

ปีการศึกษา ๒๕๓๖

เครื่องเจาะ EDM.



( รศ.ทวี เทศเจริญ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (033289)

## เครื่องเจาะแบบอีดีเอ็ม

ว.เลข แจมทอง

สุรสิทธิ์ ไชยชิน

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ทวี เทศเจริญ

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงหลักการทำงานและการสร้างเครื่อง Super drill EDM. ซึ่งเป็นเครื่องมือกลชนิดหนึ่งที่ใช้ในงานเจาะวัสดุที่มีความแข็งสูง สาค่อการเจาะด้วยวัสดุคาร์ไบด์ เช่น โทะผ่านการชุบแข็ง โทะ Cemented Carbide โทะ Sintered Alloy หรือ โทะพิเศษ เป็นต้น โทะเหล่านี้ถึงแม้ว่าจะมีความแข็งสูงแต่ถ้าเป็นสื่อไฟฟ้าได้ก็จะสามารถเจาะด้วย Super Drill EDM. ได้ โดยที่การเจาะจะใช้การสปาร์คของหัวไฟฟ้าที่เป็นหัวเจาะ และใช้ NC (numerical control) เป็นตัวควบคุมการสปาร์ค ส่วนการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ(หัวไฟฟ้า) จะใช้ Stepping Motor ไปขับ Ball Screw ให้เคลื่อนที่ขึ้นลงแบบ Open loop โดยใช้ Microcomputer เป็นตัวควบคุม

## Super Drill EDM.

WORADECH JAMTHONG

SURASIT CHAICHIN

Associal Professor THAVEE TESCHAREON

### Abstract

This thesis is about principle of operation and construction of SUPER DRILL EDM. ,drilling machine tools and used to drill high hardness material. such as quench hardening metal , cemented carbind metal,sintered alloy metal,or special metal, ect, which is so difficult to drill with simple drilling machine. Even thought these metals are high hardness metals , they can be drilled by SUPER DRILL EDM,if are good conductors. By using sparking of drilling electrode and NC (Numerical Control) as sparking controller ,movement of drilling head , we will use stepping motor to drive ball screw to move up and down , Open loop type , by using microcomputer as controller.

สารบัญ

บทที่ 1. บทนำ	1
บทที่ 2. ทฤษฎีเบื้องต้นของการสปีด	2
บทที่ 3. ทฤษฎีเบื้องต้นของสแตปปีงมอเตอร์	6
- ความแม่นยำของตำแหน่ง	6
- อัตราเร็ว stepping และความถี่ pulse	7
- ลักษณะการทำงานของสแตปปีงมอเตอร์	7
- ลักษณะเฉพาะของแรงบิดสถิตย์ (Static torque) ในสแตปปีงมอเตอร์	12
- ลักษณะเฉพาะของแรงบิดจลน์ (Dynamic torque) ในสแตปปีงมอเตอร์	14
การออกแบบวงจรรับ	14
บทที่ 4. ไมโครโปรเซสเซอร์และการควบคุมมอเตอร์	16
ข้อดีข้อเสียของไมโครโปรเซสเซอร์	16
วงจรรีบ Stepping motor	17
โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ	18
สรุป	22

ภาคผนวก ก.

24

ภาคผนวก ข.

32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1.

