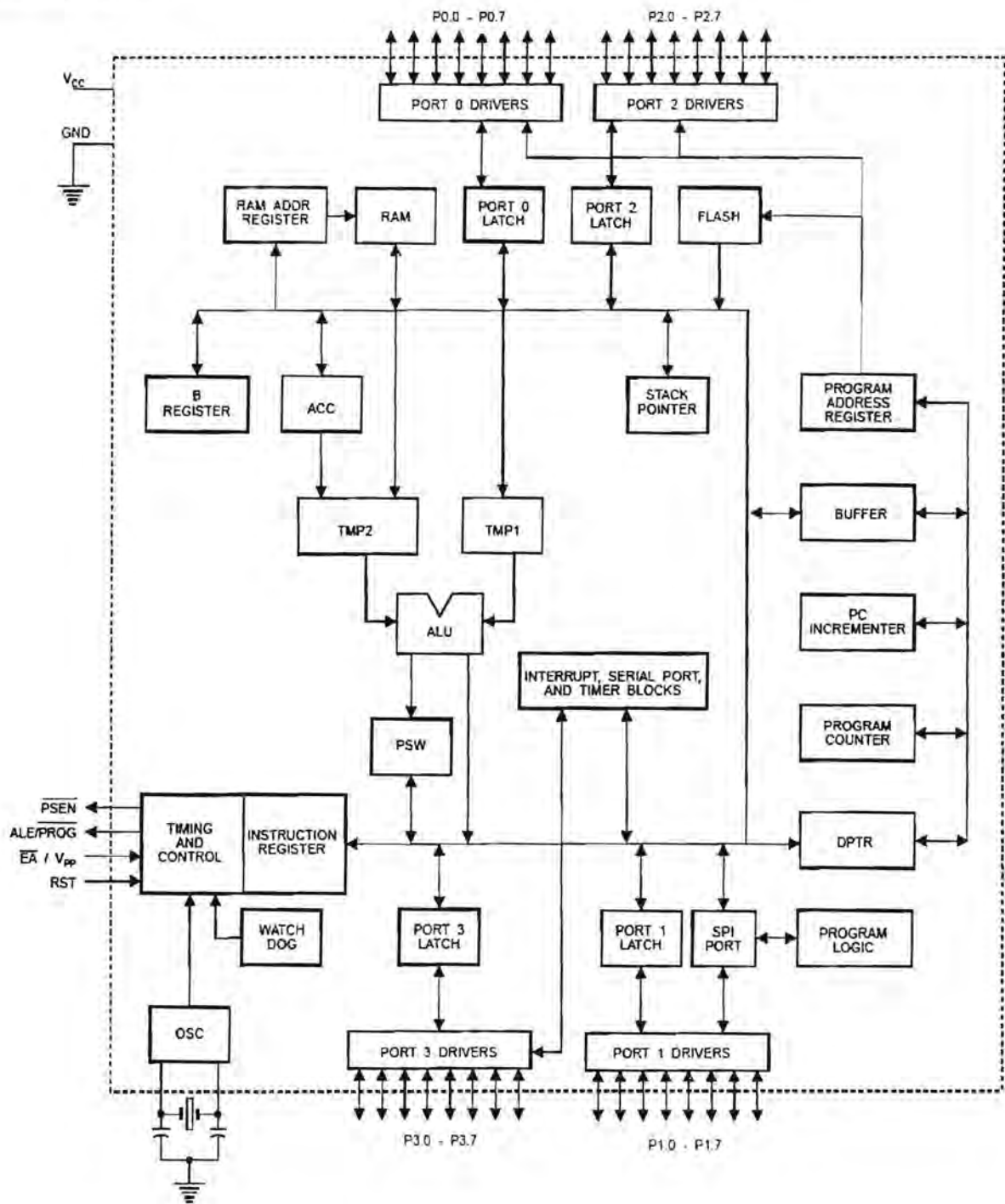
#### Port 1

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Some Port 1 pins provide additional functions. P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively.

## AT89S53

## Block Diagram





## Pin Description

Furthermore, P1.4, P1.5, P1.6, and P1.7 can be configured as the SPI slave port select, data input/output and shift clock input/output pins as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)
P1.4	$\overline{SS}$ (Slave port select input)
P1.5	MOSI (Master data output, slave data input pin for SPI channel)
P1.6	MISO (Master data input, slave data output pin for SPI channel)
P1.7	SCK (Master clock output, slave clock input pin for SPI channel)

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

### Port 2

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address bytes during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

### Port 3

Port 3 is an 8 bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S53, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

### RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

### ALE/PROG

Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ( $\overline{PROG}$ ) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

### $\overline{PSEN}$

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89S53 is executing code from external program memory,  $\overline{PSEN}$  is activated twice each machine cycle, except that two  $\overline{PSEN}$  activations are skipped during each access to external data memory.

### $\overline{EA}/V_{PP}$

External Access Enable.  $\overline{EA}$  must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed,  $\overline{EA}$  will be internally latched on reset.

$\overline{EA}$  should be strapped to  $V_{CC}$  for internal program executions. This pin also receives the 12-volt programming enable voltage ( $V_{PP}$ ) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

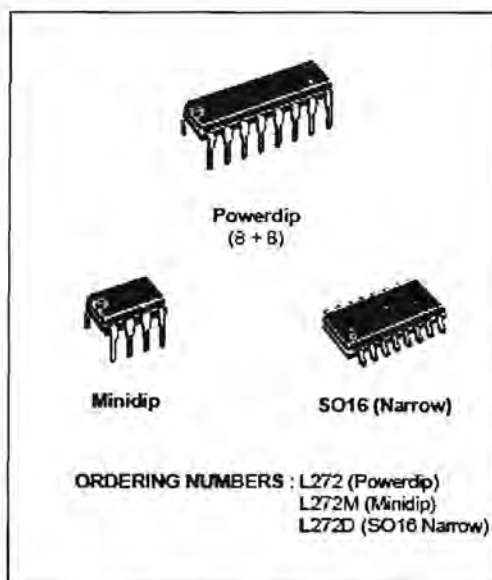
## DUAL POWER OPERATIONAL AMPLIFIERS

- OUTPUT CURRENT TO 1 A
- OPERATES AT LOW VOLTAGES
- SINGLE OR SPLIT SUPPLY
- LARGE COMMON-MODE AND DIFFERENTIAL MODE RANGE
- GROUND COMPATIBLE INPUTS
- LOW SATURATION VOLTAGE
- THERMAL SHUTDOWN

