



ปีการศึกษา 2532

แขนกล
(ROBOT ARM)

โดย

นายประวิทย์	นายวิรัชกุล	29-1124
นายรักเกียรติ	ศรีมหาฤกษ์	29-1170
นายอวาม	ห่อประเสริฐ	29-1306

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.โสภณ เปรมปราณีรัตน์

ศจ.ดร.โทษโธะ อธิจิมา

ผศ.ดร.จงกล งามวิวิทย์

ปริญญานิพนธ์

ปีการศึกษา 2532

ภาควิชา

วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

ROBOT ARM

ผู้จัดทำ

นายประวิทย์ นาควิรัชกุล 29-1124

นายรักเกียรติ ตริมหาฤกษ์ 29-1170

นายอร่าม ห่อประเสริฐ 29-1306

..... (อาจารย์ที่ปรึกษา)
(รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์)

แกนกลาง

ประวิทย์ นาดวิริยกุล

รักเกียรติ ตริมหาฤกษ์

อร่าม ห่อประเสริฐ

รศ.ดร.โยธิน เปรมปราชญ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ศจ.ดร.โทษโธะ อธิจิมา อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.จงบกล งามวิวิทย์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

โครงการงานวิจัยนี้เป็นการศึกษา และออกแบบแขนกล(Robot Arm) ประเภท คล้ายกับแขนมนุษย์ ให้มีองศาแห่งความเป็นอิสระ (Degrees of Freedom)เท่ากับ 5 ใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor) ชนิด ไฮบริด(Hybrid) 4 เฟสเป็น ตัวขับเคลื่อน และจะขับเคลื่อนกระดุนทีละ 2 เฟส โดยใช้ยูนีเวอร์แซล คอนโทรลเลอร์ (UNIVERSAL CONTROLLER; PMH 8713) ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูปสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ ที่ต้องการวางจอร์ไฟฟ้าเพิ่มเติมอีกเพียงเล็กน้อย ของบริษัท ซันโย เดนกิ จำกัด (SANYO DENKI CO.,LTD.) การควบคุมแขนกลกระทำได้โดยผ่านทางไมโครคอมพิวเตอร์ โดยชิปจะสั่งงาน 8253เป็นขั้นแรก และต่อจากนั้น 8253 จะทำการสั่งงาน PMH 8713 ในขั้นต่อมาเพื่อขับเคลื่อนสเต็ปเปอร์มอเตอร์ให้หมุน ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ในอัตราเร็วที่กำหนด

ในส่วนโครงสร้างของแขนกล ได้ทำการออกแบบตามหลักการออกแบบเครื่องจักรกล ทำการเขียนแบบด้วยโปรแกรมออโตแคด (AUTOCAD Release 10 & V 2.6) ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนการออกแบบทั้ง โครงสร้าง, ระบบขับเคลื่อนและส่วนควบคุม และผลการทดลองจะนำเสนออยู่ในปฏิทินฉบับนี้

ROBOT ARM

Pravit Nardviriyakul

Rakkiat Trimahaloek

Ararn Horprasert

Associate Professor Yothin Prempraneratch, Dr. Eng. Advisor

Professor Toshio Iijima, Dr. Eng. Advisor

Assistant Professor Jongol Ngamvivit, Dr. Eng. Advisor

1989

ABSTRACT

This project involves studying and designing of the Robot-Arm, revolute type (general purpose), which has 5 degree of freedom. We use the hybrid 4 phase stepper motor as the driver and is controlled in 2-phase excitation mode by the Universal Controller PMM 8713, that is manufactured by Sanyo Denki Co., Ltd, which need more a few circuit for it. We can control the Robot-Arm via PC micro computer. The first step CPU command the 8253 (Intel) such as which motor do we need to drive, which speed do we want to drive, where do we want stop the motor (position). And then the 8253 will command the PMM 8713 each. This step is the second step.

- For the structure of the Robot-Arm is designed in standard of machine design. Use the Auto-Cad Release 10 and V2.6. The details about the steps of design both mechanical and electronic are also shown in this thesis.

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1	บทนำ.....	1
บทที่ 2	ทฤษฎี คำจำกัดความ และประเภทของแขนกล.....	5
บทที่ 3	ทฤษฎี และหลักการทำงานของสแตปเปอร์มอเตอร์.....	19
	ตัวขับเคลื่อน (Driver).....	29
	ไอซี 8253.....	32
บทที่ 4	การออกแบบส่วนประกอบส่วนต่างๆของแขนกล.....	33
บทที่ 5	วิธีวิเคราะห์ และออกแบบวงจรขับเคลื่อนสแตปเปอร์มอเตอร์.....	55
	การออกแบบวงจรต่อเชื่อมระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ เข้ากับ INTEL 8253.....	55
บทที่ 6	การทดลอง และผลการทดลอง.....	61
บทที่ 7	สรุป และวิจารณ์.....	67
ภาคผนวก ก.....		68
ภาคผนวก ข.....		106
กิตติกรรมประกาศ.....		189
หนังสืออ้างอิง.....		190

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 1

บทนำ.....	
รูปที่ 1.1 แขนกลที่มีตัวตรวจจับสัญญาณ PUMA.....	1
รูปที่ 1.2 ตัวอย่างแขนกลที่ใช้ในอุตสาหกรรม.....	2
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างแขนกลที่ใช้ในอุตสาหกรรม.....	2
รูปที่ 1.4 แสดงระบบทางกลศาสตร์ซึ่งสามารถแทนจลศาสตร์ กายภาพของมนุษย์.....	3
รูปที่ 1.5 ไดอะแกรมแทนแขนกลที่มีองศาแห่งความเป็นอิสระ เท่ากับ 5.....	4

บทที่ 2

ทฤษฎี, คำจำกัดความ และประเภทของแขนกล.....	
รูปที่ 2.1 แขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์.....	9
รูปที่ 2.2 แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกลม.....	11
รูปที่ 2.3 แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก.....	12
รูปที่ 2.4 แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดเลื่อน.....	13
รูปที่ 2.5 แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดมีโครง.....	14
รูปที่ 2.6 แขนกลแบบผสม.....	16
รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมสำหรับแขนกลที่มีหกแกน.....	18

บทที่ 3

ทฤษฎี และหลักการทำงานของสแตปเปอร์มอเตอร์ และตัวขับเคลื่อน ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ (Driver).....	
รูปที่ 3.1 ตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสแตปเปอร์มอเตอร์.....	19
รูปที่ 3.2 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ.....	20
รูปที่ 3.3 แสดงแรงดึงดูดทำให้เกิดทอร์คที่หมุนอาร์มาเจอร์ให้ ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล.....	21
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของสแตปเปอร์แบบแม่เหล็กถาวร.....	22
รูปที่ 3.5 VRสแตปเปอร์แบบมีสแต็คเดี่ยว.....	23
รูปที่ 3.6 โครงสร้างของไฮบริดสแตปเปอร์.....	24

	รูปที่ 3.7 วงจรแม่เหล็กของ HSM.....	26
	รูปที่ 3.8 การนับขดลวดเฟสของสแตเตอร์.....	28
	รูปที่ 3.9 แสดงสแตปมอเตอร์ทั้ง 2 ชนิด.....	29
	รูปที่ 3.10 แสดงกราฟของแรงบิดของมอเตอร์ทั้ง 2 ชนิด ที่ ความถี่ต่าง ๆ.....	30
บทที่ 4	การออกแบบส่วนประกอบส่วนต่างๆของแขนกล	
	รูปที่ 4.1 ขนาดโดยประมาณของแขนท่อนบน.....	34
	รูปที่ 4.2 ขนาดโดยประมาณของแขนท่อนล่าง.....	36
	รูปที่ 4.3 ขนาดโดยประมาณของมือจับ.....	37
	รูปที่ 4.4 แขนกลที่ใช้ในการคำนวณแรงบิด.....	38
	รูปที่ 4.5 ขนาดของแขนกลที่ใช้ในการคำนวณแรงบิด.....	43
	รูปที่ 4.6 ขนาดโดยประมาณของแขนท่อนล่างที่ใช้ในการคำนวณ แรงบิด.....	49
	รูปที่ 4.7 ขนาดและระยะของมือจับที่ใช้ในการคำนวณแรงบิด.....	51
บทที่ 5	วิธีวิเคราะห์ และออกแบบวงจรขับเคลื่อนสเตปเปอร์มอเตอร์	
	การออกแบบวงจรต่อเชื่อมระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ เข้ากับ INTEL 8253	
	รูปที่ 5.1 แสดงวงจรสำหรับPMM8713เฉพาะมอเตอร์1ตัว..	59
	รูปที่ 5.2 แสดงวงจรรวม 8253 ทั้งหมด.....	60
บทที่ 6	ผลการทดลอง	
	รูปที่ 6.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณนาฬิกา ที่เข้าอินพุตกับสัญญาณที่ออกจากเอาต์พุตของ PMM 8713.....	62
	รูปที่ 6.2 กราฟแสดงเอาต์พุตของ PMM8713 หมุนตาม.....	63
	รูปที่ 6.3 กราฟแสดงเอาต์พุตของ PMM8713 หมุนทวน....	64
	รูปที่ 6.4 เปรียบเทียบสัญญาณที่จุดต่างๆ (KP4P18GN)....	65
	รูปที่ 6.5 เปรียบเทียบสัญญาณที่จุดต่างๆ (KP56LM2.504..	66

สารบัญตาราง

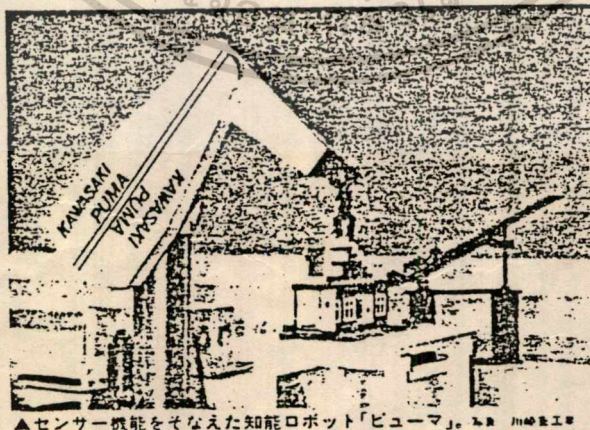
	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบรูปแบบ.....	45, 46
ตารางที่ 2 ค่าความเค้นของเหล็กชนิดต่างๆ.....	47
ตารางที่ 3 ค่าแรงดึงเค้นของสาขนาน.....	47



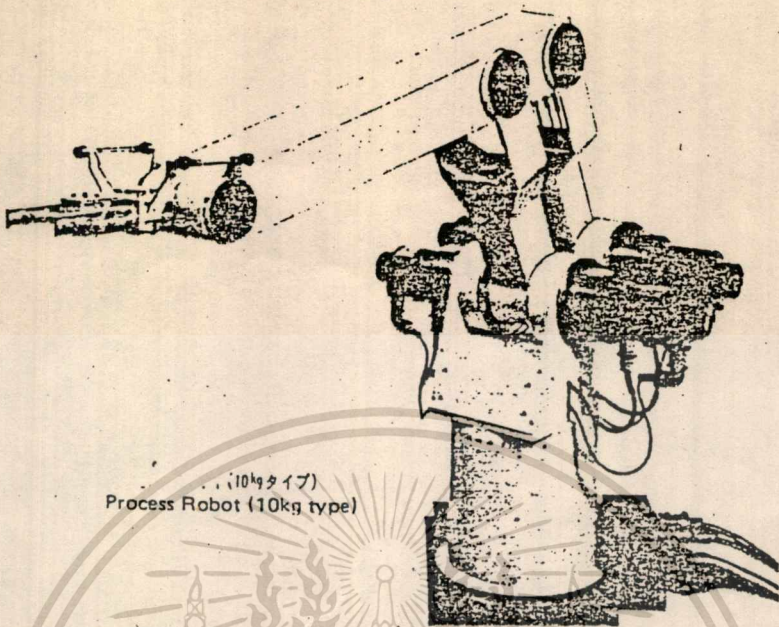
บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยี ด้านหุ่นยนต์ (Robot) ได้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว อันเป็นผลสืบเนื่องมาจาก ความต้องการความสะดวกสบายของมนุษย์ ทำให้มนุษย์มีความพยายามที่จะสร้างสิ่งต่างๆขึ้นมาใช้ และวิทยาการสมัยใหม่ ก็อำนวยความสะดวกให้การสร้างหุ่นยนต์ไม่ใช่เป็นเรื่องยากอีกต่อไป อีกทั้งการใช้คนเพื่อผลิตสิ่งของในโรงงานอุตสาหกรรม ก็มีปัญหามากและประสิทธิภาพในการทำงานก็อยู่จำกัด จึงเริ่มมีการหันมาใช้หุ่นยนต์แทนคนมากขึ้น (ดูรูปที่ 1.1) จากเหตุผลต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้พอจะมองเห็นได้ว่าในอนาคตอันใกล้ หุ่นยนต์จะเข้ามา มีบทบาทกับชีวิตมนุษย์อย่างแน่นอน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีเครื่องมือ ทั้งทางทฤษฎี และทางปฏิบัติ ที่สามารถใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรม เพื่อรองรับความเจริญของการใช้หุ่นยนต์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (ดูรูปที่ 1.2, 1.3 และ 1.4)

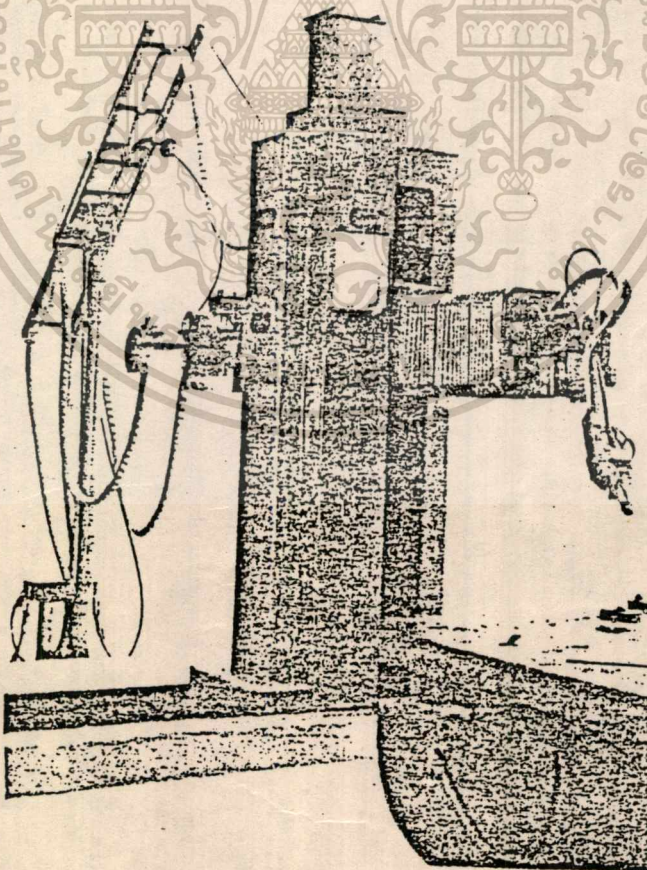


▲ センサー機能をそなえた知能ロボット「ピューマ」。三井物産工業



(10kg タイ)
Process Robot (10kg type)

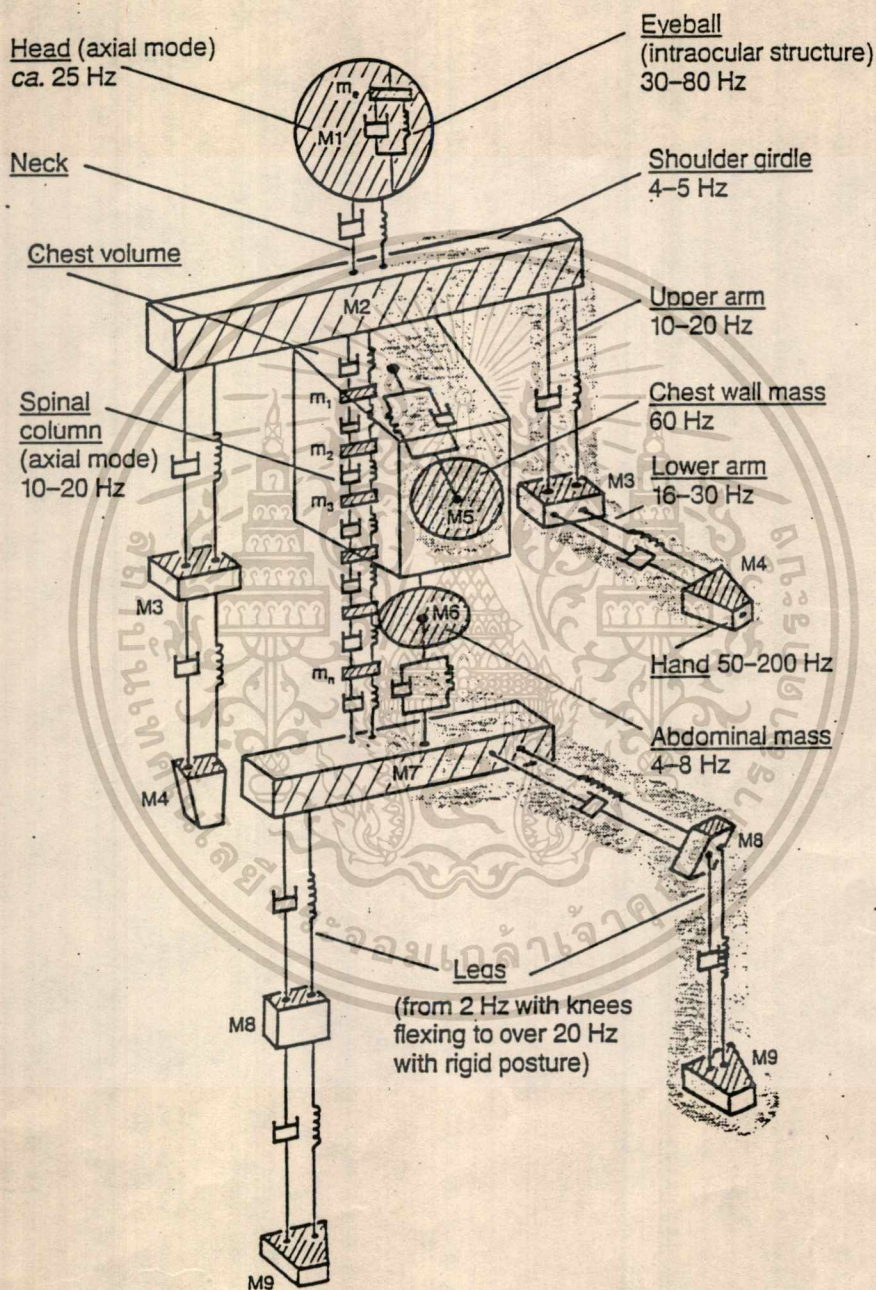
รูปที่ 1.2 ตัวอย่างแขนกลที่ใช้ในขบวนการ



(ミスター-アอส)
Welding Robot

รูปที่ 1.3 ตัวอย่างแขนกลที่ใช้ในงานเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่ได้ออกมาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงระบบทางกลศาสตร์ซึ่งสามารถแทนจลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

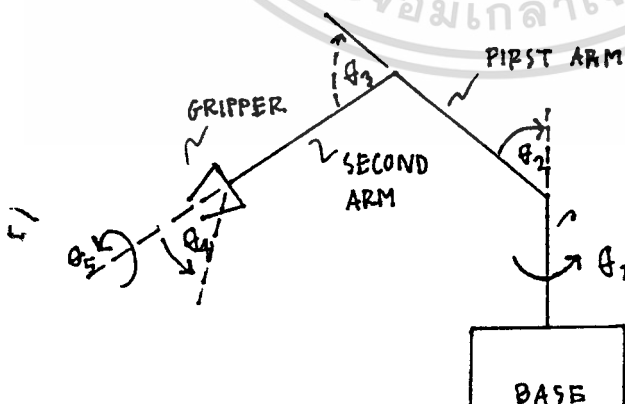
ภายในของมนุษย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำว่าหุ่นยนต์ที่มีมาจากละครของ คาเรล กาเปค (Karel Capek) ที่ชื่อว่า รอสซัมส์ ยูนิเวอร์แซล โรบอต (Rossum's Universal Robot) ซึ่งเปิดแสดงที่ประเทศฝรั่งเศส ในทศวรรษที่ 1920s ซึ่งในละครนั้นมีสิ่งประดิษฐ์โดยมนุษย์ตัวเล็กๆ ที่เชื่อฟังคำสั่งอย่างเข้มงวด และมีชื่อว่า " โรบอตา " (ROBOTA) , ซึ่งเป็นภาษาสโลวีนมีความหมายว่า " ทำงาน "

โครงการนี้ จะเป็นการออกแบบ และ สร้างแขนกล ซึ่งจำลองมาจากร่างกายส่วนบนของมนุษย์ ให้มีองศาแห่งความเป็นอิสระเท่ากับ 5 (ดูรูปที่ 1.5) เพื่อใช้งานทั่วไป ซึ่งรายละเอียดต่างๆจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้:-

- บทที่ 2 จะกล่าวถึงนิยาม และประเภทของแขนกลตลอดจนตัวอย่างที่มี
- บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีและการใช้งานสเคปเปอร์มอเตอร์ รวมทั้งการควบคุมด้วย
- บทที่ 4 กล่าวถึงทฤษฎีและการใช้งานของ Intel 8253
- บทที่ 5, 6 และ 7 จะเป็นการกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบแขนกลทั้งในส่วน of เครื่องกล และไฟฟ้า(ควบคุม)
- ในบทที่ 8 จะเป็นผลการทดลองขับมอเตอร์ในลักษณะต่างๆ
- บทที่ 9 เป็นบทสรุปและวิจารณ์



รูปที่ 1.5 โดเมนแบบแขนกลที่มีองศาแห่งความเป็นอิสระเท่ากับ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี คำจำกัดความ และประเภทของแขนกล

นิยามของหุ่นยนต์

ในปัจจุบันเรามีนิยามที่เกี่ยวกับหุ่นยนต์มากมายหลายนิยาม ซึ่งผู้ผลิตและผู้ใช้ยอมรับนิยามบางตัวเท่านั้น แต่ไม่มีนิยามใดได้รับการยอมรับว่าเป็นมาตรฐาน ดังนั้นจึงมีหลายสมาคมพยายามที่จะตั้งนิยามของหุ่นยนต์ขึ้น เช่น

สมาคมหุ่นยนต์แห่งประเทศไทยอังกฤษ (BRITISH ROBOT ASSOCIATION: BRA) กำหนดนิยามของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมไว้ว่า

"คือ อุปกรณ์ที่มีอย่างน้อย 4 องศาแห่งอิสระ (Degree of freedom) ที่สามารถโปรแกรมใหม่ได้ ซึ่งได้รับการออกแบบมาสำหรับการจับย้ายและขนส่ง ชิ้นส่วน เครื่องมือหรือส่วนประกอบพิเศษ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ที่ได้รับการโปรแกรมไว้สำหรับงานเฉพาะอย่าง และโปรแกรมนี้อาจสามารถเปลี่ยนแปลงได้"

สิ่งหนึ่งที่สำคัญมากในการกำหนดนิยามของ สมาคมหุ่นยนต์แห่งประเทศไทย คือ สิ่งที่เป็นหุ่นยนต์จะต้องมี 4 องศาแห่งอิสระเป็นอย่างน้อย

สถาบันทางหุ่นยนต์ของอเมริกา (ROBOTICS INSTITUTE OF AMERICA: RIA) ให้นิยามว่า

"เป็นมือจับ (manipulator) หลายหน้าที่การทำงาน ที่สามารถโปรแกรมใหม่ได้ ได้รับการออกแบบเพื่อการเคลื่อนย้ายวัสดุ ชิ้นส่วน เครื่องมือ หรืออุปกรณ์พิเศษ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ที่ได้รับการโปรแกรมไว้ใช้งานเฉพาะอย่าง"

นิยามของสถาบันทางหุ่นยนต์ของอเมริกานี้ได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นฐานะที่เป็นนิยามของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมาคมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยญี่ปุ่น (JAPAN INDUSTRIAL ROBOT ASSOCIATION : JIRA) และ คณะกรรมการมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยญี่ปุ่น (JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS COMMITTEE) ให้นิยามหุ่นยนต์ในระดับต่างๆว่า

"แขนจับ (manipulator) : เครื่องจักรซึ่งมีหน้าที่การทำงานคล้ายคลึงกับส่วนที่เหนือเอวของมนุษย์ขึ้นมา และสามารถเคลื่อนย้ายวัตถุจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้

หุ่นยนต์ที่ทำงานตามที่กำหนด (playback-robot) : มือจับที่สามารถทำงานได้โดยการอ่านข่าวสารซึ่งสามารถจดจำได้สำหรับการทำงานเป็นลำดับขั้น หรือรวมทั้งการที่มันเรียนรู้จากการที่เราสั่งงานด้วยมือ

หุ่นยนต์ที่มีไหวพริบ (intelligent-robot) : หุ่นยนต์ที่สามารถกำหนดพฤติกรรมและการปฏิบัติของตนเองได้ โดยผ่านทางตัวรับความรู้สึก (sensors) และหน่วยจดจำ (memory) ของมัน"

โดยทั่วไปสิ่งที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นหุ่นยนต์นั้น จะต้องตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่รับมาจากสิ่งแวดล้อมได้ หุ่นยนต์สามารถเข้าใจในผลตอบสนองได้ถึงแม้ว่าจะมองไม่เห็นก็ตาม เพื่อความกระจ่างว่าอะไรคือลักษณะธรรมชาติที่แท้จริง เราจะแยกหน้าที่การทำงานของหุ่นยนต์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ การรับความรู้สึก (sensing) ทำการตัดสินใจ (making decisions) และ กระทำตามที่ตัดสินใจ (deciding)

หมายเหตุ รายงานและที่อยู่ของสมาคมที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ แสดงไว้ในตาราง 1.A.1 ในภาคผนวก

คุณลักษณะของแขนมนุษย์

ในเมื่อเราต้องการที่จะสร้างแขนหุ่นยนต์ให้มีคุณลักษณะเหมือนแขนของมนุษย์ เราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาโครงสร้างและลักษณะการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์ก่อน แขนของมนุษย์ประกอบด้วยส่วน 2 ส่วนที่เห็นแยกกันอย่างชัดเจน คือ ส่วนที่เป็นข้อมือ ซึ่งมีข้อต่อหลักอยู่ 3 ข้อต่อ และอีกส่วนคือแขน ซึ่งมีข้อต่อหลักอยู่ 2 ข้อต่อ (หัวไหล่และข้อศอก) ก่อนอื่นเรามาดูที่ส่วนแรกก่อน ข้อมือของมนุษย์มีลักษณะดังต่อไปนี้

การหมุนข้อมือ (ROLL(angle)) สามารถหมุนได้ $-180^{\circ} < 0^{\circ} < +90^{\circ} = 270^{\circ}$

การพับข้อมือ (PITCH(angle)) สามารถพับได้ $-90^{\circ} < 0^{\circ} < +50^{\circ} = 140^{\circ}$

การบิดข้อมือ (YAW(angle)) สามารถบิดได้ $-45^{\circ} < 0^{\circ} < +15^{\circ} = 60^{\circ}$

การเคลื่อนที่ของข้อมือทั้ง 3 แบบ มีการเคลื่อนที่ที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นเราจึงให้การเคลื่อนที่แต่ละแบบเป็น 1 องศาแห่งอิสระ

ส่วนที่สองคือ แขน ประกอบด้วยข้อต่อหลัก 2 ข้อต่อ แต่มี 3 องศาแห่งอิสระ คือ 2 องศาแห่งอิสระที่หัวไหล่ และอีก 1 องศาแห่งอิสระที่ข้อศอก แต่หัวไหล่ของแขนกลจะมีเพียง 1 องศาแห่งอิสระ ลักษณะหนึ่งที่สำคัญของโครงสร้างของแขน คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวของแขนท่อนบนกับแขนท่อนล่าง จะมีค่าราวๆ 1.2 : 1 นั่นคือล่างจะต้องสั้นกว่าแขนท่อนบน ถ้าเราออกแบบให้แขนท่อนล่างยาวกว่าแขนท่อนบน จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแขนกลลดลง

การแบ่งประเภทของแขนกล

เราสามารถแบ่งประเภทของแขนกลโดยพิจารณาจากพื้นฐานใหญ่ๆดังนี้

1. โครงสร้างภายนอกและการเคลื่อนที่ของแขนกล
2. ทางเดินของแขนกลซึ่งขึ้นอยู่กับการควบคุมการเคลื่อนที่
3. ประสิทธิภาพในการทำงานของแขนกล

การพิจารณาแบ่งประเภทของแขนกลในขั้นนี้ เราจะอาศัยเฉพาะพื้นฐานข้อ 1 และข้อ 2 เท่านั้น แม้ว่าพื้นฐานข้อ 3 จะมีความสำคัญมากที่สุดแต่จะต้องอาศัยความรู้ทางด้าน คินเมติก (kinematics) และจลนศาสตร์ (kinetics) ขึ้นสูงซึ่งยากต่อการทำความเข้าใจ การแบ่งประเภทแขนกลในระดับนี้จึงจะไม่นำพื้นฐานข้อ 3 มาพิจารณา

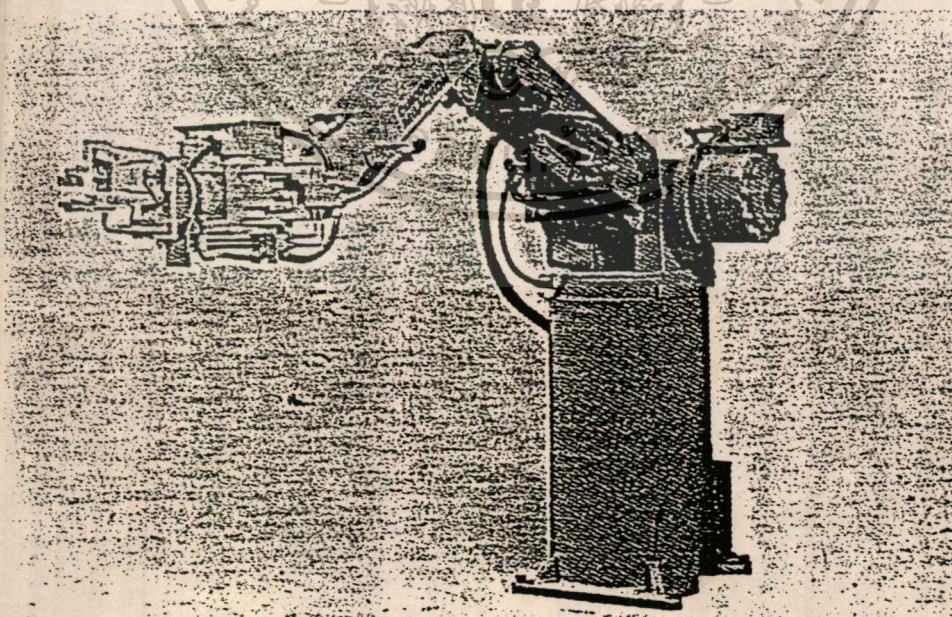
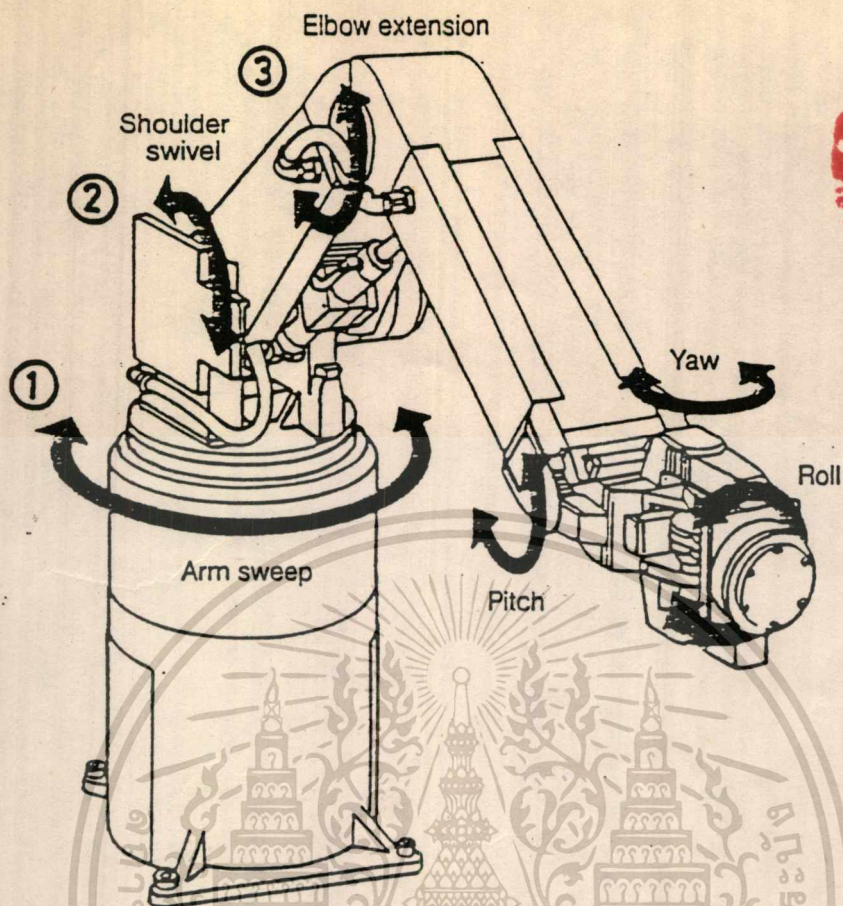
การแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยการเคลื่อนที่และโครงสร้างภายนอก

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยการเคลื่อนที่และโครงสร้างภายนอก เราจะต้องเข้าใจถึงการเคลื่อนที่ของแขนกลเสียก่อน แขนกลมีการเคลื่อนที่อยู่ 3 แบบ แบบแรกคือการหมุนรอบแกนลองจิจูด (longitudinal axis) ของตัวเชื่อม (link) ระหว่างข้อต่อ 2 ข้อต่อ (swivel motion) แบบที่ 2 คือการหมุนข้อต่อรอบแกนนอน (bending motion) แบบที่ 3 คือการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงในทิศทางของแกนลองจิจูด อาจยืดออกไปเฉพาะบางส่วนหรือโครงสร้างทั้งหมด (prismatic motion) หากเราแบ่งประเภทของแขนกลตามการเคลื่อนที่ของข้อต่อ จะสามารถแบ่งแขนกลเป็นแบบต่างๆได้ดังนี้

1. แขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์ (Revolute (jointed arm) robot)
2. แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกลม (Polar (spherical) robot)
3. แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก (Cylindrical robot)
4. แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดเลื่อน (Cartesian (rectangular) robot, sliding-type)
5. แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดมีโครง (Cartesian (rectangular) robot, gantry-type)
6. แขนกลแบบผสม (SCARA-type robot)

1. แขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์ (Revolute (jointed arm) robot)

แขนกลชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายกับแขนของมนุษย์มากที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการง่ายที่จะดัดแปลงนำมาใช้แทนที่มนุษย์มากกว่าแขนกลแบบอื่นๆ ตัวแขนกลประกอบไปด้วยส่วนเคลื่อนไหว 3 ส่วนใหญ่ๆคือ สะเอว (waist) , หัวไหล่ซึ่งติดอยู่บนสะเอว และ ข้อศอก ซึ่งติดอยู่ที่ปลายของหัวไหล่ (ดูรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(Cincinnati Milacron T)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกลม (Polar (spherical) robot)

แขนกลชนิดนี้จะมีส่วนเคลื่อนที่ 3 ส่วน ๆแรกจะหมุนรอบแกนของสะเอวซึ่งอยู่บนฐาน ส่วนที่ 2 คือการหมุนแขนในแนวขึ้น-ลง อาศัยการหมุนของทั้งสองส่วนนี้ แขนกลจะสามารถหมุนเป็นส่วนหนึ่งของทรงกลม การเคลื่อนที่ของส่วนที่ 3 คือการยืดเข้าออกของแขน (prismatic motion) รัศมีที่แขนกลสามารถเคลื่อนที่ได้จะขึ้นอยู่กับความยาวของแขนที่เลื่อนเข้าออก (prismatic joint) (ดูรูปที่ 2.2)

3. แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก (Cylindrical robot)

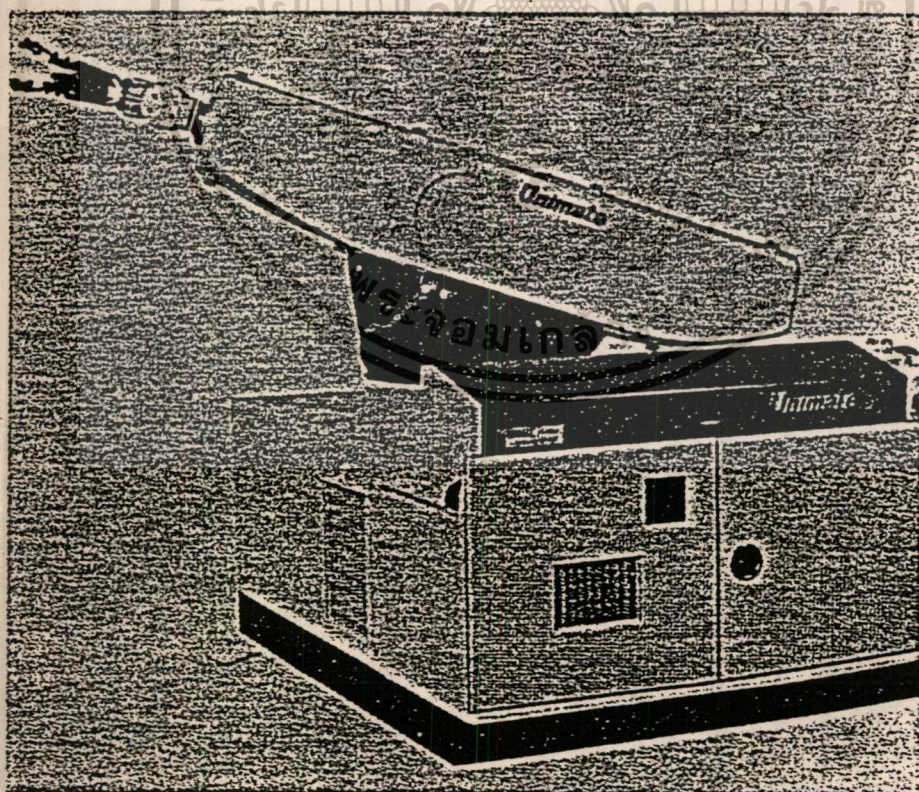
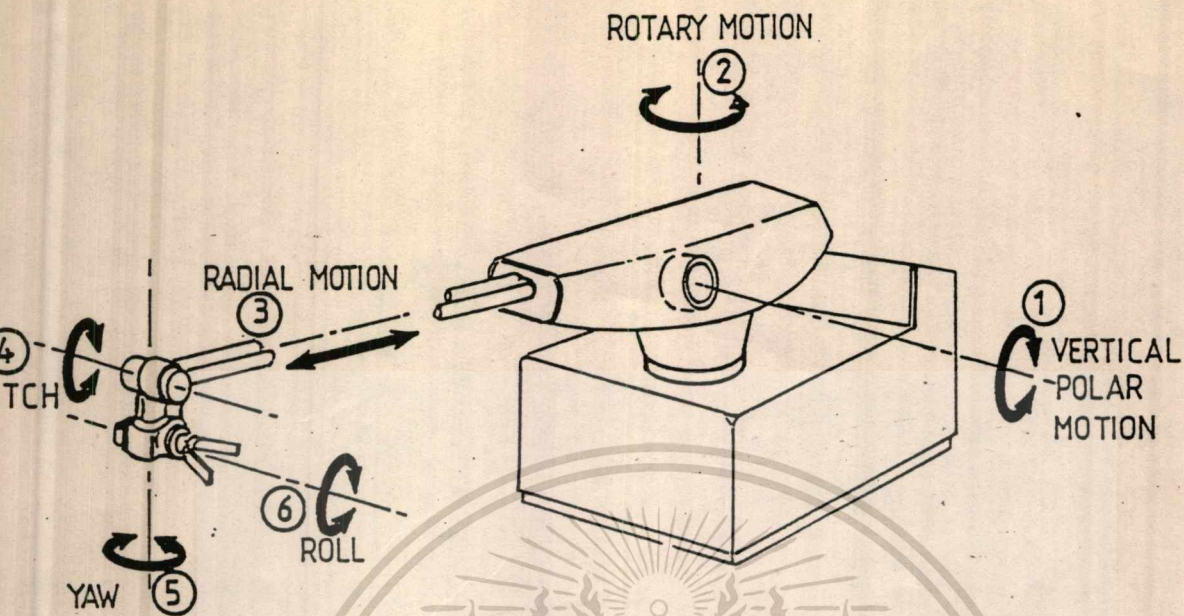
แขนกลชนิดนี้ประกอบด้วยฐาน , แขนในแนวนอน (horizontal arm) และแกนเลื่อนเข้าออก (prismatic joint) ซึ่งประกอบอยู่ภายในแขนในแนวนอน ฐานทั้งหมดสามารถขยับขึ้น-ลงได้ แขนในแนวนอนจะหมุนรอบแกนตั้งได้ ส่วนของแกนเลื่อนเข้าออกซึ่งประกอบอยู่กับแขนในแนวนอนนั้น สามารถเคลื่อนที่เข้า-ออกขนานกับฐาน (ดูรูปที่ 2.3)

4. แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดเลื่อน (Cartesian (rectangular) robot, sliding type)

แขนกลชนิดนี้ประกอบไปด้วยแกน 3 แกนตั้งฉากกันสำหรับเคลื่อนที่ขึ้น-ลง, ซ้าย-ขวา และ หน้า-หลัง โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของแกนเลื่อนเข้าออก แม้ว่าแขนกลชนิดนี้จะมีความแม่นยำในการทำงานสูง แต่ไม่นิยมนำมาใช้กันนัก เนื่องจากการดัดแปลงแขนกลชนิดนี้เพื่อใช้ทำงานแทนมนุษย์ทำได้ยาก (ดูรูปที่ 2.4)

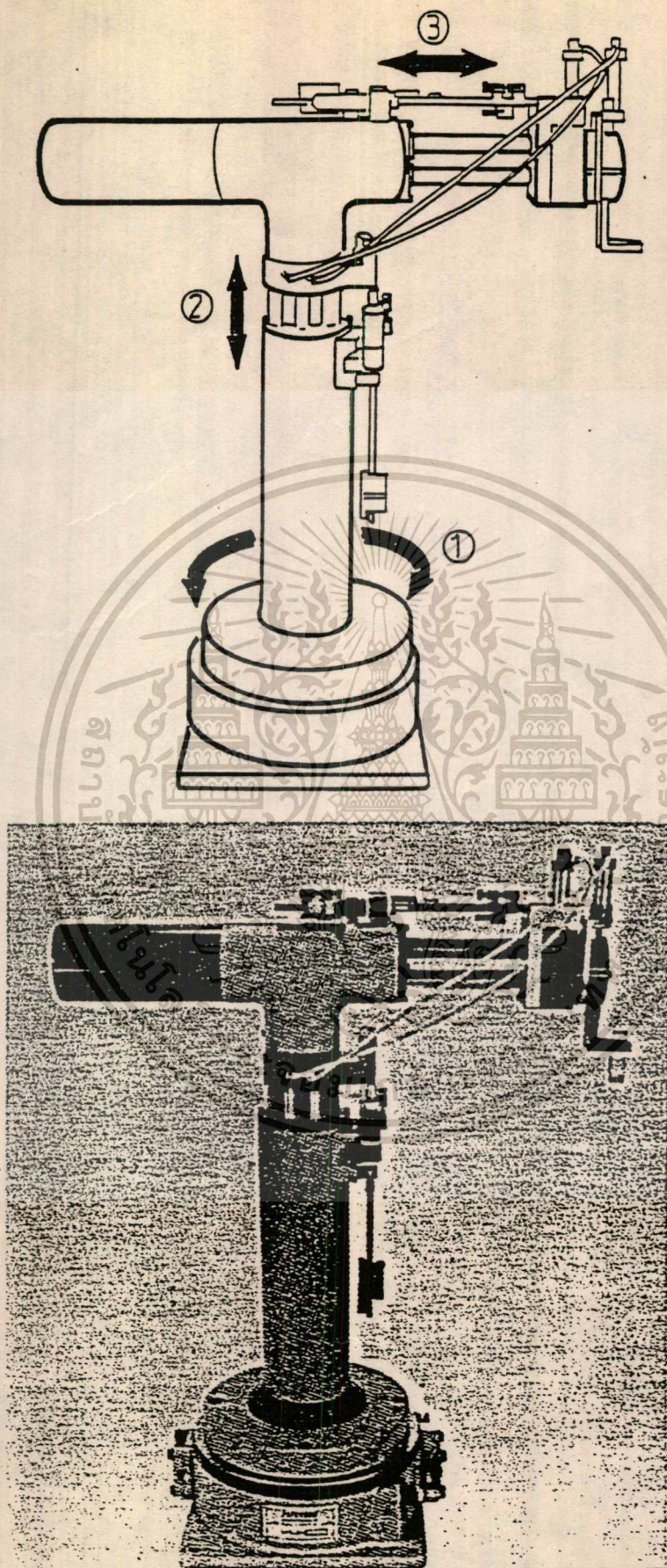
5. แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดมีโครง (Cartesian (rectangular) robot, gantry type)

แขนกลชนิดนี้มีโครงสร้างคล้ายแบบที่ 4 แต่ต่างกันที่แขนกลแบบนี้จะมีโครงสำหรับให้ตัวแขนกลเคลื่อนที่ไปเท่านั้น (ดูรูปที่ 2.5)

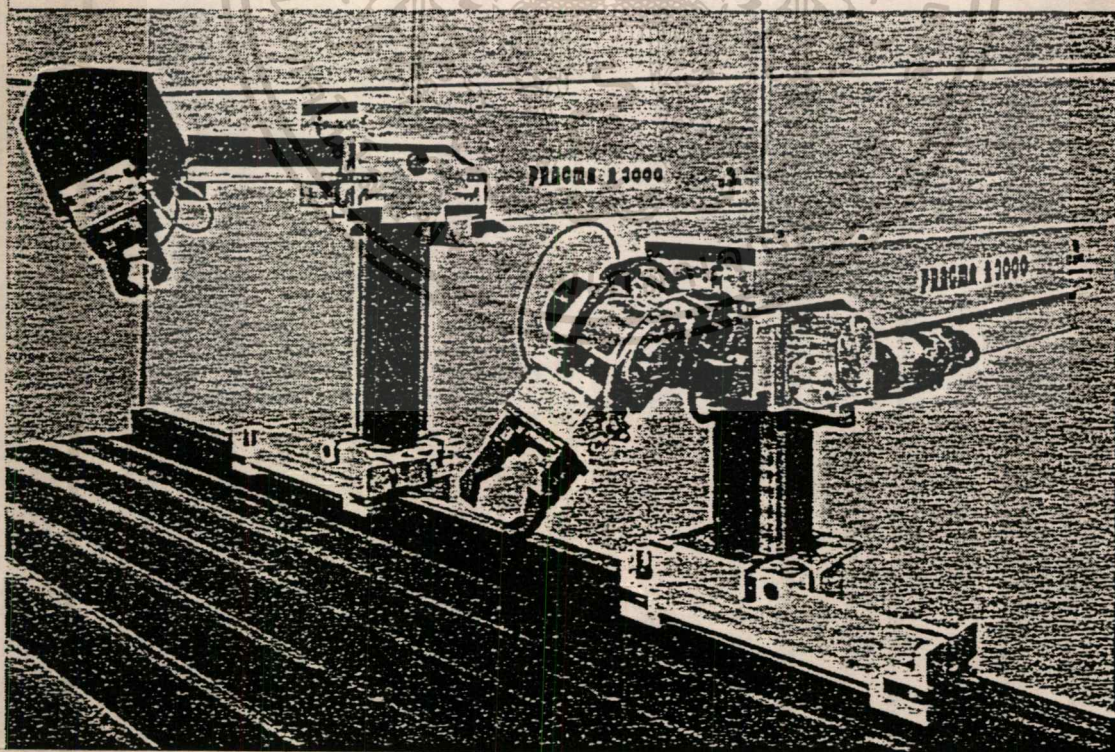
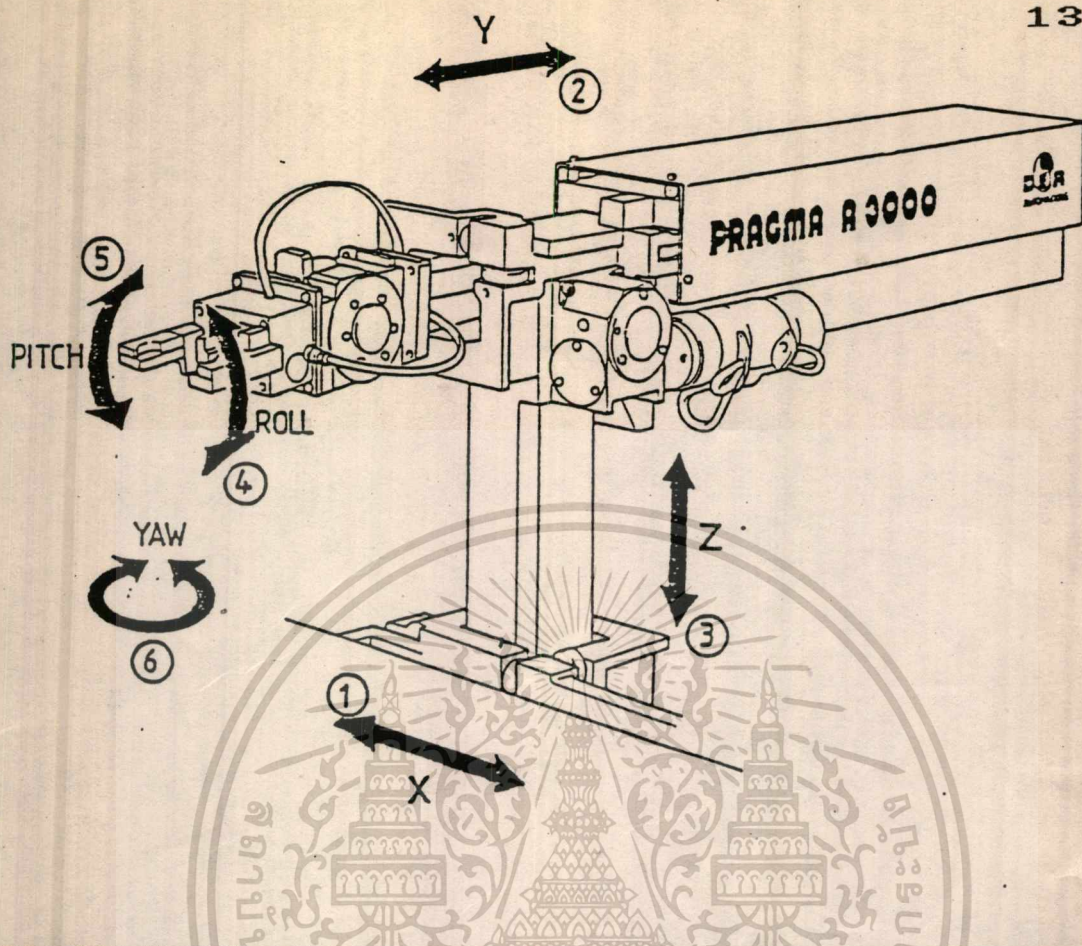


รูปที่ 2.2 แขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (Unimate 2000) การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