บทนำ

ในปัจจุบันงานด้านอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและได้มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตมากขึ้น เช่น การนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนร่วมในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิต งานทางด้านการเจาะโลหะก็เป็นงานที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิต โครงการงานนี้จึงได้นำเอาเทคโนโลยีต่างๆ มาประยุกต์ใช้กับงานเจาะโลหะโดยให้ชื่อว่า Super Drill EDM. หลักการทำงานโดยทั่วไปก็คือ จะทำให้เกิดการสปาร์กระหว่างขั้วไฟฟ้ากับโลหะที่เป็นชิ้นงาน ทำให้โลหะเกิดการหลอมละลาย แต่จังหวะการสปาร์คจะไม่ต่อเนื่องเหมือนกับเครื่องเชื่อมอาร์คแต่จะมีการสปาร์คในลักษณะเป็น pulse เพื่อไม่ให้โลหะที่จะเจาะหลอมละลายจนเสียรูปทรง การควบคุมการจ่าย pulse ของการสปาร์คจะใช้ NC (numerical control) เป็นตัวควบคุมซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับเครื่องตัด Wire Cut EDM. หรือเครื่องขึ้นรูปแม่พิมพ์ละเอียดแบบ EDM. ในส่วนของการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ (ขั้วไฟฟ้า) จะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ไปควบคุมการหมุนของ stepping motor และใช้ Ball Screw เป็นตัวเปลี่ยนการเคลื่อนที่จากการหมุนไปเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นลงของหัวเจาะ และจะมีมอเตอร์อีกตัวหนึ่งใช้สำหรับหมุนหัวเจาะ (ขั้วไฟฟ้า) เพื่อให้การสึกหรอของหัวเจาะเกิดขึ้นเท่ากันทุกด้าน ประโยชน์ที่สำคัญของ Super Drill EDM. คือใช้สำหรับเจาะโลหะที่มีความแข็งสูงไม่สามารถเจาะด้วยเครื่องมือเจาะธรรมดาได้นอกจากนี้แล้วยังใช้ในการเจาะชิ้นงานที่มีความสลัดซับซ้อนได้คืออีกด้วย

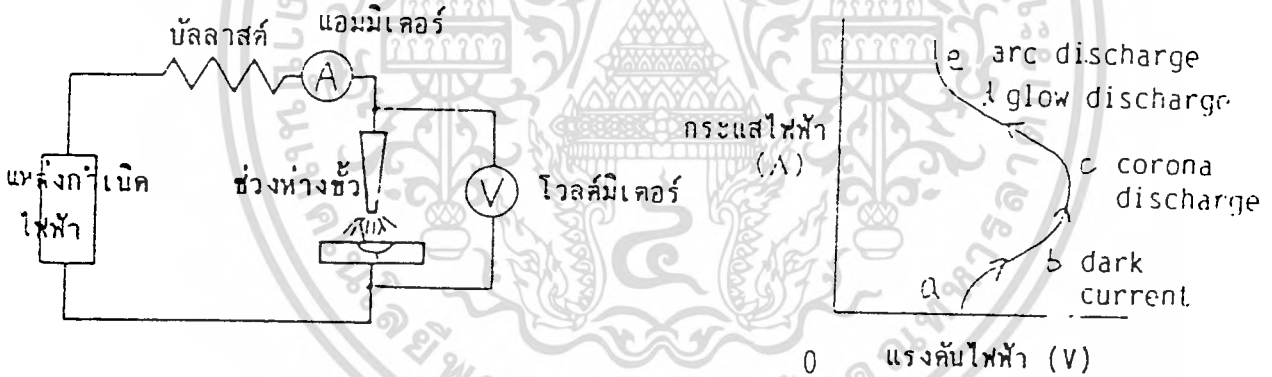
เนื่องจากการศึกษาและการสร้างเครื่อง Super Drill EDM. จะต้องใช้เทคโนโลยีหลายๆด้านมาประกอบกัน ทั้งในด้านเครื่องกล ไฟฟ้ากำลัง คอมพิวเตอร์ และระบบควบคุม ซึ่งไม่สามารถทำให้เสร็จภายในปีการศึกษาได้โครงการนี้จึงเป็นโครงการต่อเนื่อง สำหรับปีการศึกษานี้ส่วนที่ทำได้คือ การสร้างตัวเครื่องเจาะ การควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ (ขั้วไฟฟ้า) ให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ต้องการ และศึกษาทฤษฎีการสปาร์คเบื้องต้น ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะได้อธิบายอย่างละเอียดในแต่ละหัวข้อต่อไป

## บทที่ 2.

### ทฤษฎีเบื้องต้นของการสปาร์ค

ปรากฏการณ์การสปาร์ค เป็นชื่อเรียกโดยรวมของปรากฏการณ์ต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่ใส่แรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าที่มีฉนวนไฟฟ้า ประเภท ของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซคั่นอยู่ จนทำให้ฉนวนไฟฟ้าเหล่านี้เกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน (dielectric breakdown) และเกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นอย่างรุนแรง