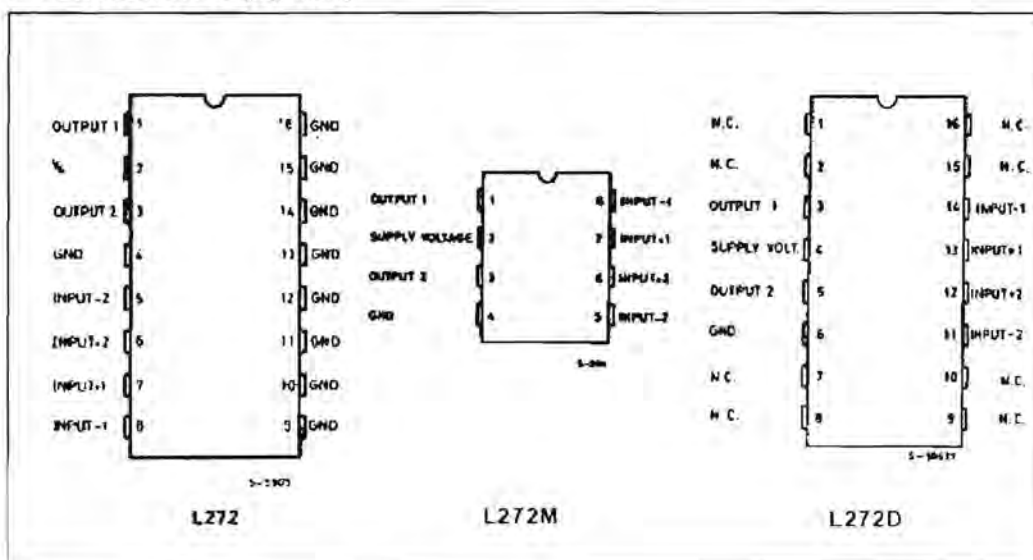
## DESCRIPTION

The L272 is a monolithic integrated circuits in Powerdip, Minidip and SO packages intended for use as power operational amplifiers in a wide range of applications including servo amplifiers and power supplies, compact disc, VCR, etc.

The high gain and high output power capability provide superior performance whatever an operational amplifier/power booster combination is required.

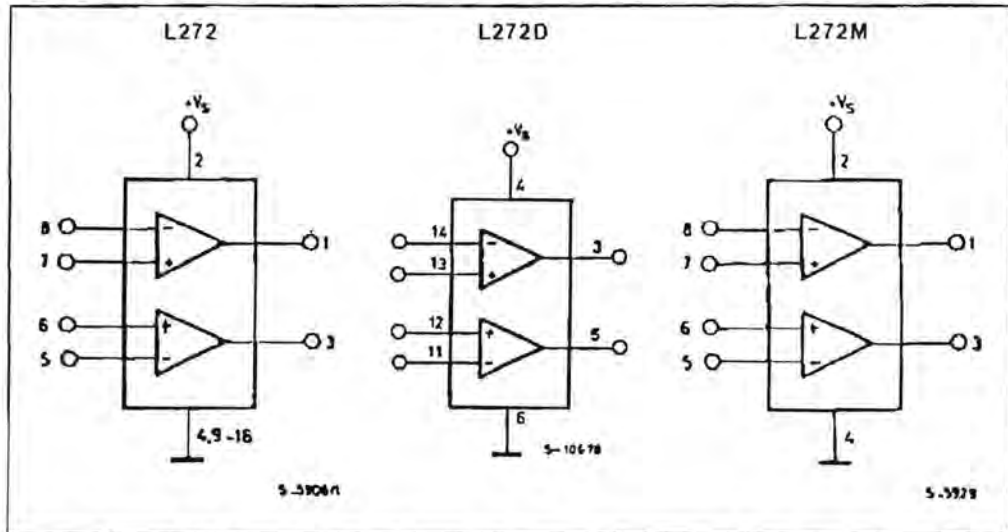


## PIN CONNECTIONS (top view)

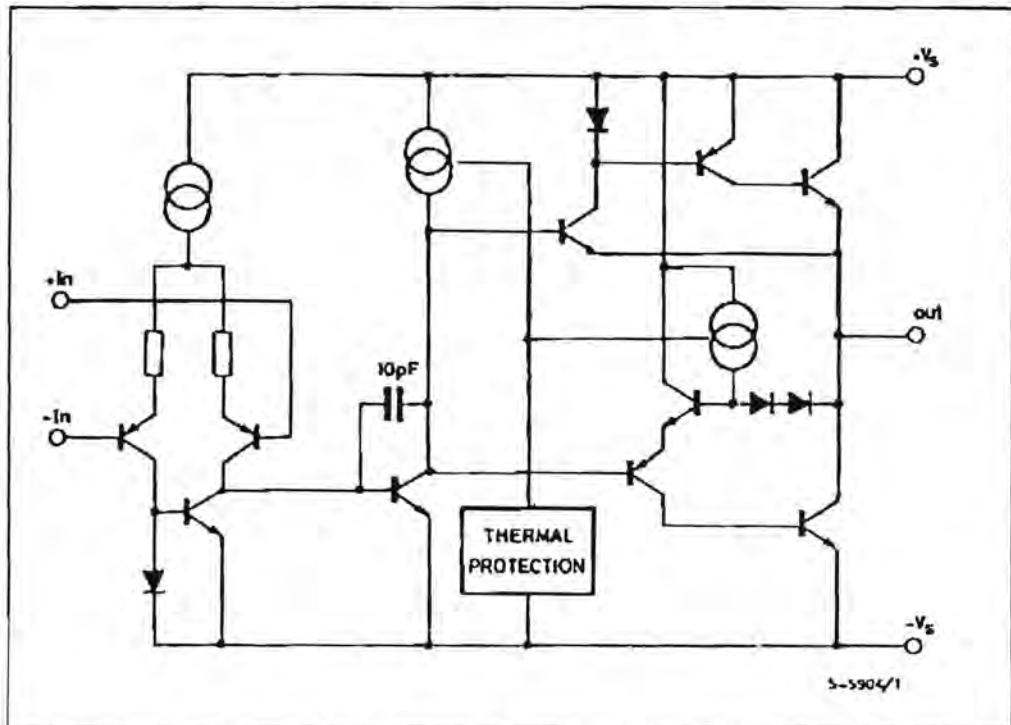


L272

BLOCK DIAGRAMS



SCHEMATIC DIAGRAM (one only)



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_s$	Supply Voltage	28	V
$V_i$	Input Voltage	$V_s$	
$V_i$	Differential Input Voltage	$\pm V_s$	
$I_o$	DC Output Current	1	A
$I_p$	Peak Output Current (non repetitive)	1.5	A
$P_{tot}$	Power Dissipation at: $T_{amb} = 80^\circ\text{C}$ (L272), $T_{amb} = 50^\circ\text{C}$ (L272M), $T_{case} = 90^\circ\text{C}$ (L272D) $T_{case} = 75^\circ\text{C}$ (L272)	1.2 5	W W
$T_{op}$	Operating Temperature Range (L272D)	-40 to 85	$^\circ\text{C}$
$T_{stg}, T_j$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ\text{C}$