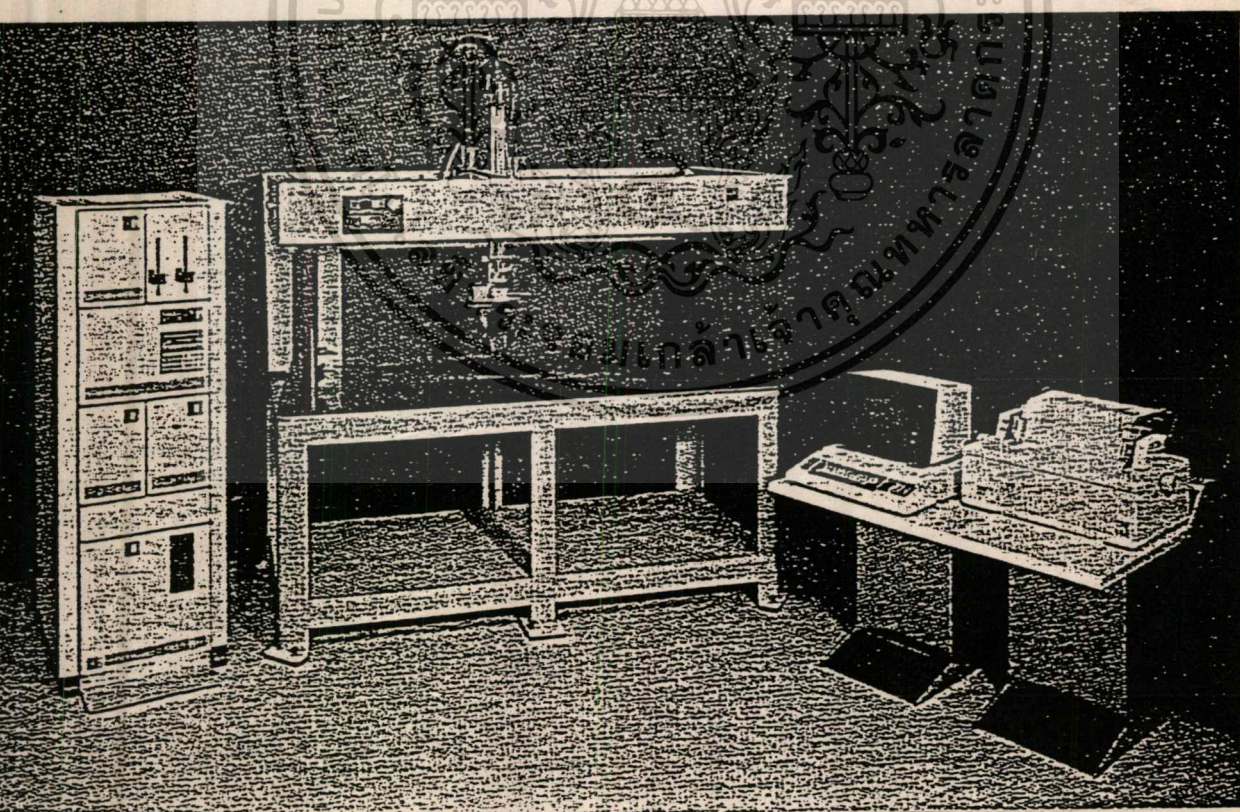
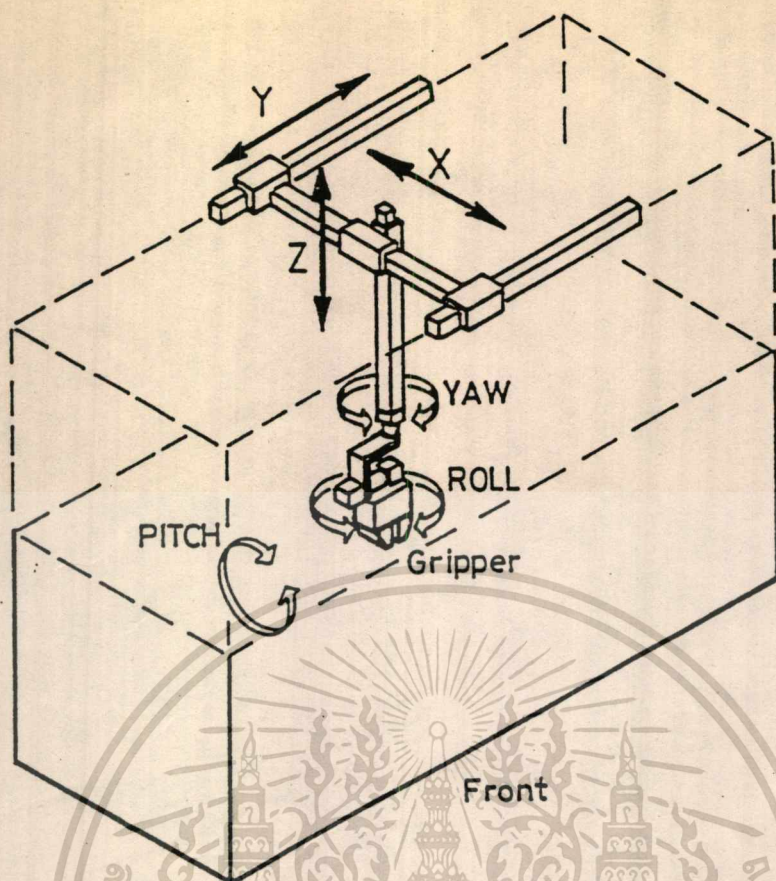
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ 2.3 ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอกข้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Pragma A300 DER)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แขนกลแบบคาร์ทีเซียนชนิดมีโครง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(IBM 7565)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แขนกลแบบพสม (SCARA-type robot)

แขนกลชนิดนี้เกิดจากการรวมแขนกล 2 แบบเข้าด้วยกัน คือ แขนกลที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์ กับแขนกลที่มีการเคลื่อนที่เป็นทรงกระบอก โครงสร้างของแขนกลแบบพสมจะมีแกนหมุนในแนวตั้ง ทำให้สามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบได้ ซึ่งมีคุณสมบัติสอดคล้องกับแขนกลทั้งสองแบบ นอกจากนี้ยังมีแกนหลักในแนวตั้ง ซึ่งทำให้แรงต่างๆ ที่กระทำต่อตัวแขนกล เช่น แรงดึงดูดของโลก แรงเหวี่ยงจากศูนย์กลาง ไม่มีผลต่อโครงสร้างมากเหมือนกับการที่แกนอยู่ในแนวระนาบ ซึ่งข้อได้เปรียบนี้มีความสำคัญมากโดยเฉพาะแขนกลที่ต้องการความเร็วและความแม่นยำในการทำงานสูง (ดูรูปที่ 2.6)

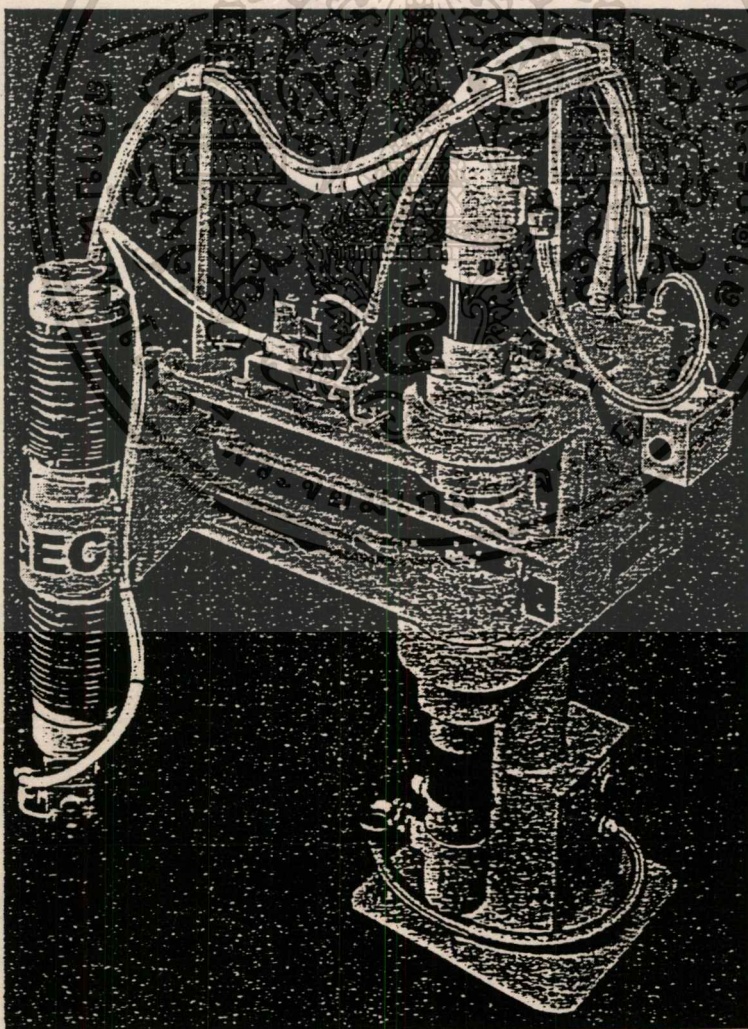
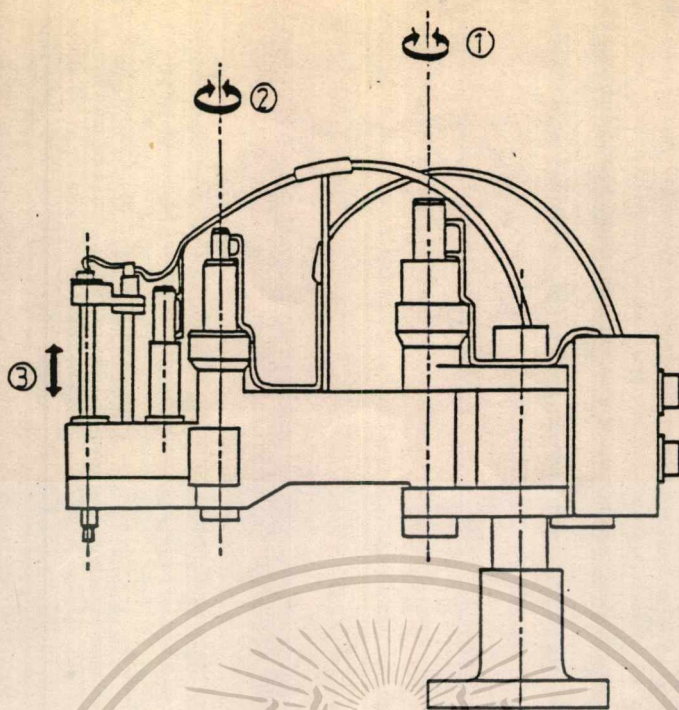
การแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยทางเดินของแขนกล

การควบคุมทางเดินของแขนกลแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. การควบคุมแบบจุด [Point-to-point (PTP) control]
2. การควบคุมแบบต่อเนื่อง [Continuous path (CP) control]

การควบคุมแบบจุด แขนกลจะได้รับการตั้งโปรแกรมให้หยุดที่จุดใดจุดหนึ่งและใช้จุดนั้นในการกำหนดจุดที่ต้องการให้หยุดจุดต่อไป แม้ว่าจะไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ระหว่างจุดให้อยู่ในระหว่างเส้นทางที่ต้องการ แต่การเคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนดก็ยังถูกต้องตามที่กำหนด ในทางตรงข้ามแขนกลที่ควบคุมแบบต่อเนื่อง จะสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

การควบคุมแบบจุดจะมีความแม่นยำสูงมากทั้งในแง่ความเที่ยงตรง และการทำงานซ้ำๆ แม้ว่าการควบคุมแบบต่อเนื่องจะเคลื่อนไหวได้นุ่มนวลมากกว่าในเส้นทางที่ได้ระบุไว้ แต่ก็ยังมีข้อเสียในด้านความเร็ว ซึ่งเป็นฟังก์ชันของจังหวะการเคลื่อนที่ที่คำนวณโดยคอมพิวเตอร์ในลักษณะเวลาจริง (real time) ข้อเสียนี้จะทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องลดลงถึง 15-25 % และประสิทธิภาพการทำงานจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแขนกลตัวเดียวกันที่ควบคุมแบบจุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.6 แขนกลแบบผสม
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 (GEC A3020, Selective Compliance Assembly Robot Arm)

การจัดระบบและการดำเนินงานของแขนกล

การที่จะเข้าใจถึงโครงสร้างด้านคินเมติก (kinematics) ของแขนกลว่า เป็นอย่างไร หรือแขนกลทำงานอย่างไร เราจะต้องมีความรู้ด้านวิศวกรรมเครื่องกลและระบบควบคุม, อนุภาค และดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์, คอมพิวเตอร์, กระบวนการผลิต และการบริหารงาน ผู้ที่จะศึกษาด้านแขนกลจำเป็นต้องมีความรู้ในด้านต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ด้วย

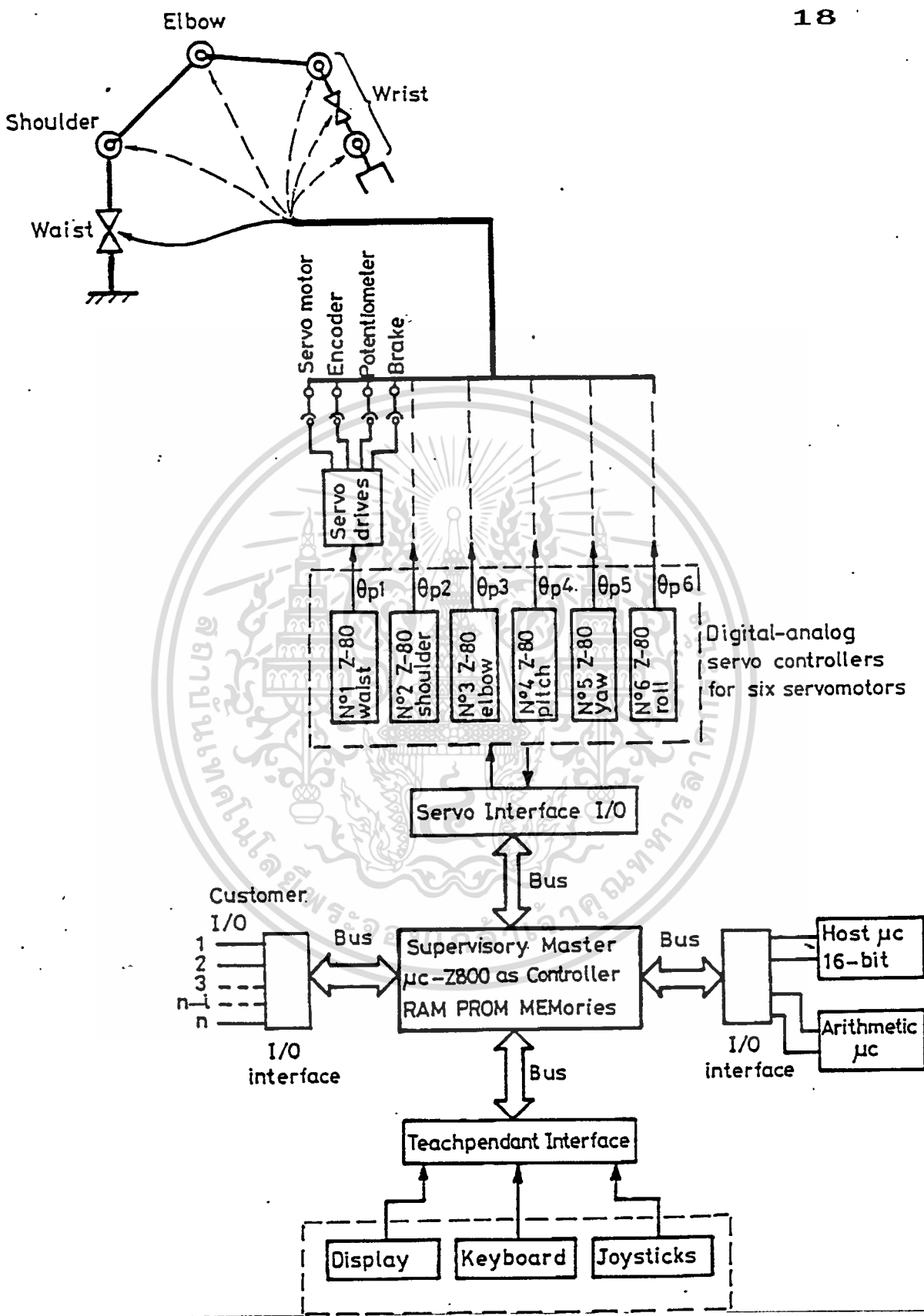
แขนกลที่ใช้ในอุตสาหกรรมในปัจจุบันนี้ ถึงแม้จะมีความแตกต่างกันมากในด้านขนาด, รูปร่าง และประสิทธิภาพ แต่ก็จะประกอบด้วยกลุ่มอุปกรณ์หลัก 5 กลุ่ม คือ ตัวแขนจับ (manipulator), วงจรควบคุม (controller), วงจรขับเคลื่อน (power drive) รวมทั้ง แหล่งจ่ายไฟ (power supply), การควบคุมด้วยมนุษย์ (teachpendant or manual control) และอาจประกอบด้วยส่วนเพิ่มเติม คือ จอมอนิเตอร์ และ เทมินอลที่ใช้ต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (ดูรูปที่ 2.7)

ตัวแขนจับจะประกอบด้วย ชิ้นส่วนด้านเครื่องกลซึ่งปฏิบัติงาน และเอื้ออำนวยต่อการควบคุมข้อต่อต่างๆ โดยได้รับกำลังจากวงจรขับเคลื่อน ซึ่งอาจใช้ลม ไฮดรอลิก หรือ ไฟฟ้าแล้วแต่ความเหมาะสมของงานที่จะนำแขนกลไปใช้ และจะใช้วงจรขับเคลื่อนเท่ากับจำนวนของส่วนเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระ ซึ่งจำนวนนี้มักจะเป็น 6 องศาแห่งอิสระ แต่ในการใช้งานบางอย่างไม่จำเป็นต้องใช้ถึง 6 องศาแห่งอิสระ เช่นการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจะใช้ 3 องศาแห่งอิสระ การหยิบและวางใช้ 4 องศาแห่งอิสระ การนำสิ่งของอย่างต่ำ 5 องศาแห่งอิสระ และการประกอบชิ้นส่วน ต้องใช้ถึง 6 องศาแห่งอิสระ

วงจรควบคุมจะได้รับคำสั่งเป็นข้อมูลที่ถอดรหัสมาเรียบร้อยแล้ว และส่งคำสั่งควบคุมไปยังวงจรขับเคลื่อนขับเคลื่อนให้ส่วนต่างๆ ของแขนกลเคลื่อนที่ การเคลื่อนไหวในหลายแบบ และจุดต่อเนื่องต่างๆตามเส้นทางจะได้รับการบันทึกไว้ในหน่วยความจำที่อยู่ในคอมพิวเตอร์ภายในตัวแขนกล วงจรควบคุมมีหน้าที่กำหนดการเคลื่อนที่ของแขนกล และโต้ตอบกับอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณทั้งจากภายนอกและภายใน ผ่านอุปกรณ์อินพุต-เอาต์พุตต่างๆ และควบคุมให้สอดคล้องกับเครื่องจักรภายนอก, อุปกรณ์, วัสดุ หรือเครื่องมือ ซึ่งสามารถทำให้แขนกลทำงาน ทดสอบ และตรวจสอบคุณภาพได้ถูกต้อง วงจรควบคุมมีความแตกต่างกันในด้านความซับซ้อน อาจจะเป็นเนื่องจากรางวัลอย่างวงจรลอจิกธรรมดา หรือซับซ้อนมากๆ อย่างไมโครคอมพิวเตอร์ หรือ มินิคอมพิวเตอร์ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงการทำงานของแขนกลที่มี 6 แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีและหลักการทำงานของสแตปเปอร์มอเตอร์

เนื่องจากชนกลตัวนี้ เป็นชนกลประเภทที่มีลักษณะคล้ายแขนมนุษย์ ซึ่งมีองศา
 แห่งความเป็นอิสระเท่ากับ 5 และในแต่ละจุดต่อของชนกล จะใช้สแตปเปอร์มอเตอร์
 ซึ่งมีทฤษฎีดังนี้

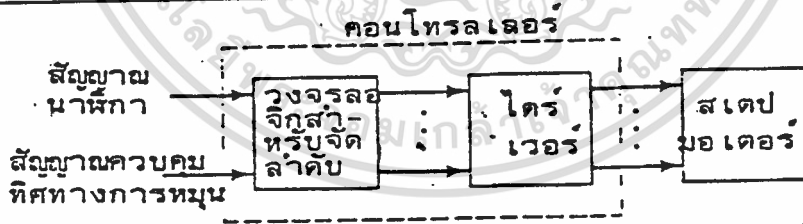
นิยามของสแตปเปอร์มอเตอร์ จะมีเพลอาหมุนเป็นสแตป

- ป้อนอินพุตด้วยพัลส์ที่มีความถี่ค่าหนึ่ง
- จะสแตปไปหนึ่งสแตปในแต่ละพัลส์
- ขนาดของสแตปขึ้นอยู่กับารออกแบบสแตปเปอร์มอเตอร์

การทำงานของสแตปเปอร์มอเตอร์ ขึ้นอยู่กับพัลส์ ที่ป้อนให้กับขดลวดเฟสของมันใน
 ลำดับที่ถูกต้องด้วยวงจรลอจิกสำหรับจัดลำดับ(sequence logic)

- ด้วยกระแสที่ไหลเนื่องด้วยวงจรไดเวอร์

คอนโทรลเลอร์ของสแตปเปอร์มอเตอร์ แสดงได้ดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสแตปเปอร์
 ในรูปที่ 3.1 สแตปเปอร์มอเตอร์จะทำงานเมื่อเราป้อน

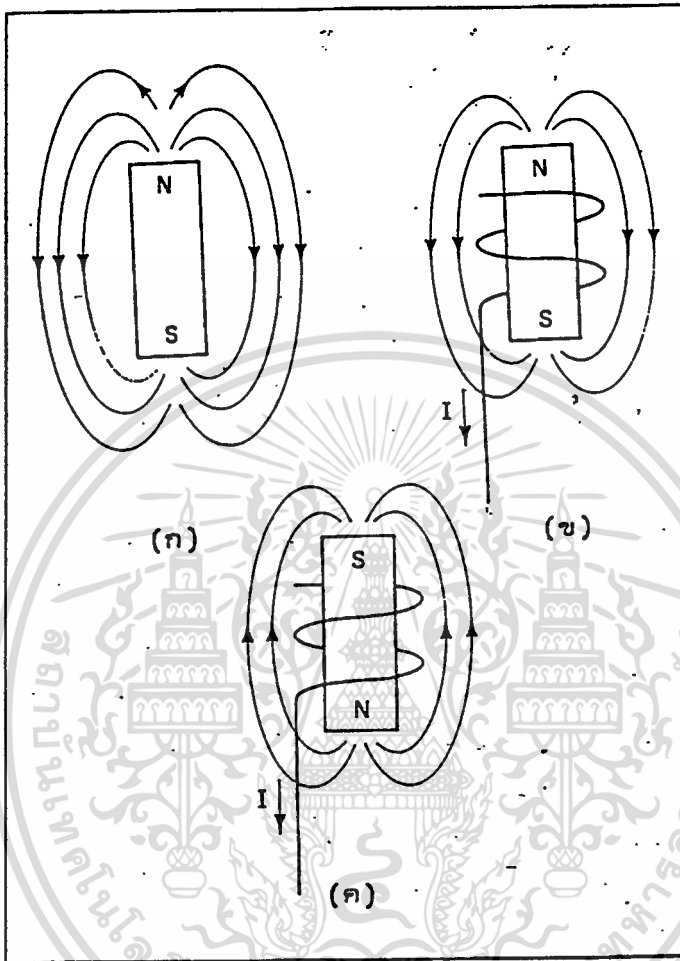
- สัญญาณพัลส์นาฬิกา(clock pulses)
- อินพุตสำหรับควบคุมทิศทางการหมุน

คอนโทรลเลอร์ของสแตปเปอร์มอเตอร์จะอินเตอร์เฟสได้โดยตรงกับไมโครคอมพิวเตอร์

สแตปเปอร์มอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของโหลดได้อย่างเที่ยงตรงมากเนื่องจาก
 แต่ละอินพุตพัลส์จะทำให้สแตปเปอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่งสแตปอย่างเที่ยงตรง

หลักการทํางานของสํเตปมอเตอรืทั่ว ๆ ไป

ในรูปที่ 3.2 แสดงหลักการพื้นฐานของเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 3.2 แสดงถึงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ

ในรูปที่ 3.2 (ก) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวร

(ข) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแส I

(ค) ขั้วแม่เหล็กกลับทิศทาง เมื่อขดลวดถูกพันกลับทิศทาง การไหลของ

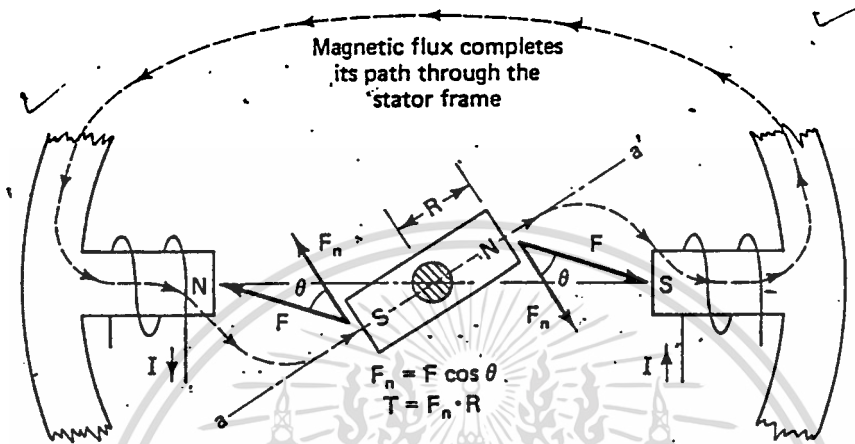
กระแสไม่เปลี่ยนแปลง

ในรูปที่ 3.3 แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเสาและหมุนได้อิสระเหมือนอาร์มาเจอร์มี ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้ว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็นสเตเตอร์ (stator)

ในรูปที่ 3.3 ตำแหน่งแกนของอาร์มาเจอร์แม่เหล็กคือ a-a' ซึ่งต่างไปจากตำแหน่ง แกนขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม

-แรงแม่เหล็กที่เกิดจากการดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกัน ทำให้เกิดส่วนของแรงปกติ $F_n = F \cos \theta$ (แรงนี้ตั้งฉากกับแกน $a-a'$)

-ทอร์คผลรวม $T = F_n \cdot R$ (ทำให้อาร์มาเจอร์หมุนในทิศทาง CW จนกว่าแกนของอาร์มาเจอร์ $a-a'$ จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนขั้วของสเตเตอร์)



รูปที่ 3.3 แสดงแรงดึงดูดทำให้เกิดทอร์คที่หมุนอาร์มาเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล

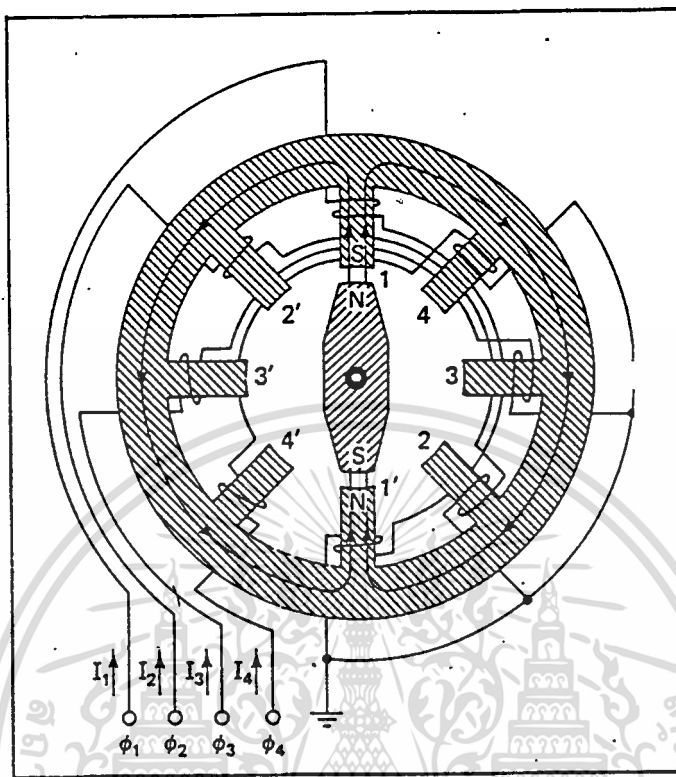
ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ คู่ขั้วรอบ ๆ สเตเตอร์และถ้าหากขั้วเหล่านี้นับยกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไป อาร์มาเจอร์ก็จะหมุนในรูปลักษณะของสเตปที่เป็นไปตามการหมุนของสนามแม่เหล็ก ที่เกิดจากการสวิตซ์ที่เรียงลำดับของขดลวดขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์

3.1 สเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรได้ในรูปที่ 3.4

ในรูปที่ 3.4 เป็นสเตปมอเตอร์แบบ 4 เฟส แต่ละเฟสเป็นขดลวดอยู่บน 2 ขั้วของสเตเตอร์ ดังนั้นในการออกแบบนี้สเตเตอร์จะต้องมี 8 ขั้ว

โรเตอร์ทำจากแม่เหล็กถาวรและอยู่ในแนวของขั้วสเตเตอร์ 1 และ 1' มันหยุดอยู่ที่ตำแหน่งนี้ได้ด้วยกระแส I_1 ที่ไหลอยู่ในเฟส 1



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมี 4 เฟสและแต่ละเฟสมีจำนวนขดลวดบน 2 ขั้วของสเตเตอร์มุมสเตปเท่ากับ 45°

ขดลวดของเฟส ϕ_1, ϕ_4, ϕ_3 และ ϕ_2 (1-4-3-2 ตามลำดับ) จะได้รับพลังงานด้วยกระแสไฟฟ้าที่สอดคล้องกัน I_1, I_4, I_3 และ I_2 (กระแสแต่ละเฟสจะไหลในทิศทางที่แสดงในไดอะแกรม) แต่ละสเตปโรเตอร์จะหมุนไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา 45° ($360/8$)

เมื่อขั้วเหนือของโรเตอร์ (แม่เหล็กถาวร) หมุนไปถึงขั้วของสเตเตอร์หมายเลข 2 ลำดับการรับขดลวดเฟสของสเตปมอเตอร์คือ 1-4-3-2 จะต้องกระทำเหมือนเดิม (เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปตามเข็มนาฬิกาอีก 180°) ยกเว้นเราต้องการให้หมุนกลับทิศทาง 180° ที่เหลือคือการเปลี่ยนกระแสกลับทิศทางเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเป็นขั้วได้ที่ขั้วสเตเตอร์ 1', 4', 3', และ 2'. ตามลำดับ (ทิศทางของกระแสแสดงในรูปที่ 3.4)

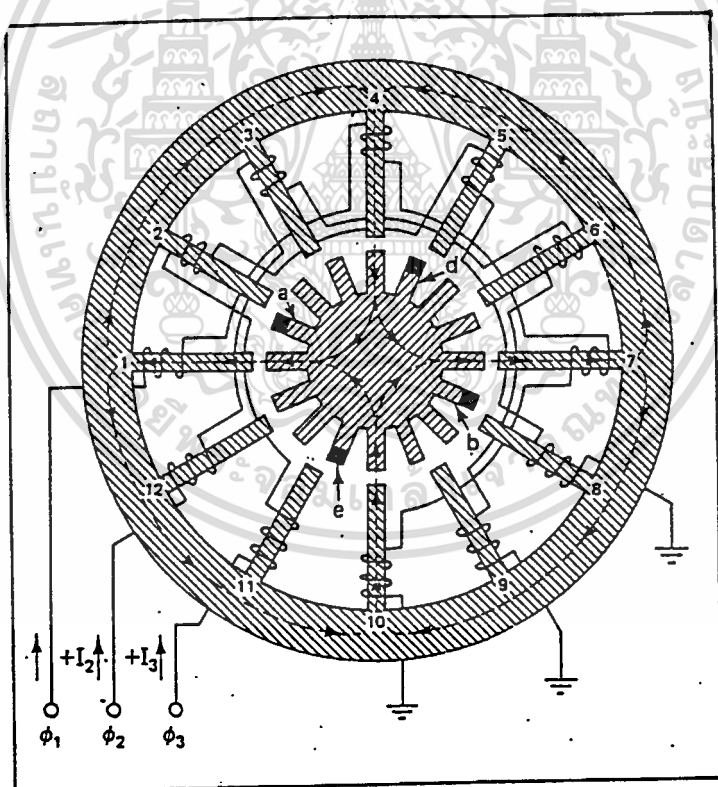
3.2 สเตปมอเตอร์แบบค่ารีลักแตนซ์แปรค่าได้ที่มีสแต็คเดียว

ตัวอย่างโครงสร้างของสเตปมอเตอร์แบบค่ารีลักแตนซ์แปรค่าได้ที่มีสแต็คเดียว หรือที่เรียกสั้นว่า VR สเตปมอเตอร์ที่มีสแต็คเดียวแสดงได้ในรูปที่ 3.5

VR สเตปมอเตอร์ที่มีสแต็คเดียวจะมีโรเตอร์เดียว เมื่อเทียบกับ VR สเตปมอเตอร์แบบที่มีสแต็คหลายถึงมีหลายโรเตอร์ โรเตอร์และสเตเตอร์ทำจากสารแม่เหล็ก

สเตปมอเตอร์ในรูปที่ 3.5 มี 3 เฟสแต่ละเฟสใช้ขดลวดพันบน 4 ขั้วหรือขั้วหนึ่งของสเตเตอร์

ขั้วของสเตเตอร์ที่อยู่ตรงกันข้ามจะพันด้วยขดลวดลักษณะที่ต่าง ๆ กัน เพื่อให้มีความสมดุลระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเข้าและออกจากโรเตอร์

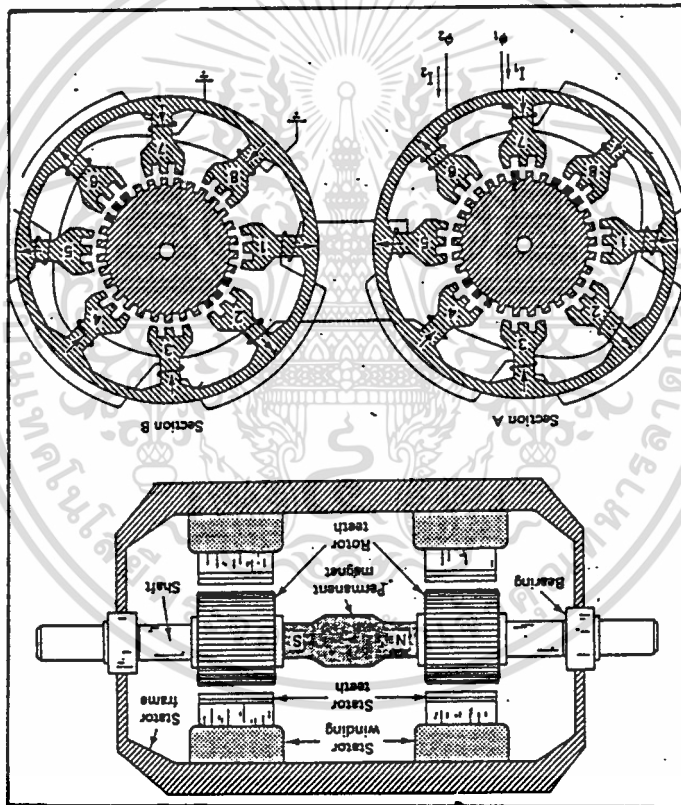


รูปที่ 3.5 VR สเตปมอเตอร์แบบมีสแต็คเดียวและมีรายละเอียดโครงสร้างดังนี้

$$N_r = 16, N_s = 12, X = 4 \text{ โพล/เฟส}, \sigma_s = 7.5, R_s = 48 \text{ สเตป/รอบ}$$

3.4 สเตปมอเตอร์แบบไฮบริด

ไฮบริดสเตปมอเตอร์ (HSM) มีคุณลักษณะผสมของ PM และ VR สเตปมอเตอร์ ในรูปที่ 3.6 แสดงถึงโครงสร้างของ HSM ประกอบด้วย 2 ตอนกับแกนแม่เหล็กอยู่ระหว่าง 2 ตอนแต่ละตอนประกอบด้วยซี่ฟันของโรเตอร์และโพลของสเตเตอร์ที่มีซี่ฟันเช่นกัน และฟันค้ำยชิดคลาด รายละเอียดโครงสร้างของสเตเตอร์และโรเตอร์ของแต่ละตอนแสดงในไดอะแกรมข้างล่างของรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โครงสร้างของไฮบริดสเตปมอเตอร์: $N_r=30, N_s=24$ ซี่ฟันของสเตเตอร์ ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันส่วนซี่ของโรเตอร์ทั้ง 2 ตัว จะมีตำแหน่งต่างกัน $1/2P_r (=6^\circ), 0.3^\circ$

ลักษณะโครงสร้างของไฮบริดสเตปมอเตอร์

-จำนวนขั้วของโรเตอร์และของสเตเตอร์ไม่เท่ากัน

-ตอน A และตอน B มีโครงสร้างเหมือนกัน

-ขั้วของสเตเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะอยู่ในแนวเดียวกันอย่างถูกต้อง

-ส่วนขั้วของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอน จะมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน $1/2P_r$ (ในรูปที่

3.6 กำหนดให้ $P_r = 360/30 = 12$ องศา ดังนั้นตำแหน่งขั้วของโรเตอร์ทั้ง 2 ตอนจะแตกต่างกัน 6 องศา)

-สเตเตอร์ของแต่ละตอนมี 8 โพลแบ่งออกเป็น 2 สเตเตอร์เฟส

-เฟสที่ 1 จะนำขดลวดบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 1, 3, 5 และ 7 ของทั้งใน ตอน A และตอน B

-เฟสที่ 2 จะนำขดลวดบนสเตเตอร์โพลหมายเลข 2, 4, 6 และ 8 ของทั้งใน ตอน A และตอน B

-แกนแม่เหล็กถาวรจะเห็นขวานำโรเตอร์ในตอน A ให้เป็นแม่เหล็กขั้วเหนือและ โรเตอร์ในตอน B ให้เป็นแม่เหล็กขั้วใต้ ความซับซ้อนจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการแบ่ง ส่วนของขดลวดเฟสใน 2 ตอนทำให้ได้วงจรแม่เหล็กที่ซับซ้อน และได้เส้นทางเดินของเส้น แรงแม่เหล็กที่แตกต่างกันเป็นวงกลม ทิศทางเดินของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์โพลจะขึ้น อยู่กับทิศทางการไหลของกระแสเฟสดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 3.6

การทำงานของไฮบริดสเตปมอเตอร์

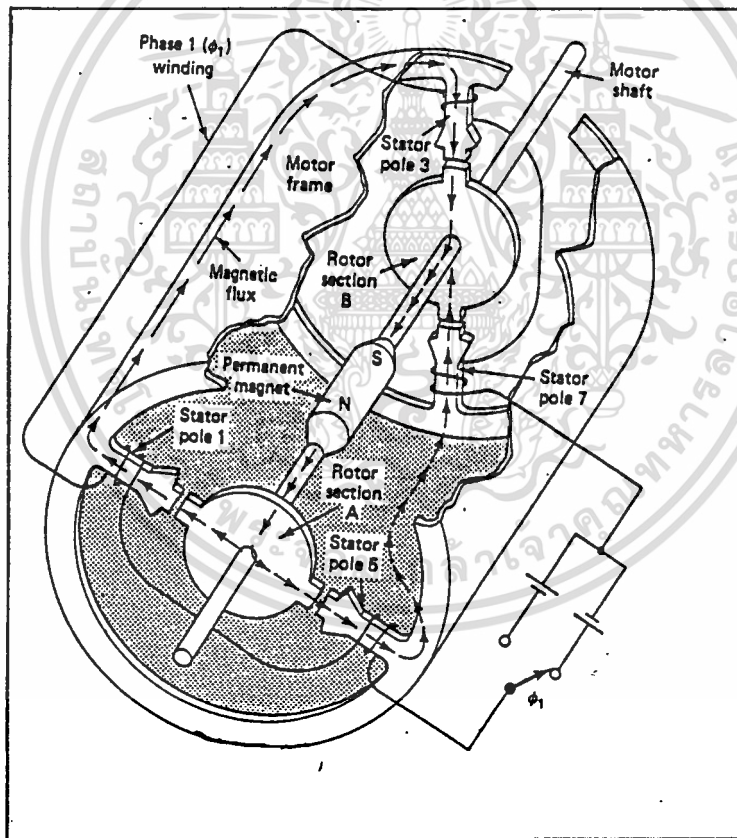
ขณะที่เฟสที่ 1 (ϕ_1) ได้รับพลังงานโดยการป้อนกระแส I_1 ในทิศทางดังแสดง ด้วยลูกศร

ขั้วของโรเตอร์ในตอน A จะอยู่ในแนวเดียวกับขั้วของสเตเตอร์ของโพลที่ 1 และโพลที่ 5 ส่วนของตอน B จะอยู่ในแนวเดียวกับขั้วของ โพลที่ 3 และ โพลที่ 7 ดัง แสดงในรูปที่ 3.7

เพื่อให้เวลาของมอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตปในทิศทาง CW เราจะต้องหยุดป้อน- กระแส I_1 และป้อนกระแส I_2 ให้กับเฟสที่ 2 (ϕ_2)

ในรูปที่ 3.6 ขั้วของโรเตอร์ที่เป็นสัปดาห์สำหรับอ้างอิง ขั้วสัปดาห์จะอยู่ใกล้แนวขั้วของสเตเตอร์ที่ 4 และโพลที่ 8 ในตอน A และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ในตอน B มากที่สุด (ขั้วของโรเตอร์ที่เป็นสัปดาห์ อยู่ห่างจากแนวขั้วของสเตเตอร์ เท่ากับ 1 สเตปโพล)

เราจะต้องป้อนกระแส I_2 ในทิศทางที่ถูกต้องคือจะต้องทำให้โพลที่ 4 และโพลที่ 8 และโพลที่ 2 และโพลที่ 6 ถูกเหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กในทิศทางที่ถูกต้อง (เกิดวงจรแม่เหล็กที่สมบูรณ์) ด้วย I_2 ในกรณีนี้ I_2 จะต้องเป็นลบ



รูปที่ 3.7 วงจรแม่เหล็กของ HSM แสดงถึงเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อเฟสที่ 1 ได้รับพลังงานและเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นในตอน A จะผ่านโพลที่ 1 และโพลที่ 5 เข้าไปยังโรเตอร์ของตอน B ผ่านโพลที่ 3 และโพลที่ 7 เข้าสู่ตัวได (S)

ของแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลของมอเตอร์หมุนไปได้หนึ่งช่องห่างระหว่างขั้วใน 4 สเตป ดังนั้น มุมสเตปจะต้องเท่ากับ $1/4P_r$ หรือมีค่าเท่ากับ $|P_s - P_r|$ ดังนั้น

$$\theta_s = P_r / 4 = 360 / 4N_r = 90 / N_r$$

$$\theta_s = |P_s - P_r|$$

$$\text{ในรูปที่ 3.6 } N_r = 30 \text{ และ } N_s = 24$$

$$\text{ดังนั้น } \theta_s = 90 / 30 = 3^\circ$$

$$= 360 / 24 - 360 / 30 = 3^\circ$$

โซบริดสเตปมอเตอร์ (HSM) จะทำงานด้วยกระแสเฟสที่มีการไหลสองทิศทาง ดังนั้นเราจำเป็นต้องใช้เฟาเวอร์ชันพลาซ 2 ตัว (bipolar drive)

การแก้ปัญหาเนื้อจะขับโซบริดสเตปมอเตอร์ให้ทำงาน ด้วยเฟาเวอร์ชันพลาซ เพียงตัวเดียว (unipolar drive) ได้โดยดัดแปลง โครงสร้างการนำขดลวดเฟสของ สเตเตอร์

การนำขดลวดเฟสของสเตเตอร์แบบแถวเดียว (unifilar) จะต้องขับ แบบไบโพลาร์ (bipolar drive)

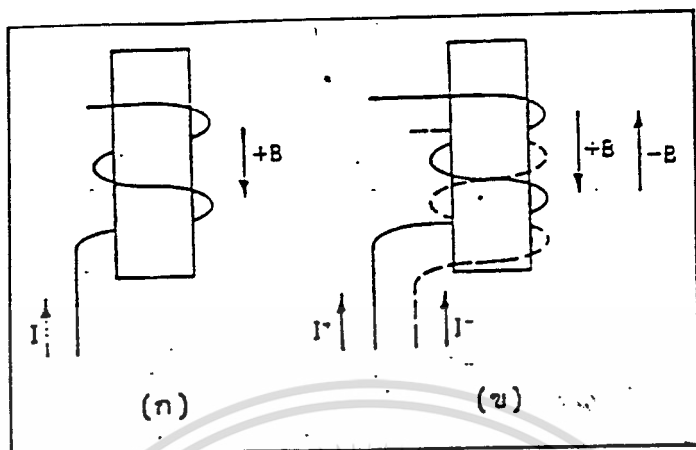
การนำขดลวดแบบสองแถวสลับกัน (bifilar) สามารถขับได้ด้วย ยูนิโพลาร์ (unipolar drive)

ขดลวดแบบแถวเดียว แสดงดังในรูปที่ 3.8 (ก) เราจะต้องสลับทิศทางของ กระแสเพื่อกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก B

ขดลวดแบบสองแถวสลับกัน แสดงดังในรูปที่ 3.8 (ข) ถ้าเราต้องการ กลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเป็น $-B$ สามารถทำได้โดยป้อนกระแสขนาดเดิมจาก เฟาเวอร์ชันพลาซตัวเดิมเข้าที่ขดลวดที่เป็นเส้นประในรูปที่ 3.8 (ข) ก็จะทำให้ทิศทางการ เทียนาแม่เหล็กและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก ($-B$) กลับทิศทางได้

ถ้าหาก HSM ในรูปที่ 3.6 มีขดลวดเฟสของสเตเตอร์เป็นแบบสองแถวสลับกัน ขดลวดเฟส ϕ_1 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็น สองขดลวดเฟส ϕ_1^+ และเฟส ϕ_1^- ขดลวดเฟส ϕ_2 เดิมจะถูกแบ่งตัวออกเป็น สองขดลวดเฟส ϕ_2^+ และเฟส ϕ_2^-

ในตอนนี้จะทำให้เราได้ขดลวดเฟสถึง 4 เฟส และแต่ละเฟสสามารถขับ ได้ด้วยกระแสที่ไหลในทิศทางเดียว ส่วนเครื่องหมาย $+$ และ $-$ ใช้สำหรับแสดงถึงทิศ

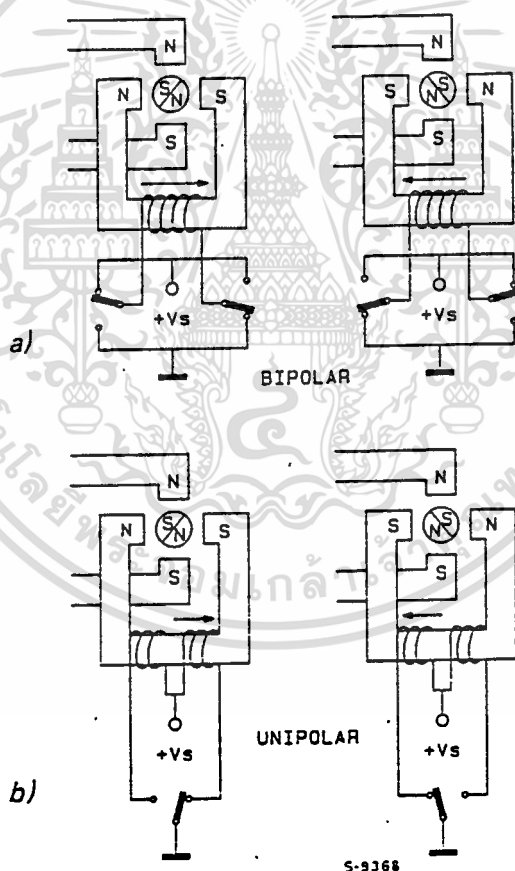


รูปที่ 3.8 การเหนี่ยวนำของสแตเตอร์ (ก) แบบแถวเดียว
(ข) แบบสองแถวสลับกัน

ตัวขับเคลื่อน

ในการออกแบบชุดวงจรขับสำหรับสเตปมอเตอร์นั้น เรามองว่าสเตปมอเตอร์มีการแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แบบยูนิโพลาร์ และแบบไบโพลาร์

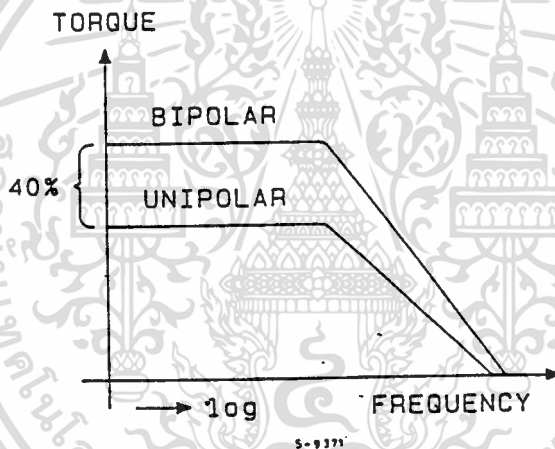
สเตปมอเตอร์เครื่องที่ 1 จังหวะ เมื่อมีการกระตุ้นที่ขดลวดเปลี่ยนแปลง จะเกิดการกลับขั้วของสนามแม่เหล็กที่ขั้วสเตเตอร์ ซึ่งความแตกต่างของมอเตอร์แบบไบโพลาร์กับแบบยูนิโพลาร์ อยู่ตรงจุดนี้เอง (ดังรูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 (ก)ไบโพลาร์ มี 1 ขดลวด 2 ตัวสลับเปลี่ยน
(ข)ยูนิโพลาร์ มี 2 ขดลวด 1 ตัวสลับเปลี่ยน

ข้อได้เปรียบของชุดวงจรขับแบบไบโพลาร์ คือมีสายไฟเพียงเส้นเดียว (ทำให้มีความต้านทานต่ำ) แต่มีข้อเสียตรงที่มีสวิทช์ 2 ตัว ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้น ส่วนวงจรขับแบบยูนิโพลาร์ต้องการสวิทช์ตัวเดียว แต่ต้องใช้นิยามของชุดวงจรแบบสองแถวสลับกัน (ทำให้มีความต้านทานสูง) แต่ยูนิโพลาร์มอเตอร์ยังเป็นที่นิยมอยู่ในปัจจุบันเพราะความง่ายของชุดวงจรขับ

เมื่อพิจารณาเรื่อง แรงบิด ไบโพลาร์มอเตอร์จะให้แรงบิดมากกว่ายูนิโพลาร์มอเตอร์ถึง 40% มีสาเหตุมาจาก แรงบิดนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กของขดลวดสเตเตอร์ (ดังรูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความถี่ของมอเตอร์ทั้ง 2 ชนิด

ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์สำเร็จรูป PMM8713

IC PMM8253 เป็น IC ของบริษัท ซันโย เคนกิ จำกัดแห่งประเทศไทย เป็น IC ประเภท ซีโมส โมโนลิทิก (C-MOS monolithic) สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิด 3 เฟส และ 4 เฟส และสามารถขับได้ทั้งแบบกระตุ้น 1 เฟส, กระตุ้น 2 เฟส และกระตุ้น 1-2 เฟส

ลักษณะทั่วไปของ PMH8713

-สามารถเลือกโหมดการขับสเตปมอเตอร์ได้ทั้งหมด 6 โหมด ดังนี้

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 4 เฟส, กระตุ่น 1 เฟส | 3 เฟส, กระตุ่น 1 เฟส |
| 4 เฟส, กระตุ่น 2 เฟส | 3 เฟส, กระตุ่น 2 เฟส |
| 4 เฟส, กระตุ่น 1-2 เฟส | 3 เฟส, กระตุ่น 1-2 เฟส |

-ไฟเลี้ยง: $V_{dd} = +4V \sim +18$

-กระแสเอาต์พุตสูง 20mA เป็นอย่างน้อย

-เลือกสัญญาณเข้าได้ 2 ลักษณะ คือ

2 อินพุต เทอร์มินอล

1 อินพุต, 1 ตัวเปลี่ยน เทอร์มินอล

หมายเหตุ รายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก แผ่นข้อมูล (DATA SHEET) ที่ให้ไว้ในภาคผนวก



ไอซี 8253

ไอซี 8253 คือ ไอซีทำหน้าที่เป็นตัวนับที่สามารถโปรแกรมได้โดยมีตัวนับอยู่ภายในจำนวน 3 ตัว สามารถโปรแกรมให้ทำงานได้ตามต้องการโดยสั่งงานผ่านรีจิสเตอร์ควบคุม (control register) ตัว 8253 ใช้แอดเดรสจำนวน 4 ตำแหน่ง โดย 3 ตำแหน่งแรกเป็นการโปรแกรมค่านับให้กับตัวนับที่ 0, 1 และ 2 ตามลำดับ และตำแหน่งที่ 4 เป็นตำแหน่งของรีจิสเตอร์ควบคุม