ดังนั้นปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงหมายถึง การมีขั้วค้ำทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัตถุตัวกลางที่โดยปกติแล้วจะไหลผ่านได้ยาก และเมื่อถึงเวลาที่การมีขั้วค้ำนี้ถึงขีดจำกัด ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่ไหลขึ้นมาอย่างกระทันหัน การนำเอาการสปาร์คมาประยุกต์ใช้งาน ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดนีออน การเชื่อมแบบอาร์ค การขึ้นรูปด้วยวิธีสปาร์ค (เครื่อง EDM.) เป็นต้น



รูปที่ 2.1 คุณสมบัติพิเศษ แรงดันไฟฟ้า-กระแสไฟฟ้า ของการสปาร์ค

จากรูปที่ 1. ได้แสดงถึงคุณสมบัติพิเศษของการสปาร์คระดับพื้นฐานที่สุดอันหนึ่งโดยการสร้างวงจรสปาร์คง่ายๆ ดังในรูปและทำให้เกิดการสปาร์คขึ้นในอากาศ

1. สภาพที่กระแสเริ่มไหล (dark current)

ถ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (E) ให้สูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดหนึ่งอากาศจะเริ่มแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าเล็กน้อย และอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบจะถูกดึงดูดจากขั้วขั้วลบไปยังขั้วบวก ซึ่งในช่วงระยะนี้จะเริ่มมีกระแสไหลมากประมาณ  $10^{-8}$  -  $10^{-11}$  A

สภาพเช่นนี้มีชื่อเรียกกันว่า สภาพที่กระแสเริ่มไหล

## 2. การสปาร์คแบบโคโรนา(corona discharge)

ถ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้สูงขึ้นไปอีก ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าบางส่วนที่เกิดสนามไฟฟ้าแรงเป็นพิเศษจะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน(dielectric breakdown) เราเรียกสภาพเช่นนี้ว่า การสปาร์คแบบโคโรนา ซึ่งเป็นการสปาร์คที่ขาดเสถียรภาพอย่างมาก