## THERMAL DATA

Symbol	Parameter	Powerdip	SO16	Minidip	Unit
$R_{th\ j-case}$	Thermal Resistance Junction-pins Max.	15	-	* 70	$^\circ\text{C/W}$
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient Max.	70	-	100	$^\circ\text{C/W}$
$R_{th\ j-umina}$	Thermal Resistance Junction-alumina Max.	-	** 50	-	$^\circ\text{C/W}$

\* Thermal resistance junction-pin 4

\*\* Thermal resistance junctions-pins with the chip soldered on the middle of an alumina supporting substrate measuring 15x 20mm; 0.65mm thickness and infinite heatsink.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_s = 24\text{V}$ ,  $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_s$	Supply Voltage		4		28	V
$I_s$	Quiescent Drain Current	$V_o = \frac{V_s}{2}$ $V_s = 24\text{V}$ $V_s = 12\text{V}$		8 7.5	12 11	mA mA
$I_b$	Input Bias Current			0.3	2.5	$\mu\text{A}$
$V_{os}$	Input Offset Voltage			15	60	mV
$I_{os}$	Input Offset Current			50	250	nA
SR	Slew Rate			1		V/ $\mu\text{s}$
B	Gain-bandwidth Product			350		kHz
$R_i$	Input Resistance		500			k $\Omega$
$G_v$	O. L. Voltage Gain	$f = 100\text{Hz}$ $f = 1\text{kHz}$	60	70 50		dB dB
$e_n$	Input Noise Voltage	$B = 20\text{kHz}$		10		$\mu\text{V}$
$I_n$	Input Noise Current	$B = 20\text{kHz}$		200		pA
CRR	Common Mode Rejection	$f = 1\text{kHz}$	60	75		dB
SVR	Supply Voltage Rejection	$f = 100\text{Hz}$ , $R_G = 10\text{k}\Omega$ , $V_R = 0.5\text{V}$ $V_s = 24\text{V}$ $V_s = \pm 12\text{V}$ $V_s = \pm 6\text{V}$	54	70 62 56		dB
$V_o$	Output Voltage Swing	$I_o = 0.1\text{A}$ $I_o = 0.5\text{A}$	21	23 22.5		V V
$C_s$	Channel Separation	$f = 1\text{kHz}$ , $R_L = 10\Omega$ , $G_v = 30\text{dB}$ $V_s = 24\text{V}$ $V_s = \pm 6\text{V}$		60 60		dB
d	Distortion	$f = 1\text{kHz}$ , $G_v = 3\text{dB}$ , $V_s = 24\text{V}$ , $R_L = \infty$		0.5		%
$T_{sd}$	Thermal Shutdown Junction Temperature			145		$^\circ\text{C}$



L272

Figure 1 : Quiescent Current versus Supply Voltage

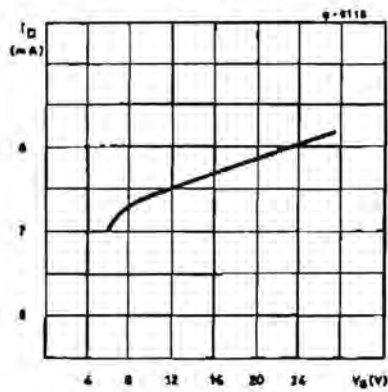


Figure 2 : Quiescent Drain Current versus Temperature

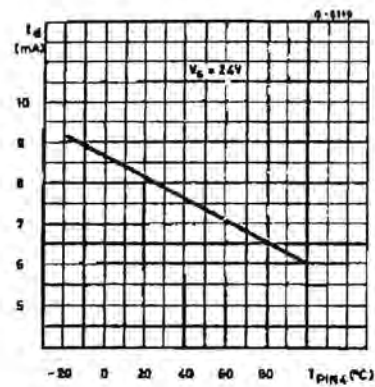


Figure 3 : Open Loop Voltage Gain

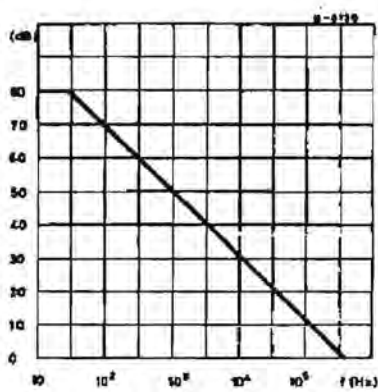


Figure 4 : Output Voltage Swing versus Load Current

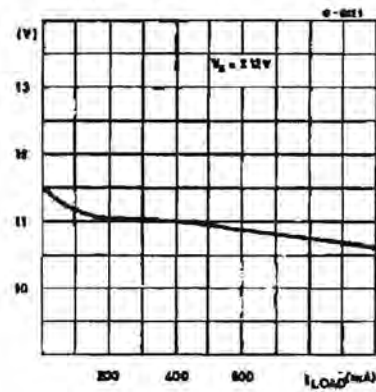


Figure 5 : Output Voltage Swing versus Load Current

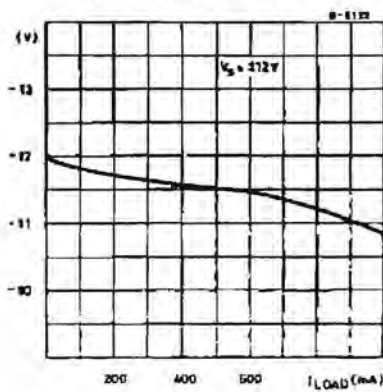
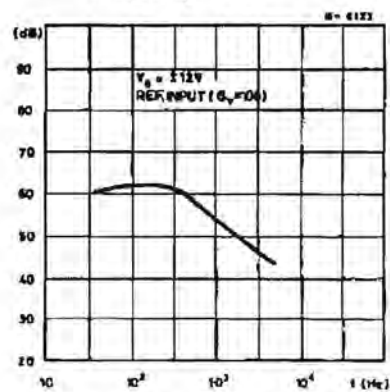


Figure 6 : Supply Voltage Rejection versus Frequency





## MINIATURE RELAY

### 2 POLES—1 to 2 A (FOR SIGNAL SWITCHING)

## RY SERIES

**RoHS Compliant**

#### ■ FEATURES

- Ultra high sensitivity
- UL, CSA recognized
- Conforms to FCC rules and regulations Part 68  
—Surge strength 1,500 V
- High dielectric strength type available (RY-WF type)
- Contact arrangement MBB type available (RY-D type)
- High reliability-bifurcated contacts
- Wide operating range
- DIL pitch terminals
- Plastic sealed type
- RoHS compliant since date code: 0438B9  
Please see page 8 for more information



#### ■ ORDERING INFORMATION

[Example]  $\frac{RY}{(a)}$  -  $\frac{12}{(*)}$   $\frac{WF}{(b)}$  -  $\frac{K}{(c)}$

(a)	Series Name	RY : RY Series
(b)	Nominal Voltage	Refer to the COIL DATA CHART
(c)	Coil and Contact Function	W : High sensitive type WZ : Nominal 0.5 W type WF : High dielectric strength type WFZ : 2 A type D : 2 FORM D (2 MBB type)
(d)	Enclosure	K : Plastic sealed type

Note: Actual marking omits the hyphen (-) of (\*)  
For movable and stationary contact with gold overlay type, add suffix "-OH".