การใช้งาน 8253 ในโหมดต่างๆ

การใช้งาน 8253 ในโหมดต่างๆมีดังนี้

1. โหมด 0 การนับเพื่อสร้างสัญญาณตัดจังหวะ (INTERUPT ON TERMINAL COUNT) คือการนับลงตามความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้ามา เมื่อเป็น 0 ก็จะทำให้เอาต์พุตเป็น 1 และจะกลับเป็น 0 เมื่อป้อนค่านับใหม่ให้กับตัวนับ
2. โหมด 1 การสร้างพัลส์ที่โปรแกรมช่วงเวลาได้ (PROGRAMMABLE ONE-SHOT) คือการสร้างพัลส์ที่สามารถกำหนดความกว้างได้ โดยเมื่อมีการกระตุ้นที่ขาเกต (GATE) ก็จะทำให้เอาต์พุตเป็น 0 เท่ากับจำนวนเต็มของพัลส์ของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเราสามารถโปรแกรมจำนวนพัลส์ได้
3. โหมด 2 ตัวกำเนิดสัญญาณ (RATE GENERATOR) คือการหารสัญญาณนาฬิกาด้วย N ที่โปรแกรมเข้ามาโดยรูปแบบเอาต์พุตจะมี 0 อยู่ 1 พัลส์ต่อ 1 จำนวน N พัลส์
4. โหมด 3 ตัวกำเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (SQUARE WAVE GENERATOR) การทำงานคล้ายกับโหมด 2 แต่รูปแบบเอาต์พุตจะมีลักษณะที่ 0 และ 1 ที่สมมาตรกัน
5. โหมด 4 การหน่วงเวลาด้วยซอฟต์แวร์ (SOFTWARE TRIGGERED STROBE) การทำงานในโหมดนี้ตั้งนับจะให้เอาต์พุตจำนวน 1 พัลส์ โดยที่เมื่อการหน่วงเวลาออกไป เท่ากับจำนวนพัลส์ที่โปรแกรมไว้
6. โหมด 5 การหน่วงเวลาด้วยฮาร์ดแวร์ (HARDWARE TRIGGERED STROBE) การทำงานเหมือนกับโหมด 4 แต่การกระตุ้นให้เริ่มหน่วงเวลาต้องทำโดยป้อนอินพุตของขาขึ้นที่ขาเกต ก็จะเริ่มนับ เมื่อนับครบแล้วก็จะให้เอาต์พุตเป็น 0 จำนวน 1 พัลส์

บทที่ 4

การออกแบบส่วนประกอบส่วนต่างๆของแขนกล

การออกแบบส่วนประกอบส่วนต่างๆเพื่อสร้างแขนกล สามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดขนาดต่างๆของแขนกล เช่น ชนิดของแขนกลที่ต้องการสร้าง จำนวนองศาแห่งอิสระ ความเร็วของการเคลื่อนที่ ภาระของแขนกล
- 2) คำนวณน้ำหนักโดยประมาณของส่วนประกอบต่างๆ เมื่อทราบขนาดต่างๆตามขั้นตอนที่ 1 แล้ว เราก็ทำการร่างแบบของแขนกลขึ้นมาคร่าวๆ จากนั้นให้นำแบบที่ร่างขึ้นมาคำนวณน้ำหนักโดยประมาณเพื่อจะได้นำไปคำนวณหาขนาดของมอเตอร์และเฟืองต่อไป
- 3) คำนวณขนาดมอเตอร์และเฟืองที่ใช้ โดยนำน้ำหนักจากขั้นตอนที่ 2 มาคำนวณหาแรงบิด (torque) จากนั้นจึงเลือกขนาดของเฟืองและมอเตอร์ที่เหมาะสม
- 4) สำหรับส่วนที่ต้องการให้น้ำหนักเบา สามารถทำได้โดยใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลัง ซึ่งขนาดของสายพานต้องคำนึงถึงแรงที่กระทำต่อสายพาน และขนาดที่มีขายในท้องตลาดด้วย
- 5) ออกแบบเพลาน้ำหนักเฟือง
- 6) ทำการตรวจสอบขนาดและรูปร่างของชิ้นส่วนต่างๆเพื่อดูว่าขนาดที่กำหนดขึ้นมาสามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันได้หรือไม่ หรือมีขายในท้องตลาดหรือไม่ หากขนาดที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ก็ให้เริ่มต้นการออกแบบใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 5 จนกว่าจะได้ขนาดที่เหมาะสม

4.1) กำหนดขนาดและส่วนประกอบของแขนกล

แขนกลที่จะสร้างมีขนาดและส่วนประกอบคร่าวๆดังนี้

- ก) มี 5 องศาแห่งอิสระ คือ ที่ฐาน แขนท่อนบน และแขนท่อนล่างแต่ละ 1 องศาแห่งอิสระ ที่มีข้อ 2 องศาแห่งอิสระ คือ หมุนมือและนิ้วมือ
- ข) ความเร็วของการหมุนในแนวระดับ (การหมุนของฐาน) เท่ากับ 6 รอบต่อ นาที และหมุนได้ 360 องศา

ค) แขนก่อนบนหมุนได้ +90 องศา

ง) แขนก่อนล่างหมุนได้ 180 องศา คือ +90 องศา และ -90 องศา

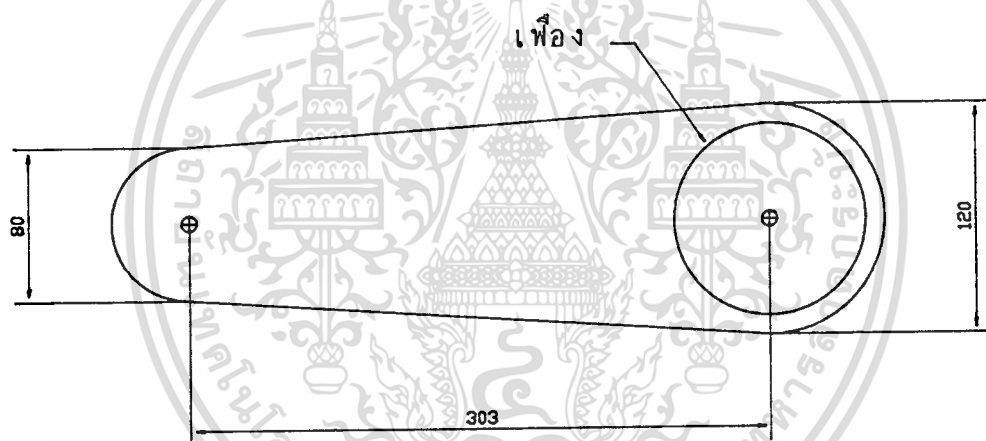
จ) มือจับหมุนได้ 360 องศา พับขึ้นลงได้ 180 องศา คือพับขึ้น +90 องศา

พับลง -90 องศา มือจับเลื่อนออกได้กว้างสุด 5 เซนติเมตร

ฉ) ภาระสูงสุดของแขนกลเท่ากับ 1 กิโลกรัม

4.2) คำนวณน้ำหนักของส่วนต่างๆ

4.2.1) แขนก่อนบน (first arm) ใช้อลูมิเนียมเป็นวัสดุ ลักษณะของแขนจะเป็นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขนาดโดยประมาณของแขนก่อนบน

น้ำหนักของแขนด้านบนประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ น้ำหนักเฟรม และ น้ำหนักเฟือง

น้ำหนักของเฟรมแบ่งเป็น 3 ส่วน

ก) ส่วนกลาง มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จะคิดว่าเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านกว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 30.3 เซนติเมตร ตัวเฟรมหนา 0.5 เซนติเมตร ดังนั้น น้ำหนักของเฟรมส่วนกลางสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักของเฟรมส่วนกลาง} &= \text{กว้าง} * \text{ยาว} * \text{หนา} * \text{ความหนาแน่น} \\ &= 12 * 30.3 * 0.5 * 2.7 \\ &= 490.86 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

(ความหนาแน่นของอลูมิเนียม = 2.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

ข) ครึ่งวงกลมด้านซ้าย มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักของครึ่งวงกลมด้านซ้าย} &= \text{พื้นที่ครึ่งวงกลม} * \text{หนา} * \text{ความหนาแน่น} \\ &= (\pi(4)^2/2) * 0.5 * 2.7 \\ &= 33.93 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

ค) ครึ่งวงกลมด้านขวา มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักของครึ่งวงกลมด้านขวา} &= \text{พื้นที่ครึ่งวงกลม} * \text{หนา} * \text{ความหนาแน่น} \\ &= (\pi(6)^2/2) * 0.5 * 2.7 \\ &= 76.34 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น น้ำหนักรวมของเฟรม} &= 490.86 + 33.93 + 76.34 \\ &= 601.13 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

ในส่วนของน้ำหนักเป็องนั้น เนื่องจากเรายังไม่ทราบขนาดที่แท้จริงของเป็องที่ต้องใช้ ดังนั้นจึงประมาณขนาดของเป็องว่ามีรัศมี 5 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร และน้ำหนักของเป็องสามารถคำนวณได้ดังนี้

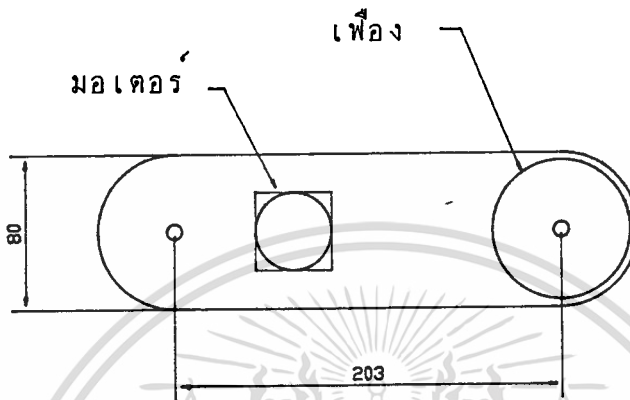
$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักเป็อง} &= \text{พื้นที่วงกลม} * \text{หนา} * \text{ความหนาแน่น} \\ &= \pi(5)^2 * 1 * 7.5 \\ &= 589.05 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

(ความหนาแน่นของเหล็ก = 7.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

เนื่องจากแขนด้านบน ประกอบด้วยเฟรม 2 ชิ้น และสมมติให้มีเป็องจำนวน 2 ชิ้น และยังมีส่วนประกอบอื่นๆอีก เช่น ลูกปืน เบลูที่เป็นแกนของเป็อง ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้ยังไม่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน เพื่อความถูกต้องจึงเพิ่มแฟคเตอร์เพื่อความปลอดภัย (safety factor, α) เข้าไปด้วย

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้นน้ำหนักของแขนด้านบน} (W_x) &= 2(601.13 + 589.05) + \alpha \\ &= 2380.36 + \alpha \text{ กรัม} \\ &= 3000 \text{ กรัม หรือ 3 กิโลกรัม}\end{aligned}$$

4.2.2) แขนท่อนล่าง (socond arm) ใช้อลูมิเนียมเป็นวัสดุ ลักษณะของ แขนจะเป็นดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขนาดโดยประมาณของแขนท่อนล่าง

น้ำหนักของแขนด้านล่างประกอบด้วย น้ำหนักเฟรม น้ำหนักเฟือง น้ำหนัก มอเตอร์สำหรับหมุนมือจับ (gripper)

เฟรมสร้างด้วยอลูมิเนียม น้ำหนักเฟรม แบ่งเป็น 2 ส่วน

ก) ส่วนกลาง มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 8 เซนติเมตร สว

20.3 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร

น้ำหนักของเฟรมส่วนกลาง = กว้าง * สว * หนา * ความหนาแน่น

$$= 8 * 20.3 * 0.5 * 2.7$$

$$= 219.24 \text{ กรัม}$$

ข) ครึ่งวงกลมทั้งสองด้าน แต่ละด้านมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร

สามารถคิดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตรได้เลย

น้ำหนักของครึ่งวงกลมสองด้าน = พื้นที่หน้าตัด * หนา * ความหนาแน่น

$$= \pi(4)^2 * 0.5 * 2.7$$

$$= 67.86 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น น้ำหนักรวมของเฟรม = $219.24 + 67.86 = 287.1$ กรัม

น้ำหนักเฟือง สมมติว่าเฟืองที่ใช้มีรัศมี 4 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร

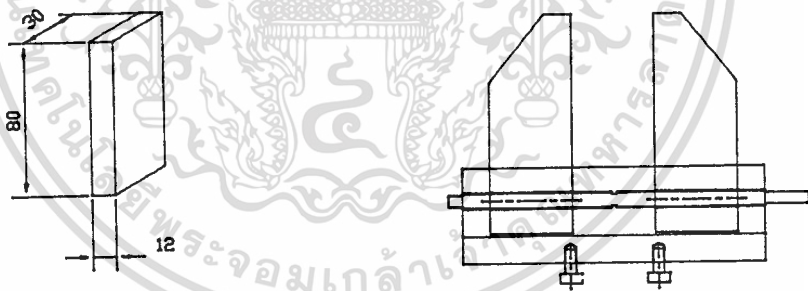
$$\begin{aligned}\text{ดังนั้นน้ำหนักเฟือง} &= \text{พื้นที่หน้าตัด} * \text{หนา} * \text{ความหนาแน่น} \\ &= \pi(4)^2 * 1 * 7.5 \\ &= 377 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

น้ำหนักมอเตอร์ เนื่องจากแรงบิดที่มือจับมีค่าไม่สูงนัก ดังนั้นเลือกใช้มอเตอร์ขนาดเล็ก ที่มีน้ำหนัก 150 กรัม

นอกจากน้ำหนักของเฟรม เฟือง และมอเตอร์แล้ว แขนด้านล่างยังประกอบด้วยส่วนอื่นๆอีก เช่น ลูกปืน เบล่า ดังนั้นในการหาน้ำหนักที่แท้จริง จะต้องรวมแผ่นเตอร์เพื่อความปลอดภัยเข้าไปด้วย

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักของแขนด้านล่าง} (W_2) &= 2(287.1 + 377) + 150 + \alpha \\ &= 1478.2 + \alpha \\ &= 1800 \text{ กรัม หรือ } 1.8 \text{ กิโลกรัม}\end{aligned}$$

4.2.3) มือจับ (gripper) ใช้อลูมิเนียมเป็นวัสดุ มือจับจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 4.3 ขนาดโดยประมาณของมือจับ

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ จะสมมติให้มือจับเป็นก้อนสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ กว้าง 3 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร และหนา 1.2 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้นน้ำหนักของมือจับ} &= \text{กว้าง} * \text{สูง} * \text{หนา} * \text{ความหนาแน่น} * 2 \\ &= 3 * 8 * 1.2 * 2.7 * 2 \\ &= 155.5 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

นอกจากนี้ยังประกอบด้วยส่วนอื่นๆอีก ซึ่งเราคิดรวมเป็นแฟคเตอร์เพื่อความปลอดภัย

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักของมือจับ (} W_g \text{)} &= 155.5 + \alpha \\ &= 300 \text{ กรัม หรือ } 0.3 \text{ กิโลกรัม}\end{aligned}$$

4.2.4) ภาระ (load) กำหนดให้แขนกลยกน้ำหนักได้ 1 กิโลกรัม

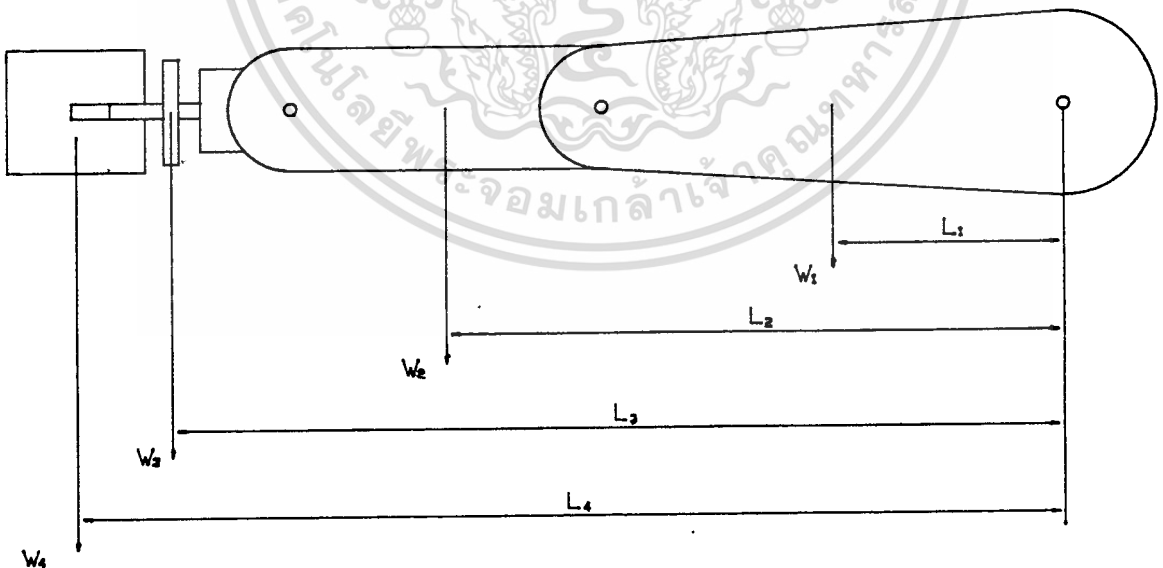
$$\text{น้ำหนักของภาระ (} W_a \text{)} = 1 \text{ กิโลกรัม}$$

4.3) คำนวณขนาดมอเตอร์และเฟือง

การคำนวณขนาดมอเตอร์และอัตราทดของเฟือง จะต้องคำนวณแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ส่วนต่างๆเสียก่อน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

วิธีคำนวณแรงบิด

สมมติว่าแขนกลมีลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แขนกลที่ใช้ในการคำนวณแรงบิด

การคำนวณหาแรงบิดที่ฐาน ซึ่งหมุนในแนวระนาบ จะต้องหาค่าโมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of Inertia, I) ก่อน โดยหาได้จากสมการ

$$I = I_0 + 1/g(W_1L_1^2 + W_2L_2^2 + W_3L_3^2 + W_4L_4^2) \quad \dots (4.1)$$

สำหรับ I_0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/12g(WL^2)$ นั้นมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้น

$$I = 1/g(W_1L_1^2 + W_2L_2^2 + W_3L_3^2 + W_4L_4^2) \quad \dots (4.2)$$

เมื่อ W_1 : น้ำหนักของแขนท่อนบน
 W_2 : น้ำหนักของแขนท่อนล่าง
 W_3 : น้ำหนักของมือจับ
 W_4 : น้ำหนักของภาระ
 L_1 : ความยาวจากจุดกึ่งกลางฐานถึงจุดกึ่งกลางแขนท่อนบน
 L_2 : ความยาวจากจุดกึ่งกลางฐานถึงจุดกึ่งกลางแขนท่อนล่าง
 L_3 : ความยาวจากจุดกึ่งกลางฐานถึงจุดกึ่งกลางมือจับ
 L_4 : ความยาวจากจุดกึ่งกลางฐานถึงจุดกึ่งกลางภาระ
 g : ความเร่งสู่ศูนย์กลางซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดของโลก (gravity acceleration)

จากค่าที่ได้นี้สามารถนำไปหาค่าแรงบิดโดยใช้สมการ

$$T = I * \ddot{\theta} \quad \dots (4.3)$$

เมื่อ $\ddot{\theta}$: อัตราเร็วเชิงมุมซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\pi N$ (รอบต่อวินาที)
 $\dot{\theta}$: อัตราเร่งเชิงมุม (เรเดียนต่อ(วินาที)²)
 N : อัตราเร็ว (รอบต่อวินาที)

เนื่องจากแขนท่อนต่างๆหมุนขึ้นลงในแนวดิ่ง ดังนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$T = \Sigma (W * L) \quad \dots (4.4)$$

เมื่อ T : แรงบิดที่ข้อต่อของแขนท่อนต่างๆ (กิโลกรัม.เซนติเมตร)

W : น้ำหนักของส่วนต่างๆ (กิโลกรัม)

L : ระยะทางจากจุดที่คิดแรงบิดถึงน้ำหนัก (เซนติเมตร)

แรงบิดที่คำนวณได้ควรบวกแฟคเตอร์เพื่อความปลอดภัยเข้าไปด้วย เนื่องจากระหว่างที่ส่งแรงจากมอเตอร์ไปยังเฟือง หรือจากเฟืองไปยังเพลลา อาจมีการสูญเสียแรงไปในรูปของแรงเสียดทาน (friction loss)

เมื่อคำนวณค่าแรงบิดสูงสุดได้แล้ว ขั้นต่อไป คือ การเลือกขนาดเฟืองและมอเตอร์ให้เหมาะสมกับขนาดแบบของแขนกลที่ร่างไว้ สำหรับการออกแบบแขนกลตัวนี้ ได้เลือกขนาดของมอเตอร์ก่อนเพื่อความสะดวกในการหาซื้อ จากนั้นจึงนำแรงบิดของมอเตอร์ซึ่งเปิดได้จากแค็ตตาล็อก ไปหารออกจากแรงบิดที่เราหาได้ในขั้นตอนแรก ก็จะได้อัตราทดของเฟือง

$$G_c = T / T_m = Z_2 / Z_1 \quad \dots (4.5)$$

เมื่อ T_m : แรงบิดของมอเตอร์

Z_1 : จำนวนซี่ของเกียร์ตัวเล็ก ซึ่งต่ออยู่กับแกนของมอเตอร์

Z_2 : จำนวนซี่ของเกียร์ตัวใหญ่ ซึ่งต่ออยู่กับแกนของแขนกล

เนื่องจากแรงบิดของมอเตอร์มีประสิทธิภาพไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ จึงต้องคูณค่าประสิทธิภาพเข้าไปด้วย ในการออกแบบ จะกำหนดให้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ 90 เปอร์เซ็นต์ของสเปคในคู่มือสินค้า

เมื่อได้อัตราทดของเฟืองที่ต้องใช้แล้ว ขั้นต่อไปคือการเลือกขนาดเฟืองที่จะใช้ เฟืองจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับขนาดโมดูล (module) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนิตซ์กับจำนวนฟันบนเฟือง โมดูลขนาดมาตรฐาน (ISO/R54) จะมีขนาดต่างๆกัน คือ 1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50

ยิ่งโมดูลมีค่าน้อยจะทำให้ขนาดของเฟืองเล็กตามไปด้วย ในการออกแบบจึงเลือกโมดูลเล็กที่สุด คือ โมดูลเท่ากับ 1

จากค่าอัตราทดที่ได้ และค่าโมดูลที่เลือกไว้ จะสามารถหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางและจำนวนซี่ฟันของเฟืองได้ จำนวนของเฟืองที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเป็นชุดเดียวเสมอไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการออกแบบและขนาดที่มีขาย หลังจากเลือกขนาดของเฟืองได้แล้ว ต้องทดสอบความสามารถในการรับแรงของเฟืองโดยใช้สมการ

$$\sigma_b = F / (mbY) \quad \dots (4.6)$$

เมื่อ σ_b : ความเค้นของวัสดุที่ใช้ทำเฟือง (bending stress of material)
 F : แรงซึ่งเกิดขึ้นที่เฟือง หาได้จาก แรงบิดหารด้วยรัศมีของเฟืองตาม ซึ่งก็คือรัศมีของเฟืองตัวใหญ่นั้นเอง [$F = T / r$]
 m : โมดูล ในการออกแบบใช้ค่า โมดูลเท่ากับ 1
 b : ความหนาของเฟือง หน่วยเป็นมิลลิเมตร
 Y : ค่าตัวประกอบรูปแบบ (Form Factor) มีค่าเท่ากับ y_F ค่าตัวประกอบรูปแบบเปิดได้จากตารางที่ 1 ในหน้าที่ 45 และ 46 โดยเลือกจากเฟืองขับ คือเฟืองตัวเล็ก และเฟืองที่ใช้คือมาตรฐาน 20 องศาเอพดี

เมื่อได้ค่าความเค้นของวัสดุที่ใช้ทำเฟืองแล้ว ก็ไปเปิดตารางที่ 2 ในหน้าที่ 47 ค่าที่ได้จากตารางจะเป็นค่าสูงสุดที่วัสดุที่ใช้ทำเฟืองชนิดต่างๆสามารถรับแรงได้ หากค่าที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าจากตาราง แสดงว่าความหนาของเฟืองที่เลือก สามารถนำมาใช้ได้ หากขนาดที่เราเลือกไม่มีขาย ก็สามารถใช้เฟืองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ แต่ต้องคำนึงถึงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและพื้นที่ในการติดตั้งเฟืองด้วย

4.4) การคำนวณขนาดของสายพาน

ในบางโอกาสเราไม่สามารถติดตั้งมอเตอร์ในตำแหน่งที่ต้องการได้ อันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ไม่ต้องการให้น้ำหนักที่ส่วนนั้นมีค่าสูงเกินไป หรือ บริเวณนั้นมีพื้นที่น้อยเกินไป เราสามารถแก้ปัญหาต่างๆเหล่านี้ได้โดยติดตั้งมอเตอร์ในบริเวณอื่น แล้ว

ใช้สายพานเป็นตัวส่งแรงไปยังส่วนที่ต้องการ

การคำนวณขนาดของสายพาน จะใช้สูตร

$$b = F / \sigma_u \quad \dots (4.7)$$

เมื่อ

b : ความหนาของสายพาน

σ_u : แรงดึงเค้น (tension stress) ที่กระทำต่อสายพาน เปิดได้จากตารางที่ 3 ในหน้าที่ 47 แล้วหารด้วยแฟคเตอร์เพื่อความปลอดภัย ในที่นี้ใช้ค่าแฟคเตอร์เพื่อความปลอดภัยเท่ากับ 4

การส่งแรงด้วยสายพาน จะต้องใช้รอก(pulley)แทนเนื่อง การเลือกขนาดของรอกใช้หลักการเดียวกับเบื้องทูลอย่าง

เมื่อได้ขนาดของรอกแล้ว เราจะต้องคำนวณความยาวของสายพาน โดยใช้

สูตร

$$L = (2 * l) + 0.5 * \pi * (D_u + D_b) + [(D_u - D_b)^2 / (4 * l)] \dots (4.8)$$

เมื่อ

L : ความยาวของสายพาน (มิลลิเมตร)

l : ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของรอกทั้งสองตัว (มิลลิเมตร)

D_u : เส้นผ่าศูนย์กลางของรอกตัวที่ 1 (มิลลิเมตร)

D_b : เส้นผ่าศูนย์กลางของรอกตัวที่ 2 (มิลลิเมตร)

เมื่อได้ความหนาและความยาวของสายพานแล้ว ก็สามารถเลือกสายพานได้ บางครั้งขนาดที่ต้องการอาจจะไม่มี จะต้องเลือกสายพานขนาดที่สากว่าแล้วไปเพิ่มขนาดเฟรมให้ได้ตามขนาดสายพานที่มีขาย

จากหลักการออกแบบข้างต้น สามารถนำมาออกแบบแบนกลในส่วนต่างๆได้

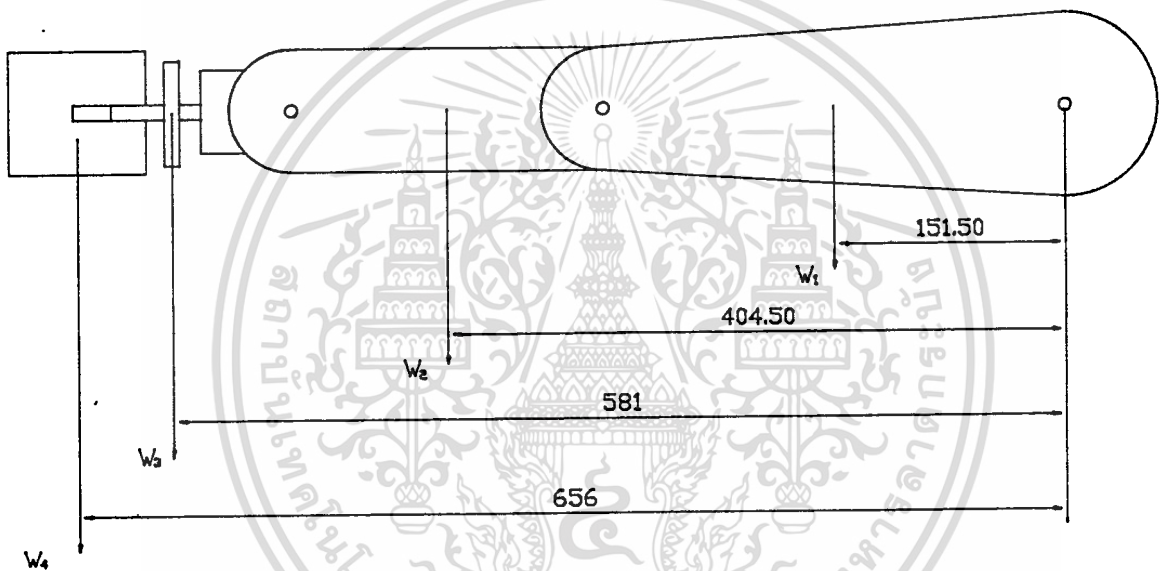
ดังนี้

ก) ส่วนฐาน จากน้ำหนักและขนาดของแขนส่วนต่างๆ ตามรูปที่ 4.5 สามารถหาค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยโดยใช้สมการที่ 4.2

$$I = 1/g * [W_4 L_4^2 + W_3 L_3^2 + W_2 L_2^2 + W_1 L_1^2]$$

$$= 1/980 * [(1.0 * 65.6^2) + (0.3 * 58.1^2) + (1.8 * 40.45^2) + (3.0 * 15.15^2)]$$

$$I = 9.13 \text{ กิโลกรัมต่อเซนติเมตร}$$



รูปที่ 4.5 ขนาดของแขนกลที่ใช้ในการคำนวณแรงบิด

ดังนั้น แรงบิดหาได้จากสมการที่ 4.3

$$T = I * \dot{\theta}$$

$$\omega = 2 * \pi * n$$

$$= 2 * \pi * 6/60 = 0.628 \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

$$\dot{\theta} = (0.628 - 0.0) / 0.1 = 6.28 \text{ เรเดียนต่อ(วินาที)}^2$$

$$T = 9.13 * 6.28 = 57.35 \text{ กิโลกรัมเซนติเมตร}$$

เพิ่มค่าของแรงบิดอันเนื่องมาจากความสูญเสียจากแรงเสียดทาน ดังนั้นแรงบิดของมอเตอร์สำหรับหมุนฐานจะกลายเป็น

$$T_{\Sigma} = T + \alpha = 70 \text{ กิโลกรัมเซนติเมตร}$$

จากการเลือกมอเตอร์จะใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิดเท่ากับ 5.5 กิโลกรัมเซนติเมตร เมื่อคิดประสิทธิภาพของของมอเตอร์เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ แรงบิดของมอเตอร์จะกลายเป็น 4.95 กิโลกรัมเซนติเมตร ดังนั้นอัตราทดของเฟืองจะมีค่า

$$G_e = T_{\Sigma} / T_{\Sigma} = 70 / 4.95 = 14.14$$

เลือกใช้เฟืองสองชุดในการทดกำลัง ดังนั้นเฟืองแต่ละชุดจะมีอัตราทดเท่ากับ

4 ต่อ 1

ถ้าเฟืองมีโมดูลเท่ากับ 1 ดังนั้น

$$dp_1 = mz_1 = 15 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$dp_2 = mz_2 = 60 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$dp_3 = mz_3 = 15 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$dp_4 = mz_4 = 60 \text{ มิลลิเมตร}$$

นั่นคือ เฟืองแต่ละตัวที่ใช้จะมีขนาด 60 ต่อ 15

สมมติเฟืองมีความหนา 10 มิลลิเมตร ทดสอบดูว่าเฟืองขนาดนี้สามารถรับแรงได้หรือไม่

$$\sigma_b = F / (m * b * Y)$$

$$F = T / r = 57.35 / 3 = 19.11 \text{ กิโลกรัม (kgf)}$$

ค่าตัวประกอบรูปแบบ (Y) หาได้จากตารางที่ 1 จากตารางที่จำนวนฟันเท่ากับ 15 ที่ ค่าตัวประกอบรูปแบบเท่ากับ 0.289 ดังนั้น

$$= 19.11 / (1.0 * 10 * 0.289)$$

$$= 6.61 \text{ กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร}$$

จากตารางที่ 2 ค่าความเค้นของเหล็ก(S45)เท่ากับ 17 ~ 24 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ดังนั้นเฟืองที่มีความหนาตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรขึ้นไป สามารถใช้ได้ทุกขนาด

ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบรูปแบบ (Form Factor)

จำนวน ฟัน	แรงกระทำที่ปลาย							
	14.5 องศา FD		20 องศา FD		20 องศา Stub		25 องศา	
	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y
10	0.176	0.056	0.021	0.064	0.261	0.083		
11	0.192	0.061	0.226	0.072	0.289	0.092		
12	0.021	0.067	0.245	0.078	0.311	0.099	0.242	0.077
13	0.223	0.071	0.264	0.083	0.324	0.103	0.258	0.082
14	0.236	0.075	0.276	0.088	0.339	0.108	0.270	0.086
15	0.245	0.078	0.289	0.092	0.349	0.111	0.286	0.091
16	0.255	0.081	0.295	0.094	0.360	0.115	0.298	0.095
17	0.264	0.084	0.302	0.096	0.368	0.117	0.311	0.099
18	0.270	0.086	0.308	0.098	0.377	0.120	0.324	0.103
19	0.277	0.088	0.314	0.100	0.386	0.123	0.336	0.107
20	0.283	0.090	0.320	0.102	0.393	0.125	0.349	0.111
21	0.289	0.092	0.326	0.104	0.399	0.127	0.365	0.116
22	0.292	0.093	0.330	0.105	0.404	0.129	0.377	0.120
23	0.296	0.094	0.333	0.106	0.408	0.130	0.390	0.124
24	0.302	0.096	0.337	0.107	0.411	0.132	0.403	0.128
25	0.305	0.097	0.340	0.108	0.416	0.133	0.415	0.132
26	0.308	0.098	0.344	0.109	0.421	0.135	0.428	0.136
27	0.311	0.099	0.348	0.111	0.426	0.136	0.418	0.133
28	0.314	0.100	0.352	0.112	0.430	0.137	0.409	0.130
29	0.316	0.101	0.355	0.113	0.434	0.138	0.412	0.131
30	0.318	0.101	0.358	0.114	0.437	0.139	0.418	0.133
31	0.320	0.101	0.316	0.115	0.440	0.140	0.421	0.134
32	0.322	0.101	0.346	0.116	0.443	0.141	0.428	0.136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่าตัวประกอบรูปแบบ (Form Factor) (ต่อ)

จำนวน ฟีน	แรงกระทำที่ปลาย							
	14.5 องศา FD		20 องศา FD		20 องศา Stub		25 องศา	
	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y
33	0.324	0.103	0.367	0.117	0.445	0.142	0.430	0.137
34	0.326	0.104	0.371	0.118	0.447	0.142	0.434	0.138
35	0.327	0.104	0.373	0.119	0.449	0.143	0.437	0.139
36	0.329	0.105	0.377	0.120	0.451	0.144	0.443	0.141
37	0.330	0.105	0.380	0.121	0.454	0.144	0.446	0.142
38	0.333	0.106	0.384	0.122	0.455	0.145	0.450	0.143
39	0.335	0.107	0.386	0.123	0.457	0.146	0.454	0.144
40	0.336	0.107	0.389	0.124	0.459	0.146	0.460	0.146
43	0.339	0.108	0.397	0.126	0.467	0.147	0.463	0.147
45	0.340	0.108	0.399	0.127	0.468	0.149	0.469	0.149
50	0.346	0.110	0.408	0.130	0.474	0.151	0.478	0.152
55	0.352	0.112	0.415	0.132	0.480	0.153	0.485	0.154
60	0.355	0.113	0.421	0.134	0.484	0.154	0.490	0.156
65	0.358	0.114	0.425	0.135	0.488	0.155	0.496	0.158
70	0.360	0.115	0.429	0.136	0.493	0.157	0.502	0.160
75	0.361	0.115	0.433	0.138	0.496	0.158	0.508	0.161
80	0.363	0.116	0.436	0.139	0.499	0.159	0.510	0.162
90	0.366	0.117	0.442	0.141	0.503	0.160	0.516	0.164
100	0.368	0.117	0.446	0.142	0.506	0.161	0.521	0.166
150	0.375	0.119	0.458	0.146	0.518	0.165	0.531	0.169
200	0.378	0.120	0.463	0.147	0.524	0.167	0.538	0.171
300	0.382	0.122	0.471	0.150	0.534	0.170	0.550	0.175
แร็ค	0.390	0.124	0.484	0.154	0.550	0.175	0.568	0.180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่าความเค้นของเหล็กชนิดต่างๆ

ประเภทของเหล็ก	ความเค้นดึง (σ_u) {kgf/mm ² }	ความเค้นบีด (σ_c) {kgf/mm ² }
เหล็กหล่อคาร์บอน (S15C)	40~50	14~17
เหล็กหล่อคาร์บอน (S45C)	50~65	17~24
เหล็กหล่อคาร์บอน (S50C)	65~85	24~30
เหล็กหล่อนิเกิล-โครเมียม (3%Ni)	80~100	27~37
เหล็กหล่อนิเกิล-โครเมียม (4.5%Ni)	150~170	50~60

ตารางที่ 3 ค่าแรงดึงเค้นของสายพานชนิดต่างๆตามมาตรฐาน JIS K 6372

สายพาน	ชนิด				
	XL	L	H	XH	XXH
แรงดึงเค้น (σ_{max}) {kgf/25.4 mm}	200	270	690	950	1100

ข) แขนท่อนบน มีลักษณะดังรูปที่ 4.5 เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแขนท่อนบนเป็นการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้ง ดังนั้นแรงบิดหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} T &= \Sigma (W * L) \\ &= (1.0 * 65.6) + (0.3 * 58.1) + (1.8 * 40.45) \\ &\quad + (3.0 * 15.15) \\ &= 201.29 \text{ กิโลกรัมเซนติเมตร} \end{aligned}$$

เลือกมอเตอร์ที่มีแรงบิด 5.5 กิโลกรัมเซนติเมตร คิดประสิทธิภาพ 90 เปอร์เซ็นต์ แรงบิดจึงเหลือเพียง 4.95 กิโลกรัมเซนติเมตร ดังนั้น อัตราทดจะเป็น

$$\begin{aligned} G_c &= T / T_m \\ &= 201.29 / 4.95 = 40.66 \end{aligned}$$

เนื่องจากการติดตั้งเฟืองจะอยู่ในแนวตั้ง ดังนั้นจะเกิดความสูญเสียในการส่งแรงจากมอเตอร์มายังเพลา โดยคิดว่าการส่งแรงผ่านเฟืองหนึ่งชุด จะสูญเสียแรงไป 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอัตราทดจะเปลี่ยนเป็น

$$\begin{aligned} G_c &= 40.66 / (0.9)^2 \\ &= 50.20 \end{aligned}$$

จากค่าอัตราทดที่ได้พบว่าต้องเลือกเฟืองที่มีอัตราทดเป็น 7.3 ต่อ 1 จำนวน 2 ชุดซึ่งจะได้อัตราทดรวมเป็น

$$\begin{aligned} G_c &= (Z_4 / Z_3) * (Z_2 / Z_1) \\ &= (7.3 / 1) * (7.3 / 1) \\ &= 53.29 \end{aligned}$$

เลือกเฟืองขนาด 110 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชุด ทดสอบความสามารถในการรับแรงของเฟือง

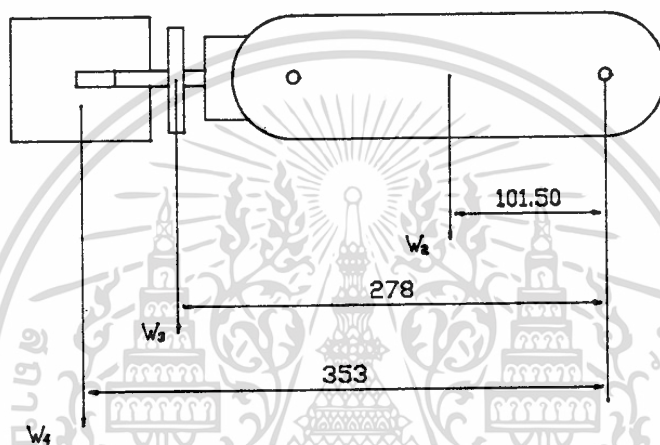
จาก
$$\begin{aligned} F &= T / r \\ &= 201.29 / 5.5 \\ &= 36.6 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

ค่าตัวประกอบรูปแบบเปิดได้จากตารางที่ 1 เนื่องจากเฟืองขับมีขนาด 15 มิลลิเมตร ค่าตัวประกอบรูปแบบเท่ากับ 0.289

จาก
$$\begin{aligned} C_b &= F / (m * b * Y) \\ &= 36.6 / (1.0 * 10 * 0.289) \\ &= 12.66 \text{ กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2 ค่าความเค้นบิดของเหล็ก (S45C) เท่ากับ 17 ~ 24 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร ดังนั้นความหนาของเฟืองใช้ได้ตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรขึ้นไป

ค) แขนท่อนล่าง มีลักษณะตามรูปที่ 4.6 การคำนวณส่วนต่างทำได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 ขนาดโดยประมาณของแขนท่อนล่างที่ใช้ในการคำนวณแรงบิด

จาก

$$\begin{aligned}
 T &= \Sigma (W * L) \\
 &= (1.0 * 35.3) + (0.3 * 27.8) + (1.8 * 10.15) \\
 &= 61.91 \text{ กิโลกรัมเซนติเมตร}
 \end{aligned}$$

เลือกมอเตอร์ที่มีแรงบิด 5.5 กิโลกรัมเซนติเมตร คิดประสิทธิภาพของมอเตอร์ 90 เปอร์เซ็นต์ แรงบิดของมอเตอร์จึงกลายเป็น 4.95 กิโลกรัมเซนติเมตร คิดความสูญเสียในการส่งแรง 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอัตราทดจะเป็น

$$\begin{aligned}
 G_u &= 61.91 / (4.95 * (0.9)^2) \\
 &= 15.44
 \end{aligned}$$

เลือกเฟืองขนาด 4.4 ต่อ 1 จำนวน 1 ชุด และเนื่องจากต้องการให้แขนท่อนล่างมีน้ำหนักน้อย จึงติดตั้งมอเตอร์ไว้ที่แขนท่อนบน แล้วต่อสายพานเพื่อส่งแรงไปยังแขนท่อนล่าง จึงเลือกกรอกขนาดที่มีอัตราทด 4 ต่อ 1 อีก 1 ชุด ดังนั้นจะได้อัตราทดเป็นดังสมการ

$$\begin{aligned}
 G_c &= (Z_4 / Z_3) * (Z_2 / Z_1) \\
 &= (4.4 / 1) * (4 / 1) \\
 &= 17.6
 \end{aligned}$$

สำหรับขนาดของสาหร่าย หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 b &= F / \sigma_u \\
 F &= T / r \\
 &= 61.91 / 3.3 \\
 &= 18.76 \text{ กิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

ค่าแรงดึงเค้นหาได้จากตารางที่ 3 ในหน้าที่ 49 การออกแบบจะใช้สาหร่ายชนิดเอ็กซ์แอล (XL series) มีค่าแรงดึงเค้นเท่ากับ 200 กิโลกรัมต่อ 25.4 มิลลิเมตร หรือ เท่ากับ 7.87 กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร แล้วหารด้วยแฟคเตอร์เพื่อความปลอดภัย คือ 4 แรงดึงเค้นที่ใช้ในการคำนวณคือ 1.97 กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น } b &= 18.76 / 1.97 \\
 &= 9.52 \text{ มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

จากรอกที่เลือก พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของรอก ที่มีจำนวนฟัน 40 ซี่ เท่ากับ 64.68 มิลลิเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางของรอกที่มีจำนวนฟัน 10 ซี่ เท่ากับ 16.17 มิลลิเมตร และระยะติดตั้งรอกห่างกัน 303 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวของสาหร่ายหาได้จาก

$$\begin{aligned}
 L &= (2 * 1) + 0.5 * \pi * (D_u + D_b) + [(D_u - D_b)^2 / (4 * 1)] \\
 &= (2 * 303) + 0.5 * \pi * (64.68 + 16.17) + \\
 &\quad [(64.68 - 16.17)^2 / (4 * 303)] \\
 &= 734.94 \text{ มิลลิเมตร หรือ } 28.93 \text{ นิ้ว}
 \end{aligned}$$

สมมติเฟืองมีความหนา 10 มิลลิเมตร ทำการตรวจสอบขนาดเฟืองที่เลือกจากสมการที่ 4.6

$$\sigma_b = F / (\pi * b * Y)$$

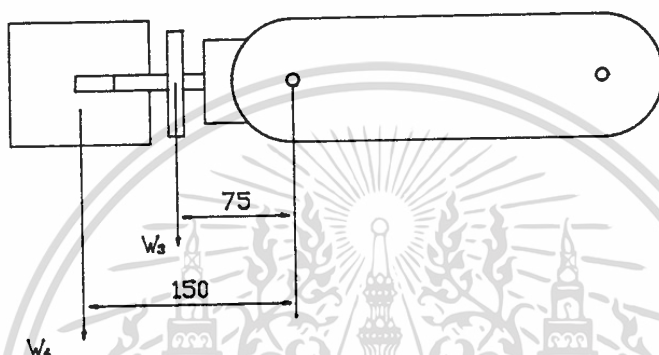
ค่าตัวประกอบรูปแบบ หาได้จากตารางที่ 1 เนื่องจากรอกตัวเล็กมีฟัน 10 ซี่ จากตาราง ค่าตัวประกอบรูปแบบเท่ากับ 0.201 ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= 18.76 / (1.0 * 10 * 0.201) \\
 &= 9.33 \text{ กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2 ความเค้นบิดของเหล็ก (S45C) เท่ากับ 17 ~ 24 กิโลกรัม ดังนั้น เฟืองและรอกที่มีความหนาตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรสามารถใช้ได้ทุกขนาด

ค) มือจับ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนพับมือ และ ส่วนหมุนมือ

ส่วนพับมือ จะคิดมอเตอร์ไว้ที่ฐาน แล้วส่งแรงด้วยสายพานไปยังมือจับโดยใช้ออก 3 ชุด และ สายพาน 3 เส้น การคำนวณแรงบิด หาได้ดังนี้



รูปที่ 4.7 ขนาดและระยะของมือจับที่ใช้ในการคำนวณแรงบิด

จากรูปที่ 4.7 แรงบิดมีค่า

$$\begin{aligned} T &= \Sigma (W * L) \\ &= (1.0 * 15.0) + (0.3 * 7.5) \\ &= 17.25 \text{ กิโลกรัมเซนติเมตร} \end{aligned}$$

เลือกมอเตอร์ที่มีแรงบิด 3 กิโลกรัมเซนติเมตร คิดประสิทธิภาพ 90 เปอร์เซ็นต์ แรงบิดจึงเหลือเพียง 2.7 กิโลกรัมเซนติเมตร รอกแต่ละชุดมีความสูญเสียในการส่งแรง 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอัตราทดของรอกจึงเป็น

$$\begin{aligned} G_c &= 17.25 / (2.7 * (0.9)^3) \\ &= 8.76 \end{aligned}$$

เนื่องจากใช้รอก 3 ชุด อัตราทดของรอกชุดที่ 1 เป็น 3 ต่อ 1 อัตราทดของรอกชุดที่ 2 เป็น 4 ต่อ 1 อัตราทดของรอกชุดที่ 3 เป็น 1 ต่อ 1 อัตราทดรวมของรอกจึงเป็น

$$\begin{aligned}
 G_c &= (Z_o / Z_5) * (Z_4 / Z_3) * (Z_2 / Z_1) \\
 &= (3 / 1) * (4 / 1) * (1 / 1) \\
 &= 12
 \end{aligned}$$

ขนาดของสายพานที่ใช้ หาได้จากสมการ

$$b = F / C_s$$

$$F = T / r$$

$$= 17.25 / 1.615 = 10.68 \text{ กิโลกรัม}$$

ดังนั้น

$$b = 10.68 / 1.97$$

$$= 5.42 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากขนาดของรอกที่เลือก สามารถเปิดคู่มือสินค้าเพื่อหาเส้นผ่าศูนย์กลางของรอก ซึ่งรอกที่ใช้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางดังนี้

รอกที่มีจำนวนฟัน 10 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 16.17 มิลลิเมตร

รอกที่มีจำนวนฟัน 30 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 48.51 มิลลิเมตร

รอกที่มีจำนวนฟัน 40 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 64.68 มิลลิเมตร

ระยะห่างระหว่างรอกชุดที่ 1 คือ 120 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรอกชุดที่ 2 คือ 303 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างรอกชุดที่ 3 คือ 203 มิลลิเมตร จากข้อมูลที่มีอยู่ สามารถคำนวณความยาวของสายพานได้ ตามสมการ

$$L = 2 * l + 0.5 * \pi * (D_u + D_v) + [(D_u - D_v)^2 / (4 * l)]$$

ความยาวของสายพานเส้นที่ 1 (L_1) คือ

$$\begin{aligned}
 L_1 &= (2 * 120) + 0.5 * \pi * (48.51 + 16.17) + \\
 &\quad [(48.51 - 16.17)^2 / (4 * 120)] \\
 &= 343.78 \text{ มิลลิเมตร หรือ } 13.53 \text{ นิ้ว}
 \end{aligned}$$

ความยาวของสายพานเส้นที่ 2 (L_2) คือ

$$\begin{aligned}
 L_2 &= (2 * 303) + 0.5 * \pi * (64.68 + 16.17) + \\
 &\quad [(64.68 - 16.17)^2 / (4 * 303)] \\
 &= 734.94 \text{ มิลลิเมตร หรือ } 28.93 \text{ นิ้ว}
 \end{aligned}$$

ความยาวของสายพานเส้นที่ 3 (L_3) คือ

$$\begin{aligned}
 L_3 &= (2 * 203) + (\pi * 16.17) \\
 &= 456.80 \text{ มิลลิเมตร หรือ } 17.98 \text{ นิ้ว}
 \end{aligned}$$

สำหรับขั้นตอนการทดสอบความหนาของรอกนั้น อาจไม่ต้องทดสอบก็ได้ เนื่องจากค่าของแรงที่กระทำต่อรอกที่ใช้สำหรับการนับมือ มีค่าน้อยกว่าแรงที่กระทำต่อเฟืองในส่วนของแขนทั้งสองท่อน และวัสดุที่ใช้ทำรอกก็เป็นวัสดุชนิดเดียวกับที่ใช้ทำเฟือง ดังนั้นรอกที่มีความหนาตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรขึ้นไปสามารถใช้ได้

ส่วนหมนมมือ จะติดตั้งมอเตอร์ไว้ที่แขนท่อนล่าง แล้วใช้สายพานส่งกำลังมาขับเคลื่อนคอกจอกอีกทอดหนึ่ง การคำนวณแรงบิดจะเหมือนกับการคำนวณแรงบิดที่ฐาน

จากสมการแรงบิด

$$\begin{aligned} T &= I * \ddot{\theta} \\ &= 1/g (W * L^2) * \ddot{\theta} \\ &= 1/980 * (1.0 * (7.0)^2) * 6.28 \\ &= 0.134 \text{ กิโลกรัมเซนติเมตร} \end{aligned}$$

เลือกมอเตอร์ที่มีแรงบิด 3 กิโลกรัมเซนติเมตร ประสิทธิภาพของมอเตอร์ 90 เปอร์เซ็นต์ แรงบิดของมอเตอร์จึงเหลือเฟือง 2.7 กิโลกรัมเซนติเมตร ซึ่งเพียงพอต่อการขับเคลื่อนหมนมมือ

ใช้เฟืองคอกจอกที่มีอัตราทด 1 ต่อ 1

ใช้รอกที่มีอัตราทด 1 ต่อ 1 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32.34 มิลลิเมตร ระยะทางระหว่างรอกเท่ากับ 101 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวของสายพานหาได้จาก

$$\begin{aligned} L &= (2 * l) + (\pi * D_u) \\ &= (2 * 101) + (\pi * 32.34) \\ &= 303.6 \text{ มิลลิเมตร หรือ } 11.95 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

ความหนาของรอกไม่จำเป็นต้องทดสอบก็ได้ เพราะมีลักษณะเดียวกับรอกของส่วนนับมือ

4.5) คำนวณขนาดเพล

เมื่อได้แรงบิดที่ส่วนต่างๆแล้ว จะสามารถคำนวณขนาดของเพลที่ต้องใช้ได้ โดยใช้สมการ

$$d = \sqrt[3]{[(16 * T) / (\pi * \sigma_u)]} \quad \dots (4.9)$$

เมื่อ d : เส้นผ่าศูนย์กลางของเพลลา หน่วยเป็นเซนติเมตร
 T : แรงบิดในจุดที่ติดตั้งเฟืองเข้ากับเพลลา
 ϕ_u : ความเค้นดัดที่กระทำต่อเพลลา สามารถเปิดได้จากตารางที่ 2 ค่า
 ที่ได้คือค่าสูงสุดที่วัสดุประเภทต่างๆที่ใช้ทำเพลลาสามารถทนได้ ในการคำนวณ
 จะใช้เฟือง 20 เพอร์เซ็นต์ของค่าในตาราง แล้วหารด้วยแฟคเตอร์เพื่อความปลอดภัย ซึ่ง
 กำหนดให้เท่ากับ 4