## 3. การสปาร์คแบบโกลว(glow discharge)

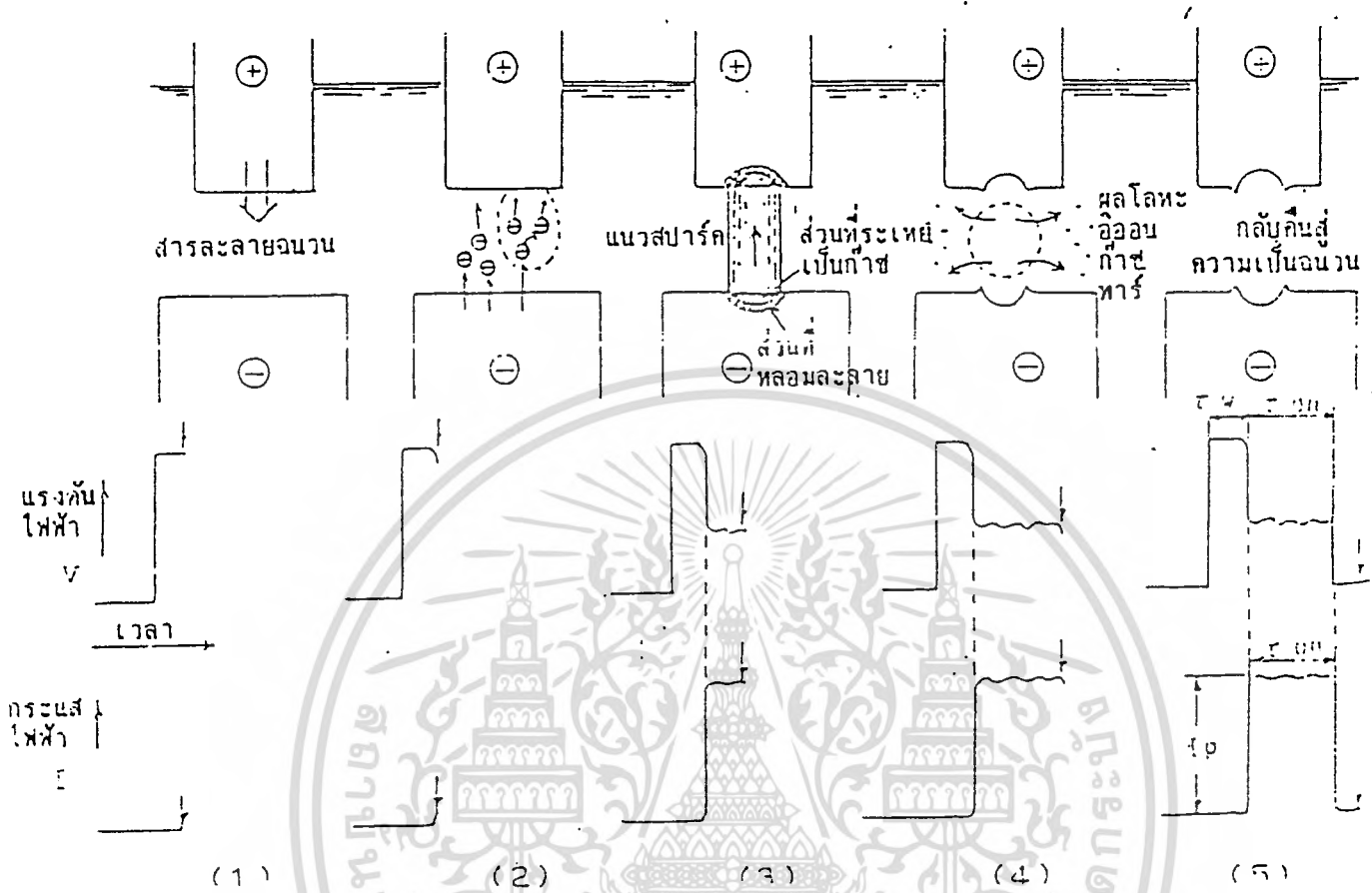
บริเวณที่เกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนแล้วนั้นอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบจะไหลในส่วนนี้มากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้กระแสไฟฟ้ามืดขนาดใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยสภาพการสปาร์คที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาที่สั้นมากเช่นนี้เรียกว่า การสปาร์คแบบโกลว

## 4. การสปาร์คแบบอาร์ค(arc discharge)

หลังจากที่ประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ระหว่างขั้วถูกปลดปล่อยออกมาและการสปาร์คแบบโกลวได้มีขนาดถึงกระแสไฟฟ้ค่าสูงสุดแล้ว การสปาร์คจะเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้าย สภาพการสปาร์คเช่นนี้จะเกิดขึ้นในลักษณะที่ควบคุมไม่ได้ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีสปาร์ค ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมพลังงานก่อนที่จะเข้าสู่สภาพการสปาร์คแบบอาร์คนี้

การสปาร์คที่เป็นประกายไฟโดยทั่วไปนั้นเป็นสภาพการสปาร์คซึ่งเกิดขึ้นทุกขั้นตอน ตั้งแต่สภาพที่กระแสเริ่มไหล จนถึงสภาพการสปาร์คแบบอาร์ค ภายในช่วงระยะเวลาที่สั้นมาก

การสปาร์คที่เป็นประกายไฟจะมีช่วงเวลาสั้นมาก ราว  $10^{-7}$  -  $10^{-5}$  วินาทีและยิ่งไปกว่านั้นความหนาแน่นของกระแส(current density) จะมีค่าถึง  $10^4$  -  $10^{10}$  A/cm<sup>2</sup> ดังนั้นเราจึงทราบกันว่า การสปาร์คที่เป็นประกายไฟ จะปลดปล่อยพลังงานที่มีระดับสูงออกมาภายในช่วงเวลาสั้นมาก