### ■ SAFETY STANDARD AND FILE NUMBERS

UL478, 508 (File No. E45026)

C22.2 No. 14 (File No. LR35579)

Please request when the approval markings are required on the cover.

Please note that UL/CSA ratings may differ from the standard ratings.

Type	Nominal voltage	Contact rating*1	
RY-W RY-WZ	3 to 48 VDC	0.5 A 120 VAC 1 A 24 VDC 0.3 A 60 VDC	resistive
RY-WF	5 to 48 VDC	0.25 A 120 VAC 1 A 48 VDC 0.3 A 60 VDC	resistive
RY-WFZ	3 to 48 VDC	0.5 A 120 VAC 2 A 30 VDC 0.6 A 110 VDC	resistive
RY-D	4.5 to 48 VDC	0.3 A 120 VAC 0.2 A 60 VDC	resistive

Note: \*1 Contact ratings mentioned above are subject to same polarity.

# RY SERIES

## ■ SPECIFICATIONS

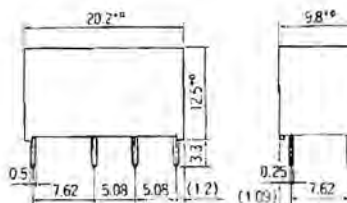
Item		High Sensitive Type	500 mW Type	High Dielectric Strength	2 A Type	Continuous (MBB) Type	
		RY-( ) W-K	RY-( ) WZ-K	RY-( ) WF-K	RY-( ) WFZ-K	RY-( ) D-K	
Contact	Arrangement	2 form C (DPDT)				2 Form D (2 MBB)	
	Material	Gold overlay silver-palladium			Gold overlay silver-nickel	Gold overlay silver-palladium	
	Style	Bifurcated				Single	
	Resistance (initial)	Maximum 100 mΩ (at 1 A 6 VDC)					
	Maximum Carrying Current	1.25 A			2 A	0.6 A	
	Rating	1 A 24 VD 0.5 A 120 VAC		1 A 24 VDC 0.25 A 120 VAC	2 A 30 VDC 0.5 A 125 VAC	0.15 A 48 VDC 0.3 A 120 VAC	
	Maximum Switching Power	60 VA/24 W		30 VA/24 W	62.5 VA/60 W		36 VA/7.2 W
	Maximum Switching Voltage	120 VAC, 60 VDC			125 VAC, 150 VDC		
	Maximum Switching Current	1 A			2 A	0.6 A	
	Minimum Switching Load <sup>1</sup>	0.01 mA 10 mVDC				0.1 mA 10 mVDC	
	Capacitance	Approx. 0.9 pF (between open contacts) 1.4 pF (adjacent contacts) Approx. 1.9 pF (between coil and contacts)					
	Coil	Nominal Power (at 20°C)	0.15 to 0.30 W	0.5 to 0.58 W	0.45 to 0.46 W	0.5 to 0.58 W	0.45 to 0.48 W
Operate Power (at 20°C)		0.075 to 0.14 W	0.125 to 0.145 W	0.2 to 0.21 W	0.2 to 0.324 W	0.2 to 0.21 W	
Operating Temperature (No frost)		-30°C to +90°C		-30°C to +60°C (refer to the CHARACTERISTIC DATA)		-30°C to +70°C	
Time Value	Operate (at nominal voltage)	Maximum 5 ms					
	Release (at nominal voltage)	Maximum 3 ms					
Insulation	Resistance (at 500 VDC)	Minimum 1,000 MΩ					
	Dielectric Strength	between open contacts	AC 500 V 1 minute	1,000 VAC 1 minute	500 VAC 1 minute		
		between adjacent contacts	1,000 VAC 1 minute				
		between coil and contacts	1,000 VAC 1 minute				
Surge Strength	1,500 V						
Life	Mechanical	2 × 10 <sup>7</sup> ops. min. 1 × 10 <sup>7</sup> operations minimum				1 × 10 <sup>6</sup> ops. min.	
	Electrical (at contact rating)	2 × 10 <sup>6</sup> ops. min. (0.5 A 120 VAC) 5 × 10 <sup>6</sup> ops. min. (1 A 24 VDC)	5 × 10 <sup>5</sup> ops. min. (0.25 A 120 VAC) 1 A 24 VDC	1 × 10 <sup>5</sup> ops. min. (2 A 30 VDC)	2 × 10 <sup>5</sup> ops. min. (0.3 A 120 VAC) 5 × 10 <sup>5</sup> ops. min. (0.15 A 48 VDC)		
Other	Vibration	Misoperation	10 to 55 Hz (double amplitude of 1.5 mm)				
	Resistance	Endurance	10 to 55 Hz (double amplitude of 4.5 mm)				
	Shock	Misoperation	100 m/s <sup>2</sup> (11±1 ms)				
	Resistance	Endurance	1,000 m/s <sup>2</sup> ( 6±1 ms)				
	Weight	Approximately 5 g					

<sup>1</sup> Minimum switching loads mentioned above are reference values. Please perform the confirmation test with the actual load before production since reference values may vary according to switching frequencies, environmental conditions and expected reliability levels.

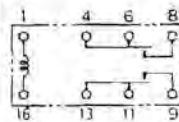
3

## ■ DIMENSIONS

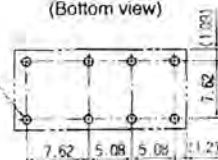
### ● Dimensions



### ● Schematics (Bottom view)



### ● PC board mounting hole layout (Bottom view)



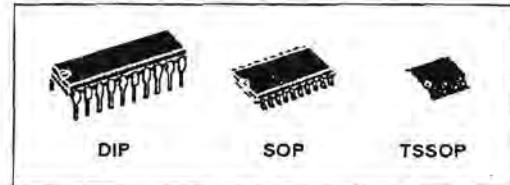
Unit: mm



## M74HC573

### OCTAL D-TYPE LATCH WITH 3 STATE OUTPUT NON INVERTING

- HIGH SPEED:  
 $t_{PD} = 13\text{ns}$  (TYP.) at  $V_{CC} = 6\text{V}$
- LOW POWER DISSIPATION:  
 $I_{CC} = 4\mu\text{A}$  (MAX.) at  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- HIGH NOISE IMMUNITY:  
 $V_{NIH} = V_{NIL} = 28\%$   $V_{CC}$  (MIN.)
- SYMMETRICAL OUTPUT IMPEDANCE:  
 $|I_{OH}| = I_{OL} = 6\text{mA}$  (MIN)
- BALANCED PROPAGATION DELAYS:  
 $t_{PLH} \approx t_{PHL}$
- WIDE OPERATING VOLTAGE RANGE:  
 $V_{CC}$  (OPR) = 2V to 6V
- PIN AND FUNCTION COMPATIBLE WITH 74 SERIES 573



#### ORDER CODES

PACKAGE	TUBE	T & R
DIP	M74HC573B1R	
SOP	M74HC573M1R	M74HC573RM13TR
TSSOP		M74HC573TTR

#### DESCRIPTION

The M74HC573 is an high speed CMOS OCTAL LATCH WITH 3-STATE OUTPUTS fabricated with silicon gate C<sup>2</sup>MOS technology.