ตัวอย่างเช่น เพลลาที่ฐานคำนวณได้ดังนี้

จากสมการที่ 4.9

$$d = \sqrt[3]{[(16 * T) / (\pi * \phi_u)]}$$

$$d_1 = \sqrt[3]{[(16 * 70) / (\pi * 250)]}$$

= 1.13 เซนติเมตร หรือ 1.2 เซนติเมตร

$$d_2 = \sqrt[3]{[(16 * 17.5) / (\pi * 250)]}$$

= 0.71 เซนติเมตร หรือ 0.8 เซนติเมตร

สำหรับส่วนอื่นๆก็คำนวณได้ในลักษณะเดียวกัน

เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดแล้วเราก็สามารถออกแบบในรายละเอียดได้ ซึ่งแบบที่
 เขียนไว้ได้ลงไว้ในภาคผนวกทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

บทที่ 5

วิเคราะห์และออกแบบวงจรขับสแตปเปอร์มอเตอร์
และวงจรเชื่อมต่อกับ IBM PC

จากการคำนวณในด้านกลศาสตร์ เราได้เลือกสแตปเปอร์มอเตอร์ชนิด
ไฮบริด 4 เฟส ดังต่อไปนี้

1	ฐาน	KP56LM2.504
2	1 ^ข	KP56LM2.504
3	2 ^ข	KP56LM2.504
4	หมุนข้อมือ	KP4P18GN
5	นับข้อมือ	KP4P18GN
6	หุบ/กางมือ	KP4P18GN

ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ภาคผนวก

และจากการเลือกใช้ PMM 8713 ในการขับสแตปเปอร์ ไฮบริด 4 เฟส
แบบ กระทั่ง 2 เฟส เพื่อให้ได้ แรงบิดสูงสุด ส่วนลักษณะสัญญาณที่เข้า PMM8713
นี้ใช้ 2 เส้น คือ เส้นแรกเป็นสัญญาณนาฬิกา เส้นที่สองเป็นสัญญาณคำสั่งให้มอเตอร์
หมุนตามหรือทวนเข็ม ดังรูปที่ 5.1

การออกแบบวงจรรวม 8253

ในการควบคุมสแตปเปอร์มอเตอร์ เราต้องควบคุม 3 ตัวแปร คือ จำนวนองศาที่
หมุนไปของมอเตอร์, ความเร็วในการหมุนของมอเตอร์และทิศทางในการหมุน โดย องค์
สวในการหมุนควบคุมได้โดยควบคุมจำนวนพัลส์ที่ป้อนให้กับตัวมอเตอร์ และความเร็วใน
การหมุนควบคุมได้โดยควบคุมความถี่ที่ป้อนให้กับสแตปเปอร์มอเตอร์ สองสัญญาณนี้อยู่ใน
สายสัญญาณเดียวกัน ส่วนการควบคุมทิศทางนั้นถ้าสัญญาณเป็น 1 จะหมุนตามเข็มนาฬิกา
และเมื่อเป็น 0 จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

ในที่นี้เราใช้ ตัวนับของไอซี 8253 จำนวน 2 ตัวต่อมอเตอร์ 1 ตัว โดยตัวนับตัวแรกทำงานในโหมด 3 ทำหน้าที่หารสัญญาณความถี่ 14.31818 MHz (คาบเวลา = 70 นาโนวินาที) ที่ผ่านการหารด้วย 32 จนเป็น 447.443 kHz (คาบเวลา = 2.24 ไมโครวินาที) แล้ว และตัวนับตัวที่สอง ทำหน้าที่นับจำนวนพัลส์ที่ส่งออกไปให้กับมอเตอร์ เมื่อส่งไปครบแล้วก็จะส่งสัญญาณที่ขาเอาต์ (OUT) ไปหยุดการหารของตัวนับตัวแรกทางขาเกต แต่เนื่องจากเมื่อเราเริ่มโปรแกรมค่านับไบต์แรกให้กับตัวนับที่สอง ตัวนับที่สองจะให้เอาต์พุตที่ขาเอาต์เป็น 0 เลข ทำให้จำนวนพัลส์ที่ได้ผลิตไปจากที่ต้องการจึงต้องมีการหยุดการนับไว้ก่อน จนกว่าจะโปรแกรมค่านับครบสองไบต์เสียก่อนโดยการนำสัญญาณมา นิเสธ-หรือ (NOR) กับสัญญาณจาก ดิฟลิปฟล็อป (D-FLIPFLOP) (ใช้ไอซี 74LS374) เมื่อโปรแกรมจนครบสองไบต์แล้วจึงค่อยสั่งให้ดิฟลิปฟล็อปเป็น 0 เพื่อให้ตัวนับเริ่มนับจึงจะได้จำนวนพัลส์ที่ถูกต้อง ส่วนสัญญาณควบคุมทิศทางนั้นใช้ดิฟลิปฟล็อป (74LS374) เป็นตัวแลทซ์สัญญาณไว้ว่าจะให้หมุนตามเข็มนาฬิกา หรือทวนเข็มนาฬิกา

ใน 8253 แต่ละตัวจะมีตัวนับอยู่ 3 ตัว เรามีมอเตอร์ 6 ตัว เพราะฉะนั้นเราต้องการใช้ตัวนับทั้งหมด $2 \times 6 = 12$ ตัว เท่ากับใช้ 8253 จำนวน 4 ตัวพอดี

ใน 74LS374 มีดิฟลิปฟล็อปอยู่ 8 ตัว เราต้องใช้สำหรับเริ่มนับจำนวน 6 ตัว และควบคุมทิศทางจำนวน 6 ตัว เพราะฉะนั้นเราใช้ 74LS374 2 ตัว ตัวแรกสำหรับเริ่มนับ ตัวสองสำหรับควบคุมทิศทาง

เนื่องจากเป็นวงจรต้นแบบ (PROTOTYPE) เราจึงใช้บอร์ดที่ 300H-31FH ตามตารางในภาคผนวก และ กำหนดให้มีการถอดรหัสขาแอดเดรสดังนี้

พอร์ท	แอดเดรส
8253 ตัวที่ 1	300H-303H
8253 ตัวที่ 2	304H-307H
8253 ตัวที่ 3	308H-30BH
8253 ตัวที่ 4	30CH-30FH
พอร์ททิศทาง	310H-313H
พอร์ทรีมนับ	314H-317H

และตารางการใช้งาน 8253 ควบคุมมอดูเลอร์ดังนี้

มอดูเลอร์	พอร์ท	หน้าที่
1	302H 301H	ตัวหารเพื่อกำหนดความเร็วในการหมุนมอดูเลอร์ ตัวนับจำนวนพัลส์ ควบคุมจำนวนองศาของมอดูเลอร์
2	306H 305H	ตัวหารเพื่อกำหนดความเร็วในการหมุนมอดูเลอร์ ตัวนับจำนวนพัลส์ ควบคุมจำนวนองศาของมอดูเลอร์
3	30AH 309H	ตัวหารเพื่อกำหนดความเร็วในการหมุนมอดูเลอร์ ตัวนับจำนวนพัลส์ ควบคุมจำนวนองศาของมอดูเลอร์
4	30EH 30DH	ตัวหารเพื่อกำหนดความเร็วในการหมุนมอดูเลอร์ ตัวนับจำนวนพัลส์ ควบคุมจำนวนองศาของมอดูเลอร์
5	304H 300H	ตัวหารเพื่อกำหนดความเร็วในการหมุนมอดูเลอร์ ตัวนับจำนวนพัลส์ ควบคุมจำนวนองศาของมอดูเลอร์
6	308H 30CH	ตัวหารเพื่อกำหนดความเร็วในการหมุนมอดูเลอร์ ตัวนับจำนวนพัลส์ ควบคุมจำนวนองศาของมอดูเลอร์

ส่วนพอร์ตควบคุมทิศทางมีการใช้งานดังนี้

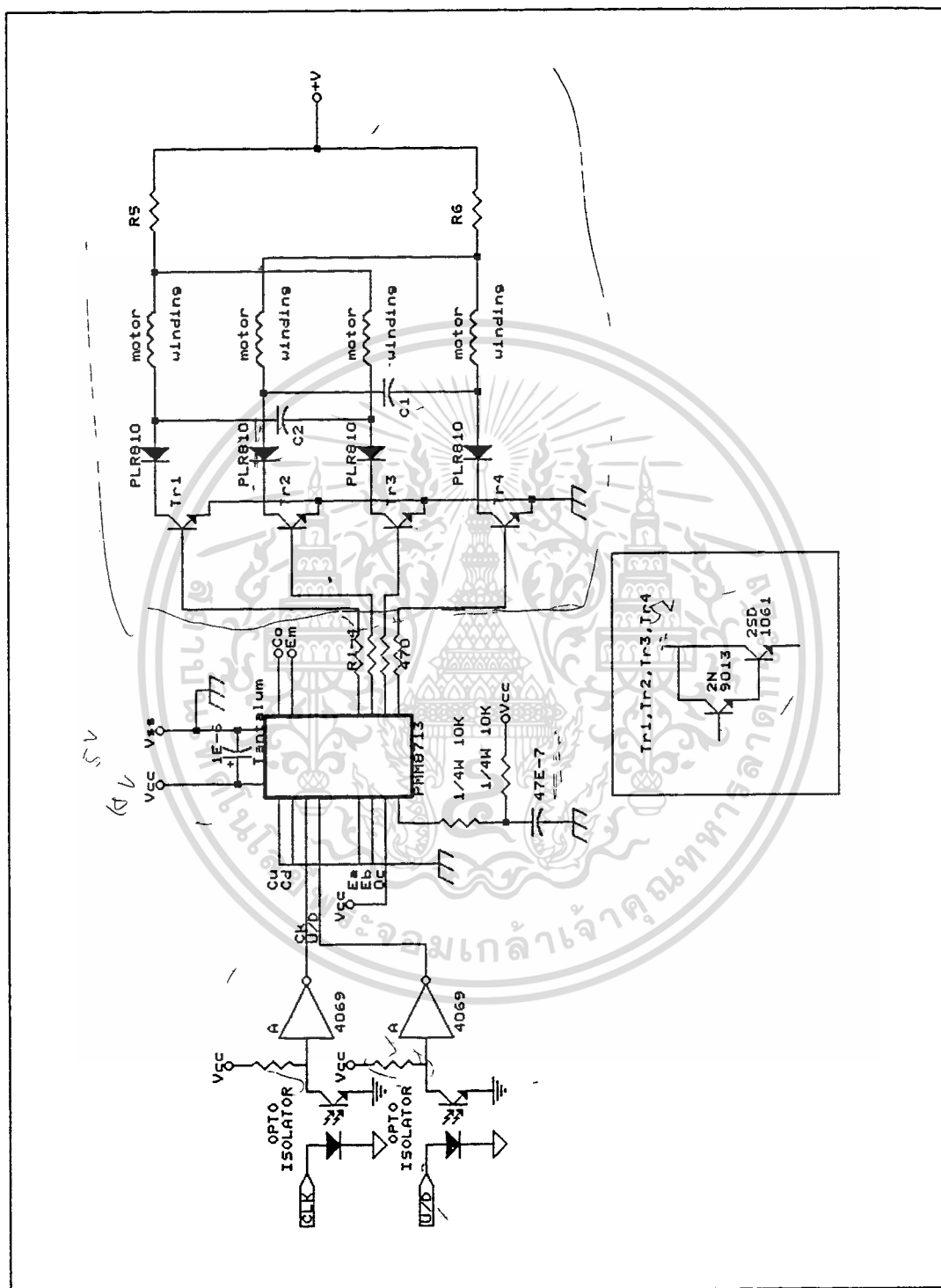
พอร์ต	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
310H-313H	--	--	M6	M5	M4	M3	M2	M1

ส่วนพอร์ตควบคุมการเริ่มนับมีการใช้งานดังนี้

พอร์ต	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
314H-317H	--	--	M6	M5	M4	M3	M2	M1

* โดยที่ เมื่อบิตใดเป็น 0 คือการเริ่มนับ ถ้าเป็น 1 คือหยุดนับ

จะได้เป็นวงจรรวมทั้งหมดดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงวงจรสำหรับ PMM8713 เฉพาะมอเตอร์ 1 ตัว

บทที่ 6

ผลการทดลอง

กราฟแสดงผลการทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์ ด้วยวงจรขับที่สร้างขึ้นได้แสดงไว้ในหน้า 62 ถึง 66 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

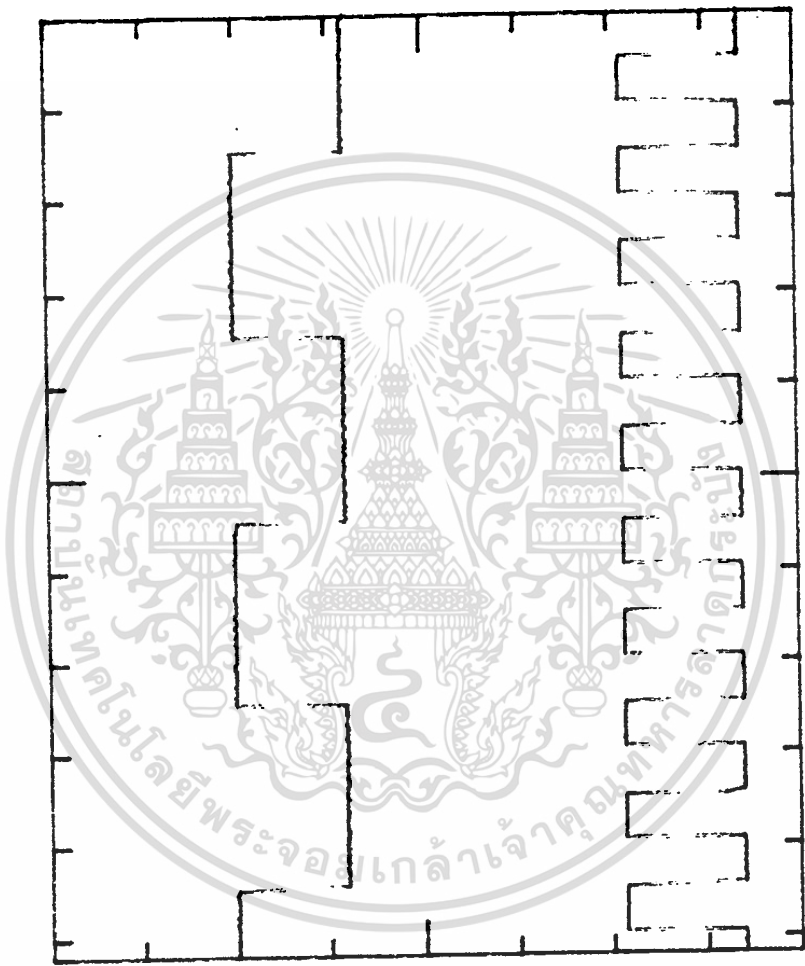
รูปที่ 6.1 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณนาฬิกาที่อินพุต กับสัญญาณนาฬิกาที่ออกจากเอาต์พุตของ PMM 8713

รูปที่ 6.2 เป็นกราฟแสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก PMM 8713 ทั้ง 4 เฟส เมื่อทำการขับให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

รูปที่ 6.3 เป็นกราฟแสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก PMM 8713 ทั้ง 4 เฟส เมื่อทำการขับให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

รูปที่ 6.4 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของวงจรขับ เมื่อใช้วงจรขับมอเตอร์ KP4P18GN

รูปที่ 6.5 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของวงจรขับ เมื่อใช้วงจรขับมอเตอร์ KP56LM2-504



สัญญาณไฟฟ้าเข้าอินพุต

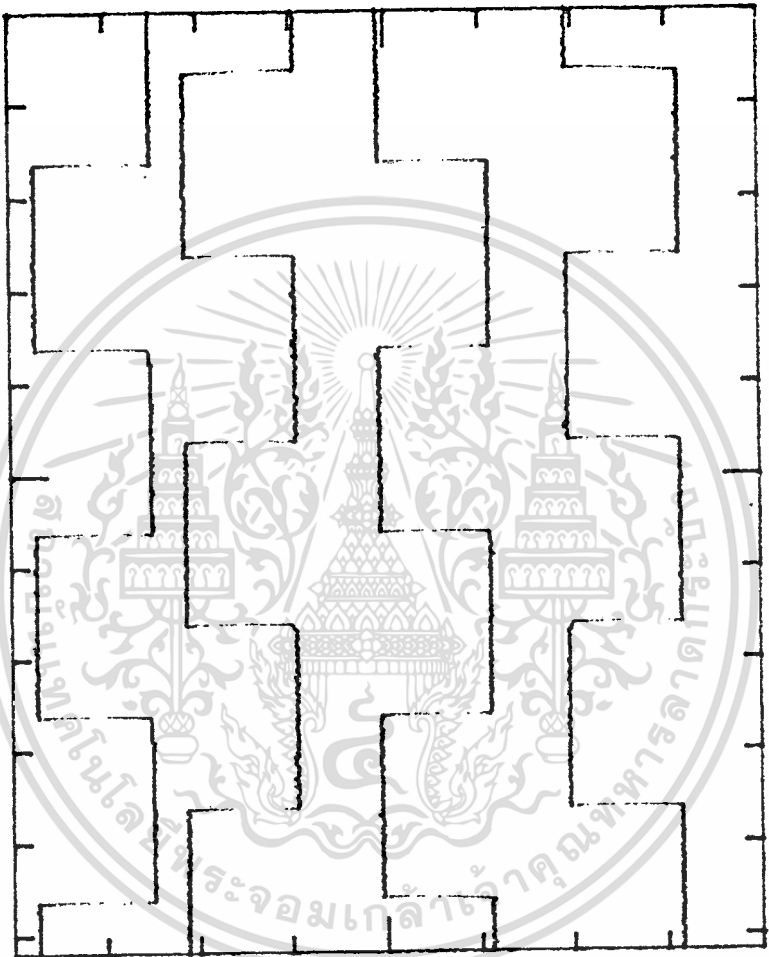
ของ PPM 8713

สัญญาณไฟฟ้าออกจาก

เอาต์พุตของ PPM 8713

SCALE 10 โวลท์ ต่อ ช่อง

รูปที่ 6.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเฟรมระหว่างสัญญาณไฟฟ้าที่เข้าอินพุตกับสัญญาณที่
ออกจากเอาต์พุตของ PPM 8713



Level 1

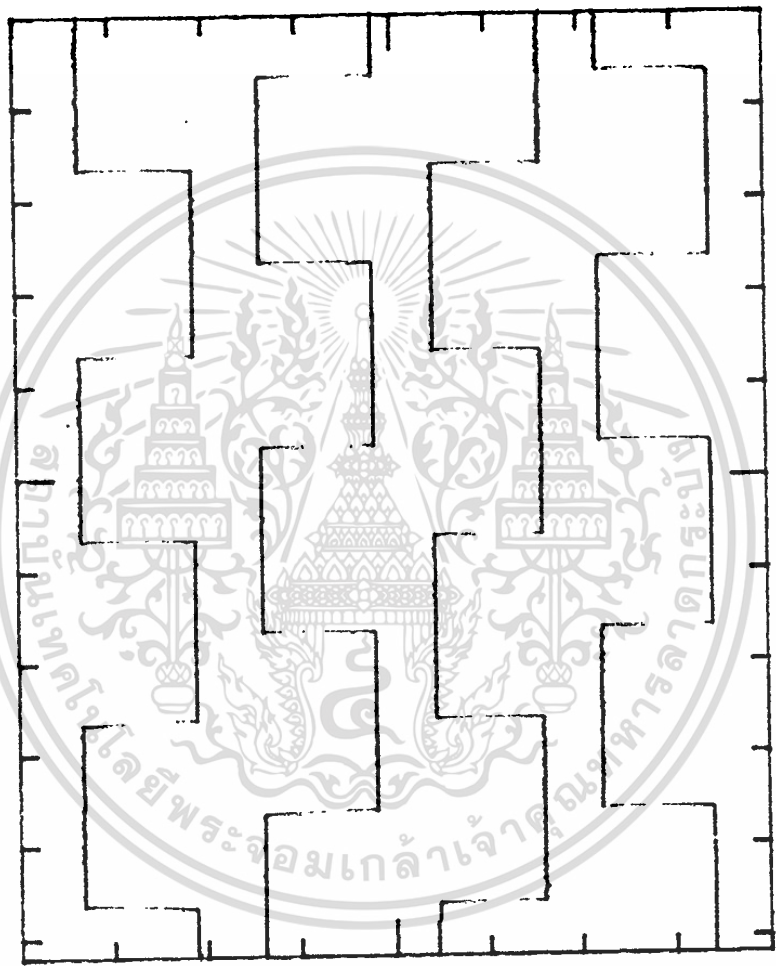
Level 2

Level 3

Level 4

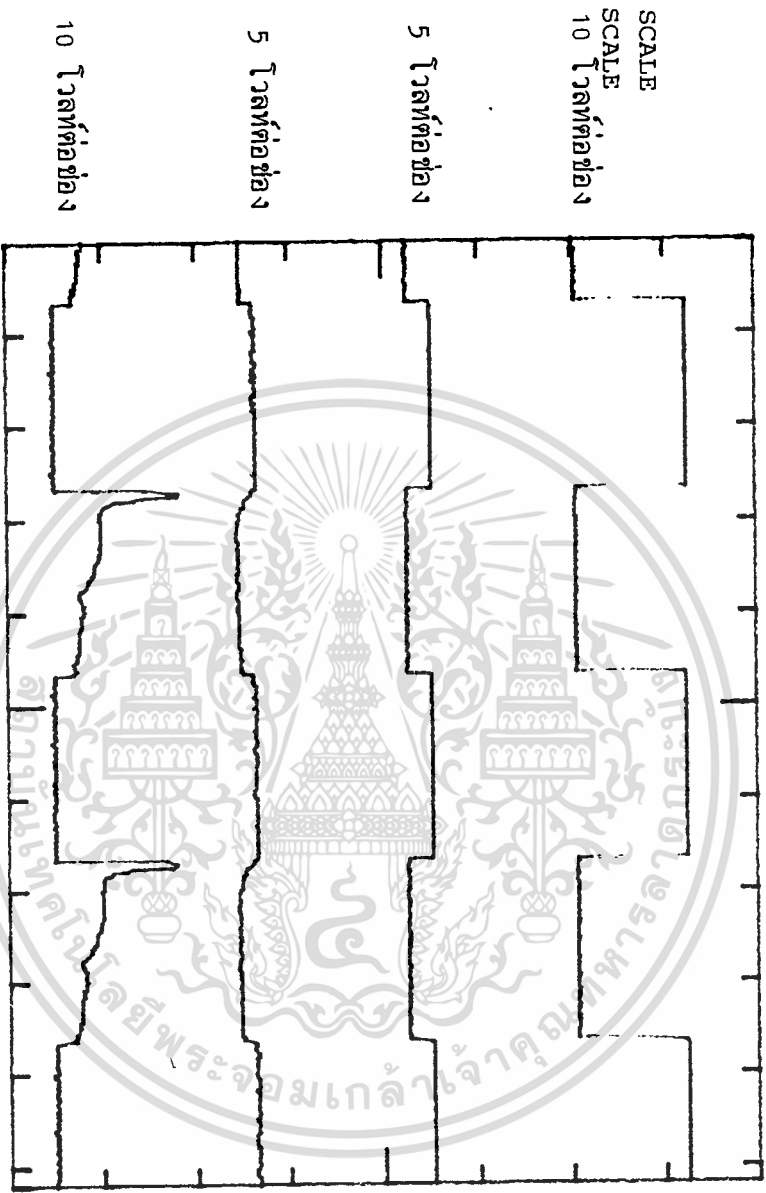
SCALE 10 เมตร คือ ช่อง

รูปที่ 6.2 กราฟแสดงสัญญาณเอาต์พุตออกจาก PPM 8713 ทั้ง 4 เฟส ในขณะทดสอบตามขั้นตอนการ



Phra Prang 1
Phra Prang 2
Phra Prang 3
Phra Prang 4
SCALE 10 โวล์ท ต่อ ช่อง

รูปที่ 6.3 กราฟแสดงสัญญาณเอาต์พุตออกจาก PPM 8713 ทั้ง 4 เฟส ในขณะ
มอเตอร์หมุนวนตามนาฬิกา



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ สัญญาณ ณ จุดต่างๆ เมื่อขับมอเตอร์

KP4P1.8GN

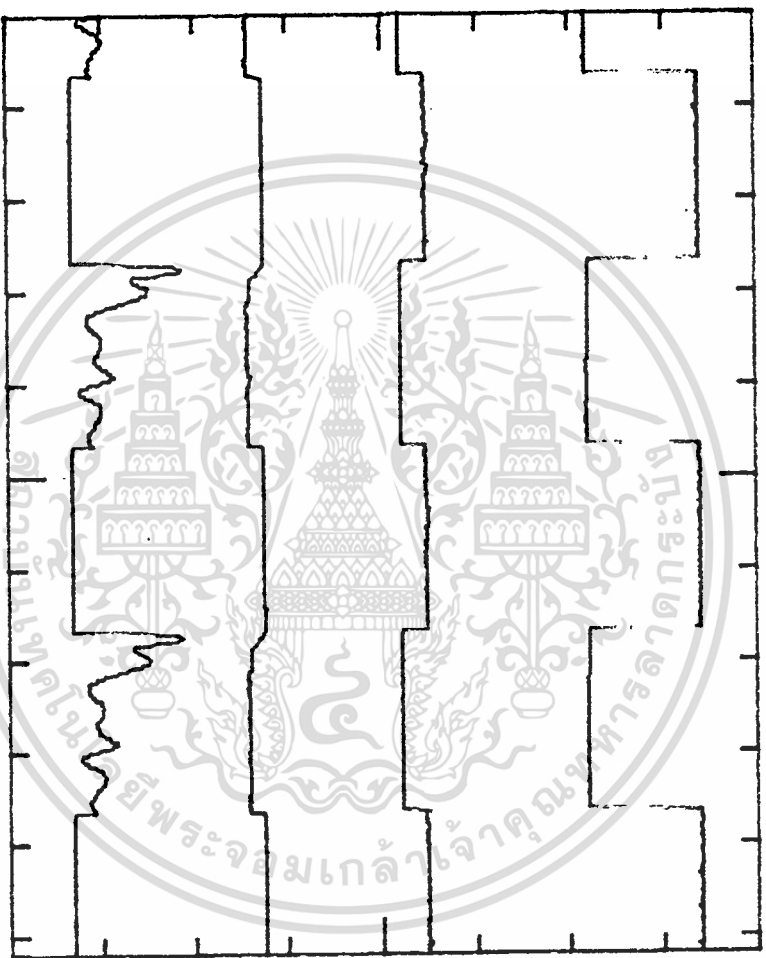
- สัญญาณขาเอาต์พุตของ PM 8713
- สัญญาณขาเบสของทรานซิสเตอร์ 2N9013
- สัญญาณขาเบสของทรานซิสเตอร์ 2SD1061
- สัญญาณขาคอลเลกเตอร์ของ ทรานซิสเตอร์ 2SD1061

SCALE
10 ไวลต์ต่อช่อง

5 ไวลต์ต่อช่อง

5 ไวลต์ต่อช่อง

20 ไวลต์ต่อช่อง



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ สัญญาณ ณ จุดต่างๆ เมื่อขับมอเตอร์

KPS6DM2-504

สัญญาณขาเอาต์พุตของ PM 8713

สัญญาณขาเบสของทรานซิสเตอร์

2N9013

สัญญาณขาเบสของทรานซิสเตอร์

2SD1061

สัญญาณขาคอลเลกเตอร์ของ

ทรานซิสเตอร์ 2SD1061

บทที่ 7

บทสรุปและวิจารณ์

บทนี้เป็นบทสุดท้ายของปริิณยานิพนธ์ ซึ่งเป็นการสรุปขั้นตอนการทำปริิณยานิพนธ์ที่ได้ทำมา โดยจะกล่าวถึงปัญหา และแนวทางแก้ไขเพื่อพัฒนาชนกลให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นต่อไปในอนาคต

สำหรับการวิจัยนี้มีจุดประสงค์ใหญ่คือ การพัฒนาการควบคุมสเปคเปอร์มอเตอร์ให้ได้ตามความเร็ว และตรงตามตำแหน่งที่ต้องการ และสามารถควบคุมมอเตอร์หลายตัวในเวลาใกล้เคียงกัน โดยเราอาศัยไอซีสำเร็จรูปคือ PMM8713 และ Intel8253 เข้ามาช่วย โดยการที่เรานำมาต่อเข้าด้วยกันนั้น เราจะทำการแยกระบบทั้งสอง คือ ระบบของวงจรขับมอเตอร์กับ ระบบของวงจรร่วมกับไมโครคอมพิวเตอร์ โดยใช้ ออนโตคัปเปิล เป็นตัวแยกระบบ

ก่อนที่จะมีการสร้างวงจรต่างๆนี้ ได้มีการพิจารณาเลือกหลายอย่างหลายเวลา ไม่ว่าจะเป็น มอเตอร์ วงจรขับมอเตอร์ เพราะการใช้มอเตอร์ชนิด 4 เฟส และ 2 เฟสนั้น มีความยากง่ายแตกต่างกัน

สำหรับการออกแบบทางด้านเครื่องกลนั้น มีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ชั้น คือ ในชั้นแรก ได้เลือกชนิดของหุ่นยนต์ที่จะสร้างพร้อมกับการออกแบบขึ้นต้น ส่วนในชั้นตอนที่สองได้ออกแบบในรายละเอียดและเลือกซื้ออุปกรณ์ที่จะสร้างตัวหุ่นยนต์จริงๆ สำหรับการออกแบบในชั้นต้นนั้นไม่พบอุปสรรคมากนัก จะมีก็แต่เพียงการหาข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณต่างๆ ซึ่งในประเทศเรามีข้อมูลทางด้านที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหุ่นยนต์น้อยมาก ดังนั้นข้อมูลที่นำมาใช้จึงเป็นของญี่ปุ่นเป็นส่วนใหญ่

สำหรับในชั้นตอนที่สองคือการออกแบบในรายละเอียดนั้น พบว่าข้อมูลจากการออกแบบในชั้นตอนแรกมีปัญหาบางส่วน เช่น ขนาดของช่องที่คำนวณได้ไม่มีขายในท้องตลาด ทำให้ต้องมีการย้อนกลับไปออกแบบใหม่อีกครั้ง แต่ในที่สุดงานทุกอย่างก็ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 APPENDICES

Appendix 1.A Robot associations and societies throughout the world

Table 1.A.1

Number	Name and address	Established
1	Japan Industrial Robot Association (JIRA) c/o Kikaishinko Kaikan Bldg. 3-5-9 Shibakoen, Minato-ku, Tokyo 105 Japan	October 1972
2	Robotic Industries Association (RIA)* One SME-Drive, 20501 Ford Road PO Box 1366 Dearborn, Michigan 48121 USA	June 1974
3	Italian Society for Industrial Robots (SIRI) c/o Etas Kompass Via Mantegna, 6 Milano Italy	1975
4	British Robot Association (BRA) 35-39 High Street, Kempston, Bedford MK42 7BT United Kingdom	1977
5	French Industrial Robot Association (AFRI) 91 rue Falguiere, 75015 Paris, FRANCE France	1978
6	Robotics International of SME One SME Drive, PO Box 930, Dearborn, Michigan 48128 USA	1980
7	Swedish Industrial Robot Association (SWIRA) Storgatan 19, Box 5506 S-114 85 Stockholm Sweden	1980
8	Australian Robot Association 9 Queens Avenue McMahons Point, Sydney, NSW 2060 Australia	1981

<i>Number</i>	<i>Name and address</i>	<i>Established</i>
9	Fachgemeinschaft Montagetechnik Habdhabungstechnik und Industrie Robot Postfach 710109 c/o VDMA D-6000 Frankfurt (Main) 71 West Germany	October 1981
10	Danish Industrial Robot Association (DIRA) c/o Technological Institute Div. of Industrial Automation Gregersensvej Postbox 141, OK-2630 Taastrup Denmark	February, 1982
11	Singapore Robotic Association 5 Portsdown Road, Off Ayer Rajah Road Singapore 0513 Republic of Singapore	June 1982
12	Robotic Society of Japan (address, see JIRA)	January 1983
13	The Robotics Society in Finland PO Box 5500331 Helsinki 33 Finland	March 1983

*Note that the Robot Institute of America was renamed in 1984.

Appendix 1.B Glossary of terms for industrial robots; JIS B 0134-1979 (translated from original Japanese)

Since March 1974 the standardization of robot terms and functions is an ongoing study initiated and organized by the JIRA under the assignment of the Industrial Science and Technology Agency of the Ministry of International Trade and Industry (MITI). Several surveys were conducted through questionnaires sent to JIRA members and many researchers. The aim of the study is:

- (i) to classify industrial robots on the basis of their structures and functions;
- (ii) to define the technical terms relating to industrial robots;
- (iii) to define the graphical and letter symbols used in describing industrial robots.

The result is the Japanese document mentioned above from which some proposed terminology is quoted in Tables 1.B.1-1.B.7.

Table 1.B.1 Terms relating to types of industrial robots.

<i>Number</i>	<i>Term</i>	<i>Meaning</i>
1101	Manipulator	A machine which has functions similar to those of the human upper limbs and moves an object spatially from one location to another
1103	Sequence robot	A manipulator which progresses successively through the various stages of an operation according to the predetermined sequence, condition and positions
1106	Playback robot	A manipulator which is able to perform an operation by reading out stored information for an operating sequence, including positions and the like which it learned beforehand by being taken manually through the routine
1108	Intelligent robot	A robot which can determine its own behavior/conduct through its functions of sense and recognition
1202	Repeating robot	A manipulator performing an operation repeatedly, according to a prememorized work program

Table 1.B.2 Basic terms relating to functions.

<i>Number</i>	<i>Term</i>	<i>Meaning</i>
2017	Path control	A control which ensures that a given path is taken by means of information relating to the path
2018	Continuous path control	A path control where the entire route is specified. <i>Note:</i> Will include pseudo-continuous path control by interpolation
2019	Point to point control	A path control wherein along the route a finite number of points passed are specified

Table 1.B.3. Basic terms relating to robot performance and characteristics.

Number	Term	Meaning
3018	Maximum speed	The maximum value of speed manifested at a specified location, under specified conditions of use. <i>Note:</i> The particular conditions of use such as no-load maximum speed, or rated-load maximum speed, etc., are to be specified
3019	Acting time	The time measured between being given the directive to move to a target position up to the termination of the movement
3020	Positioning accuracy	This is based on No. 601 in <i>JIS B 0181</i> (Glossary of terms for numerically controlled machine tools). <i>Note:</i> Quantitatively this is expressed as an error which will include errors in the control system which drives the robot, and errors in the controlled mechanical axes
3021	Position repetition accuracy (repeatability)	This is based on No. 602 in <i>JIS B 0191</i> Reference 1: the level of agreement between positions when performed under the same conditions, and by the same method; Reference 2: at times, the term 'reproducibility' may also be used
3022	Position playback accuracy	The agreement between the set values and that reproduced

Table 1.B.4 Terms relating to the work performed.

Number	Term	Meaning
4001	Workpiece	This is the name of the object dealt with by the robot
4002	Loading	This is the fitting or placing-on of the workpiece onto the machine which then performs the work of matching, assembling, transferring, and the like
4003	Unloading	This is the removal of the manufactured product or partially manufactured product, from the machine which performs the work of machining, assembly, transfer, etc., when the work is complete
4004	Palletizing	Arranging materials on a pallet according to fixed rules
4005	Depalletizing	Removing in sequence materials which have been arranged on a pallet

Table 1.B.5 Terms relating to operation and control.

<i>Number</i>	<i>Terms</i>	<i>Meaning</i>
5014	Sequential control	Control which progresses through successive control stages following predetermined routines or predetermined conditions
5015	Feedback control	This is based on No. 4 in <i>JIS Z 8116</i> (Glossary of terms used in automatic control)
5016	Servo system	This is based on No. 17 in <i>JIS Z 8116</i>

Table 1.B.6 Terms relating to intelligent robots.

<i>Number</i>	<i>Terms</i>	<i>Meaning</i>
6001	Artificial intelligence	The ability to learn, the capability of abstract thought, to be able to draw inferences, reasoning, environmental adaptability and recognition, etc.
6002	Intellectual function	The ability to engage objects in the neighbourhood in the following actions; learning, judgment, recognition, adaptation, etc., through the medium of detection, memorizing, etc.
6012	Automatic programming	The conversion by the robot itself of instructions, for a particular operation or job, which are available in terms readily comprehensible to a human, into a form such that the robot can follow; reference: See No. 0135 in <i>JIS C 6330</i> (Glossary of terms used in information processing)

Table 1.B.7 Terms relating to safety.

Number	Terms	Meaning
7001	Danger.	A function which ensures the robot does not produce a dangerous condition
7002	prevention Danger zone	The zone in which one should not enter because a dangerous situation will be manifested at certain times
7003	Safety pole	An erect pole for limiting the runaway of the robot in the case of abnormal operation; generally speaking, it will be strong enough to withstand impact by the robot
7004	Safety barrier	A barrier, or the like, provided around the danger zone to prevent human entry into the said danger zone
7005	Backup system	Auxiliary functions or auxiliary machine(s) provided beforehand such that if a fault occurs in some functional unit or machine in constant use in the system, the operation of the system may still continue uninterrupted

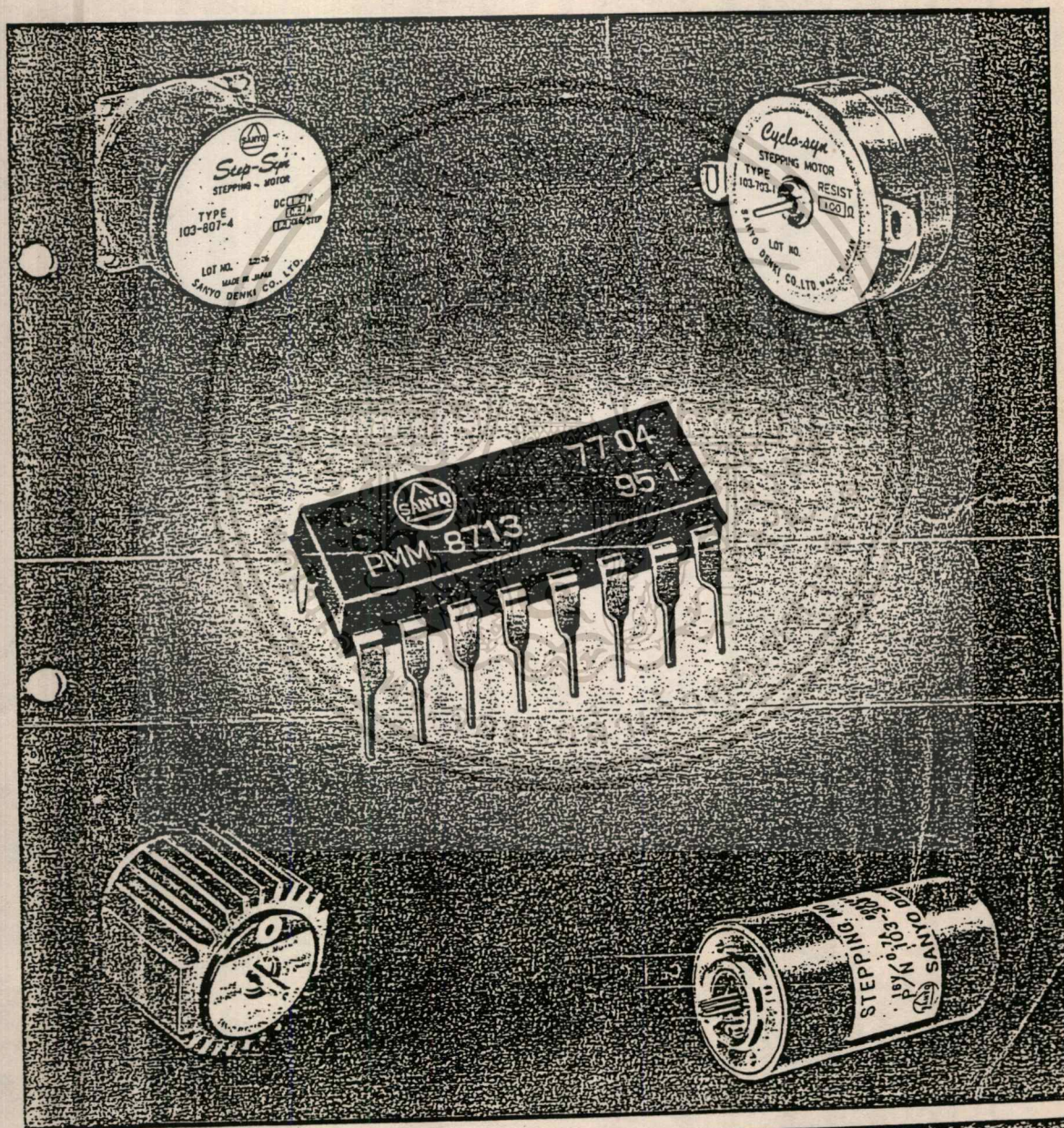
1.10 REFERENCES

- [1.1] Japanese Standards Committee, Glossary of terms for industrial robots, JIS B 0134-1979, January 1979.
- [1.2] Rasmussen, G. Human body vibration exposure and its measurement, *Technical Review*, Bruel & Kjaer, No. 1, 1982.
- [1.3] Microbot, Inc. Operation of the 5-axis Table-top Manipulator, Model MIM-5, 453-H Ravendale Drive, Mountain View, CA 9404, 1982.
- [1.4] Cugy, A. and Page, K. *Industrial Robot Specification*, Kogan Page, 1984.
- [1.5] Clarke, H. and N-Nagy, F.L. Powering the electric arm, *Electric Drives*, Fall 1983.
- [1.6] N-Nagy, F.L. Promoting awareness of industrial applications of microprocessors, *Electronics and Power*, Vol. 26, No. 6, 1980.
- [1.7] Inagaki, S. What is the standardization for industrial robots? *The Industrial Robot*, March 1980, pp. 46-9.
- [1.8] Yonemoto, K. International cooperation and trends in the field of industrial robot, *Robotica*, Vol. 3, 1985. pp. 165-70.
- [1.9] General Motors' MAP Technical Review Committee, *MAP Specification to MAP Network Users and Manufacturers*, March 31, 1985.
- [1.10] Department of Trade and Industry, The DTI MAP event, Executive Summary, *Computer Communications into the 1990s*, July 1986.
- [1.11] Hunt, K.H. *Kinematic Geometry of Mechanisms*, Oxford University Press, 1978.
- [1.12] Hadzima, J. Introduction to data acquisition, *Robotics Age*, Vol. 6, No. 10, 1984, pp. 12-18.
- [1.13] Foster, D. *Automation in Practice*, McGraw-Hill, 1968.

UNIVERSAL CONTROLLER

for Stepping Motor Driving

PMM8713



SANYO DENKI CO., LTD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 GENERAL

The universal controller PMM8713 for driving SANYO stepping motor is a C-MOS monolithic type IC designed for controlling stepping motors of three-phase and four-phase type.

The Sanyo's PMM8713 is designed to control either of 3 phase and 4 phase stepping motors in any mode of 1 phase excitation, 2 phase excitation or 1-2 phase excitation.

In addition to that, when darlington type transistors are only inserted in the output lines, it can work on switching of higher current ratings of stepping motors.

PMM8713 has been developed for the purpose of simplifying the utilization of stepping motors and it permits to easily compose a stepping motor drive unit by preparing a pulse oscillator (pulse input signal), power switching transistors and DC power supply.

It is chief advantages that it affords cost savings in parts inventory, purchasing, handling, assembly labor, circuit test and design.

2 FEATURES

★ Universal controller:

The following 6 types of mode can be selected by means of a excitation mode change-over terminal:

- 4 phase 1 excitation
- 4 phase 2 excitation
- 4 phase 1-2 excitation
- 3 phase 1 excitation
- 3 phase 2 excitation
- 3 phase 1-2 excitation

★ Wider range of power supply voltage: $V_{DD} = +4V \sim +18V$

★ High output current: 20mA min. for both sink and source

★ High noise margin: All input terminals have built-in schmitt circuit

★ 2 types of pulse input:

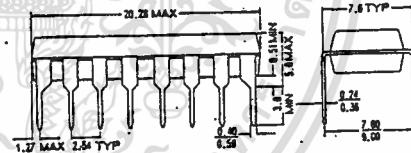
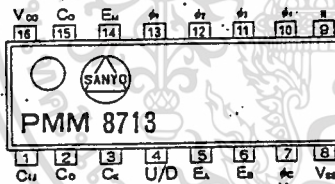
2 input terminal system } either one selectable
1 input, 1 change-over terminal system }

★ Excitation detecting monitor:

Outputs monitor signal showing operating condition of controller

3 PIN CONNECTION (16 LEAD PLASTIC DUAL IN LINE PACKAGE)

(Fig.-1)



PIN NO.	1 Cu	2 Co	3 Ck	4 U/D	5 EA	6 EB	7 φc	8 Vss
	Input pulse, UP clock	Input pulse, DOWN clock	Input pulse, clock	Change-over of rotation direction "0" DOWN, "1" UP	Excitation-mode change over		3, 4 phase-change	(GND)

PIN NO.	9 $\bar{R}$	10 φ4	11 φ3	12 φ2	13 φ1	14 EM	15 Co	16 VDD
	Reset	3 phase } 4 phase				Excitation monitor	Input pulse monitor	(+4 ~ +18V)

See Table -1

4 FUNCTION TABLE

(Table-1)

		Input								Output					
Excitation Mode		φc	EA	EB	Cu	Co	Ck	U/D	$\bar{R}$	Co	Em	φ1	φ2	φ3	φ4
3 phase	1-2 excitation	0	1	1	X	X	X	X	0	-	1	1	0	1	0
	2 excitation	0	0	0	X	X	X	X	0	-	1	1	0	1	0
	1 excitation	0	0	0	X	X	X	X	0	-	0	1	0	0	0
	1-2 excitation	1	1	1	X	X	X	X	0	-	1	1	0	0	1
4 phase	2 excitation	1	0	0	X	X	X	X	0	-	1	1	0	0	1
	1 excitation	1	0	0	X	X	X	X	0	-	0	1	0	0	0

X ; Don't care - ; Indefinite

⑤ EXCITATION SEQUENCE (Table-2)

4 Phase 2 Excitation (a)

Phase	0 (Reset)	1	2	3	4
ϕ_1	1	1	0	0	1
ϕ_2	0	1	1	0	0
ϕ_3	0	0	1	1	0
ϕ_4	1	0	0	1	1
UP					
DOWN					

3 Phase 2 Excitation (b)

Phase	0 (Reset)	1	2	3
ϕ_1	1	1	0	1
ϕ_2	0	1	1	0
ϕ_3	1	0	1	1
UP				
DOWN				

4 Phase 1-2 Excitation (c)

Phase	0 (Reset)	1	2	3	4	5	6	7	8
ϕ_1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
ϕ_2	0	0	1	1	1	0	0	0	0
ϕ_3	0	0	0	1	1	1	1	0	0
ϕ_4	1	0	0	0	0	0	1	1	1
UP									
DOWN									

3 Phase 1-2 Excitation (d)

Phase	0 (Reset)	1	2	3	4	5	6
ϕ_1	1	1	1	0	0	0	1
ϕ_2	0	0	1	1	1	0	0
ϕ_3	1	0	0	0	1	1	1
UP							
DOWN							

4 Phase 1 Excitation (e)

Phase	0 (Reset)	1	2	3	4
ϕ_1	1	0	0	0	1
ϕ_2	0	1	0	0	0
ϕ_3	0	0	1	0	0
ϕ_4	0	0	0	1	0
UP					
DOWN					

3 Phase 1 Excitation (f)

Phase	0 (Reset)	1	2	3
ϕ_1	1	0	0	1
ϕ_2	0	1	0	0
ϕ_3	0	0	1	0
UP				
DOWN				

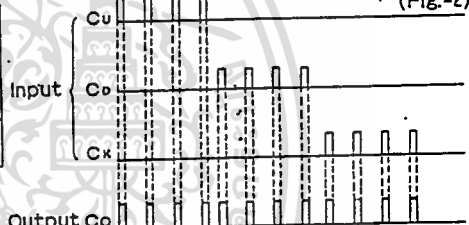
⑥ FUNCTION OF EXCITATION MONITOR (PIN NO.14) AND INPUT PULSE MONITOR (PIN NO.15)

Excitation monitor (Pin No.14) - E_M (Table-3)

Mode	Input Pulse	0 (Reset)	1	2	3	4	5	6	7	8
3, 4 phase 1 excitation		0	0	0	0	0	0	0	0	0
3, 4 phase 2 excitation		1	1	1	1	1	1	1	1	1
3, 4 phase 1-2 excitation		1	0	1	0	1	0	1	0	1

That is, transmits "1" level when output mode is set at 2 excitation, and transmits "0" level when 1 excitation.

Input pulse monitor (Pin No.15) - Co (Fig-2)

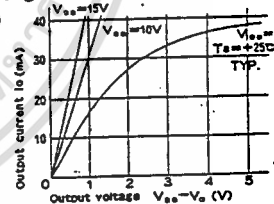


⑦ MAXIMUM RATINGS (Table-4)

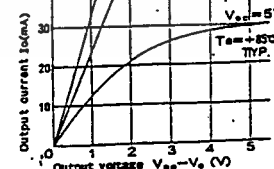
Parameter	Symbol	Ratings	Units
Supply Voltage	V_{DD}	-0.5 ~ +18	V
Input Voltage	V_{IN}	-0.5 ~ $V_{DD} + 0.5$	V
Operating temperature range	T_A	-40 ~ +85	°C
Storage temperature range	T_{STG}	-65 ~ +150	°C
Power Dissipation	P_D	280 ($T_A = -40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$) 160 ($T_A = +60^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$)	mW
Output current	I_O	35	mA

Characteristic of output current vs voltage - $\phi_1 \sim \phi_4$ (Fig-3)

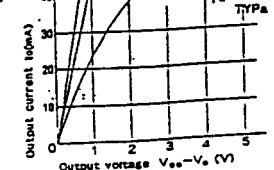
(a)



(b)



(c)



⑧ ELECTRICAL CHARACTERISTICS

DC characteristics $T_A = -40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	V_{DD}	Test Conditions	Limits	Units
Input voltage	"H"	5V		3.5	V
		15V		11	
	"L"	5V		1.5	
		15V		1.0	
Output voltage	"H"	5V	$V_{DD}=5V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	4.3	V
		15V	$V_{DD}=15V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	14.3	
	"L"	5V	$V_{DD}=5V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	0.1	V
		15V	$V_{DD}=15V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	0.1	
	Output current	5V	$V_{DD}=5V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	-25	mA
		15V	$V_{DD}=15V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	-30	
		5V	$V_{DD}=5V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	20	
		15V	$V_{DD}=15V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	20	
Output current	"H"	5V	$V_{DD}=5V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	-0.8	mA
		15V	$V_{DD}=15V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	-1.6	
	"L"	5V	$V_{DD}=5V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	1.8	mA
		15V	$V_{DD}=15V, V_{IN}=0V, I_{DD}=0$	3.6	
Input current	I_I	15V	$V_{DD}=15V, V_{IN}=0V$	10	μA
Stand by current	I_{SB}	15V	$V_{DD}=15V, V_{IN}=0V$	1	μA

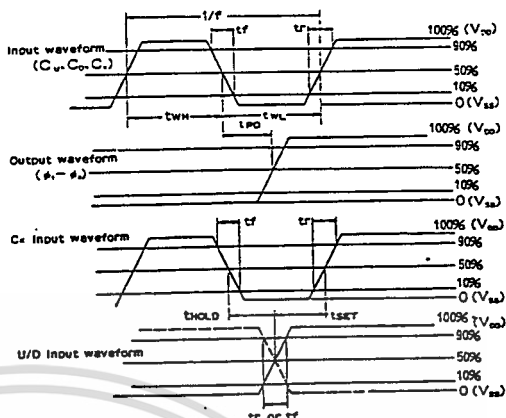
AC characteristics

(Table-6)

Parameter	Symbol	Test Condition		Limits			Units
		V _{DD}		Min.	Typ.	Max.	
Max. clock frequency	f _{MAX}	5 V	tr=tf=20ns	1			MHz
		15 V	C _L =50PF	2			
Min. clock pulse width	t _{WL}	5 V	tr=tf=20ns			500	
		15 V	C _L =50PF			250	
Min. reset pulse width	t _{WR}	5 V	tr=tf=20ns			1000	
		15 V	C _L =50PF			500	
Propagation delay time (from clock input to ϕ output)	t _{PD}	5 V	tr=tf=20ns			2000	ns
		15 V	C _L =50PF			1000	
Set up time	t _{SET}	5 V	tr=tf=20ns	0			
		15 V	C _L =50PF	0			
Hold time	t _{HOLD}	5 V	tr=tf=20ns	250			
		15 V	C _L =50PF	125			

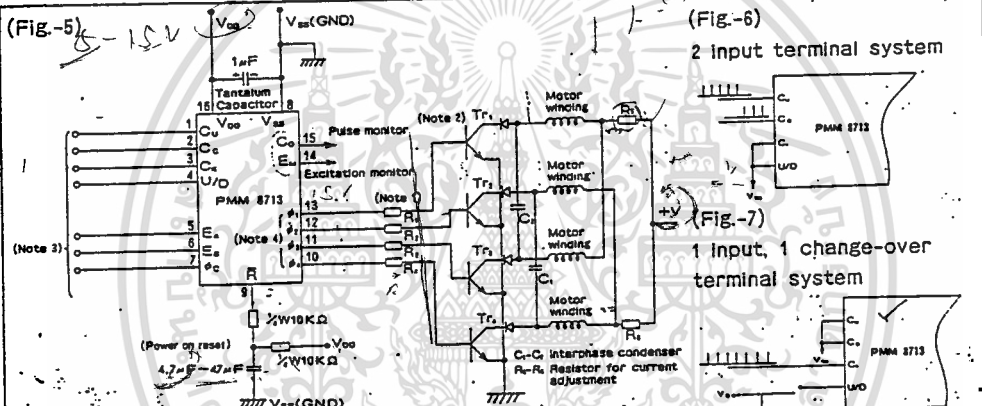
Input, output waveforms

(Fig.-4)



9 APPLICATION EXAMPLE

(Fig.-5)



(Note 1) Recommended the followings be used for output resistors

R₁ to R₄ : $\frac{1}{4}$ W 100 Ω $\pm 5\%$ when V_{DD} = 5V
 1W 300 Ω $\pm 5\%$ when V_{DD} = 10V
 1W 500 Ω $\pm 5\%$ when V_{DD} = 15V

The output current at this time will be about I_{OH} = 15 ~ 27mA. (with Tr V_{BE(SAT)} = 1.2V).
 In case I_{OH} larger than this value is required, please design a unit in accordance with Fig. 3-(a), 3-(b) and 3-(c).