รูปที่ 2.2 สภาพของการสปาร์คแต่ละครั้ง

1. ใส่แรงดันไฟฟ้า

เริ่มต้นด้วยการใส่แรงดันไฟฟ้า (ประมาณ 60 - 280 V) ที่ระหว่างชิ้นงาน กับขั้วไฟฟ้า (เรียกว่าระหว่างขั้ว) ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าไร้โหลด (no-load voltage) ในสภาพเช่นนี้ระหว่างขั้วยังคงรักษาความเป็นฉนวนได้อยู่ จึงไม่มีกระแสไหล ในการขึ้นรูปนั้นโดยปกติจะใช้น้ำมันเพื่อที่จะรักษาให้ความดันต้านทานของฉนวนระหว่างขั้วมีค่าสูง เพราะว่าถ้าค่าความต้านทานระหว่างขั้วสูงก็จะสามารถลดระยะระหว่างขั้ว (ช่องว่างการสปาร์ค) ให้แคบลงได้ ซึ่งจะมีผลดีในการขึ้นรูปที่มีความละเอียดสูง

2. สูญเสียความเป็นฉนวน

เมื่อระยะระหว่างขั้วให้ใกล้เข้าเรื่อยๆ จนถึงระยะหนึ่ง (หลาย  $\mu\text{m}$  - หลายสิบลบ  $\mu\text{m}$ ) สารละลายจะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน อออบ ประจุลบจะถูกดึงไปฝังที่ เป็นบวก กล่าวคือเริ่มมีกระแสไหล

3. สปาร์ค, หลอมละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนขึ้นแล้ว อิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบจะเริ่มไหลเป็นจำนวนมากอย่างรุนแรง ซึ่งก็คือการสปาร์คนั่นเอง บริเวณส่วนที่จะเกิดการสปาร์คขึ้นนี้จะมีกระแสไฟฟ้าที่มีความหนาแน่นสูงมากไหลในช่วงสั้นๆ ในการขึ้นรูปชิ้นงานจริงนั้นกระแสไฟฟ้าจะมีขนาดตั้งแต่ 0.1 A ไปจนถึงหลายร้อยแอมแปร์ พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาในช่วงนี้จะทำให้บริเวณที่เกิดการสปาร์คมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก (3,000 C ขึ้นไป) จนบางส่วนของชิ้นงานถูกหลอมละลาย นอกจากนั้นแล้วสารละลายบริเวณที่เกิดการสปาร์คก็จะถูกความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้กลายเป็นก๊าซไป และเกิดความดันที่สูงมากขึ้นเป็นบางส่วน

เมื่อการสปาร์คเริ่มขึ้น เนื่องจากว่ามีฉนวน(สารละลาย)อยู่ระหว่างขั้วจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วค่าลง  $E = I \cdot R$  ตามกฎของโอห์ม แรงดันไฟฟ้าในช่วงนี้เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าการสปาร์ค(discharge)

#### 4. เส้นตัว

ความดันที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้ส่วนที่หลอมละลายของชิ้นงานหลุดกระเด็นไป ซึ่งเมื่อถูกสารละลายรอบข้างดูดแห้งความร้อนไปก็จะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วกลายเป็นเศษผงชิ้นเล็กๆ ในช่วงที่เกิดการสปาร์คอยู่นั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลในระดับค่าๆหนึ่งแต่ทว่าเมื่อพลังงานที่สะสมอยู่ในระหว่างนั้นถูกปลดปล่อยออกมาแรงดันไฟฟ้าจะต่ำลงอย่างรวดเร็ว

#### 5. กลับคืนสู่ความเป็นฉนวน

หลังจากที่การสปาร์คหนึ่งครั้งได้จบลงแล้วแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะกลับกลายเป็นศูนย์ และจะรองนกว่าสารละลายจะกลับคืนสู่ความเป็นฉนวนโดยไม่มีกระแสแรงดันไฟฟ้าเข้าไป การรอในช่วงนี้จะช่วยป้องกันการเกิดสปาร์คแบบผิดปกติ เช่น สปาร์คซ้ำ หรือสปาร์คเฉพาะเป็นบางจุดอันเนื่องมาจากการสะสมหรือที่บดงจับตัวกันของไอออนที่ตกค้างอยู่ระหว่างขั้วหรือเศษผงที่เกิดจากการสปาร์ค

ภายหลังจากที่กลับคืนสู่ความเป็นฉนวนแล้วก็จะทำการสปาร์คเช่นเดิมอีก โดยเริ่มจาก 1.