This 8-BIT D-Type latches is controlled by a latch enable input (LE) and output enable input ( $\overline{OE}$ ).

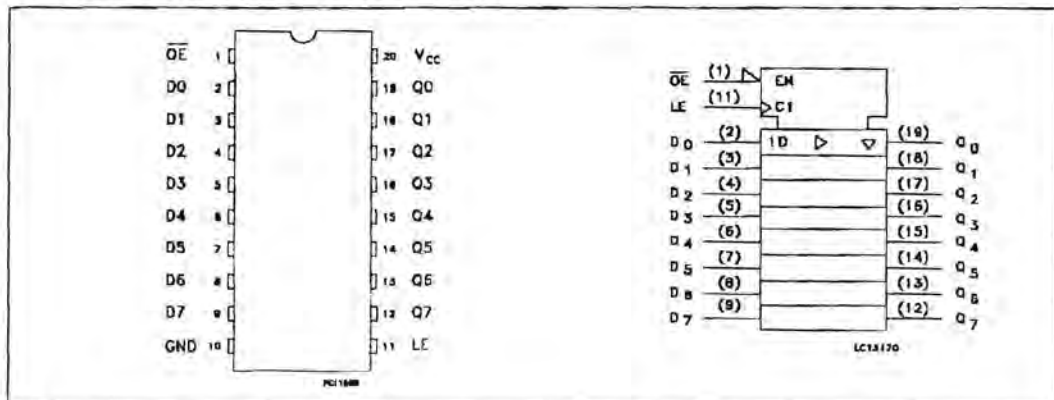
While the LE input is held at a high level, the Q outputs will follow the data input precisely. When LE is taken low, the Q outputs will be latched precisely at the logic level of D input data.

While the  $\overline{OE}$  input is at low level, the eight outputs will be in a normal logic state (high or low logic level) and while is at high level the outputs will be in a high impedance state.

The 3-State output configuration and the wide choice of outline make bus organized system simple.

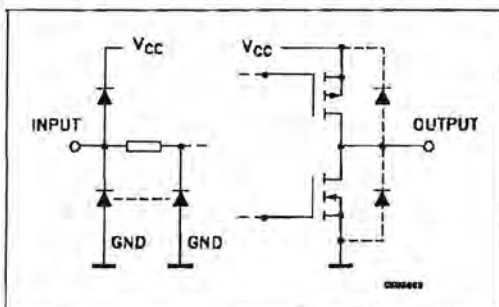
All inputs are equipped with protection circuits against static discharge and transient excess voltage.

#### PIN CONNECTION AND IEC LOGIC SYMBOLS



M74HC573

INPUT AND OUTPUT EQUIVALENT CIRCUIT



PIN DESCRIPTION

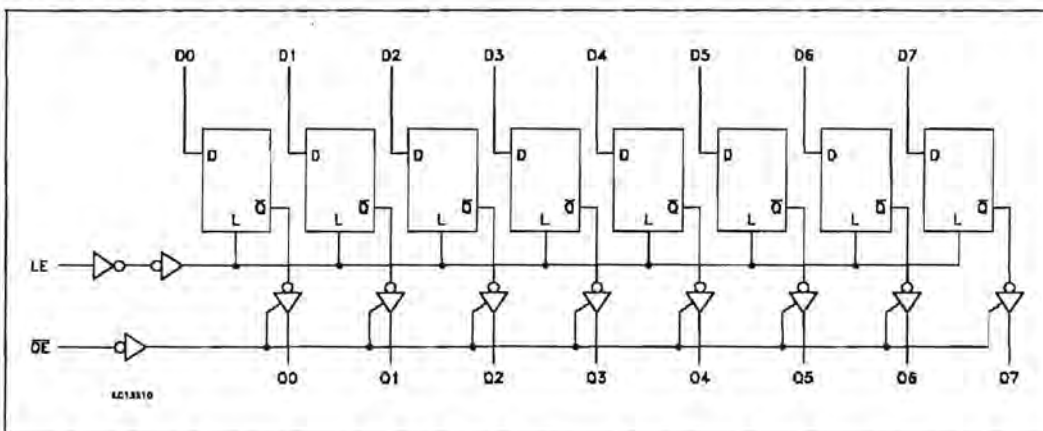
PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1	OE	3 State Output Enable Input (Active LOW)
2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	D0 to D7	Data Inputs
12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19	Q0 to Q7	3 State Latch Outputs
11	LE	Latch Enable Input
10	GND	Ground (0V)
20	V <sub>CC</sub>	Positive Supply Voltage

TRUTH TABLE

INPUTS			OUTPUTS
OE	LE	D	Q
H	X	X	Z
L	L	X	NO CHANGE (*)
L	H	L	L
L	H	H	H

X: Don't Care  
 Z: High Impedance  
 (\*): Q Outputs are latched at the time when the LE input is taken low logic level.