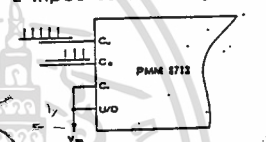
(Note 2) It is recommended that darlington type transistors (V_{BE(SAT)} is less than 2V, h_{FE} is more than 500) be used as switching transistors (Tr₁ ~ Tr₄).

(Note 3) Please select proper input terminals depend on the type of mode to be used and input system and connect them in accordance with this catalog (Table-1, Fig.-6, Fig.-7) for use.

(Note 4) As for the excitation sequence of $\phi 1$ to $\phi 4$, please refer to Par. 5, excitation sequence, of this catalog.

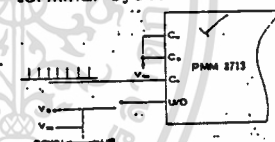
(Fig.-6)

2 input terminal system



(Fig.-7)

1 input, 1 change-over terminal system



This element has a built-in protective circuit at its input to prevent it from being damaged by high voltage and static electricity. However, it is very high in impedance, therefore, it should be used with great care exercised not to apply a voltage higher than its

maximum rating. Especially in operation, it is desired to be kept within such a range as V_{SS} < (V_{IN}, V_{OUT}) < V_{DD}.
 Input terminals not in use should be connected to V_{SS} or V_{DD}.



SANYO DENKI CO., LTD.

No. 15-1, 1-chome, Kitagotsuka
 Toshima-ku, Tokyo, JAPAN
 TEL: TOKYO (03) 917-5151 ~ 9
 TLX: 2722176 SANYOT J

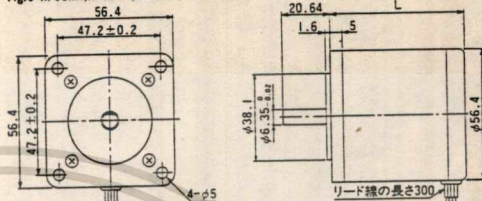
Catalog No. 148-3. 79.9.3DB

STEPPING MOTORS HB(HYBRID)type

●ステッピングモータ HB(ハイブリッド)型

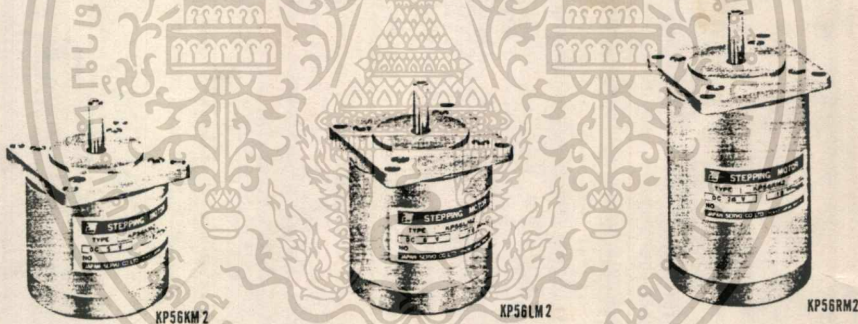
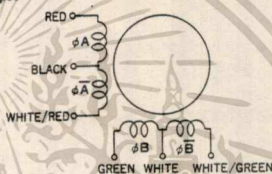
●外形寸法 DIMENSIONS(mm)

Fig.9 KP56HM, KP56KM, KP56LM, KP56RM



●結線方法 CONNECTION DIAGRAM

Fig.33



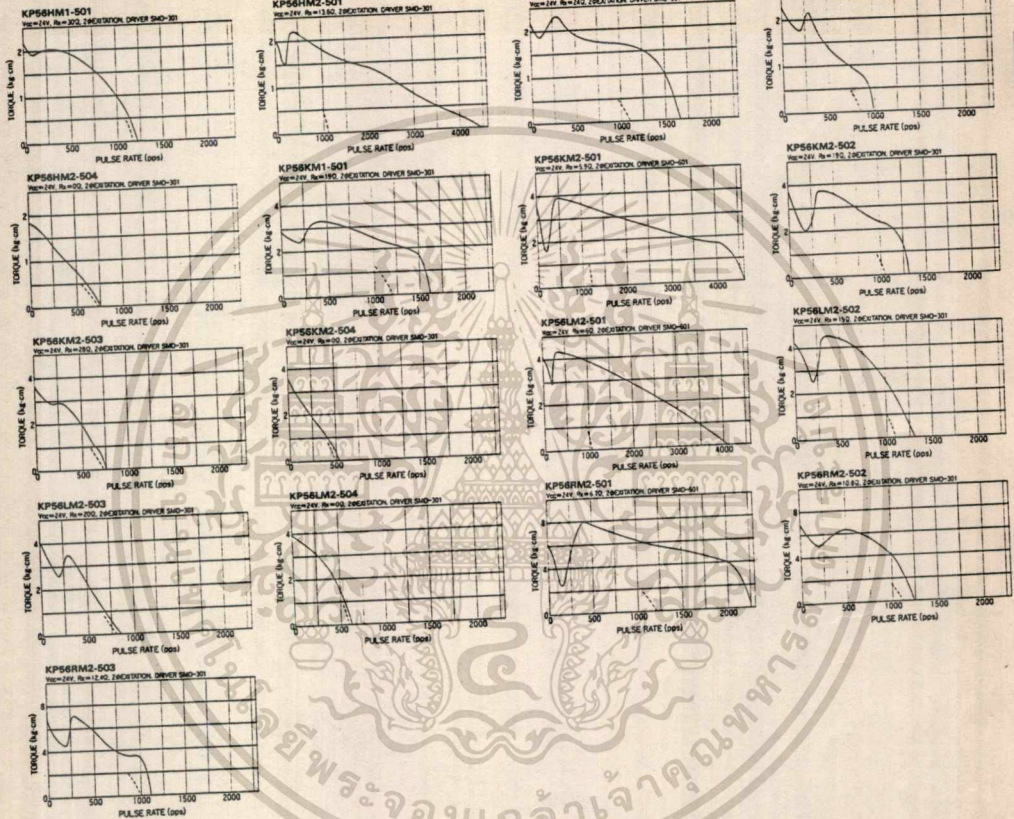
●標準仕様 STANDARD SPECIFICATIONS

機種名 MODEL	KP56HM1				KP56HM2				KP56KM1				KP56KM2			
	-501	-501	-502	-503	-504	-501	-501	-502	-503	-504	-501	-501	-502	-503	-504	-504
相数 PHASE	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ステップ角 STEP ANGLE deg/STEP	0.9	1.8	1.8	1.8	1.8	0.9	1.8	1.8	1.8	1.8	0.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
電圧 VOLTAGE V	12	2.25	6	12	24	5	1.4	5	12	24	5	1.4	5	12	24	24
電流 CURRENT A/PHASE	0.4	1.6	0.75	0.4	0.2	1.0	3.8	1.0	0.43	0.21	1.0	3.8	1.0	0.43	0.21	0.21
巻線抵抗 RESISTANCE Ω/PHASE	30	1.4	8	30	120	5	0.37	5	28	115	5	0.37	5	28	115	115
インダクタンス INDUCTANCE mH/PHASE	40	1.45	7	30	95	8.5	0.63	9	44	167	8.5	0.63	9	44	167	167
最大静止トルク HOLDING TORQUE kgf·cm	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
ディテントトルク DETENT TORQUE gf·cm	300	300	300	300	300	300	450	450	450	450	300	450	450	450	450	450
ロータイナーシャ ROTOR INERTIA g·cm ²	60	60	60	60	60	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
重量 WEIGHT kg	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
外形寸法 DIMENSIONS	Fig. 9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
L寸法 L LENGTH mm	38	38	38	38	38	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8
結線方法 CONNECTION DIAGRAM	Fig. 33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
絶縁階級 INSULATION CLASS	B				B				B				B			
絶縁抵抗 INSULATION RESISTANCE	500V DC 100M Ω min				500V DC 100M Ω min				500V DC 100M Ω min				500V DC 100M Ω min			
絶縁耐力 DIELECTRIC STRENGTH	500V 50Hz 1min.				500V 50Hz 1min.				500V 50Hz 1min.				500V 50Hz 1min.			
使用温度範囲 AMBIENT TEMPERATURE °C	-10~50				-10~50				-10~50				-10~50			
温度上昇 TEMPERATURE RISE deg.	80				80				80				80			
リード線仕様 LEADS SPECIFICATION	AWG #22 UL3266				AWG #22 UL3266				AWG #22 UL3266				AWG #22 UL3266			

STEPPING MOTORS HB(HYBRID)type

●ステッピングモータ HB(ハイブリッド)型

●パルストルク特性 PULSE-TORQUE CURVE



●標準仕様 STANDARD SPECIFICATIONS

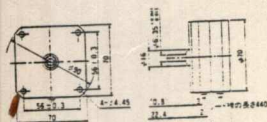
機種名 MODEL	KP56LM2				KP56RM2		
	-501	-502	-503	-504	-501	-502	-503
相数 PHASE	4	4	4	4	1.8	1.8	1.8
ステップ角 STEP ANGLE deg/STEP	1.8	1.8	1.8	1.8	2.16	4.5	5.4
電圧 VOLTAGE V	1.8	6	12	24	3.6	1.8	1.5
電流 CURRENT A/PHASE	3.6	1.2	0.6	0.3	0.6	2.5	3.6
巻線抵抗 RESISTANCE Ω /PHASE	0.5	5	20	80	1.25	5	7
インダクタンス INDUCTANCE mH/PHASE	0.7	8.5	35	120	8.0	8.0	8.0
最大静止トルク HOLDING TORQUE kgf-cm	5.5	5.5	5.5	5.5	750	750	750
ディテントトルク DETENT TORQUE gf-cm	450	450	450	450	230	230	230
ロータイナーシャ ROTOR INERTIA g-cm ²	110	110	110	110	0.95	0.95	0.95
重量 WEIGHT kg	0.6	0.6	0.6	0.6	9	9	9
外形寸法 DIMENSIONS L寸法 L LENGTH mm	Fig. 9	Fig. 9	Fig. 9	Fig. 9	80	80	80
結線方法 CONNECTION DIAGRAM Fig.	33	33	33	33	33	33	33
絶縁階級 INSULATION CLASS	B						
絶縁抵抗 INSULATION RESISTANCE	500V DC 100M Ω min						
絶縁耐力 DIELECTRIC STRENGTH	500V 50Hz 1min.						
使用温度範囲 AMBIENT TEMPERATURE $^{\circ}$ C	-10-50						
温度上昇 TEMPERATURE RISE deg.	80						
リード線仕様 LEADS SPECIFICATION	AWG #22 UL3266						

STEPPING MOTORS PM(PERMANENT MAGNET),VR(VARIABLE RELUCTANCE)type

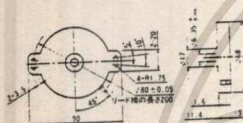
●ステッピングモータ PM、VR型

●外形寸法 DIMENSIONS(mm)

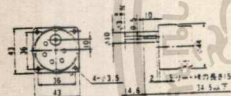
KP7P8-201



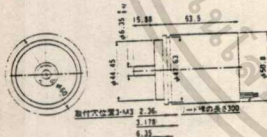
KP68P2-401



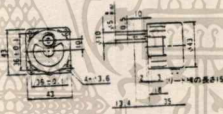
KP4P15G



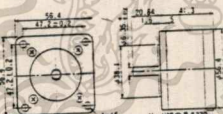
KP5AR15-2



KP4P18GN



KP6R2-001



●標準仕様 STANDARD SPECIFICATIONS

機種名 MODEL	KP7P8-201	KP68P2-401	KP4P15G	KP4P18GN
相数 PHASE	4	4	4	4
ステップ角 STEP ANGLE deg/STEP	7.5	1.8	15	18
電圧 VOLTAGE V	12	12	12	12
電流 CURRENT A/PHASE	0.64	0.36	0.18	0.17
巻線抵抗 RESISTANCE Ω/PHASE	18.8	33	66	70
インダクタンス INDUCTANCE mH/PHASE	30.5	18	27	37
最大静止トルク HOLDING TORQUE gf·cm	3800	600	100	150
ディテントトルク DETENT TORQUE gf·cm	520	110	50	50
ロータイナーシャ Rotor INERTIA g·cm ²	194	53.8	3.44	5
重量 WEIGHT kg	0.65	0.18	0.15	0.15
絶縁階級 INSULATION CLASS	A	A	A	A
絶縁抵抗 INSULATION RESISTANCE 500V DC 100MΩ min				
絶縁耐力 DIELECTRIC STRENGTH 500V 50Hz 1min.				
使用温度範囲 AMBIENT TEMPERATURE °C	-10~40	-10~50	-10~40	-10~45
温度上昇 TEMPERATURE RISE deg.	65	50	65	60
リード線仕様 LEADS SPECIFICATION	AWG #22 UL3266	AWG #26 UL1007	10/0.12PVC	

●ギヤヘッド

出力常用トルク
KP4P15G(at 100pps)

減速比	トルク
1/10	0.33
1/20	0.55
1/30	0.87
1/50	1.37
1/60	1.5
1/75	1.5
1/100	1.5
1/150	1.5
1/200	1.5
1/300	1.5
1/500	1.5
1/600	1.5

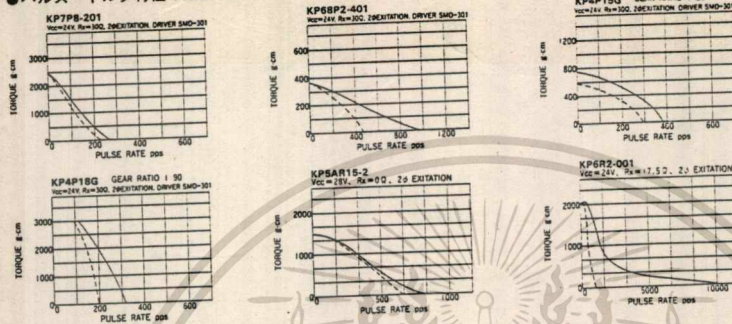
KP4P18GN

減速比	トルク
1/90	3.0

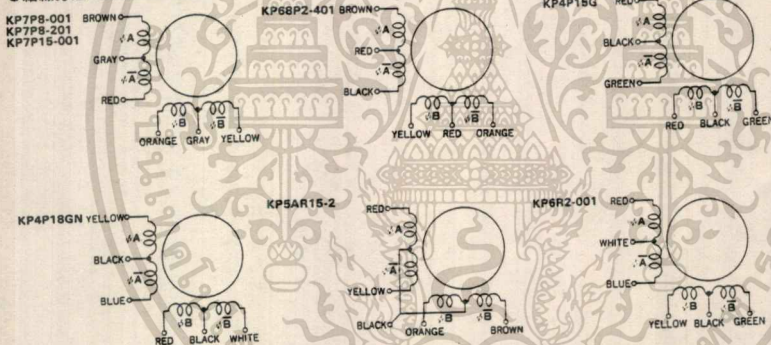
STEPPING MOTORS PM(PERMANENT MAGNET),VR(VARIABLE RELUCTANCE)type

●ステッピングモータ PM、VR型

●パルストルク特性 PULSE-TORQUE CURVE



●結線方法 CONNECTION DIAGRAM



●標準仕様 STANDARD SPECIFICATIONS

機種名 MODEL	KP5AR15-2	KP6R2-001
相数 PHASE	4	4
ステップ角 STEP ANGLE deg/STEP	15	1.8
電圧 VOLTAGE V	28	4
電流 CURRENT A/PHASE	1.4	1.14
巻線抵抗 RESISTANCE Ω /PHASE	20	3.5
インダクタンス INDUCTANCE mH/PHASE	—	—
最大静止トルク HOLDING TORQUE kgf·cm	2	2
ロータイナーシャ Rotor INERTIA g·cm ²	10	45
重量 WEIGHT kg	0.56	0.35
絶縁階級 INSULATION CLASS	H	B
絶縁抵抗 INSULATION RESISTANCE	500V DC 100M Ω min	
絶縁耐力 DIELECTRIC STRENGTH	500V 50Hz 1min.	
使用温度範囲 AMBIENT TEMPERATURE $^{\circ}C$	-10~50 $^{\circ}C$	
温度上昇 TEMPERATURE RISE deg.	許容表面温度 100 $^{\circ}C$	80 $^{\circ}C$
リード線仕様 LEADS SPECIFICATION	7 0.12TEF	AWG #26 UL3266

Hex Range	Usage
000-00F	DMA Chip 8237A-5
020-021	Interrupt 8259A
040-043	Timer 8253-5
060-063	PPI 8255A-5
080-083	DMA Page Registers
0A X*	NMI Mask Register
0C X	Reserved
0E X	Reserved
200-20F	Game Control
210-217	Expansion Unit
220-24F	Reserved
278-27F	Reserved
2F0-2F7	Reserved
2F8-2FF	Asynchronous Communications (Secondary)
300-31F	Prototype Card
320-32F	Fixed Disk
378-37F	Printer
380-38C**	SDLC Communications
380-389**	Binary Synchronous Communications (Secondary)
3A0-3A9	Binary Synchronous Communications (Primary)
3B0-3BF	IBM Monochrome Display/Printer
3C0-3CF	Reserved
3D0-3DF	Color/Graphics
3E0-3E7	Reserved
3F0-3F7	Diskette
3F8-3FF	Asynchronous Communications (Primary)

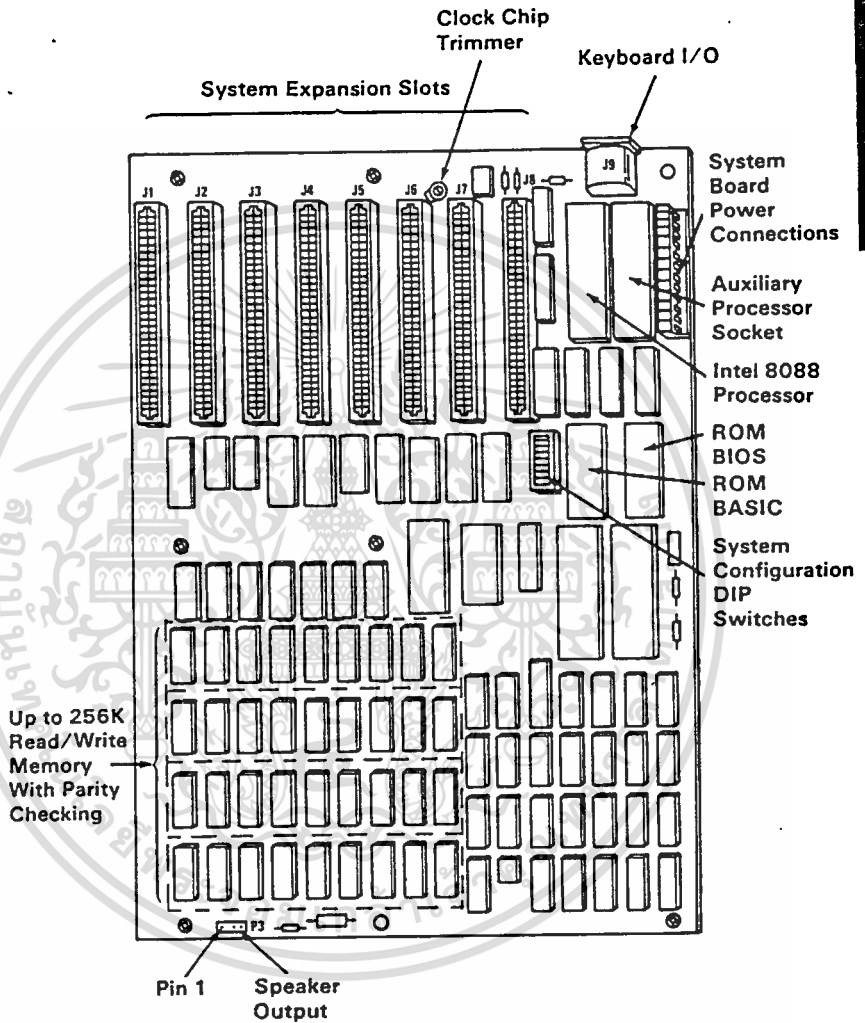
* At power-on time, the Non Mask Interrupt into the 8088 is masked off. This mask bit can be set and reset through system software as follows:

Set mask: Write hex 80 to I/O Address hex A0 (enable NMI)

Clear mask: Write hex 00 to I/O Address hex A0 (disable NMI)

** SDLC Communications and Secondary Binary Synchronous Communications cannot be used together because their hex addresses overlap.

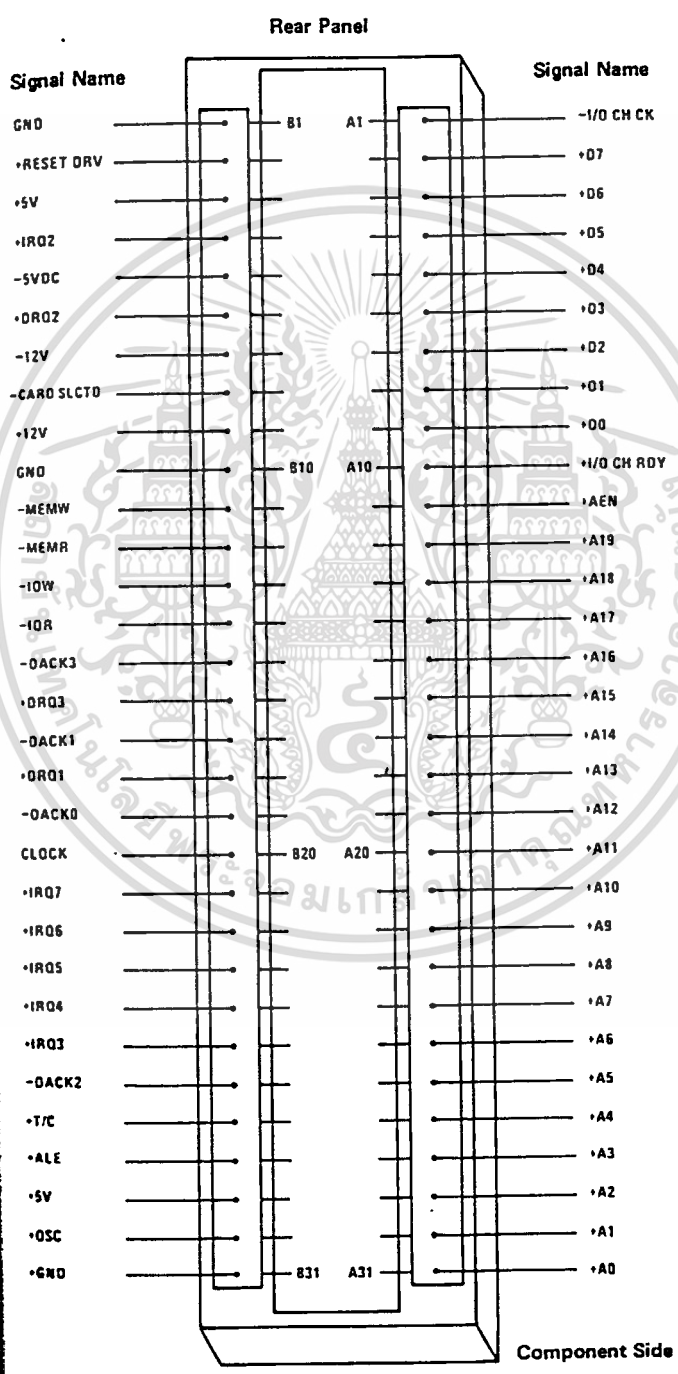
I/O Address Map



System Board Component Diagram

System Board Switch Settings

All system board switch settings for total system memory, number of diskette drives, and type of display are located in "Appendix G: Switch Settings."



I/O Channel Diagram

I/O Channel Description

The following is a description of the IBM Personal Computer XT I/O Channel. All lines are TTL-compatible.

Signal	I/O	Description
OSC	O	Oscillator: High-speed clock with a 70-ns period (14.31818 MHz). It has a 50% duty cycle.
CLK	O	System clock: It is a divide-by-three of the oscillator and has a period of 210 ns (4.77 MHz). The clock has a 33% duty cycle.
RESET DRV	O	This line is used to reset or initialize system logic upon power-up or during a low line voltage outage. This signal is synchronized to the falling edge of clock and is active high.
A0-A19	O	Address bits 0 to 19: These lines are used to address memory and I/O devices within the system. The 20 address lines allow access of up to 1 megabyte of memory. A0 is the least significant bit (LSB) and A19 is the most significant bit (MSB). These lines are generated by either the processor or DMA controller. They are active high.
D0-D7	I/O	Data Bits 0 to 7: These lines provide data bus bits 0 to 7 for the processor, memory, and I/O devices. D0 is the least significant bit (LSB) and D7 is the most significant bit (MSB). These lines are active high.
ALE	O	Address Latch Enable: This line is provided by the 8288 Bus Controller and is used on the system board to latch valid addresses from the processor. It is available to the I/O channel as an indicator of a valid processor address (when used with AEN). Processor addresses are latched with the falling edge of ALE.

Signal	I/O	Description
$\overline{\text{I/O CH CK}}$	I	-I/O Channel Check: This line provides the processor with parity (error) information on memory or devices in the I/O channel. When this signal is active low, a parity error is indicated.
I/O CH RDY	I	I/O Channel Ready: This line, normally high (ready), is pulled low (not ready) by a memory or I/O device to lengthen I/O or memory cycles. It allows slower devices to attach to the I/O channel with a minimum of difficulty. Any slow device using this line should drive it low immediately upon detecting a valid address and a read or write command. This line should never be held low longer than 10 clock cycles. Machine cycles (I/O or memory) are extended by an integral number of CLK cycles (210 ns).
IRQ2-IRQ7	I	Interrupt Request 2 to 7: These lines are used to signal the processor that an I/O device requires attention. They are prioritized with IRQ2 as the highest priority and IRQ7 as the lowest. An Interrupt Request is generated by raising an IRQ line (low to high) and holding it high until it is acknowledged by the processor (interrupt service routine).
$\overline{\text{IOR}}$	O	-I/O Read Command: This command line instructs an I/O device to drive its data onto the data bus. It may be driven by the processor or the DMA controller. This signal is active low.
$\overline{\text{IOW}}$	O	-I/O Write Command: This command line instructs an I/O device to read the data on the data bus. It may be driven by the processor or the DMA controller. This signal is active low.

Signal	I/O	Description
<u>MEMR</u>	O	Memory Read Command: This command line instructs the memory to drive its data onto the data bus. It may be driven by the processor or the DMA controller. This signal is active low.
<u>MEMW</u>	O	Memory Write Command: This command line instructs the memory to store the data present on the data bus. It may be driven by the processor or the DMA controller. This signal is active low.
<u>DRQ1-DRQ3</u>	I	DMA Request 1 to 3: These lines are asynchronous channel requests used by peripheral devices to gain DMA service. They are prioritized with DRQ3 being the lowest and DRQ1 being the highest. A request is generated by bringing a DRQ line to an active level (high). A DRQ line must be held high until the corresponding DACK line goes active.
<u>DACK0- DACK3</u>	O	-DMA Acknowledge 0 to 3: These lines are used to acknowledge DMA requests (DRQ1-DRQ3) and to refresh system dynamic memory (DACK0). They are active low.
AEN	O	Address Enable: This line is used to de-gate the processor and other devices from the I/O channel to allow DMA transfers to take place. When this line is active (high), the DMA controller has control of the address bus, data bus, read command lines (memory and I/O), and the write command lines (memory and I/O).
T/C	O	Terminal Count: This line provides a pulse when the terminal count for any DMA channel is reached. This signal is active high.

Signal

I/O Description

CARD SLCTD I

-Card Selected: This line is activated by cards in expansion slot J8. It signals the system board that the card has been selected and that appropriate drivers on the system board should be directed to either read from, or write to, expansion slot J8. Connectors J1 through J8 are tied together at this pin, but the system board does not use their signal. This line should be driven by an open collector device.

The following voltages are available on the system board I/O channel:

- +5 Vdc $\pm 5\%$, located on 2 connector pins
- 5 Vdc $\pm 10\%$, located on 1 connector pin
- +12 Vdc $\pm 5\%$, located on 1 connector pin
- 12 Vdc $\pm 10\%$, located on 1 connector pin
- GND (Ground), located on 3 connector pins



8253/8253-5 PROGRAMMABLE INTERVAL TIMER

- MCS-85™ Compatible 8253-5
- 3 Independent 16-Bit Counters
- DC to 2.6 MHz
- Programmable Counter Modes
- Count Binary or BCD
- Single +5V Supply
- Available in EXPRESS
 - Standard Temperature Range
 - Extended Temperature Range

The Intel® 8253 is a programmable counter/timer device designed for use as an Intel microcomputer peripheral. It uses nMOS technology with a single +5V supply and is packaged in a 24-pin plastic DIP.

It is organized as 3 independent 16-bit counters, each with a count rate of up to 2.6 MHz. All modes of operation are software programmable.

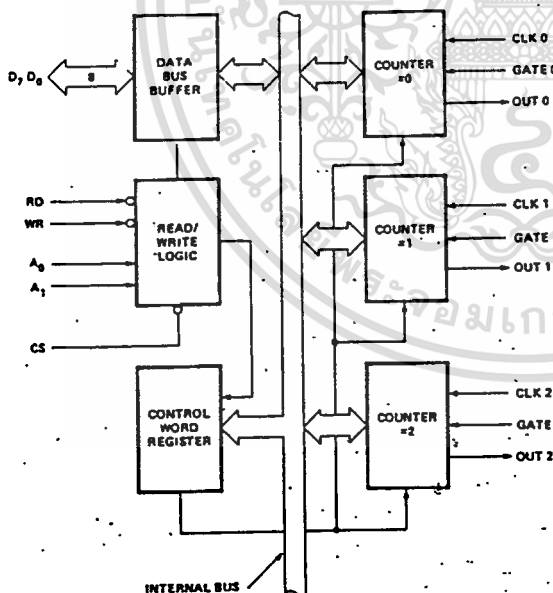


Figure 1. Block Diagram

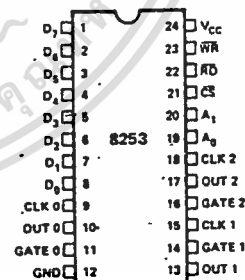


Figure 2. Pin Configuration

FUNCTIONAL DESCRIPTION

General

The 8253 is a programmable interval timer/counter specifically designed for use with the Intel™ Microcomputer systems. Its function is that of a general purpose, multi-timing element that can be treated as an array of I/O ports in the system software.

The 8253 solves one of the most common problems in any microcomputer system, the generation of accurate time delays under software control. Instead of setting up timing loops in systems software, the programmer configures the 8253 to match his requirements, initializes one of the counters of the 8253 with the desired quantity, then upon command the 8253 will count out the delay and interrupt the CPU when it has completed its tasks. It is easy to see that the software overhead is minimal and that multiple delays can easily be maintained by assignment of priority levels.

Other counter/timer functions that are non-delay in nature but also common to most microcomputers can be implemented with the 8253.

- Programmable Rate Generator
- Event Counter
- Binary Rate Multiplier
- Real Time Clock
- Digital One-Shot
- Complex Motor Controller

Data Bus Buffer

This 3-state, bi-directional, 8-bit buffer is used to interface the 8253 to the system data bus. Data is transmitted or received by the buffer upon execution of Input or Output CPU instructions. The Data Bus Buffer has three basic functions.

1. Programming the MODES of the 8253.
2. Loading the count registers.
3. Reading the count values.

Read/Write Logic

The Read/Write Logic accepts inputs from the system bus and in turn generates control signals for overall device operation. It is enabled or disabled by CS so that no operation can occur to change the function unless the device has been selected by the system logic.

$\overline{RD}$ (Read)

A "low" on this input informs the 8253 that the CPU is inputting data in the form of a counters value.

$\overline{WR}$ (Write)

A "low" on this input informs the 8253 that the CPU is outputting data in the form of mode information or loading counters.

A0, A1

These inputs are normally connected to the address bus. Their function is to select one of the three counters to be operated on and to address the control word register for mode selection.

$\overline{CS}$ (Chip Select)

A "low" on this input enables the 8253. No reading or writing will occur unless the device is selected. The $\overline{CS}$ input has no effect upon the actual operation of the counters.

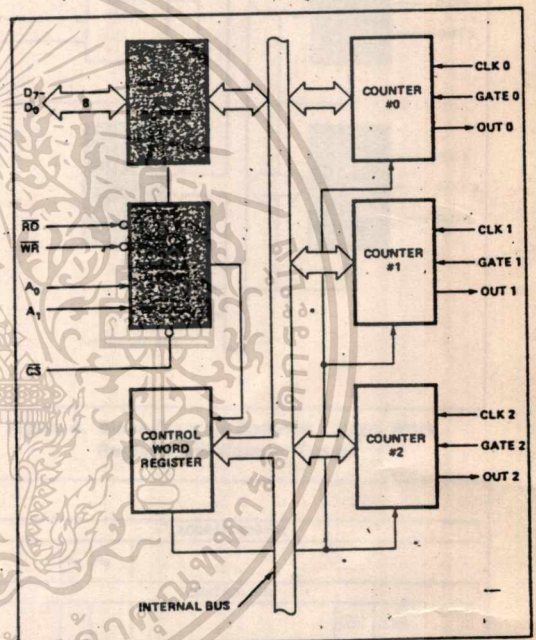


Figure 3. Block Diagram Showing Data Bus Buffer and Read/Write Logic Functions

$\overline{CS}$	$\overline{RD}$	$\overline{WR}$	A ₁	A ₀	Function
0	1	0	0	0	Load Counter No. 0
0	1	0	0	1	Load Counter No. 1
0	1	0	1	0	Load Counter No. 2
0	1	0	1	1	Write Mode Word
0	0	1	0	0	Read Counter No. 0
0	0	1	0	1	Read Counter No. 1
0	0	1	1	0	Read Counter No. 2
0	0	1	1	1	No-Operation 3-State
1	X	X	X	X	Disable 3-State
0	1	1	X	X	No-Operation 3-State

OPERATIONAL DESCRIPTION

General

The complete functional definition of the 8253 is programmed by the systems software. A set of control words must be sent out by the CPU to initialize each counter of the 8253 with the desired MODE and quantity information. Prior to initialization, the MODE, count, and output of all counters is undefined. These control words program the MODE, Loading sequence and selection of binary or BCD counting.

Once programmed, the 8253 is ready to perform whatever timing tasks it is assigned to accomplish.

The actual counting operation of each counter is completely independent and additional logic is provided on-chip so that the usual problems associated with efficient monitoring and management of external, asynchronous events or rates to the microcomputer system have been eliminated.

Programming the 8253

All of the MODES for each counter are programmed by the systems software by simple I/O operations.

Each counter of the 8253 is individually programmed by writing a control word into the Control Word Register. (A0, A1 = 11)

Control Word Format

D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
SC1	SC0	RL1	RL0	M2	M1	M0	BCD

Definition of Control

SC — Select Counter:

SC1	SC0	
0	0	Select Counter 0
0	1	Select Counter 1
1	0	Select Counter 2
1	1	Illegal

RL — Read/Load:

RL1	RL0	
0	0	Counter Latching operation (see READ/WRITE Procedure Section)
1	0	Read/Load most significant byte only.
0	1	Read/Load least significant byte only.
1	1	Read/Load least significant byte first, then most significant byte.

M — MODE:

M2	M1	M0	
0	0	0	Mode 0
0	0	1	Mode 1
X	1	0	Mode 2
X	1	1	Mode 3
1	0	0	Mode 4
1	0	1	Mode 5

BCD:

0	Binary Counter 16-bits
1	Binary Coded Decimal (BCD) Counter (4 Decades)

Counter Loading

The count register is not loaded until the count value is written (one or two bytes, depending on the mode selected by the RL bits), followed by a rising edge and a falling edge of the clock. Any read of the counter prior to that falling clock edge may yield invalid data.

MODE Definition

MODE 0: Interrupt on Terminal Count. The output will be initially low after the mode set operation. After the count is loaded into the selected count register, the output will remain low and the counter will count. When terminal count is reached the output will go high and remain high until the selected count register is reloaded with the mode or a new count is loaded. The counter continues to decrement after terminal count has been reached.

Rewriting a counter register during counting results in the following:

- (1) Write 1st byte stops the current counting.
- (2) Write 2nd byte starts the new count.

MODE 1: Programmable One-Shot. The output will go low on the count following the rising edge of the gate input.

The output will go high on the terminal count. If a new count value is loaded while the output is low it will not affect the duration of the one-shot pulse until the succeeding trigger. The current count can be read at any time without affecting the one-shot pulse.

The one-shot is retriggerable, hence the output will remain low for the full count after any rising edge of the gate input.

MODE 2: Rate Generator. Divide by N counter. The output will be low for one period of the input clock. The period from one output pulse to the next equals the number of input counts in the count register. If the count register is reloaded between output pulses the present period will not be affected, but the subsequent period will reflect the new value.

The gate input, when low, will force the output high. When the gate input goes high, the counter will start from the initial count. Thus, the gate input can be used to synchronize the counter.

When this mode is set, the output will remain high until after the count register is loaded. The output then can also be synchronized by software.

MODE 3: Square Wave Rate Generator. Similar to MODE 2 except that the output will remain high until one half the count has been completed (for even numbers) and go low for the other half of the count. This is accomplished by decrementing the counter by two on the falling edge of each clock pulse. When the counter reaches terminal count, the state of the output is changed and the counter is reloaded with the full count and the whole process is repeated.

If the count is odd and the output is high, the first clock pulse (after the count is loaded) decrements the count by 1. Subsequent clock pulses decrement the clock by 2. After timeout, the output goes low and the full count is reloaded. The first clock pulse (following the reload) decrements the counter by 3. Subsequent clock pulses decrement the count by 2 until timeout. Then the whole process is repeated. In this way, if the count is odd, the output will be high for $(N + 1/2)$ counts and low for $(N - 1/2)$ counts.

In Modes 2 and 3, if a CLK source other than the system clock is used, GATE should be pulsed immediately following WR of a new count value.

MODE 4: Software Triggered Strobe. After the mode is set, the output will be high. When the count is loaded, the counter will begin counting. On terminal count, the

output will go low for one input clock period, then will go high again.

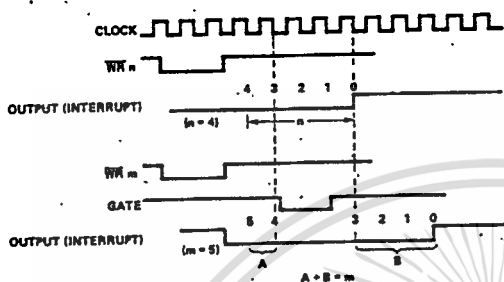
If the count register is reloaded during counting, the new count will be loaded on the next CLK pulse. The count will be inhibited while the GATE input is low.

MODE 5: Hardware Triggered Strobe. The counter will start counting after the rising edge of the trigger input and will go low for one clock period when the terminal count is reached. The counter is retriggerable. The output will not go low until the full count after the rising edge of any trigger.

Modes	Signal Status	Low Or Going Low	Rising	High
0		Disables counting	---	Enables counting
1		---	1) Initiates counting 2) Resets output after next clock	---
2		1) Disables counting 2) Sets output immediately high	1) Reloads counter 2) Initiates counting	Enables counting
3		1) Disables counting 2) Sets output immediately high	1) Reloads counter 2) Initiates counting	Enables counting
4		Disables counting	---	Enables counting
5		---	Initiates counting	---

Figure 6. Gate Pin Operations Summary

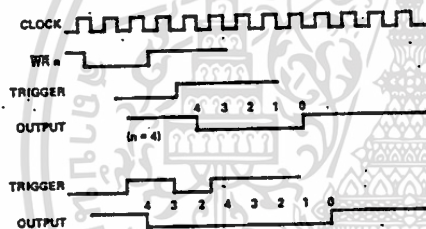
MODE 0: Interrupt on Terminal Count



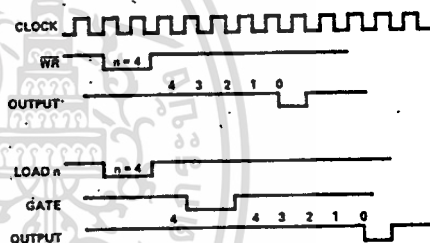
MODE 3: Square Wave Generator



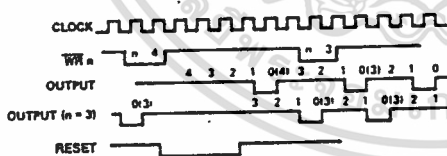
MODE 1: Programmable One-Shot



MODE 4: Software Triggered Strobe



MODE 2: Rate Generator



MODE 5: Hardware Triggered Strobe

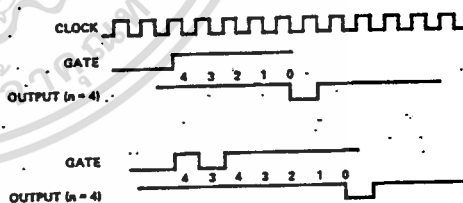


Figure 7. 8253 Timing Diagrams

8253 READ/WRITE PROCEDURE

Write Operations

The systems software must program each counter of the 8253 with the mode and quantity desired. The programmer must write out to the 8253 a MODE control word and the programmed number of count register bytes (1 or 2) prior to actually using the selected counter.

The actual order of the programming is quite flexible. Writing out of the MODE control word can be in any sequence of counter selection, e.g., counter #0 does not have to be first or counter #2 last. Each counter's MODE control word register has a separate address so that its loading is completely sequence independent. (SC0, SC1)

The loading of the Count Register with the actual count value, however, must be done in exactly the sequence programmed in the MODE control word (RL0, RL1). This loading of the counter's count register is still sequence independent like the MODE control word loading, but when a selected count register is to be loaded it must be loaded with the number of bytes programmed in the MODE control word (RL0, RL1). The one or two bytes to be loaded in the count register do not have to follow the associated MODE control word. They can be programmed at any time following the MODE control word loading as long as the correct number of bytes is loaded in order.

All counters are down counters. Thus, the value loaded into the count register will actually be decremented. Loading all zeroes into a count register will result in the maximum count (2^{16} for Binary or 10^4 for BCD). In MODE 0 the new count will not restart until the load has been completed. It will accept one of two bytes depending on how the MODE control words (RL0, RL1) are programmed. Then proceed with the restart operation.

MODE Control Word Counter n	
LSB	Count Register byte Counter n
MSB	Count Register byte Counter n

Note: Format shown is a simple example of loading the 8253 and does not imply that it is the only format that can be used.

Figure 8. Programming Format

		A1	A0
No. 1	MODE Control Word Counter 0	1	1
No. 2	MODE Control Word Counter 1	1	1
No. 3	MODE Control Word Counter 2	1	1
No. 4	LSB Count Register Byte Counter 1	0	1
No. 5	MSB Count Register Byte Counter 1	0	1
No. 6	LSB Count Register Byte Counter 2	1	0
No. 7	MSB Count Register Byte Counter 2	1	0
No. 8	LSB Count Register Byte Counter 0	0	0
No. 9	MSB Count Register Byte Counter 0	0	0

Note: The exclusive addresses of each counter's count register make the task of programming the 8253 a very simple matter, and maximum effective use of the device will result if this feature is fully utilized.

Figure 9. Alternate Programming Formats

Read Operations

In most counter applications it becomes necessary to read the value of the count in progress and make a computational decision based on this quantity. Event counters are probably the most common application that uses this function. The 8253 contains logic that will allow the programmer to easily read the contents of any of the three counters without disturbing the actual count in progress.

There are two methods that the programmer can use to read the value of the counters. The first method involves the use of simple I/O read operations of the selected counter. By controlling the A0, A1 inputs to the 8253 the programmer can select the counter to be read (remember that no read operation of the mode register is allowed A0, A1=11). The only requirement with this method is that in order to assure a stable count reading the actual operation of the selected counter must be inhibited either by controlling the Gate input or by external logic that inhibits the clock input. The contents of the counter selected will be available as follows:

first I/O Read contains the least-significant byte (LSB).

second I/O Read contains the most significant byte (MSB).

Due to the internal logic of the 8253 it is absolutely necessary to complete the entire reading procedure. If two bytes are programmed to be read then two bytes must be read before any loading WR command can be sent to the same counter.

Read Operation Chart

A1	A0	RD	
0	0	0	Read Counter No. 0
0	1	0	Read Counter No. 1
1	0	0	Read Counter No. 2
1	1	0	Illegal

Reading While Counting

In order for the programmer to read the contents of any counter without effecting or disturbing the counting operation the 8253 has special internal logic that can be accessed using simple WR commands to the MODE register. Basically, when the programmer wishes to read the contents of a selected counter "on the fly" he loads the MODE register with a special code which latches the present count value into a storage register so that its contents contain an accurate, stable quantity. The programmer then issues a normal read command to the selected counter and the contents of the latched register is available.

MODE Register for Latching Count

A0, A1 = 11

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SC1	SC0	0	0	X	X	X	X

SC1, SC0 — specify counter to be latched.

D5, D4 — 00 designates counter latching operation.

X — don't care.

The same limitation applies to this mode of reading the counter as the previous method. That is, it is mandatory to complete the entire read operation as programmed. This command has no effect on the counter's mode.

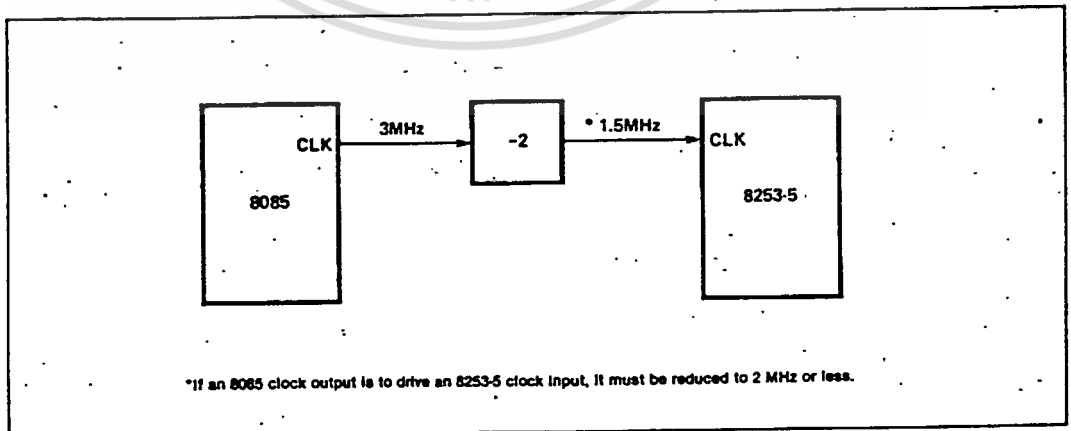


Figure 10. MCS-85™ Clock Interface*



8253/8253-5

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Ambient Temperature Under Bias 0°C to 70°C
Storage Temperature -65°C to +150°C
Voltage On Any Pin
With Respect to Ground -0.5V to +7V
Power Dissipation 1 Watt

*NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

D.C. CHARACTERISTICS ($T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5V \pm 10\%$) *

Symbol	Parameter	Min.	Max.	Unit	Test Conditions
V_{IL}	Input Low Voltage	-0.5	0.8	V	
V_{IH}	Input High Voltage	2.2	$V_{CC} + 5V$	V	
V_{OL}	Output Low Voltage		0.45	V	Note 1
V_{OH}	Output High Voltage	2.4		V	Note 2
I_{IL}	Input Load Current		± 10	μA	$V_{IN} = V_{CC}$ to 0V
I_{OFL}	Output Float Leakage		± 10	μA	$V_{OUT} = V_{CC}$ to .45V
I_{CC}	V_{CC} Supply Current		140	mA	

CAPACITANCE ($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = \text{GND} = 0V$)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions
C_{IN}	Input Capacitance			10	pF	$f_c = 1 \text{ MHz}$
$C_{I/O}$	I/O Capacitance			20	pF	Unmeasured pins returned to V_{SS}

A.C. CHARACTERISTICS ($T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5.0V \pm 10\%$, $\text{GND} = 0V$) ***Bus Parameters (Note 3)****READ CYCLE**

Symbol	Parameter	8253		8253-5		Unit
		Min.	Max.	Min.	Max.	
t_{AR}	Address Stable Before READ	50		30		ns
t_{RA}	Address Hold Time for READ	5		5		ns
t_{RR}	READ Pulse Width	400		300		ns
t_{RD}	Data Delay From READ(*)		300		200	ns
t_{DF}	READ to Data Floating	25	125	25	100	ns
t_{RV}	Recovery Time Between READ and Any Other Control Signal	1		1		μs



8253/8253-5

A.C. CHARACTERISTICS (Continued)**WRITE CYCLE**

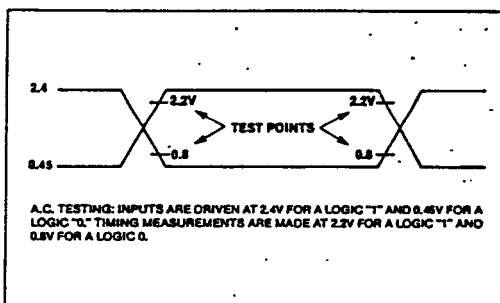
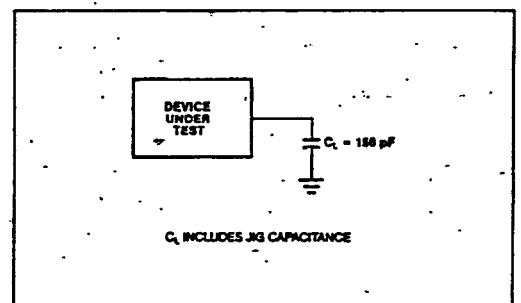
Symbol	Parameter	8253		8253-5		Unit
		Min.	Max.	Min.	Max.	
t_{AW}	Address Stable Before $\overline{WRITE}$	50		30		ns
t_{WA}	Address Hold Time for $\overline{WRITE}$	30		30		ns
t_{WW}	$\overline{WRITE}$ Pulse Width	400		300		ns
t_{DW}	Data Set Up Time for $\overline{WRITE}$	300		250		ns
t_{WD}	Data Hold Time for $\overline{WRITE}$	40		30		ns
t_{RV}	Recovery Time Between $\overline{WRITE}$ and Any Other Control Signal	1		1		μ s

CLOCK AND GATE TIMING

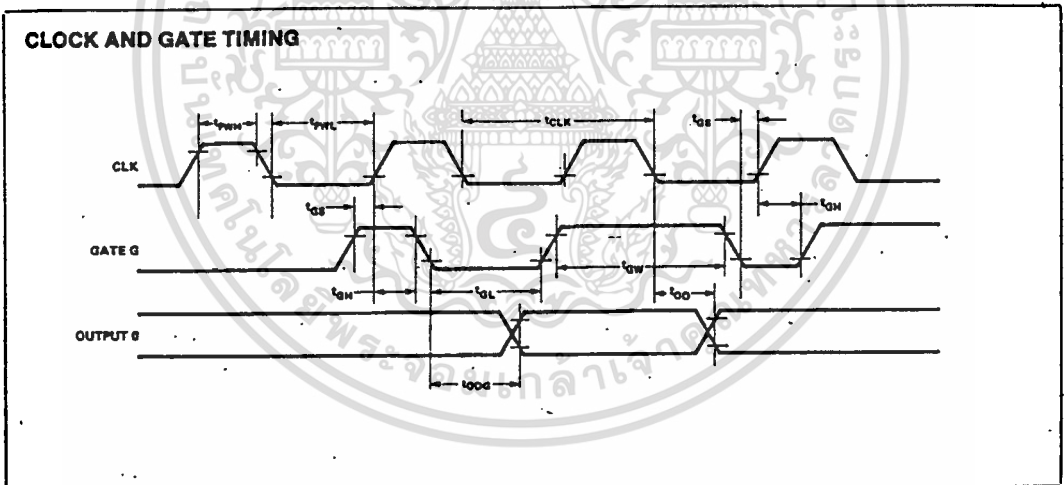
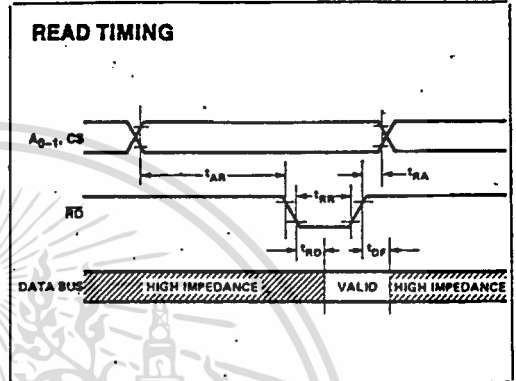
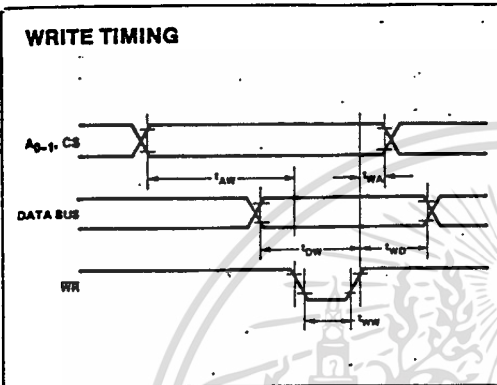
Symbol	Parameter	8253		8253-5		Unit
		Min.	Max.	Min.	Max.	
t_{CLK}	Clock Period	380	dc	380	dc	ns
t_{PWH}	High Pulse Width	230		230		ns
t_{PWL}	Low Pulse Width	150		150		ns
t_{GW}	Gate Width High	150		150		ns
t_{GL}	Gate Width Low	100		100		ns
t_{GS}	Gate Set Up Time to $CLK\uparrow$	100		100		ns
t_{GH}	Gate Hold Time After $CLK\uparrow$	50		50		ns
t_{OD}	Output Delay From $CLK\downarrow$ [4]		400		400	ns
t_{ODG}	Output Delay From Gate $\downarrow$ [4]		300		300	ns

NOTES:

1. $I_{OL} = 2.2$ mA.
 2. $I_{OH} = -400$ μ A.
 3. AC timings measured at $V_{OH} = 2.2$, $V_{OL} = 0.8$.
 4. $C_L = 150$ pF.
- * For Extended Temperature EXPRESS, use M8253 electrical parameters.