### บทที่ 3.

#### ทฤษฎีเบื้องต้นของสเต็ปมอเตอร์

(Stepping Motor)

Stepping motor เป็น DC motor ชนิดหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจาก DC motor ทั่วไปคือ ไม่ต้องการเซ็นเซอร์ในการทำงาน การควบคุมความเร็วและตำแหน่งของ Motor โดยการทำงานจะขึ้นกับความถี่และจำนวน pulse ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สามารถทำได้โดยไม่ต้องมีการป้อนกลับ(feedback) จึงเรียกการทำงานแบบนี้ว่า "open loop"

แม้ว่าการควบคุมแบบเปิด(open loop)จะเป็นการขับมอเตอร์ที่สะดวก ไม่ยุ่งยาก แต่ก็จะมีปัญหาบางประการ เช่น การหมุนของ rotor อาจจะไม่คงที่ในช่วงความถี่ ดังนั้น จึงทำให้การควบคุมความเร็วและความเร่งของ stepping motor ที่มีการควบคุมแบบเปิดจึงไม่สามารถทำให้มีความเร็วได้เท่ากับ DC motor ที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ(feedback or close loop) ได้

เนื่องจาก stepping motor จะหมุนด้วยมุมคงที่ในแต่ละ pulse ที่ป้อนเข้ามา ขนาดของมุมนี้เราเรียกว่า "stepping angle" มีหน่วยเป็นองศา stepping angle ยิ่งเล็กตำแหน่งการหมุนยิ่งละเอียด เราสามารถคำนวณหาจำนวน step ต่อรอบ ได้จากสูตร

$$s = 360 / \theta \quad \dots (1)$$

เมื่อ  $s$ : step number (step/rev.)

$\theta$ : step angle (degree/step)

stepping motor ที่ใช้ทั่วไปส่วนใหญ่จะมี  $s=200, 136, 96$

ถ้าเป็น stepping motor ที่มีความแม่นยำสูงอาจจะมี  $s=500$  หรือ  $1000$  steps/rev.

#### 1. ความแม่นยำของตำแหน่ง

การเคลื่อนไปตามตำแหน่งอย่างแม่นยำจะเป็นตัวตัดสินคุณภาพของ stepping motor ซึ่งจะถูกออกแบบให้หมุนทีละ step angle ตามสัญญาณ pulse ที่ป้อนเข้ามาและหยุดในตำแหน่งที่ต้องการซึ่งความแม่นยำในขณะเคลื่อนแบบ no load ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของตัว stepping motor แต่ stepping motor ในขณะเคลื่อนที่แบบมี load จะทำให้ air gap ระหว่างตัว rotor และ pole ต่างจากขณะที่ไม่มี load หรือช่องว่าง air gap จะกว้างขึ้นนั่นเอง ซึ่งระยะกว้างของ air gap จะขึ้นอยู่กับการบิดเบือนของ maximum static torque ซึ่งยังแบ่งได้เป็น

- holding torque หมายถึง maximum static torque ที่ป้อนเข้าสู่เฟสของ stepping motor ที่ถูกกระตุ้นโดยทำให้เกิดการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
- detent torque หมายถึง maximum static torque ที่เกิดในเฟสของ stepping motor ที่ไม่มีการป้อนกระแสไฟ

stepping motor ที่ไม่ถูกกระตุ้น ซึ่งเป็น torque ที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรใน rotor ของ motor แบบแม่เหล็กถาวร ซึ่งไม่ทำให้เกิดการหมุนตัวเองของ stepping motor ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว holding torque ยิ่งมากเท่าใด ความผิดพลาดในตำแหน่งอันเนื่องมาจาก load ก็ยิ่งน้อย

ตำแหน่งขณะที่ stepping motor หยุดหมุน

- rest position or equilibrium position หมายถึงตำแหน่งที่ stepping motor มาหยุด เกิดจาก sequential logic ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง step อีก

- deten position หมายถึง ตำแหน่งที่ stepping motor แบบแม่เหล็กถาวร rotor หรือ stator หยุด เมื่อไม่มีการกระตุ้น