LOGIC DIAGRAM



## M74HC573

## DC SPECIFICATIONS

Symbol	Parameter	Test Condition		Value						Unit		
				T <sub>A</sub> = 25°C			-40 to 85°C		-55 to 125°C			
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.		Max.	
V <sub>IH</sub>	High Level Input Voltage	2.0					1.5		1.5		V	
		4.5					3.15		3.15			
		6.0					4.2		4.2			
V <sub>IL</sub>	Low Level Input Voltage	2.0							0.5		0.5	V
		4.5							1.35		1.35	
		6.0							1.8		1.8	
V <sub>OH</sub>	High Level Output Voltage	2.0	I <sub>O</sub> = -20 μA	1.9	2.0		1.9		1.9		V	
		4.5	I <sub>O</sub> = -20 μA	4.4	4.5		4.4		4.4			
		6.0	I <sub>O</sub> = -20 μA	5.9	6.0		5.9		5.9			
		4.5	I <sub>O</sub> = -6.0 mA	4.18	4.31		4.13		4.10			
		6.0	I <sub>O</sub> = -7.8 mA	5.68	5.8		5.63		5.60			
V <sub>OL</sub>	Low Level Output Voltage	2.0	I <sub>O</sub> = 20 μA		0.0	0.1		0.1		0.1	V	
		4.5	I <sub>O</sub> = 20 μA		0.0	0.1		0.1		0.1		
		6.0	I <sub>O</sub> = 20 μA		0.0	0.1		0.1		0.1		
		4.5	I <sub>O</sub> = 6.0 mA		0.17	0.26		0.33		0.40		
		6.0	I <sub>O</sub> = 7.8 mA		0.18	0.26		0.33		0.40		
I <sub>I</sub>	Input Leakage Current	6.0	V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or GND			± 0.1		± 1		± 1	μA	
I <sub>OZ</sub>	High Impedance Output Leakage Current	6.0	V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> V <sub>O</sub> = V <sub>CC</sub> or GND			± 0.5		± 5		± 10	μA	
I <sub>CC</sub>	Quiescent Supply Current	6.0	V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or GND			4		40		80	μA	



## Octal High Voltage, High Current Darlington Transistor Arrays

The eight NPN Darlington connected transistors in this family of arrays are ideally suited for interfacing between low logic level digital circuitry (such as TTL, CMOS or PMOS/NMOS) and the higher current/voltage requirements of lamps, relays, printer hammers or other similar loads for a broad range of computer, industrial, and consumer applications. All devices feature open-collector outputs and free wheeling clamp diodes for transient suppression.

The ULN2803 is designed to be compatible with standard TTL families while the ULN2804 is optimized for 6 to 15 volt high level CMOS or PMOS.

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  and rating apply to any one device in the package, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Output Voltage	$V_O$	50	V
Input Voltage (Except ULN2801)	$V_I$	30	V
Collector Current - Continuous	$I_C$	500	mA
Base Current - Continuous	$I_B$	25	mA
Operating Ambient Temperature Range	$T_A$	0 to +70	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature	$T_J$	125	$^\circ\text{C}$

$R_{\theta JA} = 55^\circ\text{C/W}$   
Do not exceed maximum current limit per driver.

### ORDERING INFORMATION

Device	Characteristics		
	Input Compatibility	$V_{CE(\text{Max})}/I_C(\text{Max})$	Operating Temperature Range
ULN2803A	TTL, 5.0 V CMOS	50 V/500 mA	$T_A = 0 \text{ to } +70^\circ\text{C}$
ULN2804A	6 to 15 V CMOS, PMOS		

Order this document by ULN2803/D

## ULN2803 ULN2804

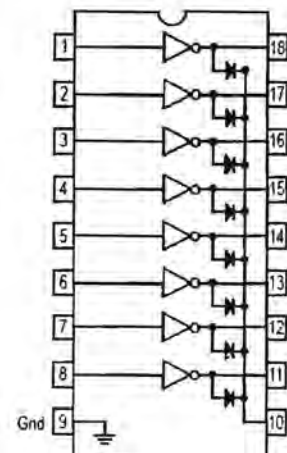
### OCTAL PERIPHERAL DRIVER ARRAYS

#### SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



A SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 707

### PIN CONNECTIONS





ULN2803 ULN2804

TEST FIGURES

(See Figure Numbers in Electrical Characteristics Table)

Figure 1.

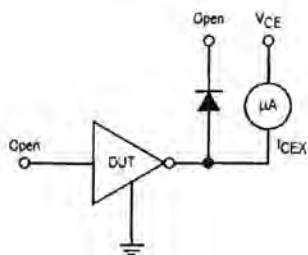


Figure 2.

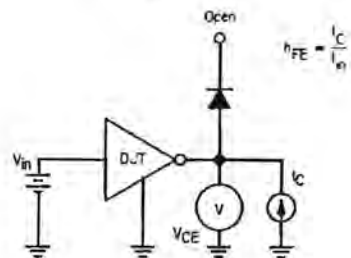


Figure 3.

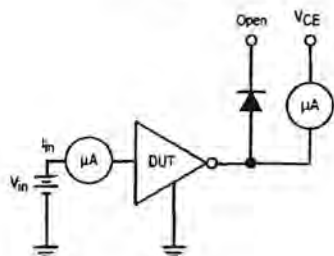


Figure 4.

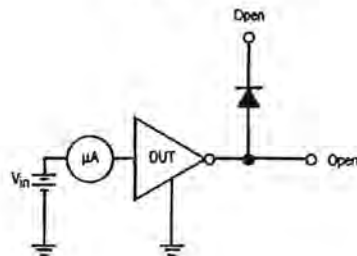


Figure 5.

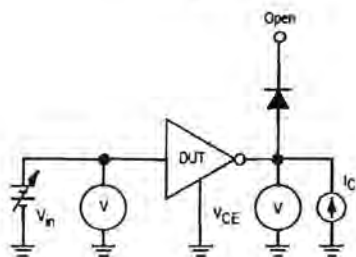


Figure 6.

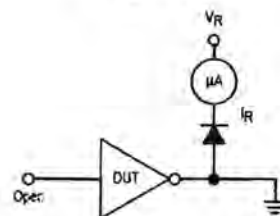
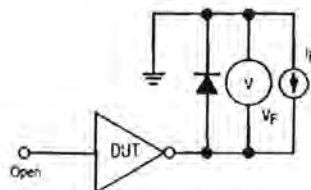


Figure 7.



**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR

**LM317T (KA317)  
Adjustable Voltage  
Regulator (Positive)**



TO-220

**3-TERMINAL POSITIVE ADJUSTABLE  
REGULATOR**

This monolithic integrated circuit is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator designed to supply 2.2A typical of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37V. It employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area compensation.

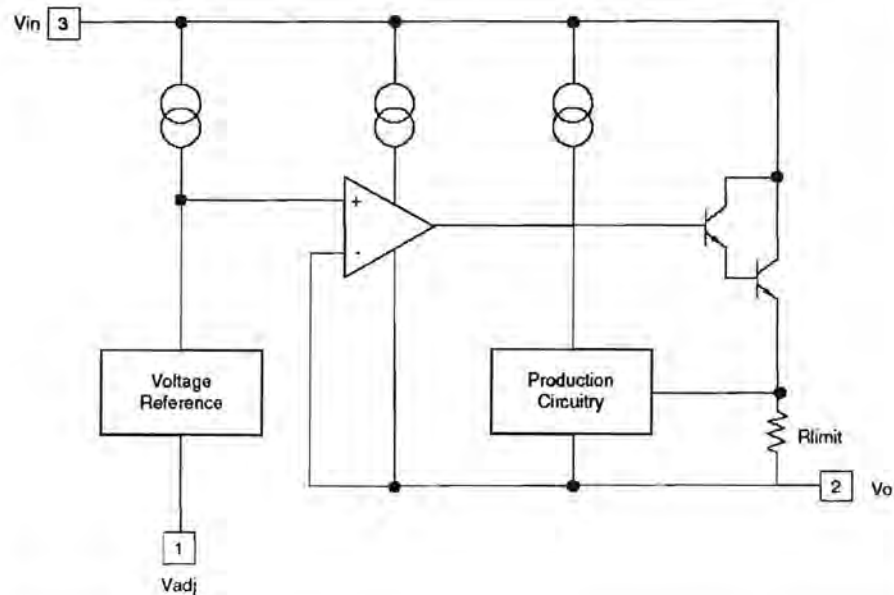
**FEATURES**

- Output Current 2.2A Typical
- Output Adjustable Between 1.2V and 37V
- Internal Thermal-Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current-Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- TO-220 Package