A.C. TESTING INPUT, OUTPUT WAVEFORM**A.C. TESTING LOAD CIRCUIT**

WAVEFORMS





MOTOROLA

NPN PHOTOTRANSISTORS AND PN INFRARED EMITTING DIODES

... gallium arsenide LED optically coupled to silicon phototransistors designed for applications requiring electrical isolation, high-current transfer ratios, small package size and low cost; such as interfacing and coupling systems, phase and feedback controls, solid-state relays and general-purpose switching circuits.

- High Isolation Voltage — $V_{ISO} = 7500 \text{ V (Min)}$
- High Collector Output Current @ $I_F = 10 \text{ mA}$ —
 $I_C = 5.0 \text{ mA (Typ)} - 4N25A, 4N26$
 $2.0 \text{ mA (Typ)} - 4N27, 4N28$
- Economical, Compact, Dual-In-Line Package
- Excellent Frequency Response — 300 kHz (Typ)
- Fast Switching Times @ $I_C = 10 \text{ mA}$
 $t_{on} = 0.87 \mu\text{s (Typ)} - 4N25A, 4N26$
 $2.1 \mu\text{s (Typ)} - 4N27, 4N28$
 $t_{off} = 11 \mu\text{s (Typ)} - 4N25A, 4N26$
 $5.0 \mu\text{s (Typ)} - 4N27, 4N28$
- 4N25A is UL Recognized File Number E54915

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

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INFRARED-EMITTING DIODE MAXIMUM RATINGS

Reverse Voltage	V_R	3.0	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	80	mA
Forward Current — Peak Pulse Width = 300 μs , 2.0% Duty Cycle	I_F	3.0	Amps
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Transistor Derate above 25°C	P_D	150	mW
		2.0	mW/ $^\circ\text{C}$

PHOTOTRANSISTOR MAXIMUM RATINGS

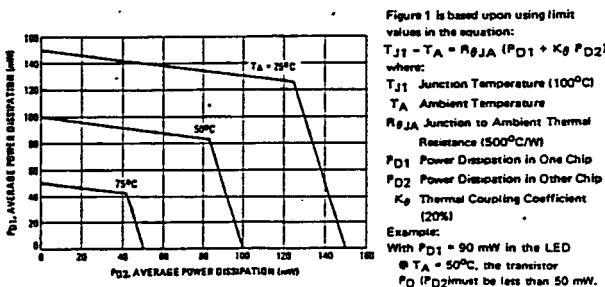
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7.0	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Diode Derate above 25°C	P_D	150	mW
		2.0	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE RATINGS

Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Equal Power Dissipation in Each Element Derate above 25°C	P_D	250	mW
		3.3	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)		260	$^\circ\text{C}$

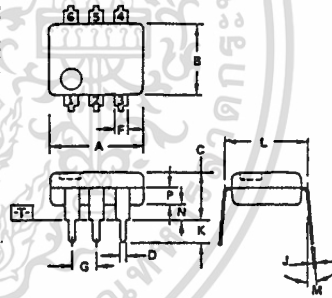
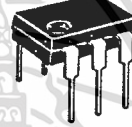
*Indicates JEDEC Registered Data.

FIGURE 1 — MAXIMUM POWER DISSIPATION



4N25, 4N25A
4N26
4N27
4N28

OPTO COUPLER/ISOLATOR TRANSISTOR OUTPUT



STYLE 1:

- 1. ANODE
- 2. CATHODE
- 3. NC
- 4. EMITTER
- 5. COLLECTOR
- 6. BASE

- NOTES:
1. DIMENSIONS A AND B ARE DATUMS.
 2. [] IS SEATING PLANE.
 3. POSITIONAL TOLERANCES FOR LEADS:
 $\pm 0.13 (0.005)$ T A M R O
 4. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
 5. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5, 1973.

DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.13	8.89	0.320	0.350
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	2.92	3.04	0.115	0.200
D	0.41	0.51	0.016	0.020
E	1.02	1.78	0.040	0.070
F	2.54 BSC		0.100 BSC	
G	0.25	0.30	0.008	0.012
H	2.54	3.81	0.100	0.150
I	7.62 BSC		0.300 BSC	
J	0.0	1.5	0	1.5
K	0.38	2.54	0.015	0.100
L	1.27	2.03	0.050	0.080

CASE 730A-01

4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

LED CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
*Reverse Leakage Current ($V_R = 3.0\text{ V}$, $R_L = 1.0\text{ M ohms}$)	I_R	—	0.005	100	μA
*Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	V_F	—	1.2	1.5	Volts
Capacitance ($V_R = 0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C	—	40	—	pF

PHOTOTRANSISTOR CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ and $I_F = 0$ unless otherwise noted)

*Collector-Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$, Base Open)	4N25, A, 4N26, 4N27 4N28	I_{CEO}	—	3.5	50	nA
*Collector-Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$, Emitter Open)		I_{CBO}	—	—	20	nA
*Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$, $I_E = 0$)		$V_{(BR)CBO}$	70	—	—	Volts
*Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1.0\text{ mA}$, $I_E = 0$)		$V_{(BR)CEO}$	30	—	—	Volts
*Emitter-Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$, $I_B = 0$)		$V_{(BR)ECO}$	7.0	8.0	—	Volts
DC Current Gain ($V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$)		h_{FE}	—	325	—	—

COUPLED CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

*Collector Output Current (1) ($V_{CE} = 10\text{ V}$, $I_F = 10\text{ mA}$, $I_E = 0$)	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	I_C	2.0	5.0	—	mA
Isolation Surge Voltage (2, 5) (60 Hz Peak ac, 5 Seconds) (60 Hz Peak)	*4N25, A *4N26, 4N27 *4N28 *4N25A	V_{ISO}	7500 2500 1500 500 1775	—	—	Volts
(60 Hz RMS for 1 Second) (3)						
Isolation Resistance (2) ($V = 500\text{ V}$)			—	10^{11}	—	Ohms
*Collector-Emitter Saturation ($I_C = 2.0\text{ mA}$, $I_F = 50\text{ mA}$)		$V_{CE(sat)}$	—	0.2	0.5	Volts
Isolation Capacitance (2) ($V = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)			—	0.5	—	pF
Bandwidth (4) ($I_C = 2.0\text{ mA}$, $R_L = 100\text{ ohms}$, Figure 11 (2))			—	300	—	kHz

SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$)	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	t_d	—	0.07 0.10	—	μs
Rise Time Figures 6 and 8	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	t_r	—	0.8 2.0	—	μs
Storage Time ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$)	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	t_s	—	4.0 2.0	—	μs
Fall Time Figures 7 and 8	4N25, A, 4N26 4N27, 4N28	t_f	—	8.0 8.0	—	μs

*Indicates JEDEC Registered Data

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

(2) For this test LED pins 1 and 2 are common and phototransistor pins 4, 5, and 6 are common.

(3) RMS Volts, 60 Hz. For this test, pins 1, 2, and 3 are common and pins 4, 5, and 6 are common.

(4) I_F adjusted to yield $I_C = 2.0\text{ mA}$ and $I_C = 2.0\text{ mA p-p}$ at 10 kHz.

(5) Isolation Surge Voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating.

DC CURRENT TRANSFER CHARACTERISTICS

FIGURE 2 — 4N25, A, 4N26

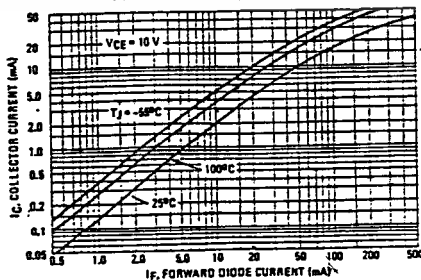
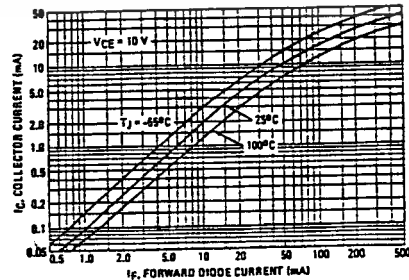
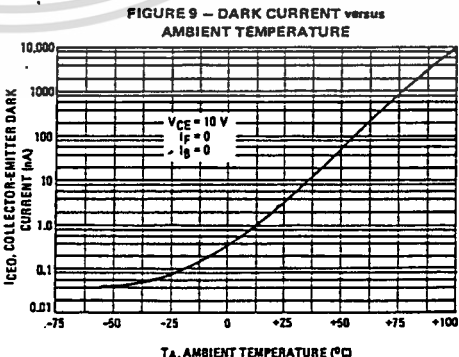
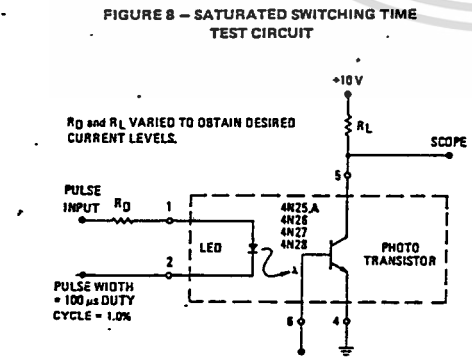
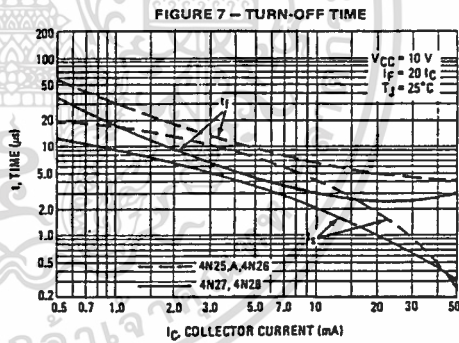
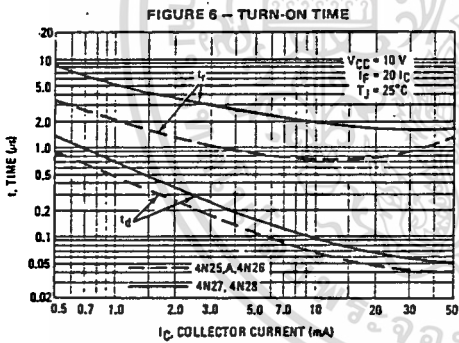
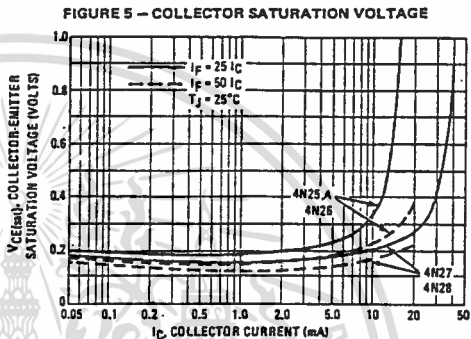
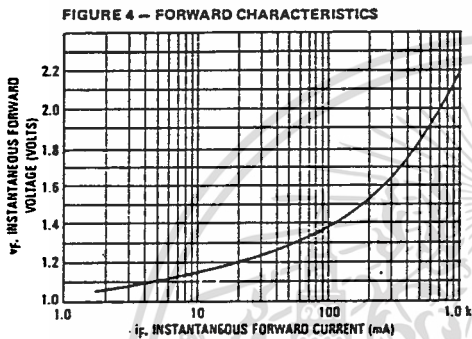


FIGURE 3 — 4N27, 4N28



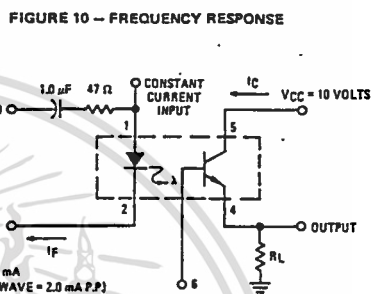
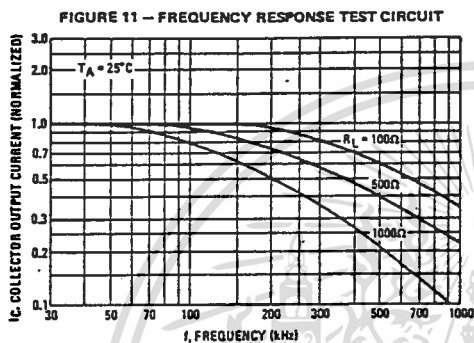
4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N25, 4N25A, 4N26, 4N27, 4N28



TYPICAL APPLICATIONS

FIGURE 12 — ISOLATED MTTL TO MOS (P-CHANNEL) LEVEL TRANSLATOR

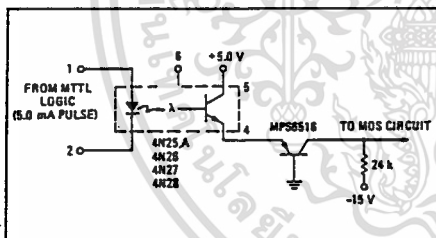


FIGURE 13 — COMPUTER/PERIPHERAL INTERCONNECT

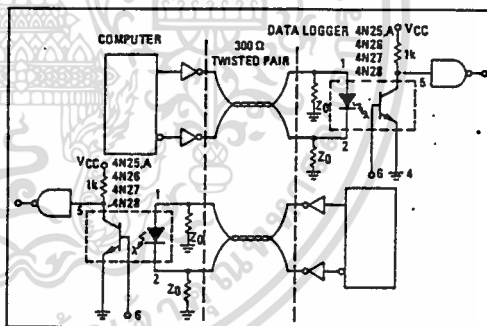


FIGURE 14 — POWER AMPLIFIER

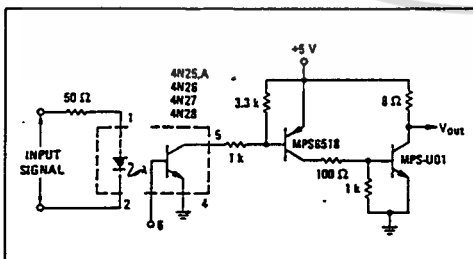
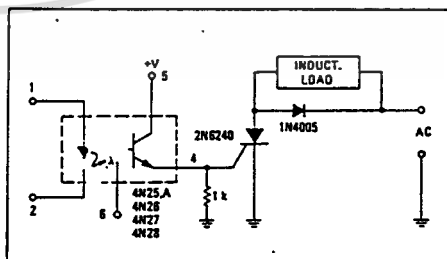


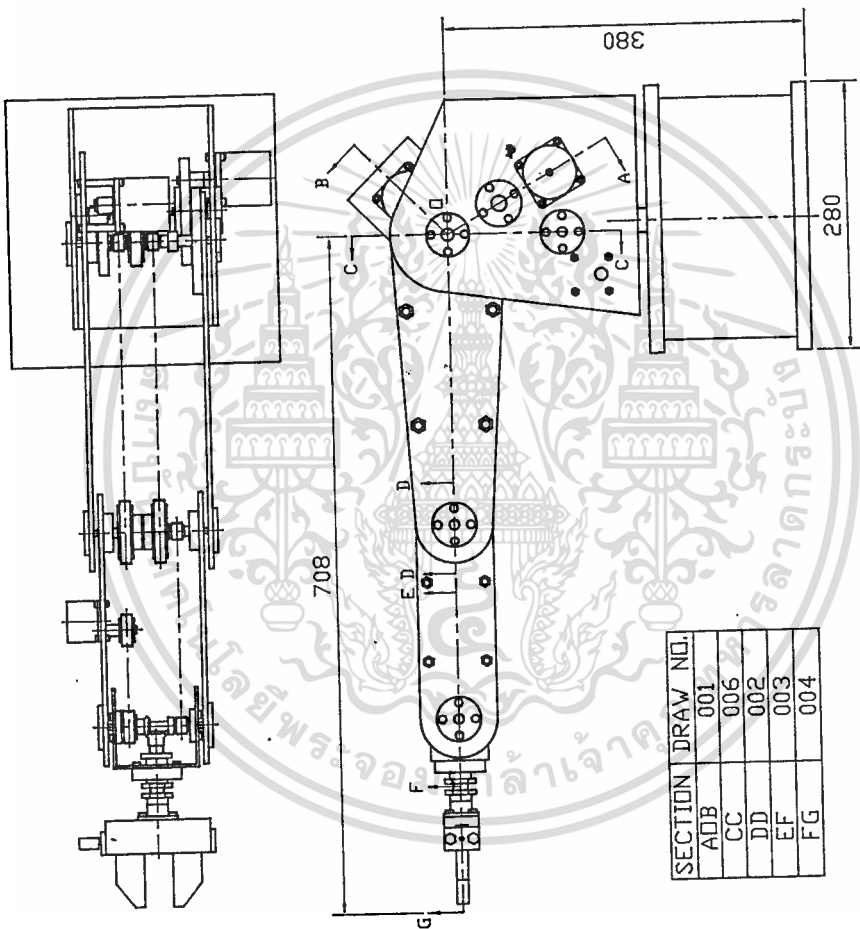
FIGURE 15 — INTERFACE BETWEEN LOGIC AND LOAD



ภาคผนวก ข

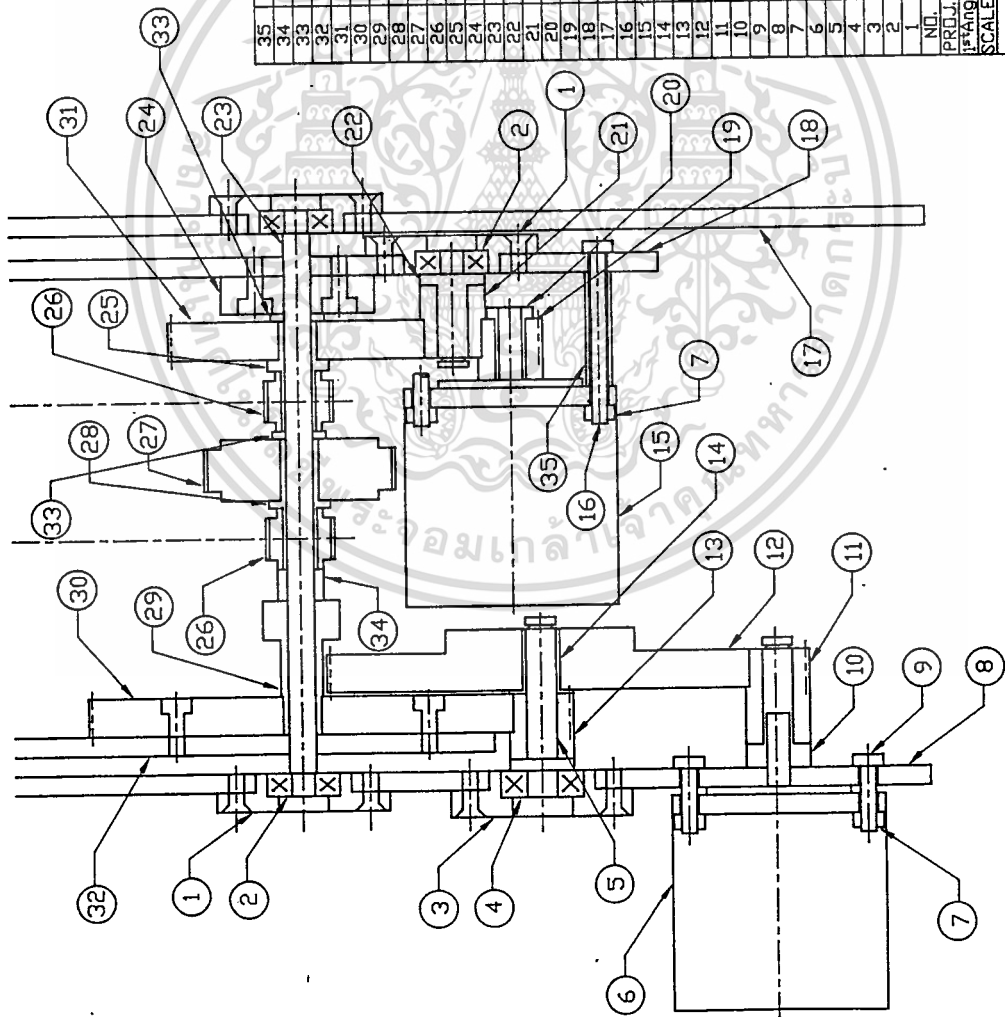


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PROJ.	ROBOT ARM	DRAW	RAKKIAT
1st Ang.	Dept. of Control Eng.	CHECK	
SCALE	KMITL	DATE	27 MAR. 1990
1:4		DRAW	100
		NO.	

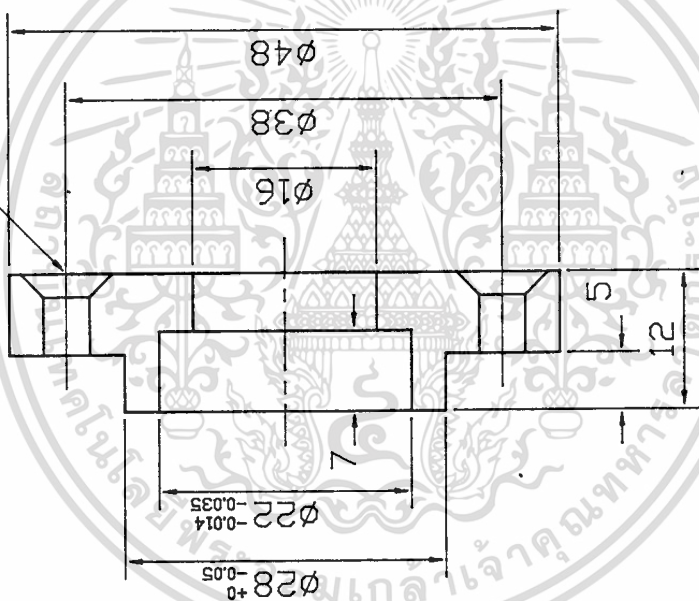
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



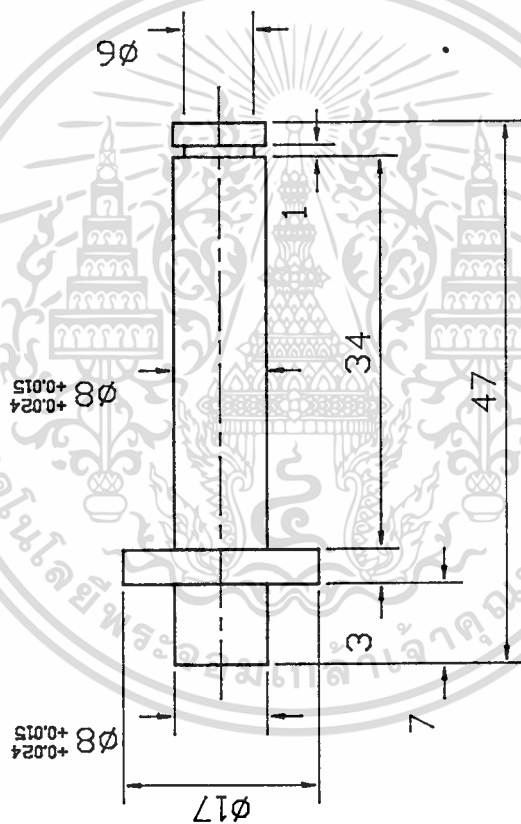
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
35	SHAFT13	4	S45C	
34	SHAFT12	1	BC3	
33	SHAFT11	2	BC3	
32	FRAMEA1	1	A1050P	
31	GEAR	1	S45C	
30	GEAR	1	S45C	
29	SHAFT9	1	BC3	
28	SHAFT6	1	BC3	
27	PULLEY	1	S45C	30XL037
26	PULLEY	2	S45C	10XL037
25	SHAFT5	1	BC3	
24	LOCK1	1	S45C	
23	SH3	1	S45C	
22	SHAFT4	1	S45C	
21	GEAR	1	S45C	
20	SHAFT3	1	S45C	
19	GEAR	1	S45C	
18	FRAMEA2	1	A1050P	
17	FRAMEB2	1	S45C	
16	BOL T2-M4X46	4	S45C	
15	MOTOR2	1	KP56LM	
14	SHAFT7	1	S45C	
13	GEAR	1	S45C	
12	GEAR	1	S45C	
11	GEAR	1	S45C	
10	SHAFT1	1	S45C	
9	BOL T1-M4X18	4	S45C	
8	FRAMEB1	1	S45C	
7	NUT1-M4	8	S45C	
6	MOTOR1	1	UMD266	
5	SHAFT2	1	S45C	
4	BEARING-082207	1	S45C	
3	LOCK-082207	1	S45C	
2	BEARING-061906	3	S45C	
1	LOCK-061906	3	S45C	
PROJ.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
1:1	ROBOT ARM			RAKKIAT
SCALE	Dept. of Control Eng.	CHECK	DATE	21 MAR 1990
	KMITL	DRAW	NO.	001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4- ϕ 4.5, ϕ 8X90°

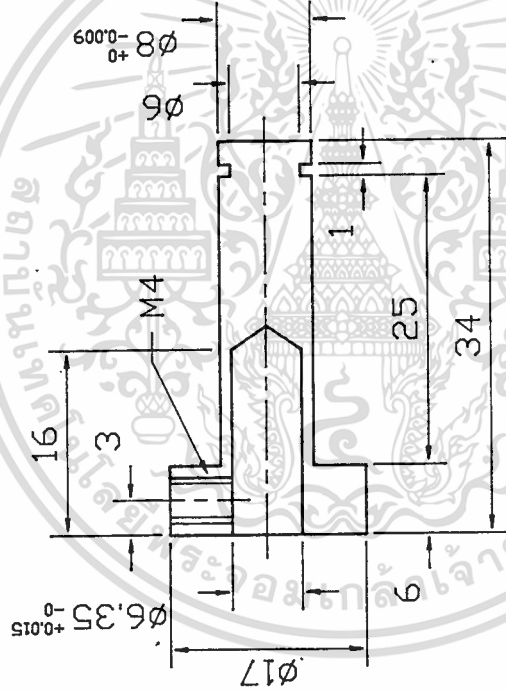


3	BL082207	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMIL		DRAW NO.	001-03



5	SHAFT2	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	001-05

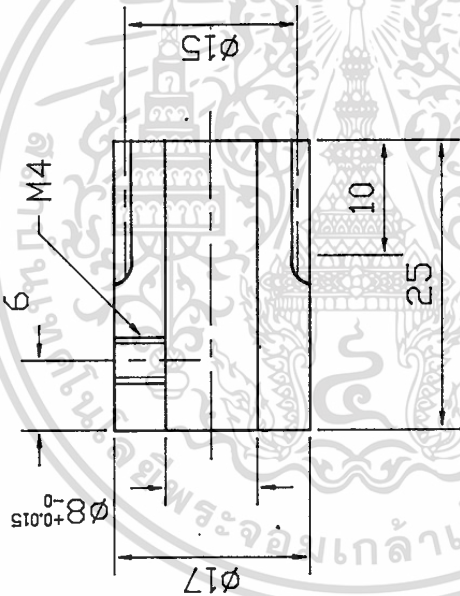
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



10	SHAFT1	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	001-10

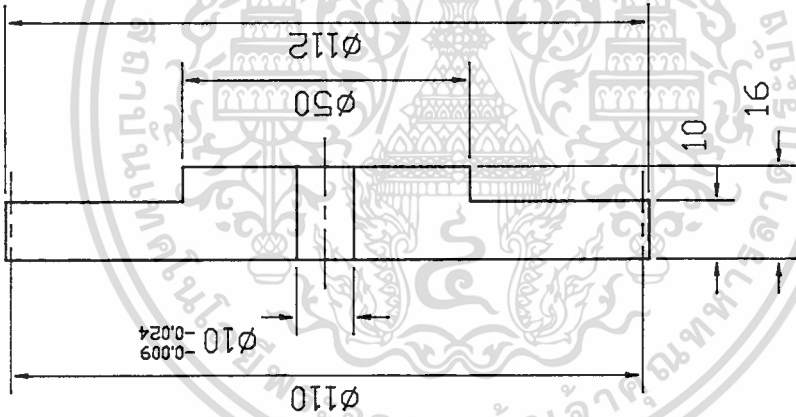
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODULE	1.0
NO. OF TEETH	15



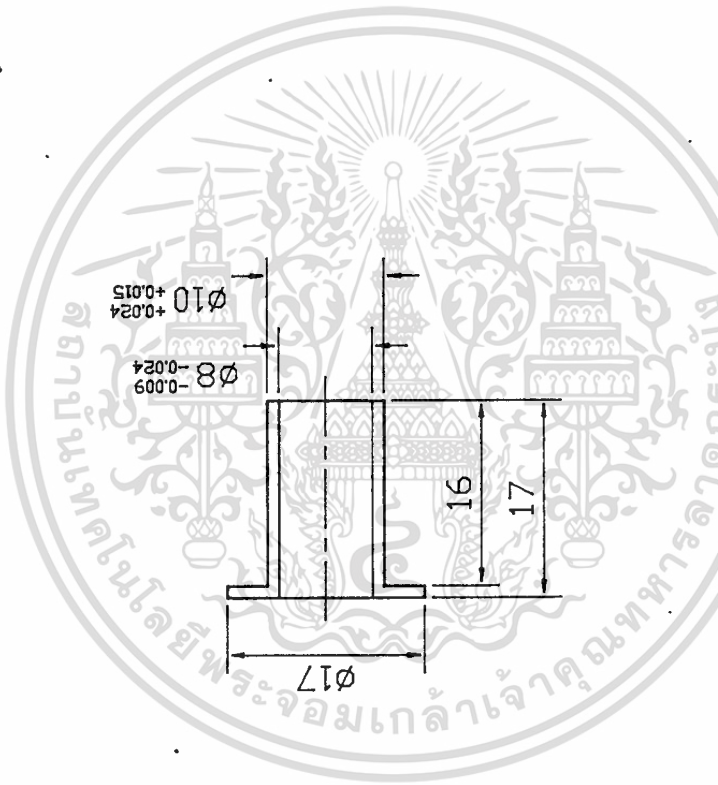
11	GEAR	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW	001-11
			NO.	

MODULE	1.0
NO. OF TEETH	110



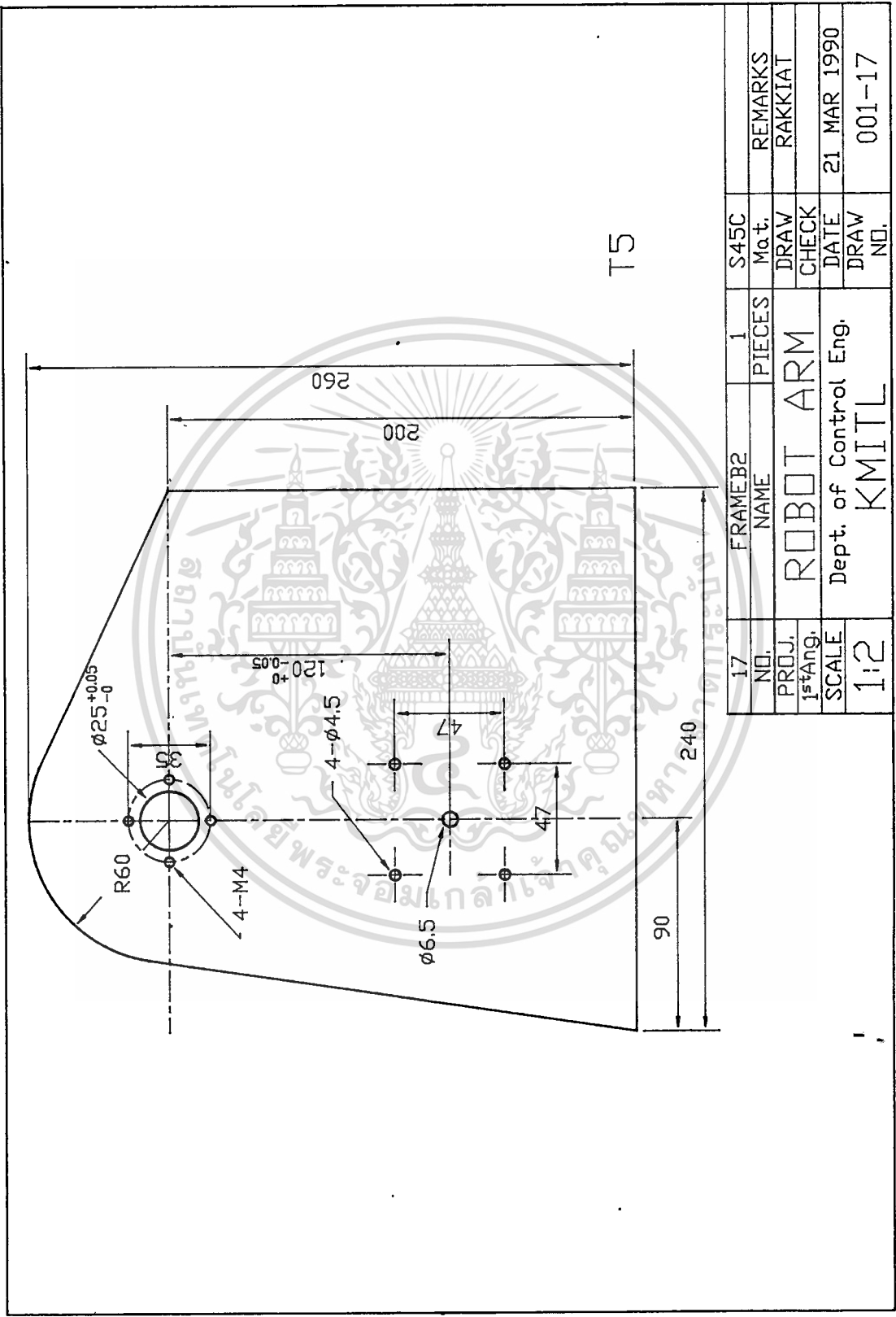
12	GEAR	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1 st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
1:1	KMITL		DRAW	001-12
			ND.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

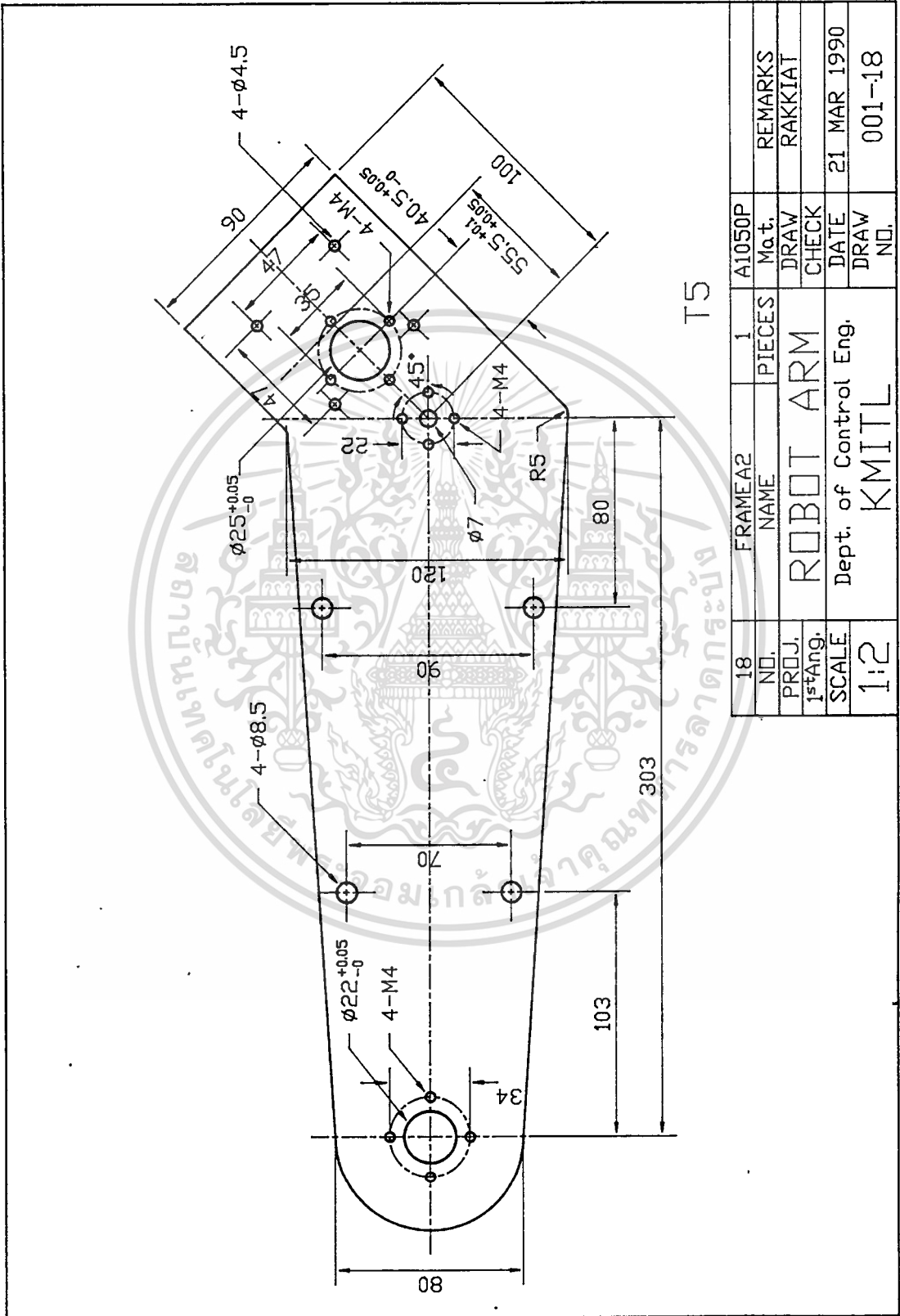


14	SHAFT7	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Ma.t.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	001-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



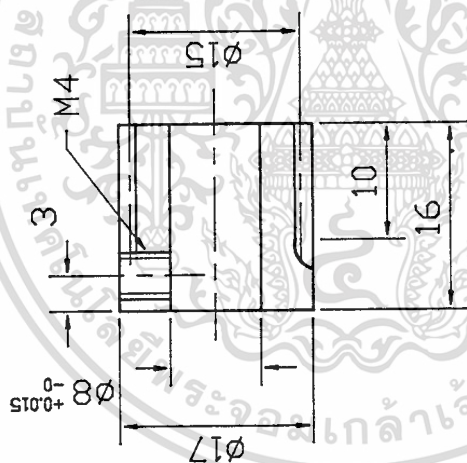
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



18	FRAMEA2	1	A1050P		
NO.	NAME	PIECES	Ma.t.	DRAW	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		CHECK	RAKKIAT	
1stAng.			DATE	21 MAR 1990	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DRAW	001-18	
1:2	KMITL		NO.		

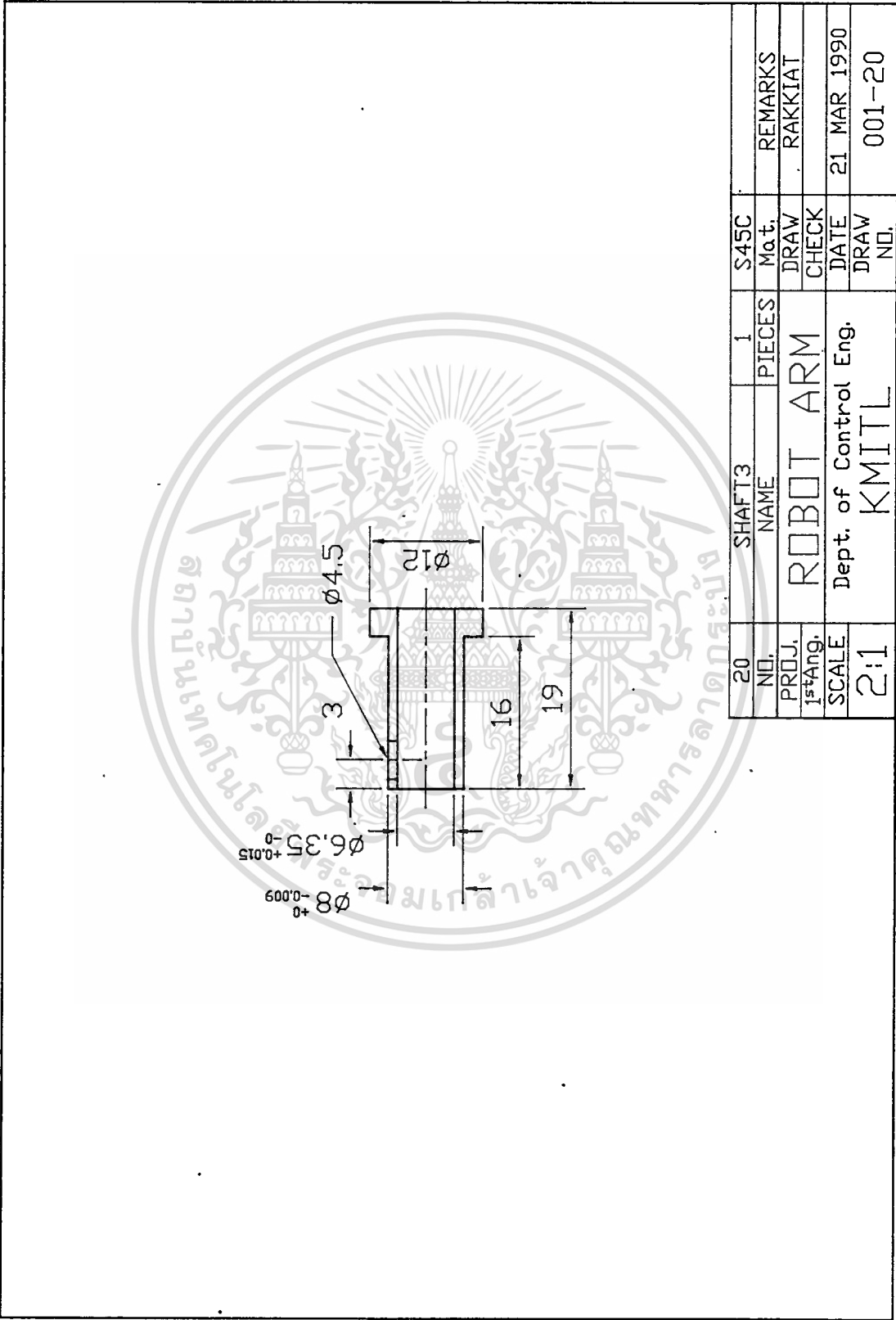
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODULE	1.0
NO. OF TEETH	15



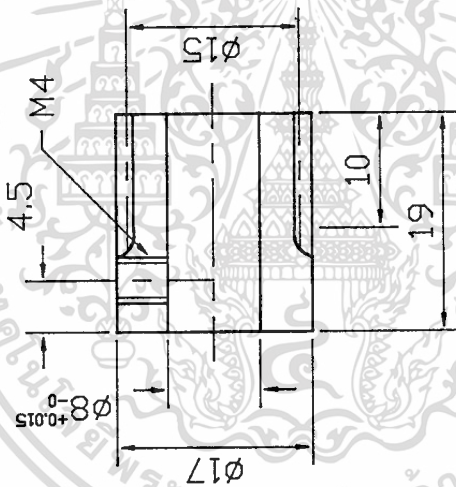
19	GEAR	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM			CHECK
1st Ang.	Dept. of Control Eng.			DATE
SCALE	KNITL			21 MAR 1990
2:1				DRAW NO.
				001-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



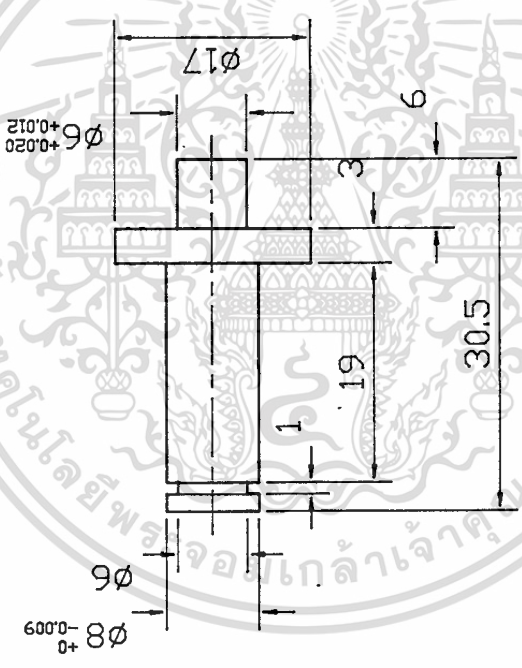
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODULE	1.0
NO. OF TEETH	15



21	GEAR	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW.	RAKKIAT
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	001-21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



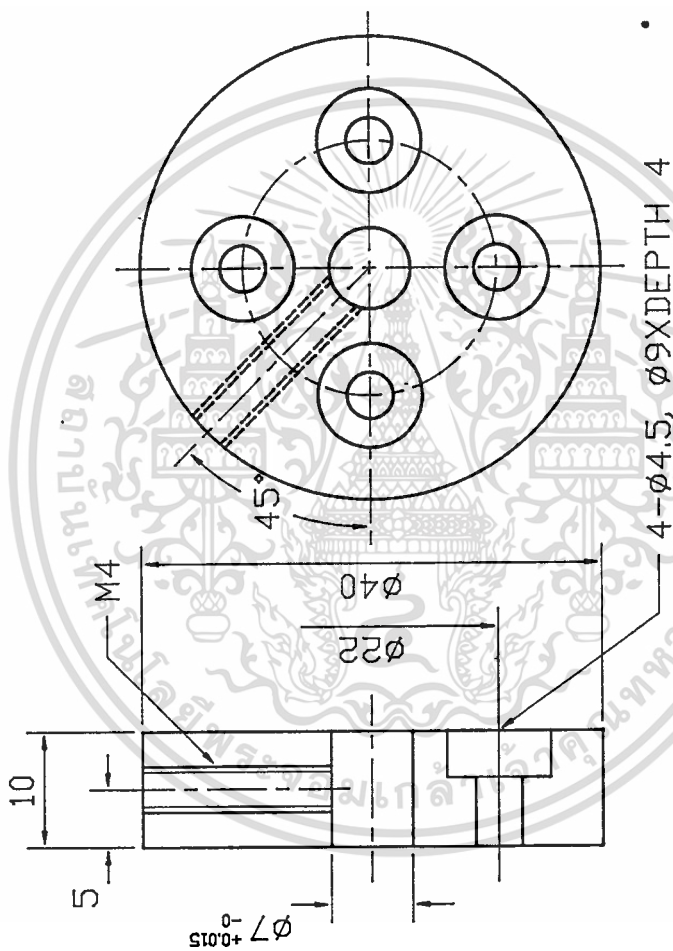
22	SHAFT4	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW	001-22
			NO.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

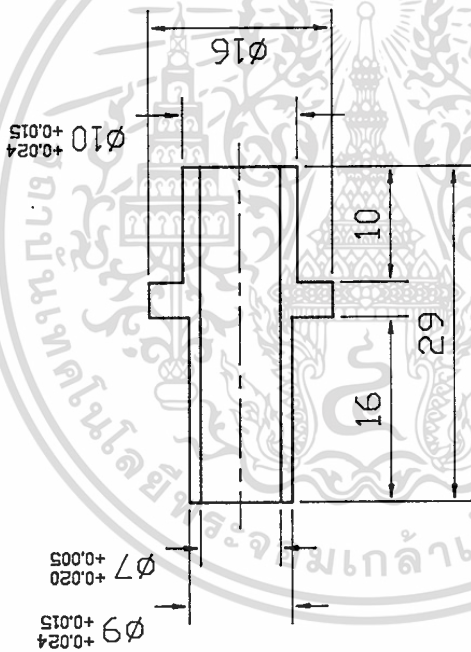


23	SH3	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
1:1	KMITL		DRAW NO.	001-23

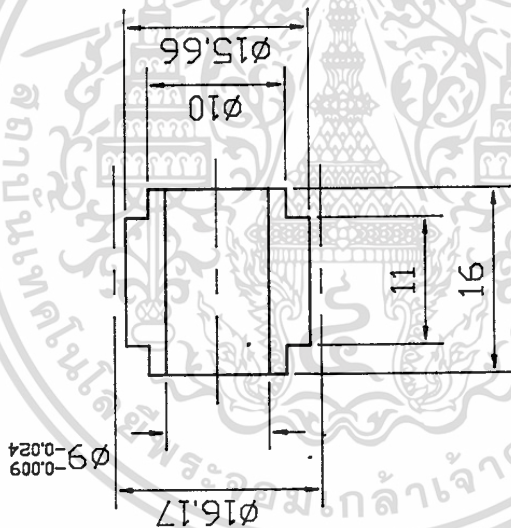
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



24	LOCK1	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	CHECK
1 st Ang.	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
SCALE	KMITL		DRAW	001-24
2:1			NO.	