## 2. อัตราเร็ว stepping และความถี่ pulse

ความเร็วในการหมุนของ stepping motor จะอยู่ในเทอมของ step ต่อวินาที หรือ stepping rate ซึ่งมักจะนิยมใช้บอกความเร็วของ stepping motor เพราะใน stepping motor จำนวน pulse ที่ป้อนให้ logic sequencer จะเท่ากับ จำนวน step ที่ stepping motor เคลื่อนที่ไป ดังนั้นเราสามารถกำหนดความเร็วได้จากความถี่ของ pulse ที่ป้อนเข้า motor ได้

การเปรียบเทียบความเร็วของ stepping motor จากแบบ stepping rate ซึ่งให้ค่าที่ไม่มาตรฐาน (ขึ้นอยู่กับจำนวน step ของ stepping motor แต่ละตัว) มาเป็นจำนวนรอบต่อวินาที (rotation speed) จะได้ความสัมพันธ์คือ

$$n = 60f/s \quad \dots(2)$$

โดยที่  $n$  : rotational speed (rpm.)

$f$  : stepping rate (step/sec)

$s$  : stepping number (step/rev.)

## 3. ลักษณะการทำงาน of stepping motor

Stepping motor ที่เห็นกันในปัจจุบัน แบ่งได้ 3 แบบคือ

- 1) แบบแม่เหล็กถาวร (PM = Permanent Magnet)
- 2) แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (VR = Variable Reluctance)
- 3) แบบลูกผสม (H = Hybrid)

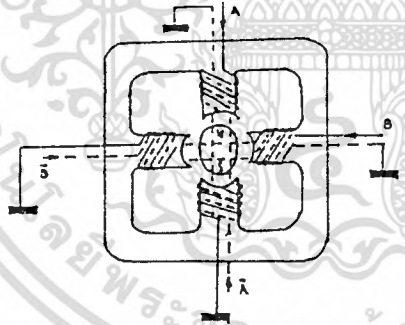
Stepping motor แบบ PM นั้นจะมี stator ที่พันขดลวดไว้หลายๆโพล โดยมีโรเตอร์เป็นรูปทรงกระบอกฟันเลื่อยและทำด้วยแม่เหล็กถาวร เพื่อป้อนไฟ DC ให้กับขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่นอนขาดให้เข้าไปใช้ประโยชน์คุณงานการค้า stator จะทำให้เกิดแรงผลักต่อโรเตอร์ด้วย อิเล็กโตรแมกเนติก ฟอर्स จะทำให้มอเตอร์ไม่วากกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

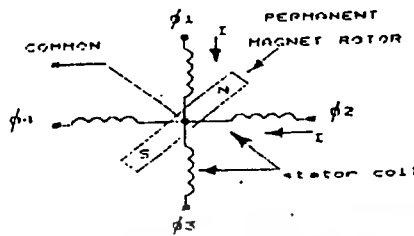
มอเตอร์หมุน มอเตอร์แบบ PM จะเกิดแรงดูดยึดให้ rotor หยุดอยู่กับที่แม้จะไม่ได้ป้อนไฟเข้าขดลวด

ส่วน VR จะมีการหมุน rotor ได้อย่างอิสระแม้จะไม่ได้จ่ายไฟให้ rotor ของมัน ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติกขนาดกำลังอ่อน และมีลักษณะเป็นพื้นเลื้อยรูปทรงกระบอก โดยจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโพลใน stator และจึงทำหน้าที่กำหนดมุมที่หมุนไปในแต่ละครั้งเพื่อป้อนไฟเข้าขดลวด stator แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไปหมุน rotor ให้หมุนในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำสุด ตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพ แต่จะเกิดขึ้นได้หลายๆจุด ดังนั้นเมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่างๆในมอเตอร์แตกต่างกันก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปต่างๆกัน rotor ของ VR จะมีความเฉื่อยของ rotor น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์แบบ PM