**ORDERING INFORMATION**

Device	Package	Operating Temperature
LM317T (KA317)	TO-220	0°C ~ +125°C

**BLOCK DIAGRAM**



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Input-Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	40	V
Lead Temperature	$T_{LEAD}$	230	$^\circ\text{C}$
Power Dissipation	$P_D$	Internally limited	W
Operating Temperature Range	$T_{OPR}$	0 - +125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{STG}$	-65 - +125	$^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Output Voltage	$V_O/T$	0.02	$\%/^\circ\text{C}$

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V<sub>I</sub> - V<sub>O</sub> = 5V, I<sub>O</sub> = 0.5A, 0 $^\circ\text{C}$   $\leq$  T<sub>J</sub>  $\leq$  +125 $^\circ\text{C}$ , I<sub>MAX</sub> = 1.5A, P<sub>MAX</sub> = 20W, unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Line Regulation	R <sub>LINE</sub>	T <sub>A</sub> = +25 $^\circ\text{C}$ 3V $\leq$ V <sub>I</sub> - V <sub>O</sub> $\leq$ 40V		0.01	0.04	$\%/V$
		3V $\leq$ V <sub>I</sub> - V <sub>O</sub> $\leq$ 40V		0.02	0.07	$\%/V$
Load Regulation	R <sub>LOAD</sub>	T <sub>A</sub> = +25 $^\circ\text{C}$ , 10mA $\leq$ I <sub>O</sub> $\leq$ I <sub>MAX</sub> V <sub>O</sub> < 5V V <sub>O</sub> $\geq$ 5V		18 0.4	25 0.5	mV $\%/V_O$
		10mA $\leq$ I <sub>O</sub> $\leq$ I <sub>MAX</sub> V <sub>O</sub> < 5V V <sub>O</sub> $\geq$ 5V		40 0.8	70 1.5	mV $\%/V_O$
Adjustable Pin Current	I <sub>ADJ</sub>			46	100	$\mu\text{A}$
Adjustable Pin Current Change	$\Delta I_{ADJ}$	3V $\leq$ V <sub>I</sub> - V <sub>O</sub> $\leq$ 40V 10mA $\leq$ I <sub>O</sub> $\leq$ I <sub>MAX</sub> P $\leq$ P <sub>MAX</sub>		2.0	5	$\mu\text{A}$
Reference Voltage	V <sub>REF</sub>	3V $\leq$ V <sub>IN</sub> - V <sub>OUT</sub> $\leq$ 40V 10mA $\leq$ I <sub>O</sub> $\leq$ I <sub>MAX</sub> P <sub>D</sub> $\leq$ P <sub>MAX</sub>	1.20	1.25	1.30	V
Temperature Stability	ST <sub>I</sub>			0.7		$\%/V_O$
Minimum Load Current to Maintain Regulation	L <sub>(MIN)</sub>	V <sub>I</sub> - V <sub>O</sub> = 40V		3.5	12	mA
Maximum Output Current	I <sub>O(MAX)</sub>	V <sub>I</sub> - V <sub>O</sub> $\leq$ 15V, P <sub>D</sub> $\leq$ P <sub>MAX</sub> V <sub>I</sub> - V <sub>O</sub> $\leq$ 40V, P <sub>D</sub> $\leq$ P <sub>MAX</sub> , T <sub>A</sub> = 25 $^\circ\text{C}$	1.0	2.2 0.3		A
RMS Noise, % of V <sub>OUT</sub>	e <sub>N</sub>	T <sub>A</sub> = +25 $^\circ\text{C}$ , 10Hz $\leq$ f $\leq$ 10KHz		0.003	0.01	$\%/V_O$
Ripple Rejection	RR	V <sub>O</sub> = 10V, f = 120Hz without C <sub>ADJ</sub> C <sub>ADJ</sub> = 10 $\mu\text{F}$		60 75		dB
Long-Term Stability, T <sub>J</sub> = T <sub>HIGH</sub>	ST	T <sub>A</sub> = +25 $^\circ\text{C}$ for end point measurements, 1000HR		0.3	1	%
Thermal Resistance Junction to Case	R <sub>θJC</sub>			5		$^\circ\text{C/W}$

\* Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V<sub>O</sub> due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used. (P<sub>MAX</sub> = 20W)

## TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Fig. 1 Load Regulation

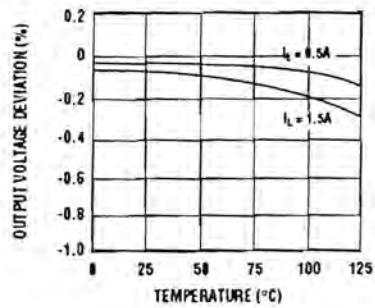


Fig. 2 Adjustment Current

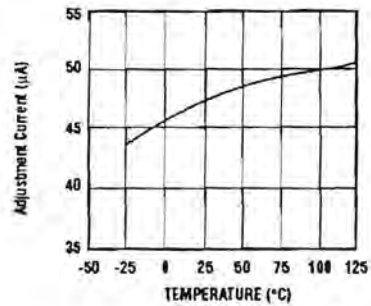


Fig. 3 Dropout Voltage

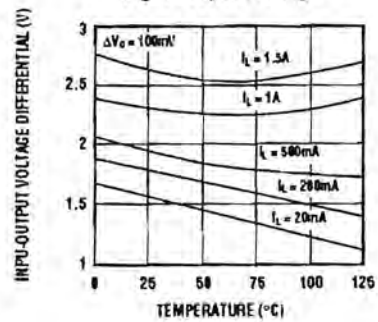
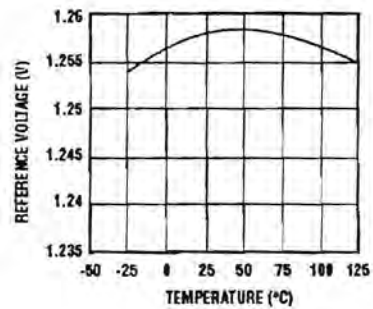