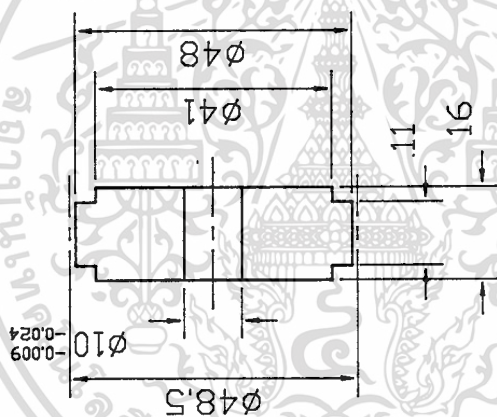


25	SHAFT5	1	BC3	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KNITL		DRAW NO.	001-25

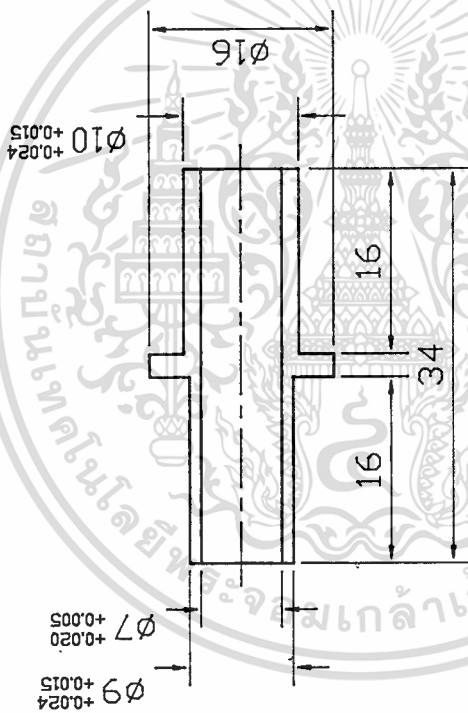


26	PULLEY	2	S45C	10XL037
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	001-26

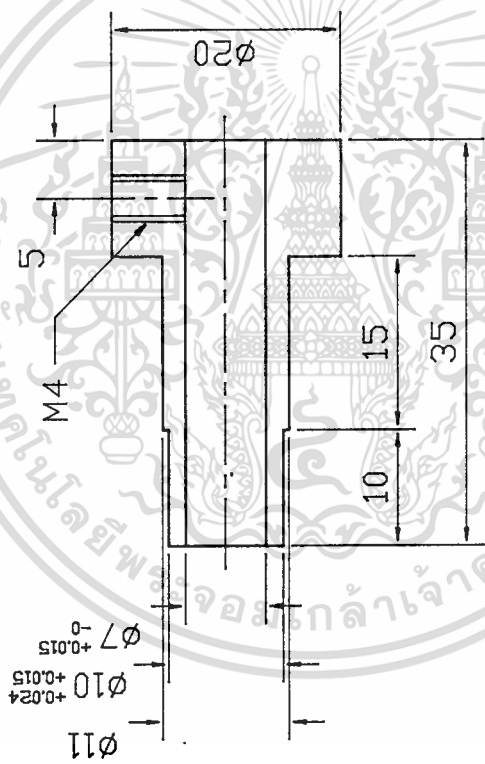
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



27	PULLEY	1	S45C	30XL037
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM			
1stAng.	DRAW CHECK			
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
1:1	KMITL		DRAW NO.	001-27



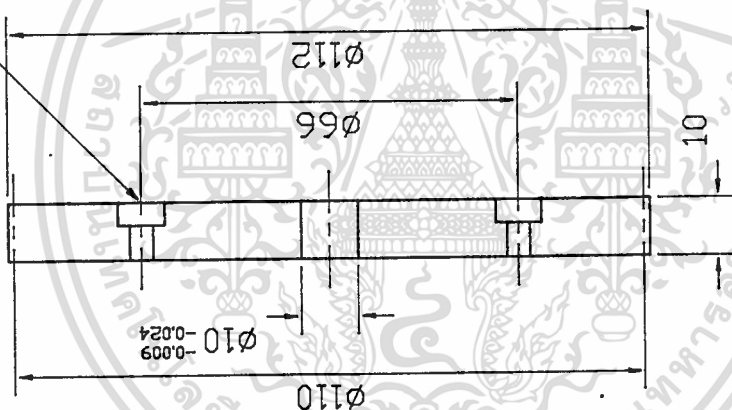
28	SHAFT6	1	BC3	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mq.t.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM			CHECK
1st Ang.	Dept. of Control Eng.			DATE
SCALE	KMILL			21 MAR 1990
2:1				DRAW
				ND.
				001-28



29	SHAFT9	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	M&t.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW	001-29
			NO.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

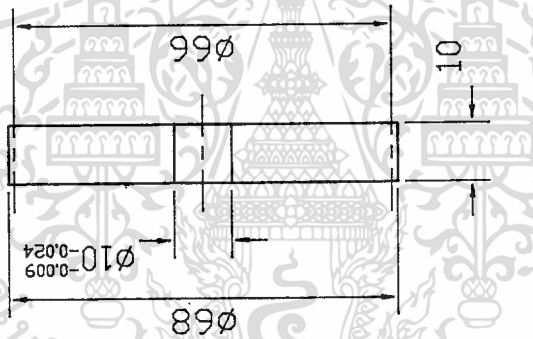
4- $\phi 4.5$, $\phi 9 \times \text{DEPTH } 4$



MODULE	1.0
NO. OF TEETH	110

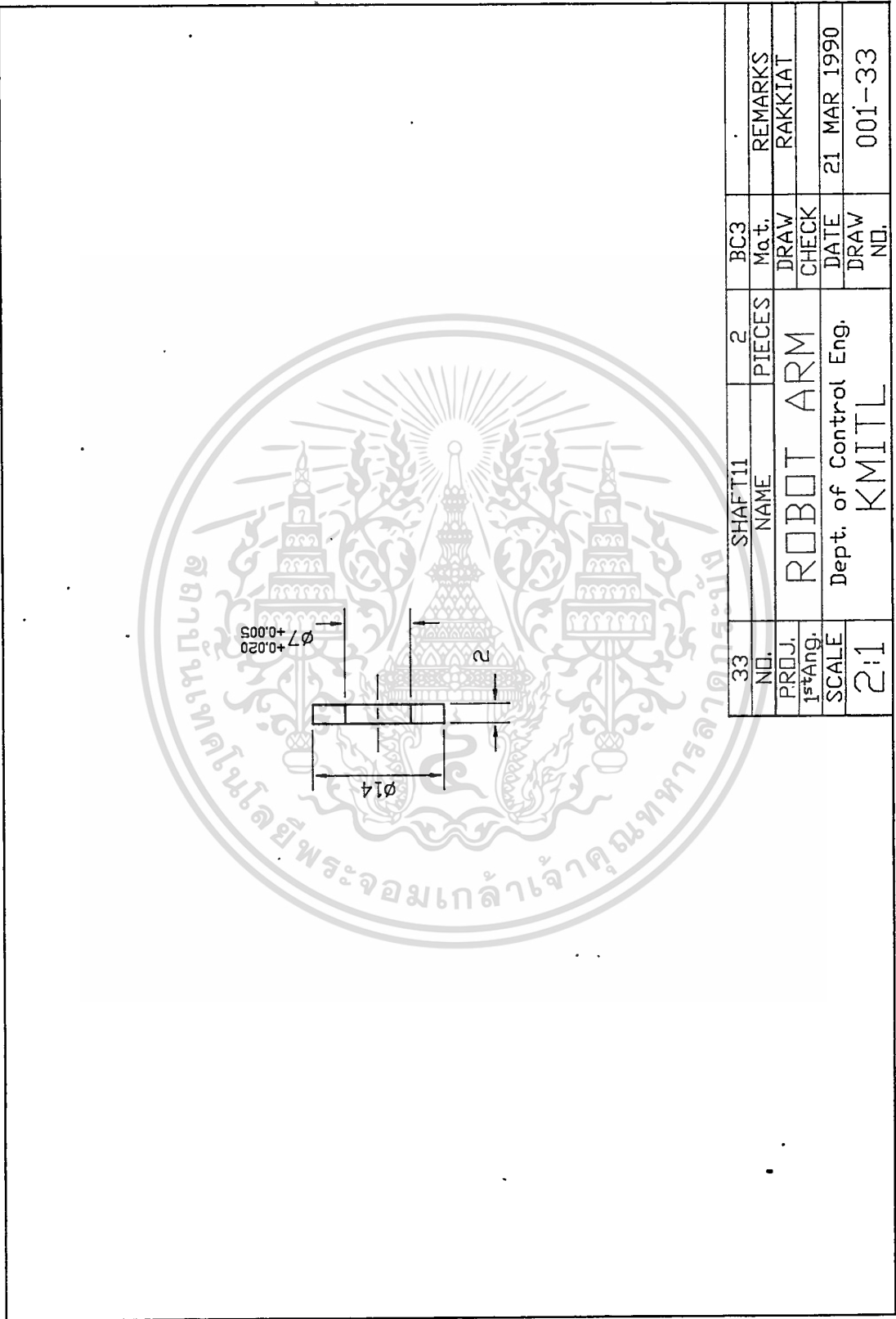
30	GEAR	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM			DRAW
1st Ang.				CHECK
SCALE	Dept. of Control Eng.			DATE 21 MAR 1990
1:1	KMITL			DRAW NO. 001-30

MODULE	1.0
NO. OF TEETH	66



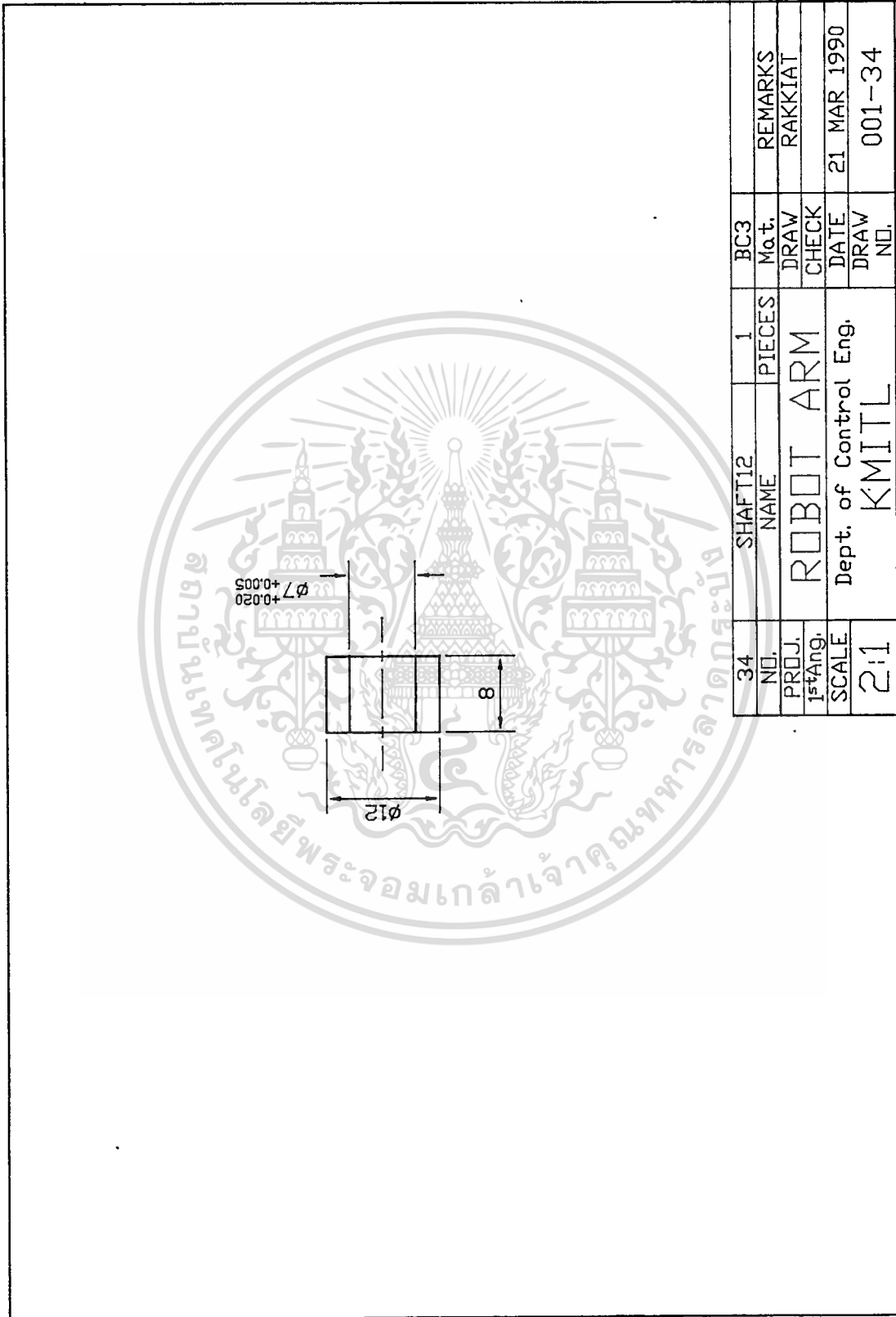
31	GEAR	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1 st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
1:1	KMITL		DRAW NO.	001-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



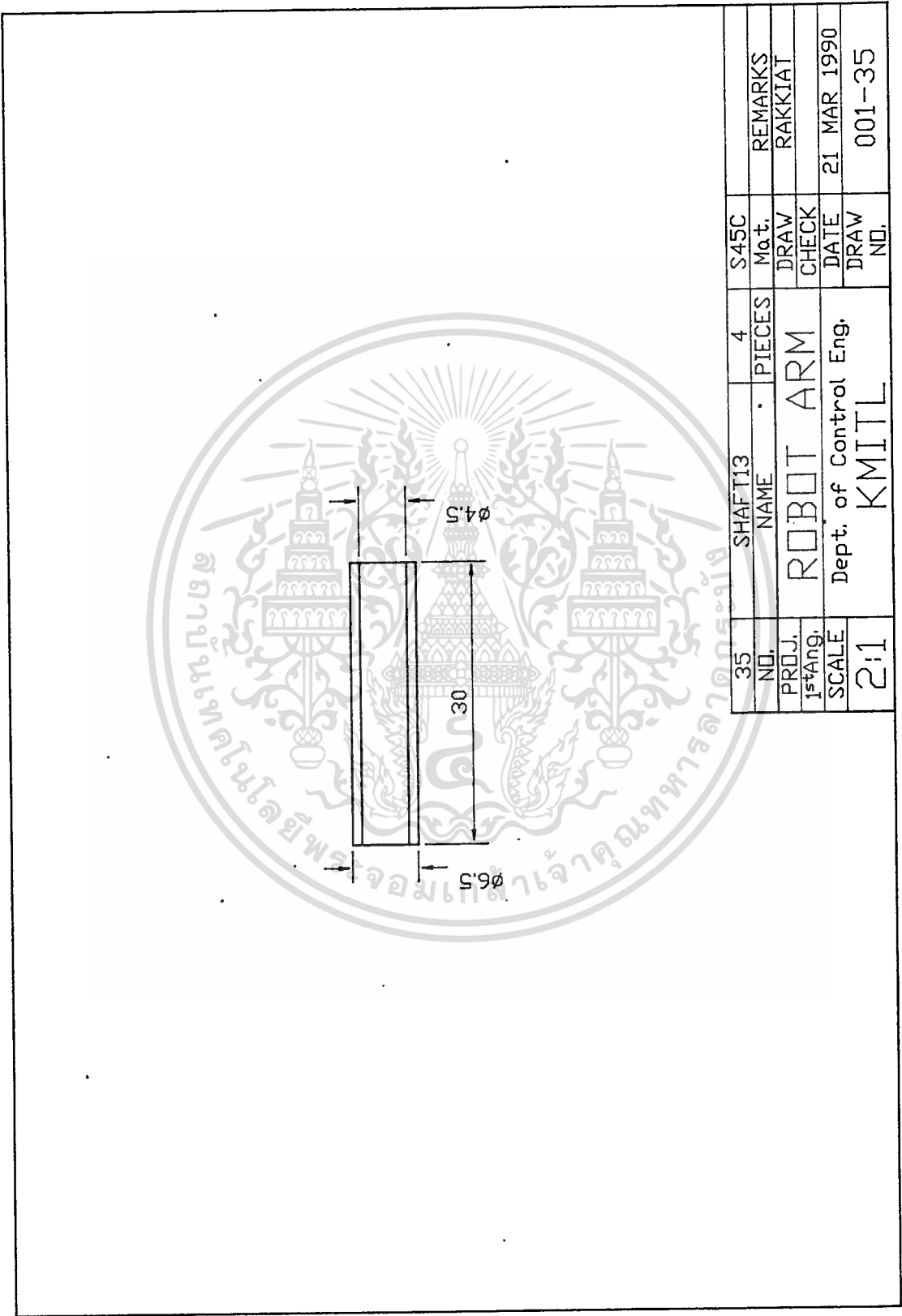
33	SHAFT11	2	BC3	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM			CHECK
1st Ang.	Dept. of Control Eng.			DATE
SCALE	KMUTL			21 MAR 1990
2:1				DRAW NO. 001-33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

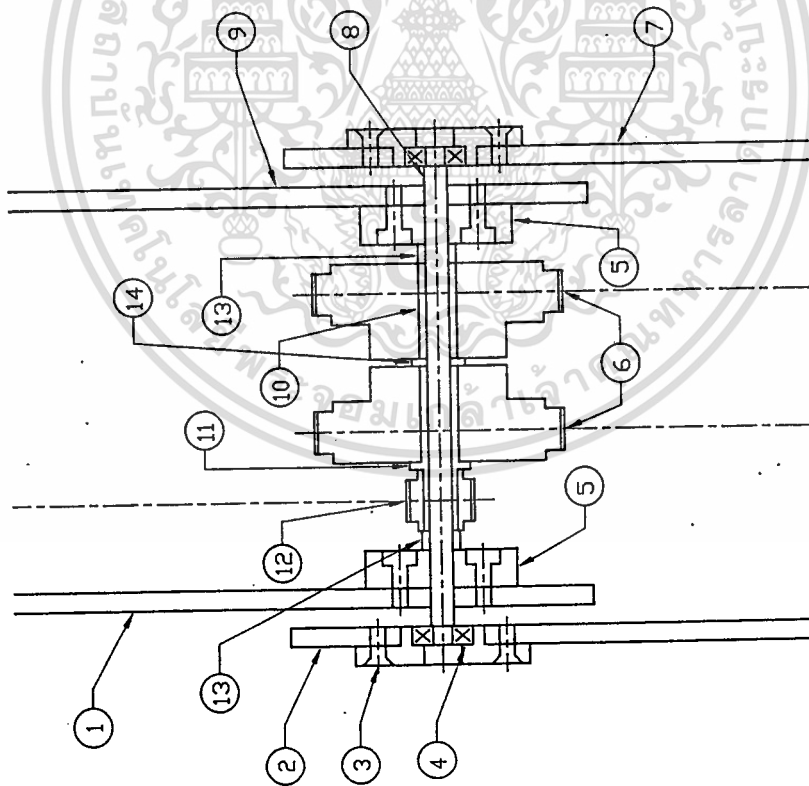


34	SHAFT12	1	BC3	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	CHECK
1stAng.	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
SCALE	KMITL		DRAW	001-34
2:1			ND.	

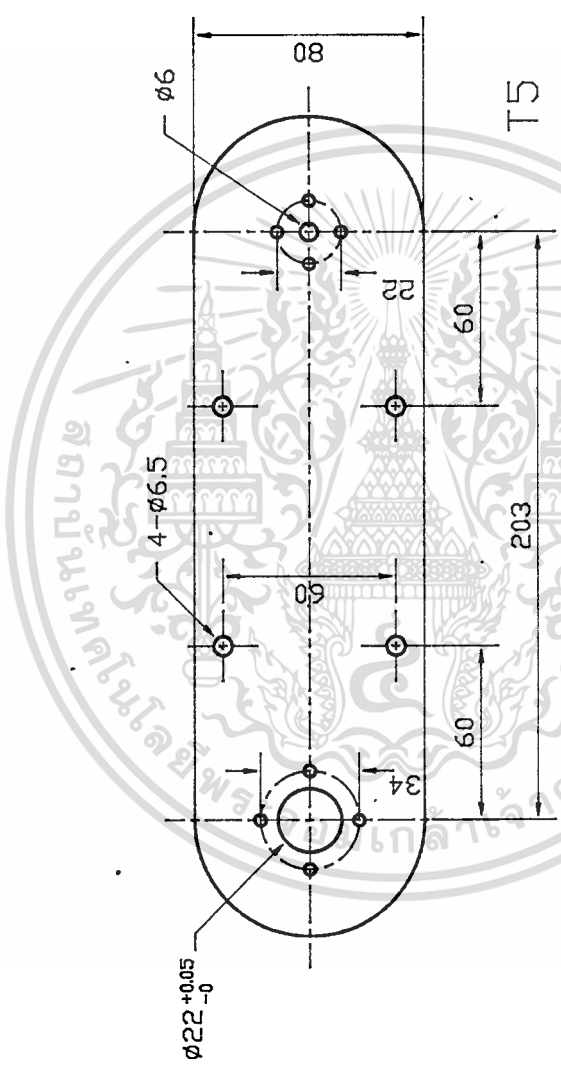
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



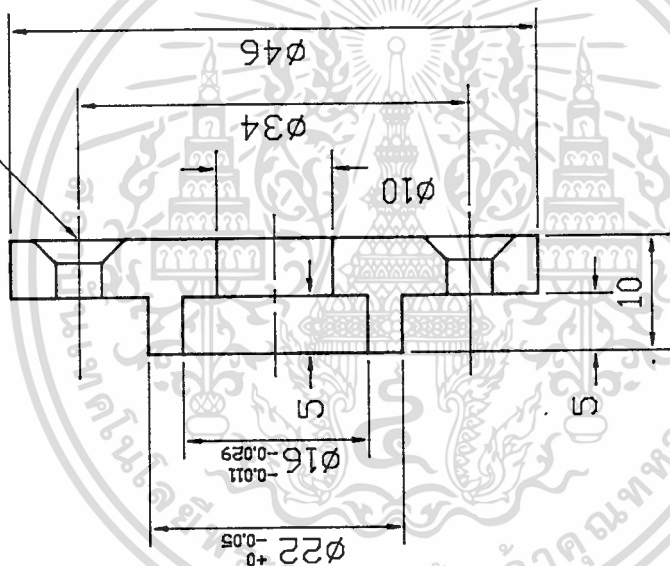
14	SHAFT 24	1	BC3	
13	SHAFT 23	2	BC3	
12	PULLEY	1	S45C	10XL037
11	SHAFT 21	1	BC3	
10	SHAFT 22	1	S45C	
9	FRAME C2	1	A1050P	
8	SH2	1	S45C	
7	FRAME A2	1	A1050P	001-18
6	PULLEY	2	S45C	40XL037
5	LOCK 2	2	S45C	
4	BEARING-051605	2	S45C	BL051605
3	BLOCK-051605	1	A1050P	001-32
2	FRAME A1	1	A1050P	
1	FRAME C1	1	A1050P	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM			
Drawn	KMITL			
SCALE	Dept. of Control Eng.	Eng.	CHECK	DATE
1:1			DRAW	21 MAR 1990
			NO.	002



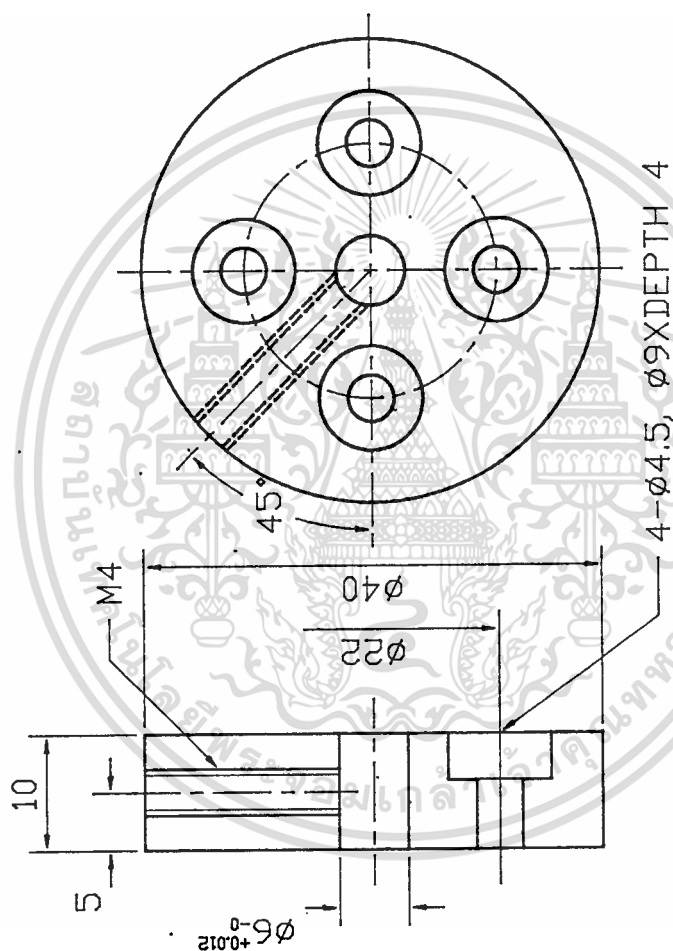
1	FRAMEC1	1	A1050P	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PRD.	ROBOT ARM	DRAW		RAKKIAT
1st Ang.	Dept. of Control Eng.	CHECK		
SCALE	KNITL	DATE	21 MAR 1990	
1:2		DRAW		002-01
		NO.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

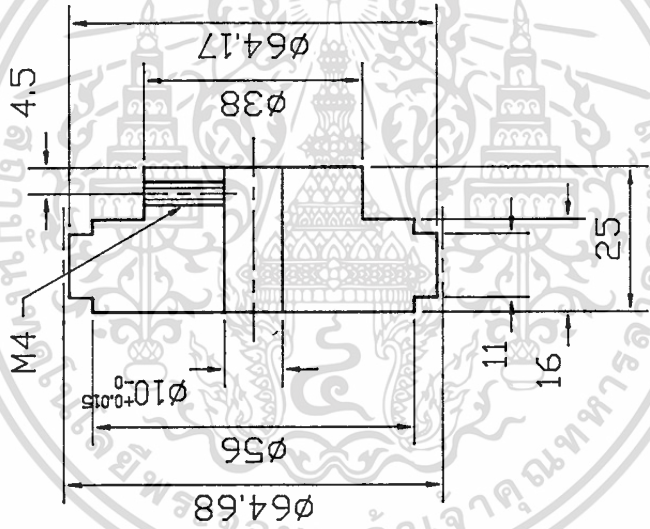
4- ϕ 4.5, ϕ 8X90°



3	BL051605	2	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1 st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW	002-03
			NO.	



5	LOCK2	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM			DRAW
1stAng.				CHECK
SCALE	Dept. of Control Eng.			DATE
2:1	KMITL			21 MAR 1990
				DRAW
				NO.
				002-05



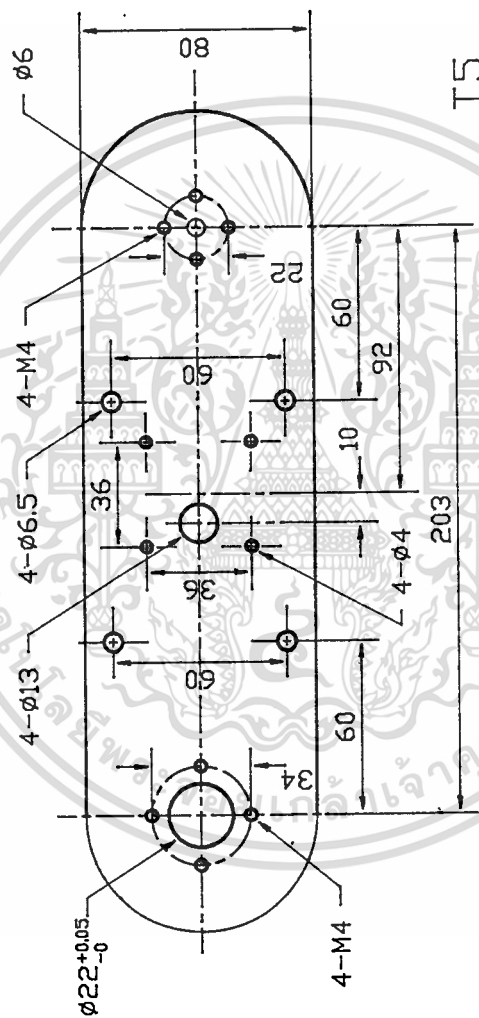
6	PULLEY	2	S45C	40XL037
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM			
1stAng.	DRAW			
SCALE	CHECK			
1:1	DATE			
	21 MAR 1990			
	DRAW			
	NO.			
	002-06			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

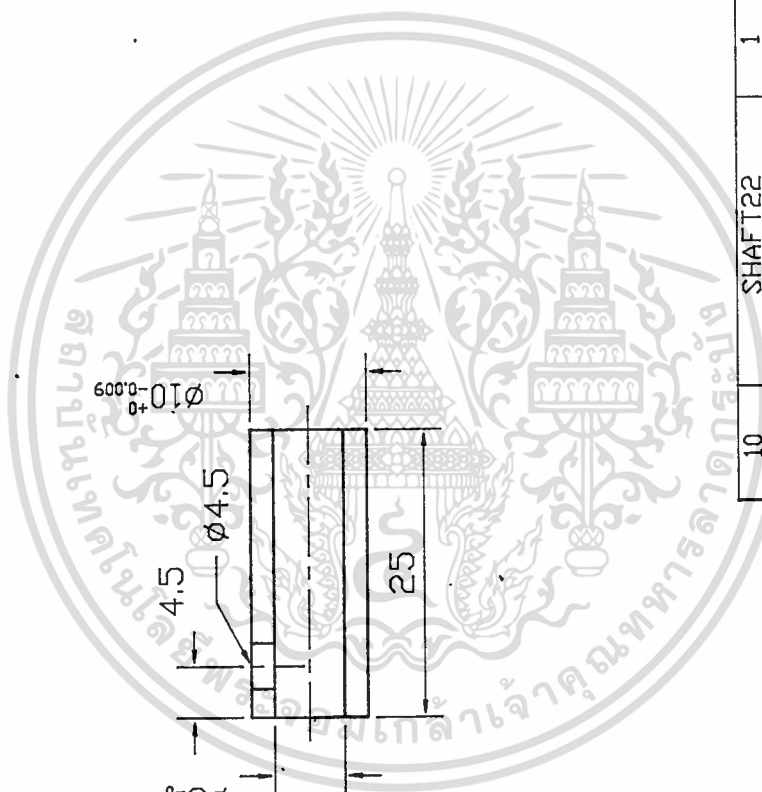


8	SH2	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	CHECK
1st Ang.	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
SCALE	KMITL		DRAW	002-08
1:1			NO.	

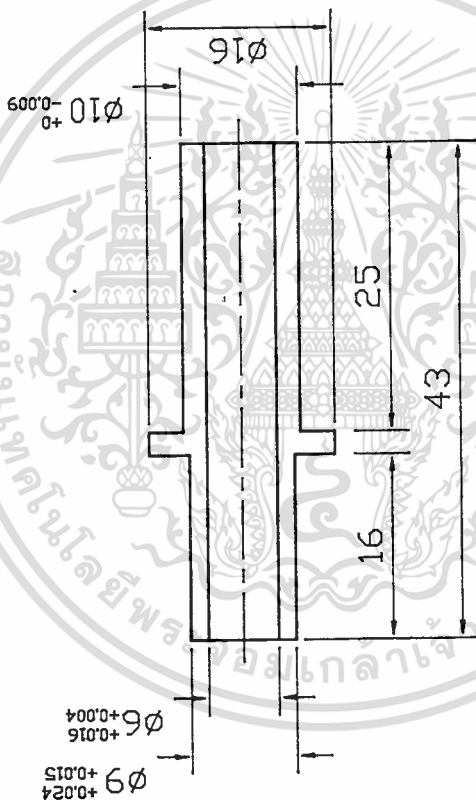
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



9	FRAMEC2	1	A1050P	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM	DRAW	CHECK	RAKKIAT
1st Ang.	Dept. of Control Eng.	DATE	21 MAR 1990	
SCALE	KNITL	DRAW	002-09	
1:2		NO.		

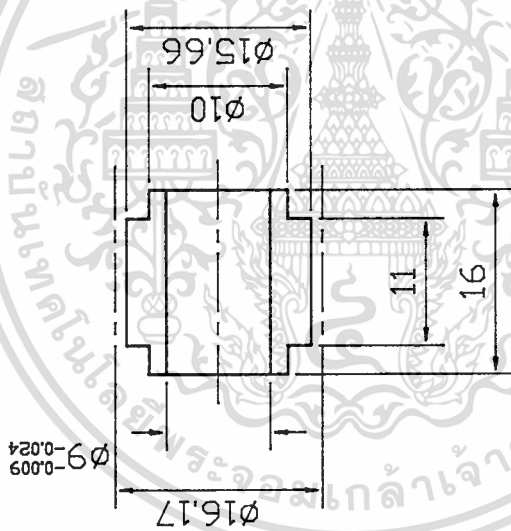


10	SHAFT22	1	S45C
NO.	NAME	PIECES	Mat.
PROJ.	ROBOT ARM		
1stAng.	Dept. of Control Eng.		
SCALE	DATE 21 MAR 1990		
2:1	DRAW NO. 002-10		



11	SHAFT21	1	BC3	
NO.	NAME	PIECES	Ma.t.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM	DRAW	CHECK	RAKKIAT
1 st Ang.		CHECK		
SCALE	Dept. of Control Eng.	DATE	21 MAR 1990	
2:1	KMITL	DRAW NO.	002-11	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

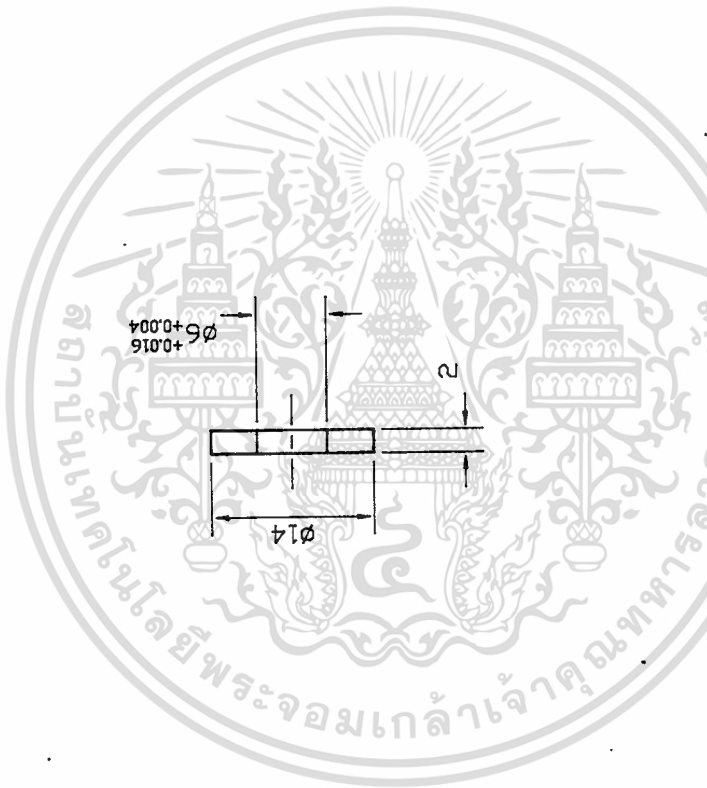


12	PULLEY	1	S45C	10XL037
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW	002-12
			NO.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

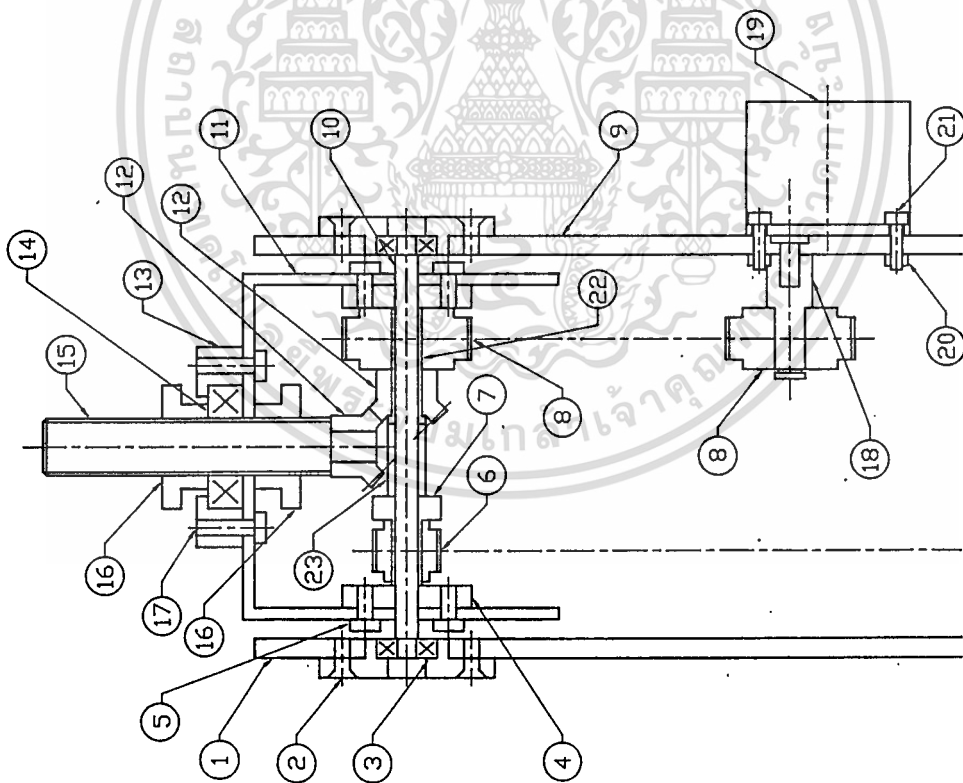


13	SHAFT23	2	BC3	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	002-13



14	SHAFT24	1	BC3	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KNITL.		DRAW NO.	002-14

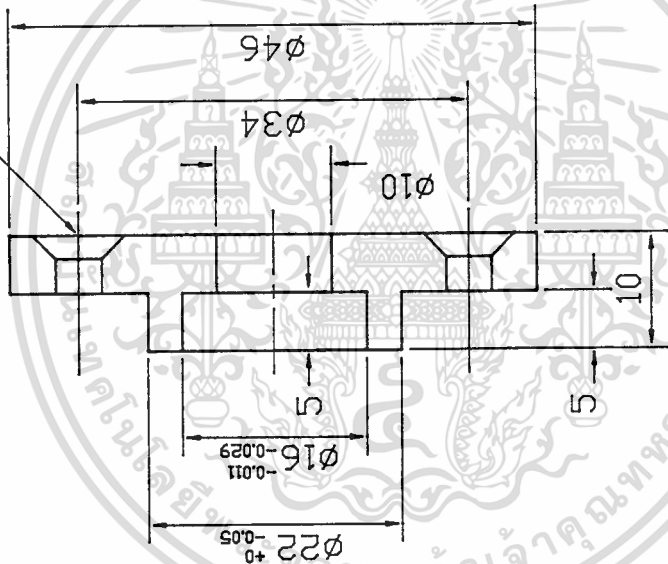
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



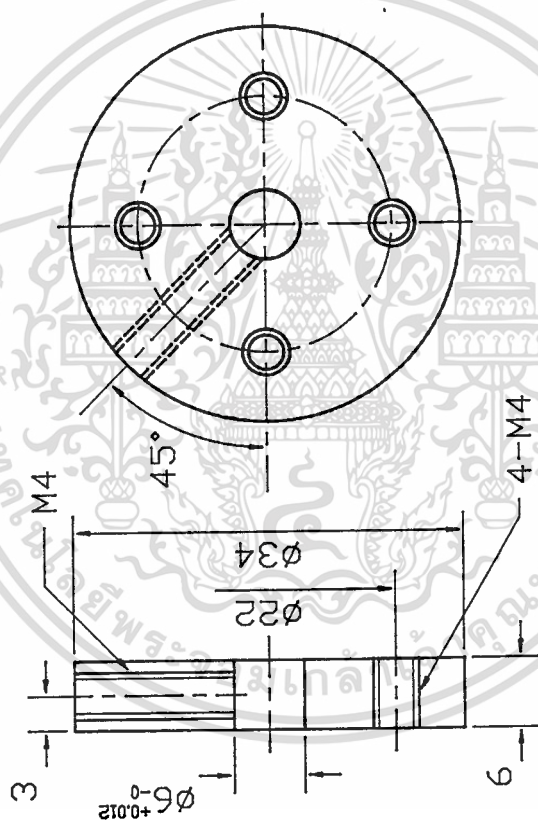
23	SHAFT34	1	BC3	
22	SHAFT32	1	BC3	
21	BOL T31-M4X13	4	S45C	
20	NUT31-M4	4	S45C	
19	MOTOR4	1		KP4PI8GN
18	SHAFT33	1	S45C	
17	BOL T4-M4X15	4	S45C	
16	SHAFT42	2	S45C	
15	SHAFT41	1	S45C	
14	BEARING-153209	2		
13	BLOCK-153209	2	S45C	
12	GEAR	2	S45C	SMAL-20
11	FRAMED	1	S45C	
10	SH1	1	S45C	
9	FRAMEC2	1	A1050P	002-09
8	PULLEY	2	S45C	20XL037
7	SHAFT31	1	S45C	
6	PULLEY	1	S45C	10XL037X
5	BOL T3-M4X8	8	S45C	
4	LOCK3	2	S45C	
3	BEARING-051605	2		
2	BLOCK-051605	2	S45C	
1	FRAMEC1	1	A1050P	002-01
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM			
1:1	Dept. of Control Eng.			
SCALE	KMITL			
			DRAW	003
			CHECK	
			DATE	21 MAR 1990
			DRAW	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4- ϕ 4.5, ϕ 8X90°

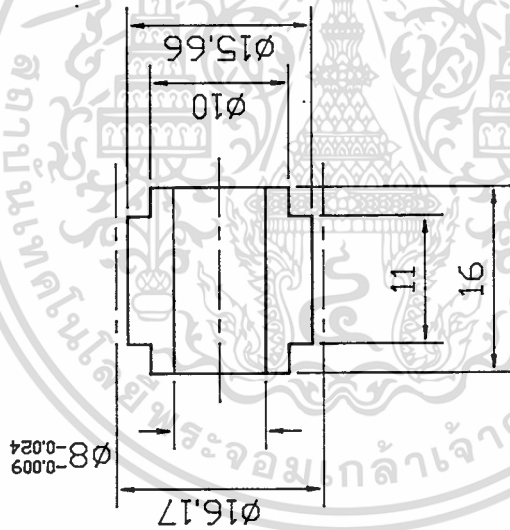


2	BL051605	2	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMILL		DRAW	003-02
			NO.	



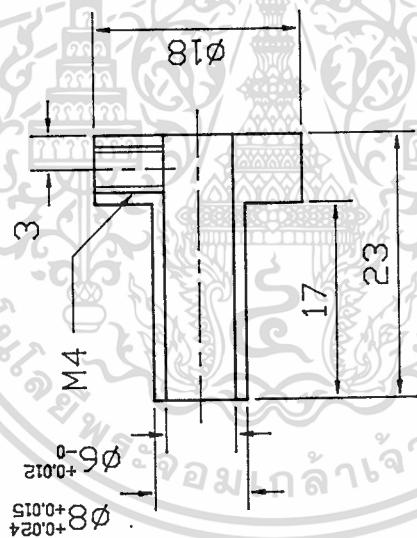
4	LOCK3	2	S45C		
NO.	NAME	PIECES	Mat.	DRAW	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		CHECK		RAKKIAT
1st Ang.			DATE	21 MAR 1990	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DRAW NO.	003-04	
2:1	KMITL				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



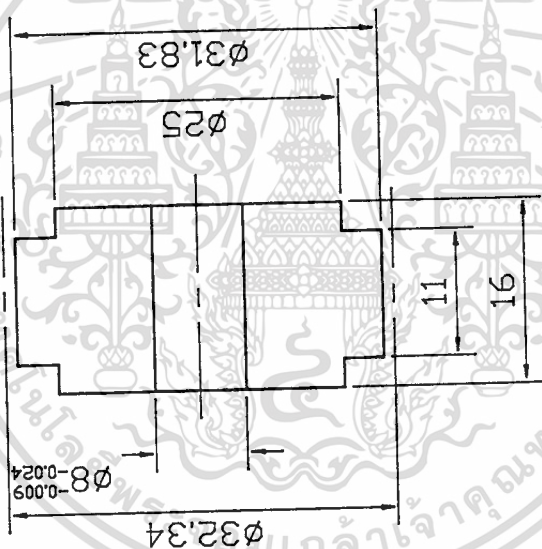
6	PULLEY	1	S45C	10XL037X
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KNITL		DRAW NO.	003-06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



7	SHAFT31	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM			
1stAng.	CHECK			
SCALE	DATE			
2:1	21 MAR 1990			
	DRAW			
	NO.			
	003-07			

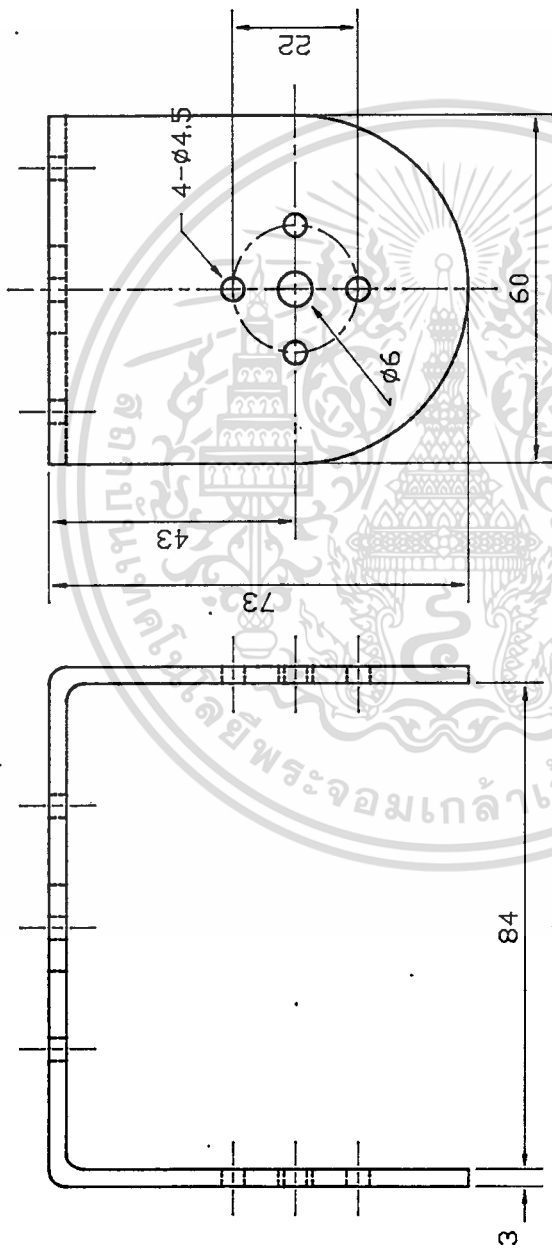
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8	PULLEY	2	S45C	20XL037
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1 st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KNITL		DRAW NO.	003-08

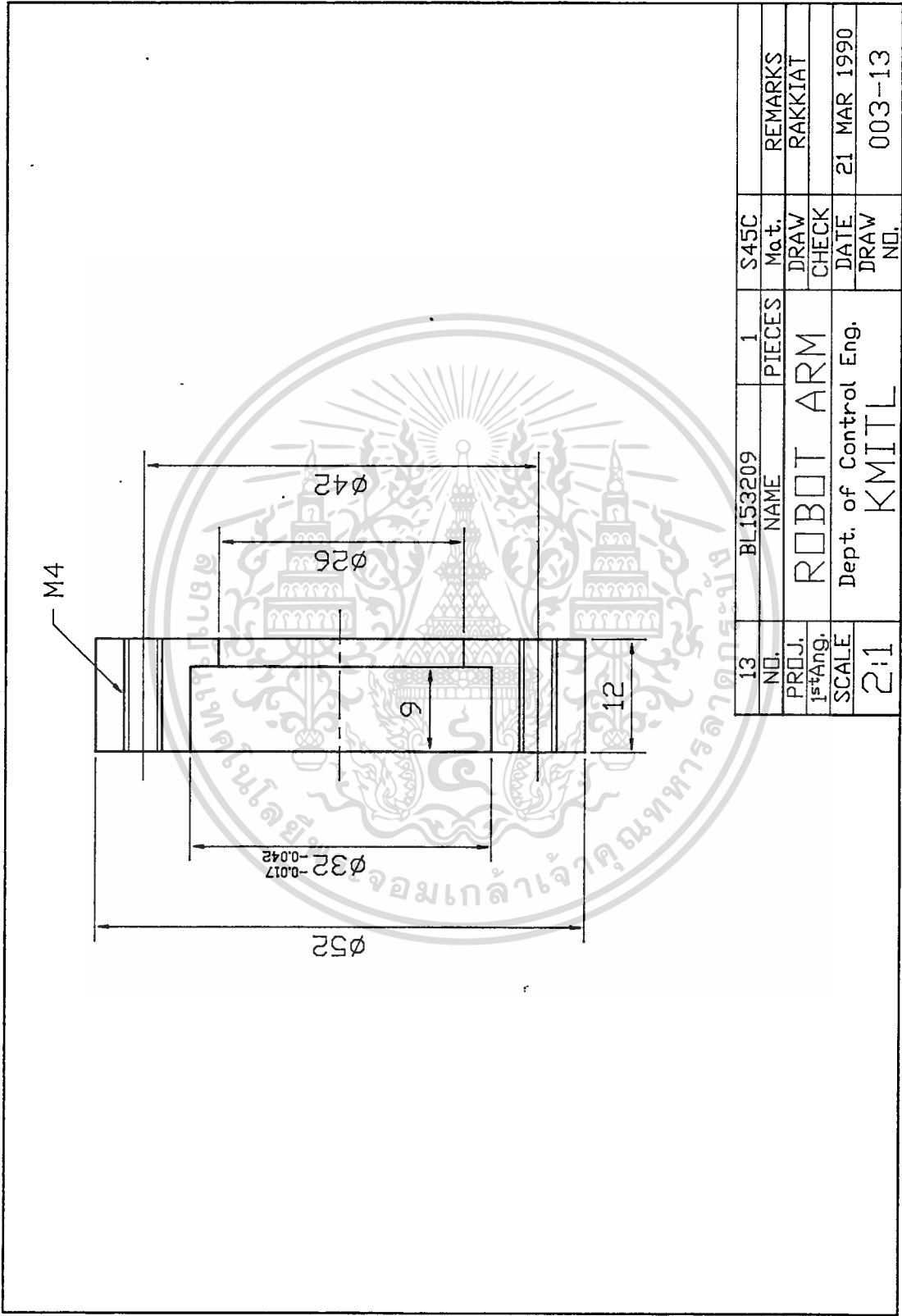


10	SH1	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM	DRAW	CHECK	
1st Ang.	Dept. of Control Eng.	DATE	21 MAR 1990	
SCALE	KMITL	DRAW	003-10	
1:1		ND.		

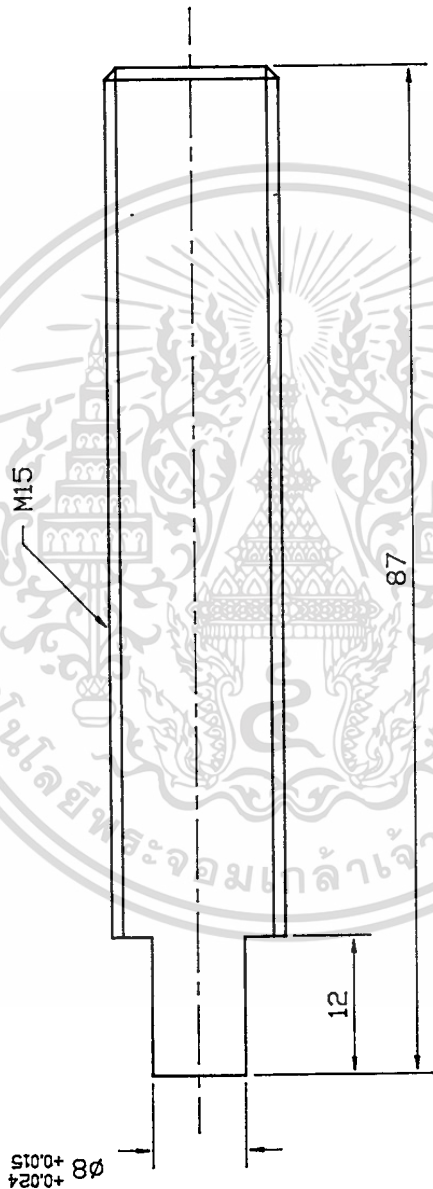


11	FRAMED	1	S45C	"
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
1:1	KMITL		DRAW	003-11
			NO.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

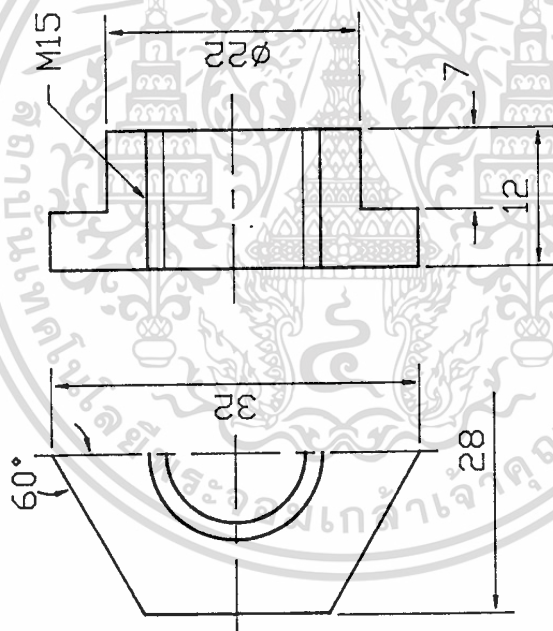


13	BL153209	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1 st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	003-13



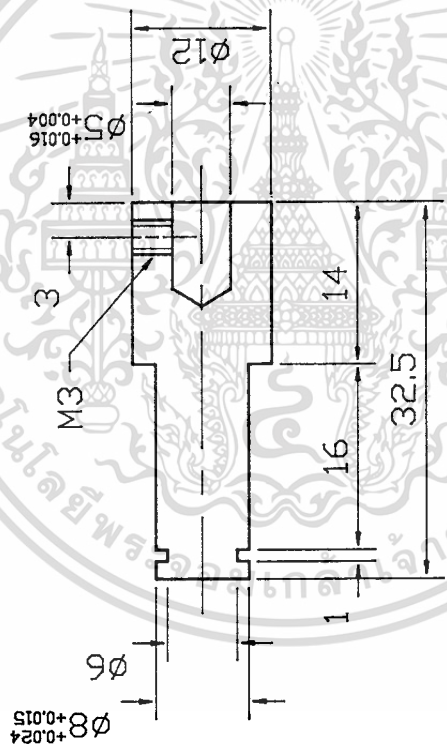
15	SHAFT41	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1 st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMILL.		DRAW NO.	003-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



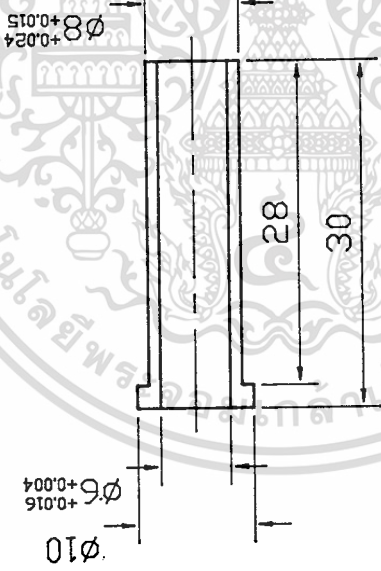
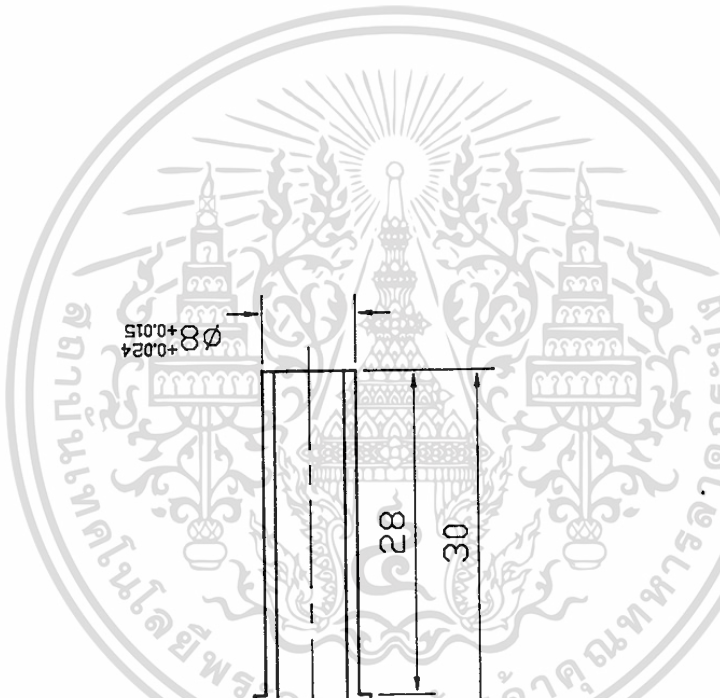
16	SHAFT42	2	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	M&T.	
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KNITL		DRAW NO.	003-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



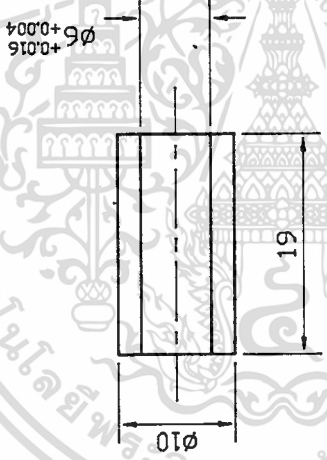
18	SHAFT33	1	S45C	REMARKS
ND.	NAME	PIECES	Mat.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	CHECK
1stAng.	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
SCALE	KMILL		DRAW	003-18
2:1			ND.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



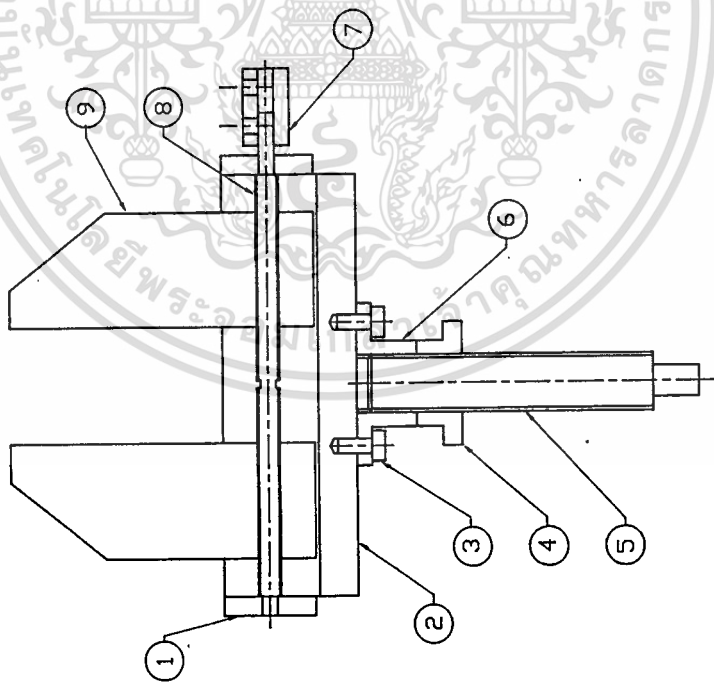
22	SHAFT32	1	BC3	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KNITL		DRAW NO.	003-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



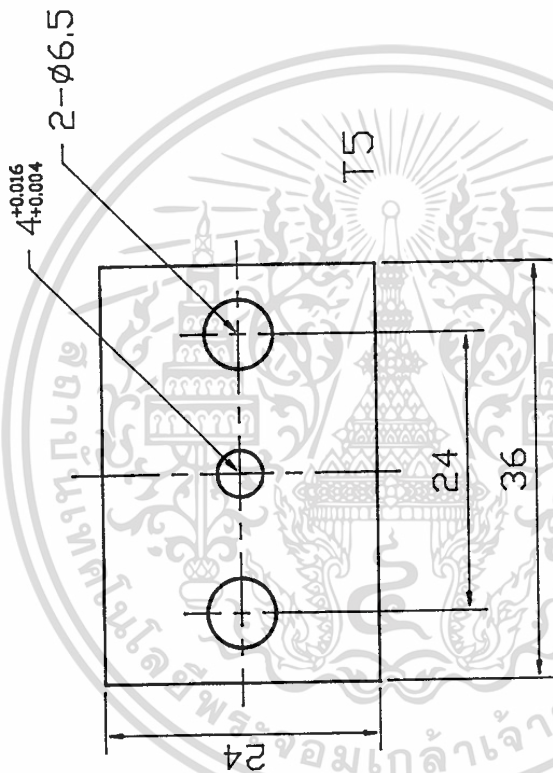
23	SHAFT34	1	BC3	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	003-23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



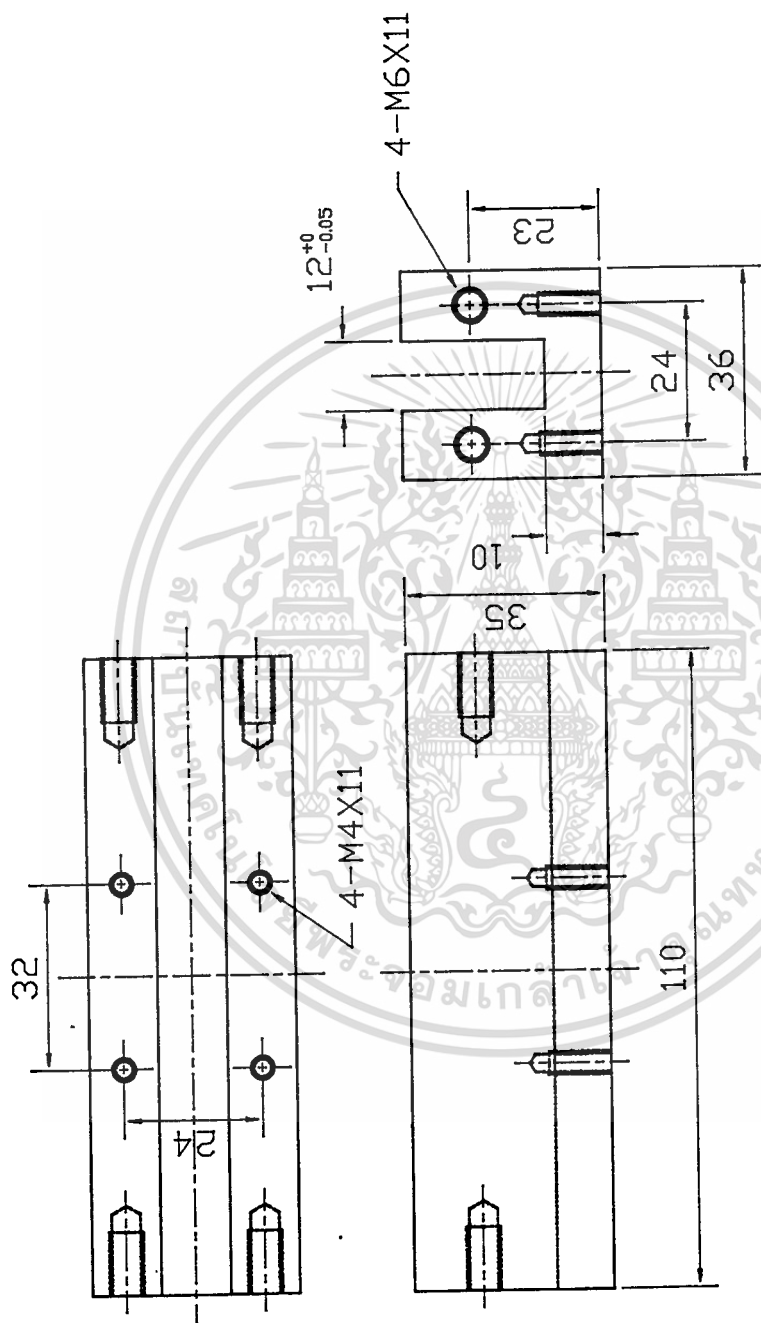
9	GRIPPER	2	A1050
8	SH4	1	S45C
7	LINK1	1	S45C
6	SHAFT43	1	S45C
5	SHAFT41	1	S45C
4	SHAFT42	4	S45C
3	BOLT41	1	A1050
2	FRAMEE	1	S45C
1	LOCK4	2	S45C
REMARKS			
NO.	NAME	PIECES	Mat.
PROJ.	ROBOT ARM	DRAW	RAKKIAT
Isang.	Dept. of Control Eng.	CHECK	DATE
SCALE	KMITL	DRAW	21 MAR 1990
1:1		NO.	004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

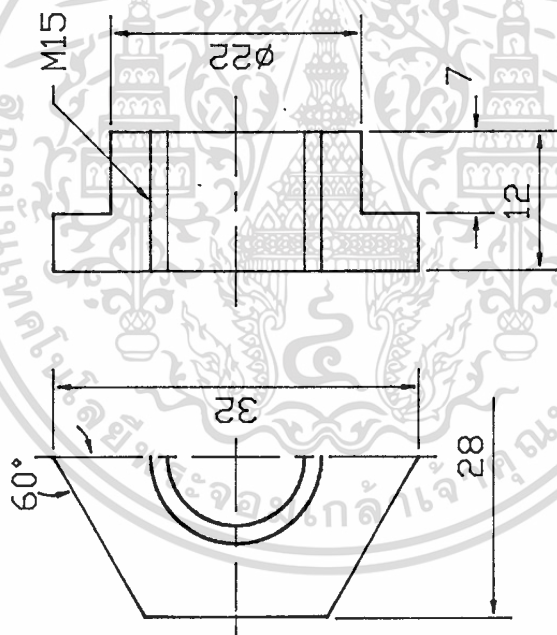


1	LOCK4	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW	004-01
			NO.	

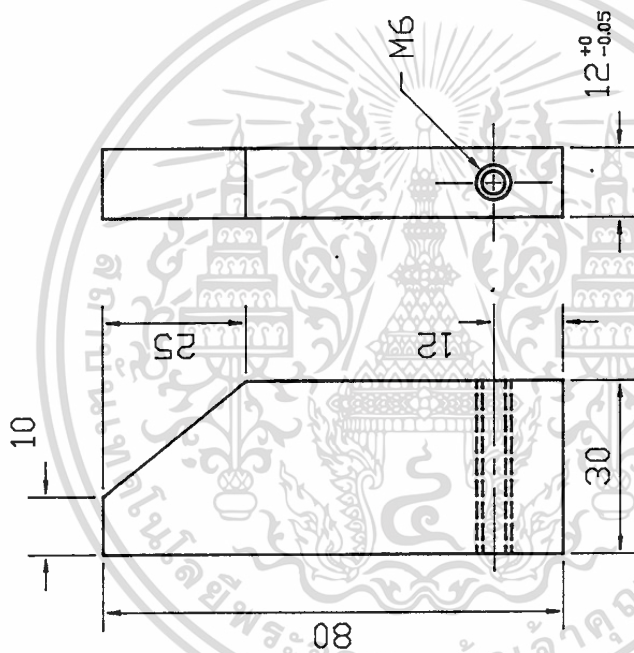
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2	FRAMEE	1	A1050	
NO.	NAME	PIECES	Ma.t.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1 st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
1:1	KMITLE		DRAW	004-02
			NO.	

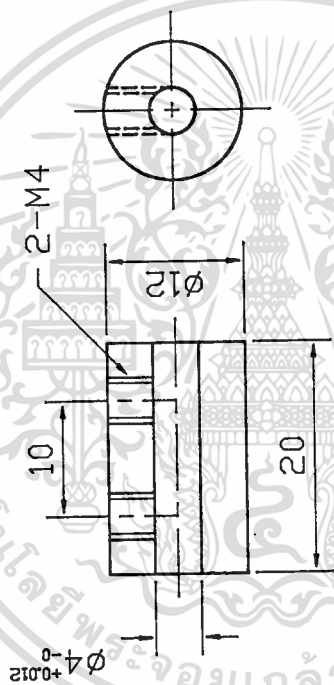


4	SHAFT42	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng,		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	004-04



9	GRIPPER	2	A1050	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
1:1	KMITL		DRAW	004-09
			NO.	

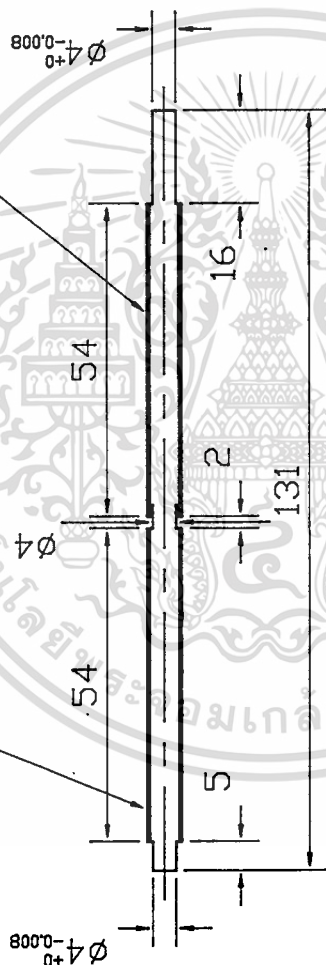
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



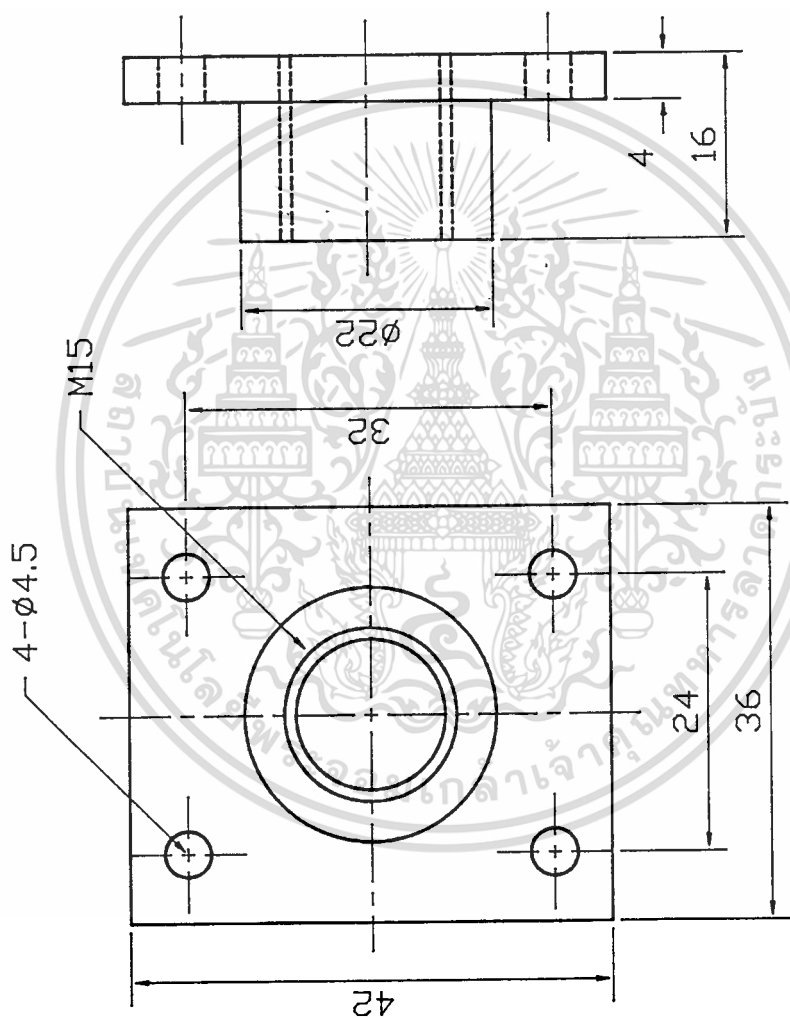
7	LINK1	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW	004-07
			NO.	

M6-COUNTER CLOCKWISE

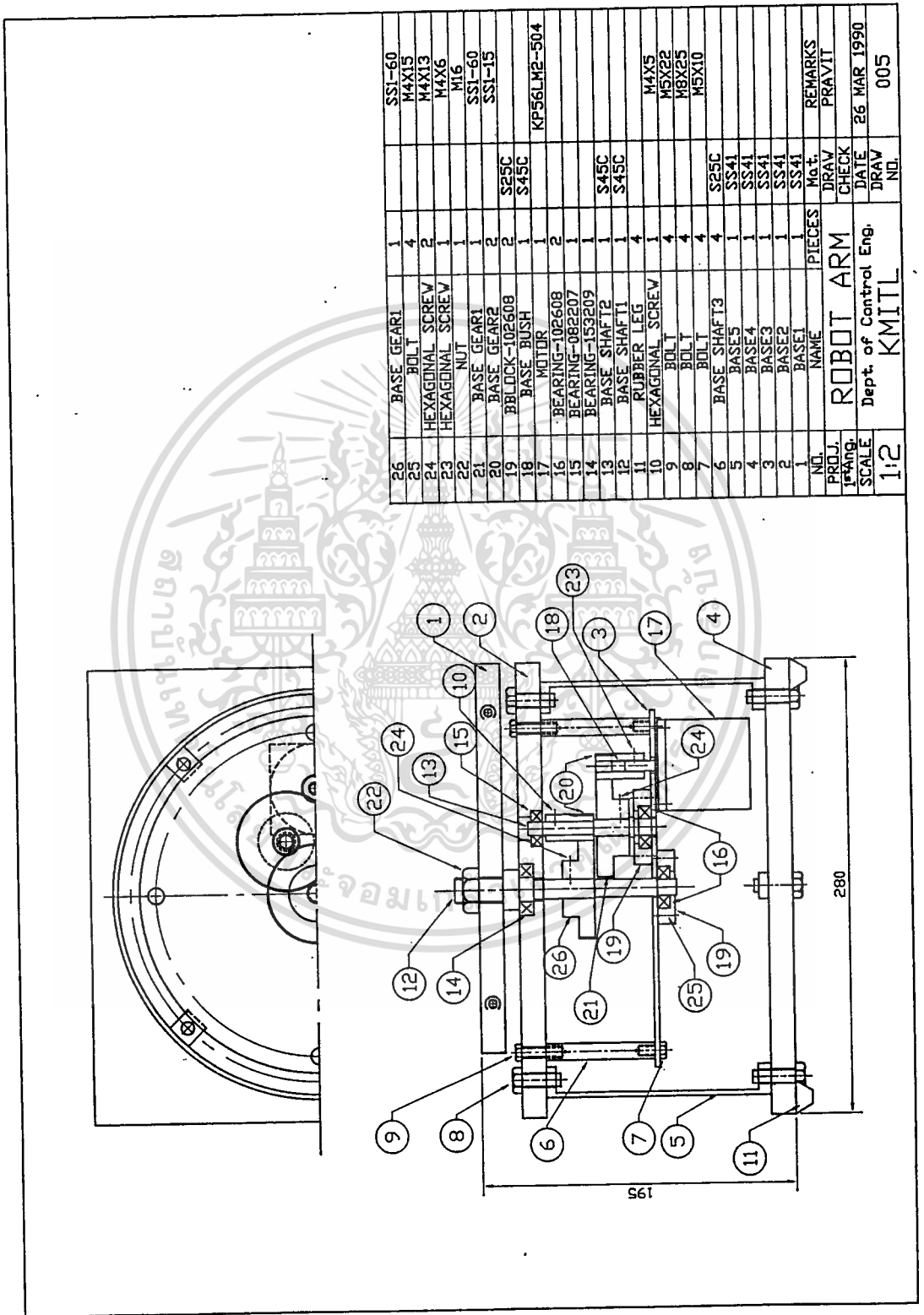
M6-CLOCKWISE



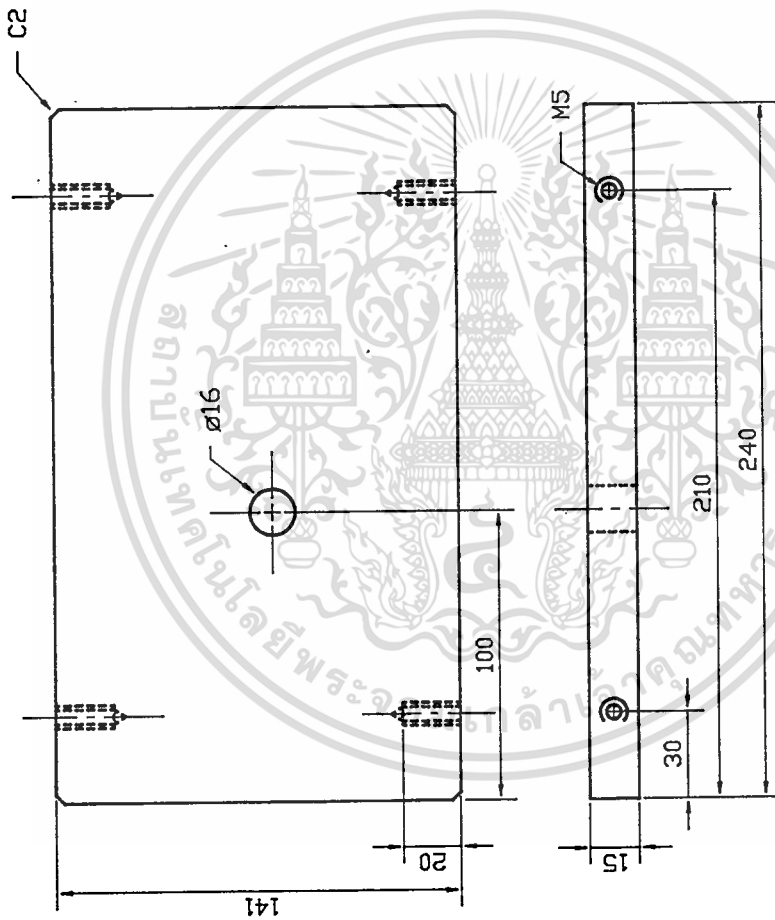
8	SH4	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1stAng.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
1:1	KMITL		DRAW NO.	004-08



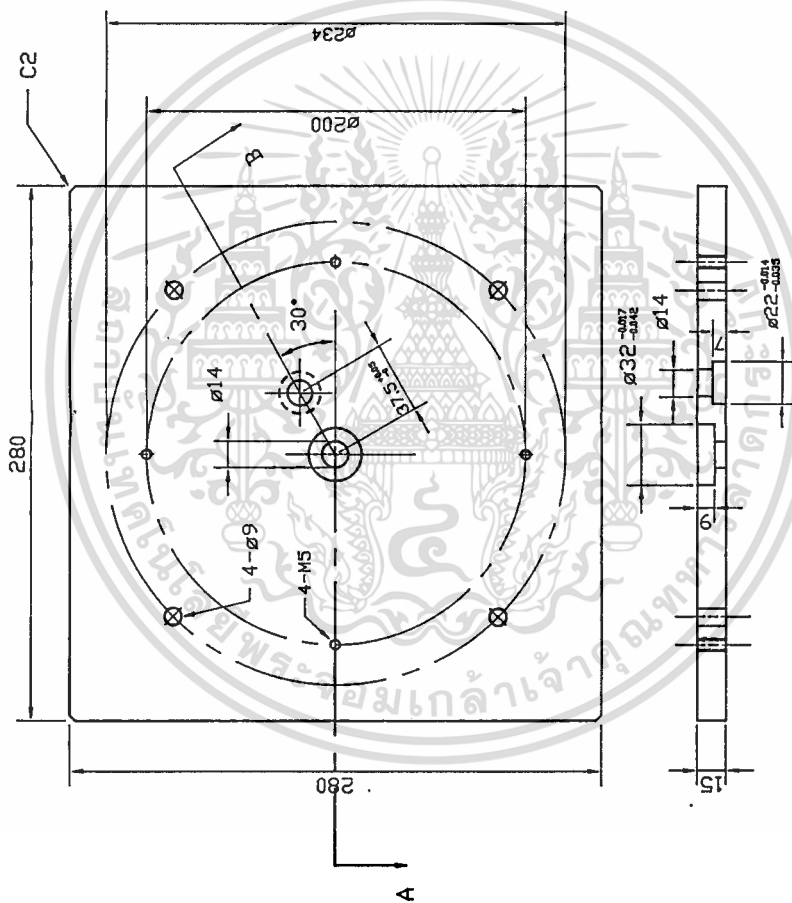
6	SHAFT43	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Ma.t.	RAKKIAT
PROJ.	ROBOT ARM			CHECK
1stAng.	Dept. of Control Eng.			DATE 21 MAR 1990
SCALE	KMITL			DRAW NO. 004-06
2:1				



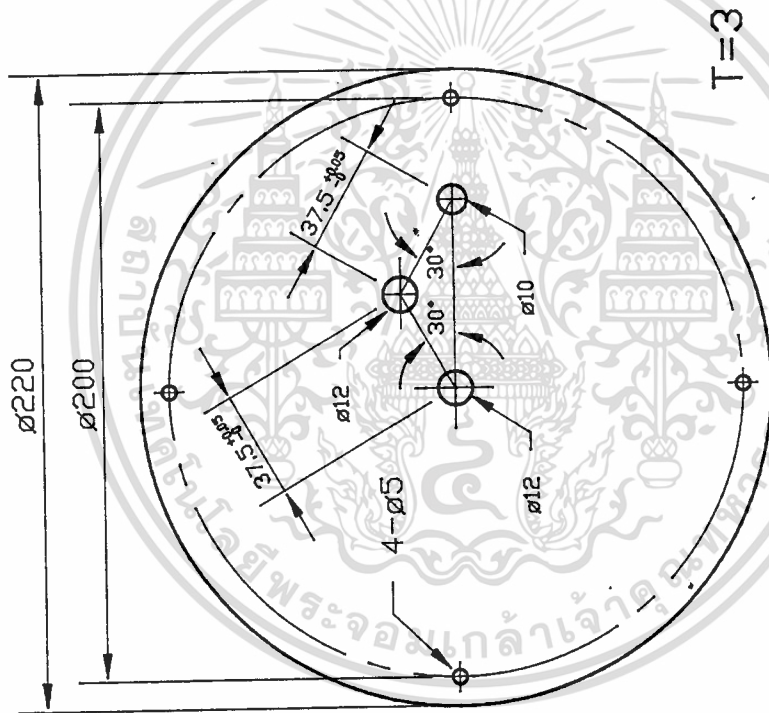
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1	BASE 1	1	SS41	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	PRAVIT
PROJ.	ROBOT ARM			CHECK
1st Ang.	Dept. of Control Eng.			DATE
SCALE	KMITL			24 MAR 1990
1:2				DRAW NO.
				005-1

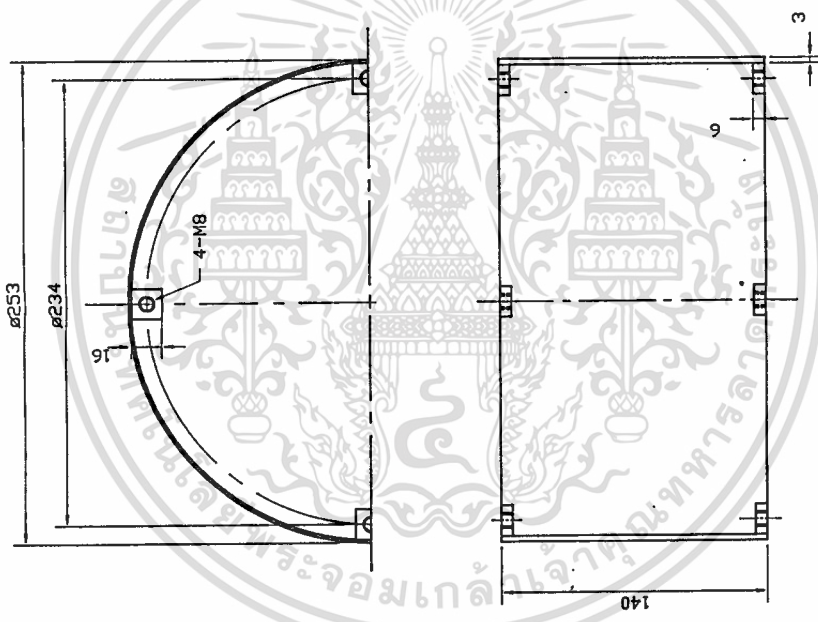


2	BASEP	PIECES	SS41	REMARKS
NO.	NAME	Mo.t.	DRAW	PRVIT
PROJ.	ROBOT ARM	CHECK	DATE	24 MAR 1990
1:2	Dept. of Control Eng.	DRAW	NO.	005-2

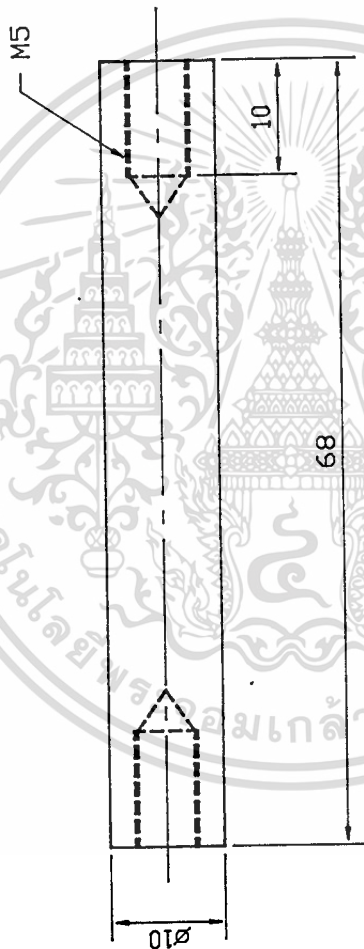


3	BASE3	1	SS41	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	PRAVIT
PROJ.	ROBOT ARM			DRAW
1st Ang.	Dept. of Control Eng.			CHECK
SCALE	KMILL			DATE
1:2				24 MAR 1990
				DRAW NO.
				005-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

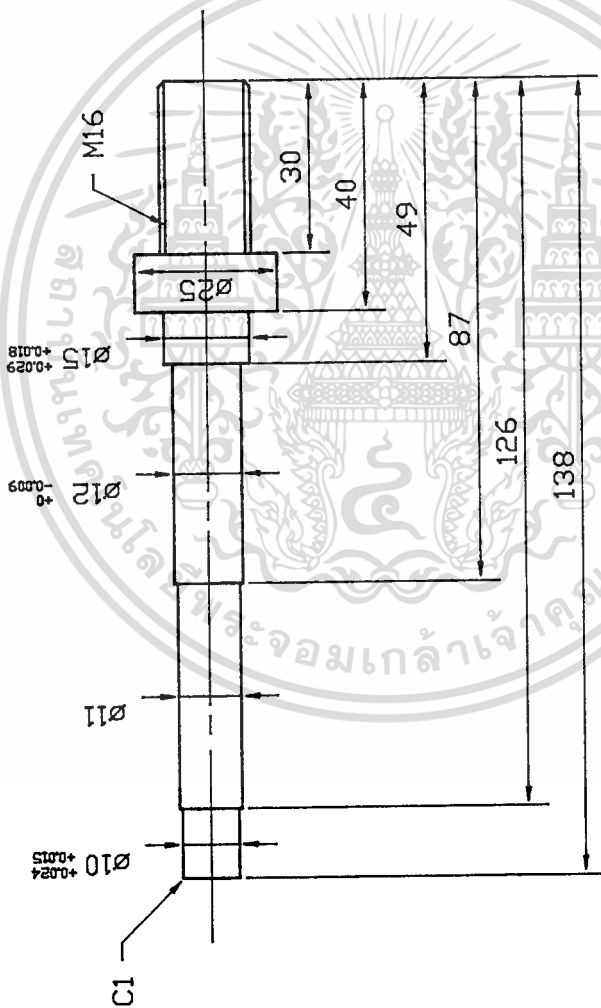


5	BASES	1	SS41	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mct.	PRVIT
PROJ.	ROBOT ARM	DRAW	CHECK	
1st Ang.	Dept. of Control Eng.	DATE	24 MAR 1990	
SCALE	KMITL	DRAW	005-5	
1:2		NO.		



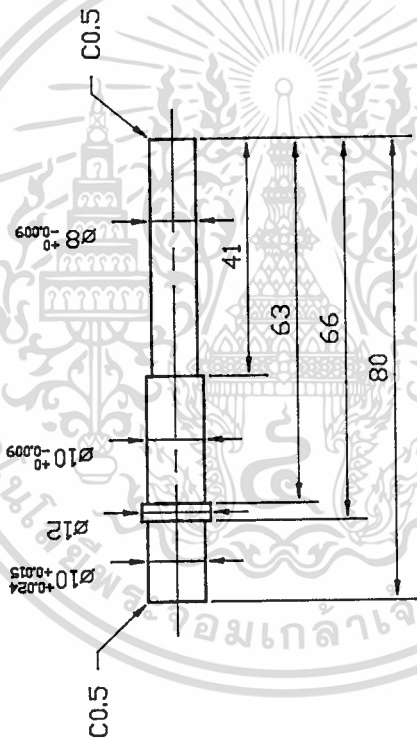
6	BASE SHAFT3	4	S25C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM	DRAW	CHECK	PRAVIT
1st Ang.	Dept. of Control Eng.	DATE	24 MAR 1990	
SCALE	KMITL	DRAW NO.	005-6	
2:1				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

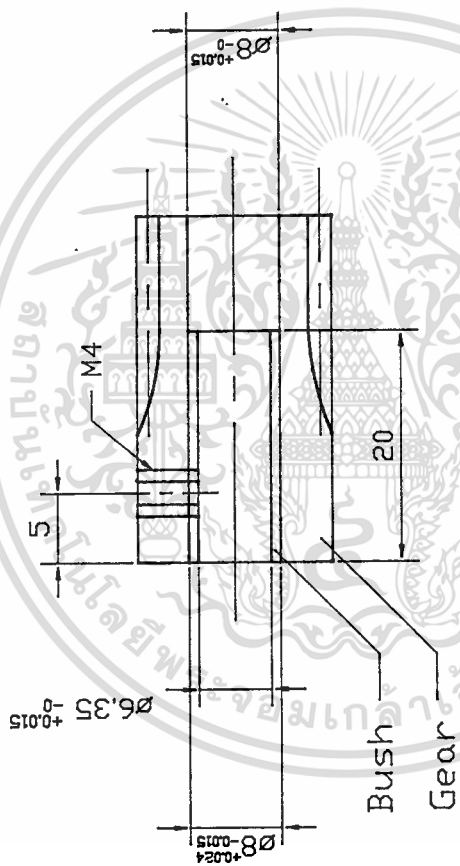


12	BASE SHAFT 1	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	PRAVIT
PROJ.	ROBOT ARM	DRAW	CHECK	
1st Ang.	Dept. of Control Eng.	DATE	24 MAR 1990	
SCALE	KNITL	DRAW	005-12	
1:1		NO.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

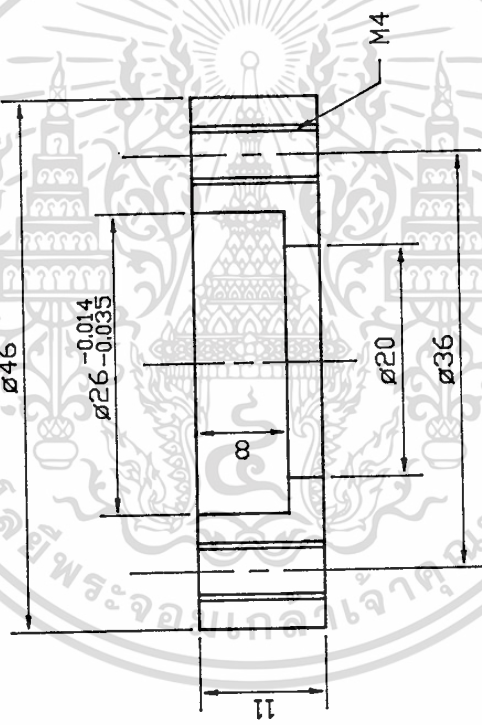


13	BASE	SHAFT 2	1	S45C	
NO.	NAME		PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	CHECK	PRAVIT
1 st Ang.	Dept. of Control Eng.		DATE	24 MAR 1990	
SCALE	KMILL		DRAW	NO.	005-13
1:1					



Hit the Bush into the Gear

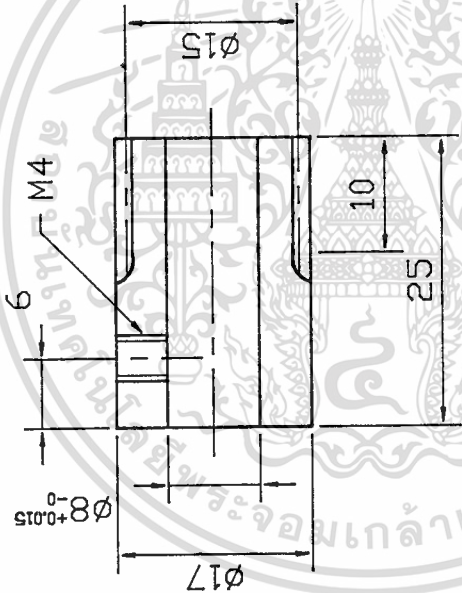
18	BASE BUSH	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	PRAVIT
PROJ.	ROBOT ARM	CHECK	DRAW	
1st Ang.	Dept. of Control Eng.	DATE	DRAW	24 MAR 1990
SCALE	KMITL	NO.		005-18
2:1				



19	BLOCK-102608	2	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	PRAVIT
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	CHECK
1st Ang.	Dept. of Control Eng.		DATE	24 MAR 1990
SCALE	KMITL		DRAW NO.	005-19
2:1				

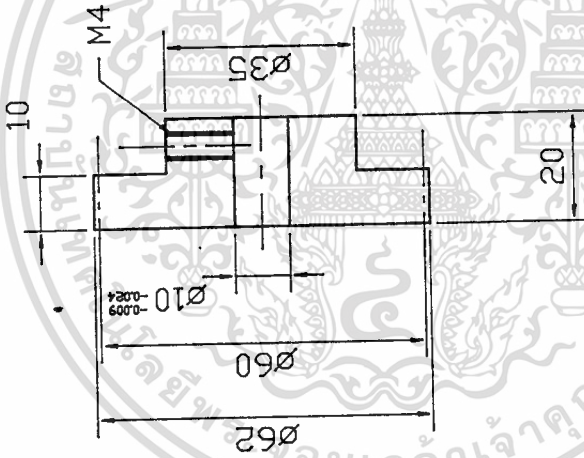
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODULE	1.0
NO. OF TEETH	15



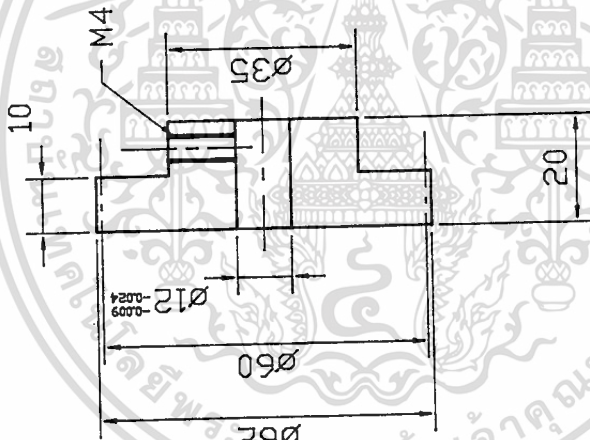
20	BASE GEAR2	2	S45C	
ND.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	PRAVIT
1st Ang.	Dept. of Control Eng.		CHECK	
SCALE			DATE	24 MAR 1990
2:1	KMITL		DRAW NO.	005-20

MODULE	1.0
NO. OF TEETH	60

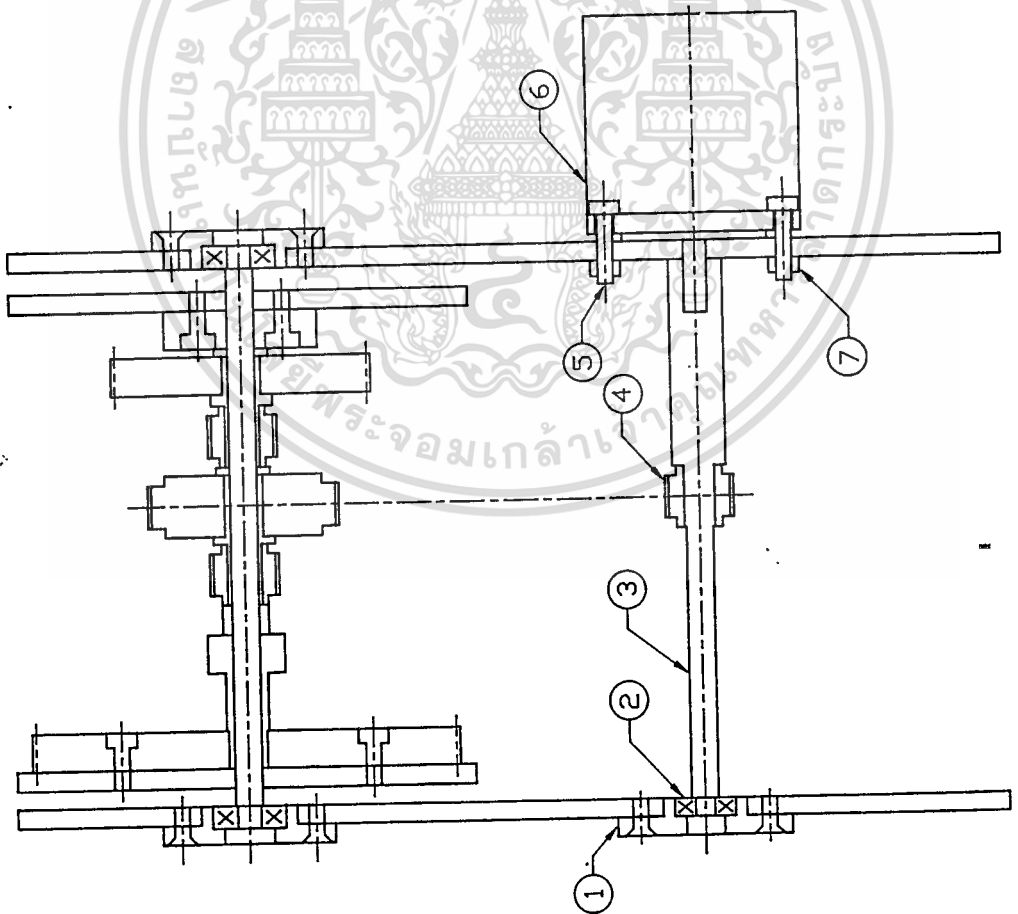


21	BASE GEAR1	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	PRAVIT
PROJ.	ROBOT ARM			CHECK
1 st Ang.	Dept. of Control Eng.			DATE
SCALE	KNITL			24 MAR 1990
1:1				DRAW
				NO.
				005-21

MODULE	1.0
NO. OF TEETH	60



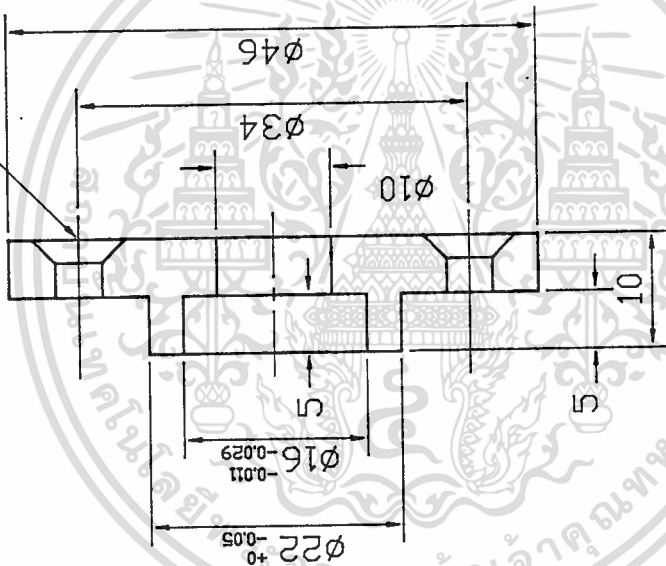
26	BASE GEAR1	1	S45C	REMARKS
NO.	NAME	PIECES	Mat.	PRAVIT
PROJ.	ROBOT ARM			CHECK
1st Ang.	Dept. of Control Eng.			DATE
SCALE	KMITL			24 MAR 1990
1:1				DRAW NO. 005-26



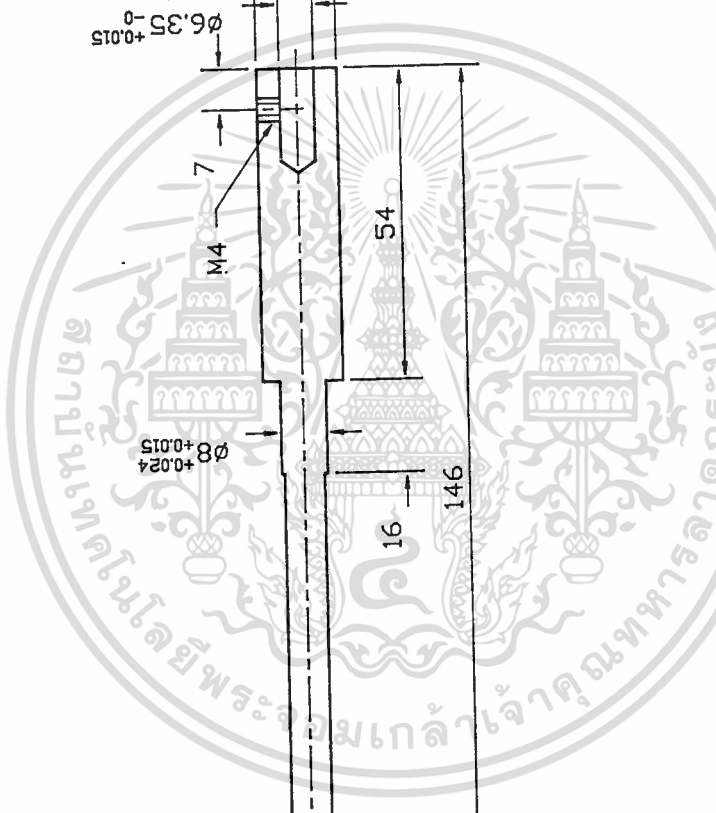
7	NUT-M4	4	S45C	KP56LM
6	MOTOR3	1	S45C	
5	BOLT-M4X18	4	S45C	10X1.037X
4	PULLEY	1	S45C	
3	SHAFT 161	1	S45C	
2	BEARING-051605	1	S45C	
1	BLOCK-051605	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM			RAKKIAT
1:1	Dept. of Control Eng.			21 MAR 1990
SCALE	KMITL			DRAW NO.
1:1				006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

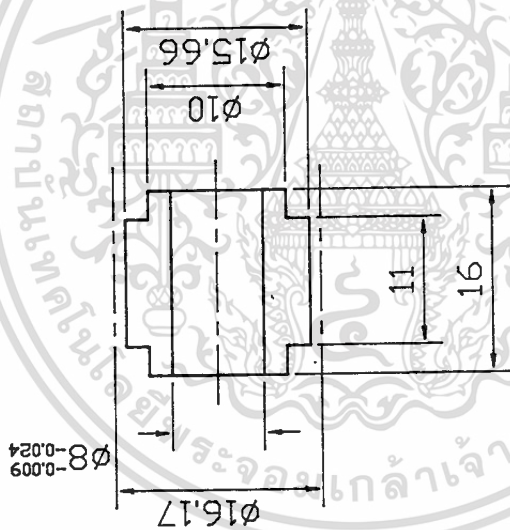
4- $\phi 4.5$, $\phi 8 \times 90^\circ$



1	BL051605	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Ma.t.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM	DRAW	CHECK	RAKKIAT
1st Ang.	Dept. of Control Eng.	DATE	21 MAR 1990	
SCALE	KMITL	DRAW	NO.	006-01
2:1				



3	SHAFT61	1	S45C	
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1 st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
1:1	KNITL		DRAW	006-03
			NL.	



4	PULLEY	1	S45C	10XL037X
NO.	NAME	PIECES	Mat.	REMARKS
PROJ.	ROBOT ARM		DRAW	RAKKIAT
1st Ang.			CHECK	
SCALE	Dept. of Control Eng.		DATE	21 MAR 1990
2:1	KNITL		DRAW	
			NO.	006-04

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปด้วยดี เพราะได้รับการช่วยเหลือ ชี้แนะ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ดร.โยธิน เปรมปรางค์รัชต์ ศจ.โทธิโอะ อธิจิมา ผศ.ดร.จงกล งามวิทย์ และ อ.วันชัย รื้อรจจา รวมทั้งผู้มีได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ สถานที่ และความสะดวกในการจัดทำต้นฉบับ

หากปริญญานิพนธ์นี้มีประโยชน์อยู่บ้าง ขอมอบความดีนี้ให้ผู้มีพระคุณของคณะผู้จัดทำที่เป็นกำลังใจและให้คำปรึกษามาโดยตลอด



บรรณานุกรม

1. "คู่มือไอซีพีเอ็นพีพร็อทและหน่วยความจำ", สำนักพิมพ์ซีเอ็ดดูเคชั่น, น.ศ. 2529, หน้า 53-63.
2. สีน กุ๊ววรรณ ดร.ชัยศักดิ์ วัชชัยสุวัฒน์ ดร.โนสาด สงวนหมู่ "เทคโนโลยีไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิต", สำนักพิมพ์ซีเอ็ดดูเคชั่น, น.ศ. 2531.
3. รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัตน์ "สเคปป์มอเตอร์", วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 5 ฉบับที่ 6 หน้า 46 ถึง 56 น.ศ. 2532.
4. ดร.วฤทธิ์ อิงภากรณ์ ชาญณนังงาน "การออกแบบเครื่องกล เล่ม 1 และ 2", สำนักพิมพ์ซีเอ็ดดูเคชั่น, น.ศ. 2522.
5. Autodesk, Inc. "AutoCAD Reference Manual", 1988.
6. Autodesk, Inc. "Autocad Release 10", 1988.
7. IBM "Technical Reference Manual for IBM PC-XT", p.1-8 to p.1-19, 1983.
8. Joseph edward Shigley "Mechanical Engineering Design", Mc Graw-Hill, p.467-582.
9. Junya Horio Keiji Hora "Robot Hand" (in japanese) (design, making and control), Power Publish Comp, Tokyo, p.108, 1984.
10. Philippe Coiffet "Robot Technology" (Vol.1 modeling & control), Prentice-Hall Inc, 1983.
11. Shafi Motiwalla & Richard Keng "Continuous Path Control with Stepping Motor", Robotics Age, Inc. 1983.
12. SGS Technology and Service "Motion Control Application Manual", p.39-52 & p.69-82, 1987.
13. Wesley E. Snyder "Microcomputer Based Path Control", Robotics Age, p.48, 1983.