Fig. 4 Reference Voltage



## Typical Application

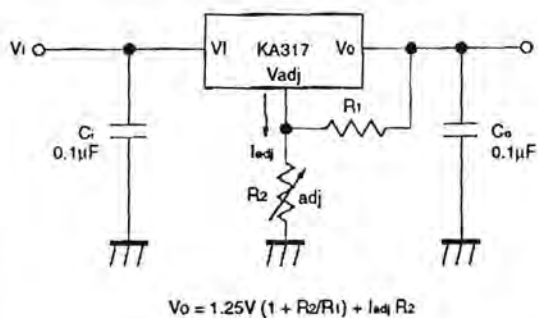

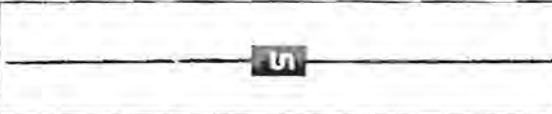
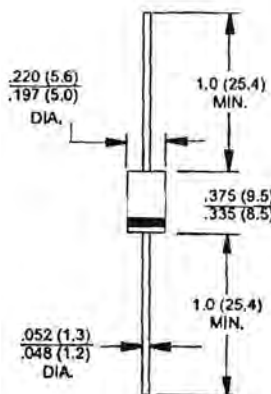


Fig. 5 Programmable Regulator

$C_i$  is required when regulator is located at an appreciable distance from the power supply filter.

$C_o$  improves transient response by reducing AC noise which is present at the output.

Since  $I_{ADJ}$  is controlled to less than  $100\mu A$ , the error associated with this term is negligible in most applications.

 <b>FR301 THRU FR307</b> <b>3.0 AMPS. Fast Recovery Rectifiers</b>									
	Voltage Range 50 to 1000 Volts Current 3.0 Amperes <b>DO-201AD</b>								
<b>Features</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ Low forward voltage drop</li> <li>◇ High current capability</li> <li>◇ High reliability</li> <li>◇ High surge current capability</li> </ul>									
<b>Mechanical Data</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ Cases: Molded plastic</li> <li>◇ Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant</li> <li>◇ Lead: Axial leads, solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed</li> <li>◇ Polarity: Color band denotes cathode end</li> <li>◇ High temperature soldering guaranteed: 250°C/10 seconds/.375" (9.5mm) lead lengths at 5 lbs. (2.3kg) tension</li> <li>◇ Weight: 1.2 grams</li> </ul>									
<b>Dimensions in inches and (millimeters)</b>									
<b>Maximum Ratings and Electrical Characteristics</b> Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified. Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load. For capacitive load, derate current by 20%									
<b>Type Number</b>	FR301	FR302	FR303	FR304	FR305	FR306	FR307	Units	
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V	
Maximum DC Blocking Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum Average Forward Rectified Current .375" (9.5mm) Lead Length @ T <sub>A</sub> = 55°C								3.0	A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms Single Half Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)								150	A
Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 3.0A								1.2	V
Maximum DC Reverse Current @ T <sub>A</sub> =25°C at Rated DC Blocking Voltage @ T <sub>A</sub> =100°C								10	uA
								150	uA
Maximum Reverse Recovery Time ( Note 1 )					150	250	500	nS	
Typical Junction Capacitance ( Note 2 )								60	pF
Operating Temperature Range T <sub>J</sub>								-65 to +125	°C
Storage Temperature Range T <sub>STG</sub>								-65 to +150	°C

Notes: 1. Reverse Recovery Test Conditions: I<sub>F</sub>=0.5A, I<sub>R</sub>=1.0A, I<sub>RR</sub>=0.25A

2. Measured at 1 MHz and Applied Reverse Voltage of 4.0 Volts D.C.



RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (FR301 THRU FR307)

FIG. 1- MAXIMUM FORWARD CURRENT DERATING CURVE

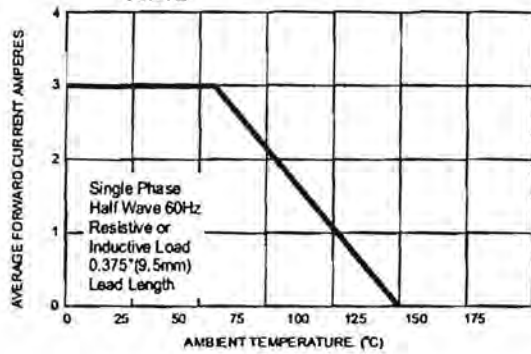


FIG. 2- MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

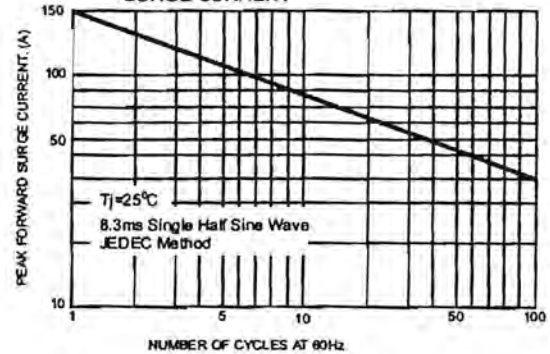


FIG. 3- TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS

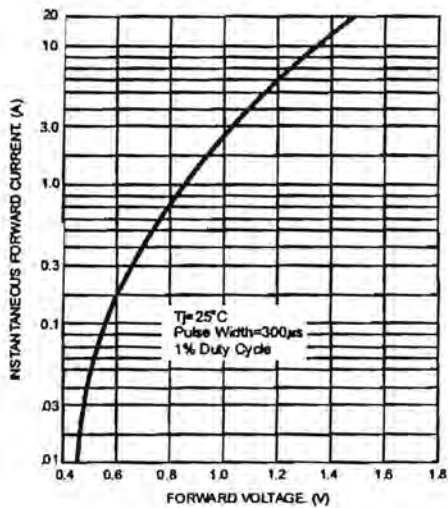


FIG. 4- TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE

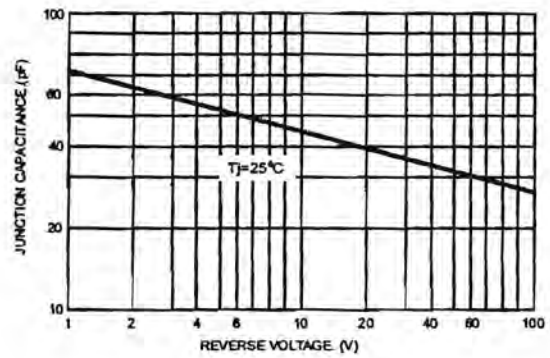


FIG. 5- REVERSE RECOVERY TIME CHARACTERISTIC AND TEST CIRCUIT DIAGRAM