สำหรับ Hybrid จะเป็นลูกผสมของ VR กับ PM โดยจะมี stator คล้ายกับที่ใช้ใน VR สำหรับ rotor มีหมวกหุ้มปลาย ซึ่งมีลักษณะเป็นสารแม่เหล็กกำลังสูง โดยการควบคุมขนาดรูปร่างของหมวกแม่เหล็กอย่างดี ทำให้ได้มุมการหมุนแต่ละครั้งน้อยและแม่นยำ ข้อดีก็คือ ให้แรงบิดสูง มีขนาดกระทัดรัด และให้แรงดูดยึด rotor หนึ่งกับตอนที่จ่ายไฟ



รูปที่3.1 แสดงโครงสร้างภายใน stepping motor แบบหลายขั้ว



รูปที่ 3.2 แสดงโครงจำลองของ stepping motor ชนิด 4 เฟส และตำแหน่งของ rotor ขณะจ่ายกระแสไฟฟ้าแก่  $\phi_1$  และ  $\phi_2$

เฟสที่จ่ายกระแสไฟฟ้า	$\phi_1$	$\phi_1\phi_2$	$\phi_2$	$\phi_2\phi_3$	$\phi_3$	$\phi_3\phi_4$	$\phi_4$	$\phi_4\phi_1$
ตำแหน่งโรเตอร์								

รูปที่ 3.3 แสดงมุมของ rotor เทียบกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายแก่เฟสต่างๆ 8 ตำแหน่ง

จากลักษณะของมุม rotor ที่หมุนกับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนแก่เฟสต่าง เราสามารถสั่งงานให้ stepping motor หมุนได้หลายลักษณะ คือ

1) แบบจ่ายกระแสไฟให้เฟสเดียววนเวียนกันไป เรียก "One-excitation" หรือ "Full step - active 1 phase" คือ  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$  การ out excitation แบบนี้แรงบิดจะน้อย

2) แบบจ่ายกระแสไฟให้พร้อมกันทีละ 2 เฟส เรียก "Two-excitation" หรือ "Full step active 2 phase" คือ  $\phi_1\phi_2, \phi_2\phi_3, \phi_3\phi_4, \phi_4\phi_1$  หมุนเวียนกันไปแบบนี้แรงบิดจะมาก

3) แบบจ่ายไฟให้พร้อมกันทีละ 3 เฟส เรียก "Three-excitation" หรือ "Full step active 3 phase" คือ  $\phi_1\phi_2\phi_3, \phi_2\phi_3\phi_4, \phi_3\phi_4\phi_1, \phi_4\phi_1\phi_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) แบบจ่ายกระแสไฟให้ทีละ 1 เฟส สลับกับ 2 เฟส เรียก "One-Two-excitation" หรือ "Half step" เหมือนรูปแสดงมุมของ rotor แต่แบบนี้จำนวน step จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของสามแบบแรก แต่แรงบิดเฉลี่ยจะน้อย

5) แบบจ่ายกระแสไฟให้ทีละ 2 เฟส สลับกับ 3 เฟส เรียก "Two-Three-excitation" หรือ "Half step" เหมือนรูปแสดงมุมของ rotor แต่แบบนี้จำนวน step จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของสามแบบแรกคล้ายแบบที่ 4 แต่แรงบิดเฉลี่ยจะมากกว่า

จากการจ่ายกระแสไฟให้ทั้ง 3 อย่าง เราก็สามารถสั่งให้ stepping motor หมุนตามเข็มนาฬิกา ถ้าต้องการให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาได้โดยมองการจ่ายกระแสไฟเฟสย้อนกลับ

หมุนตามเข็มนาฬิกา (cw)				หมุนทวนเข็มนาฬิกา (ccw)			
$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$	$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$
0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	1

ตารางที่ 3.1 ONE-EXCITATION หรือ FULL STEP ACTIVE 1 PHASE

หมุนตามเข็มนาฬิกา (cw)				หมุนทวนเข็มนาฬิกา (ccw)			
$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$	$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$
0	0	1	1	1	0	0	1
0	1	1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	0	0	1	0	0	1	1

ตารางที่ 3.2 TWO-EXCITATION หรือ FULL STEP ACTIVE 2 PHASE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนตามเข็มนาฬิกา(cw)

$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$
0	1	1	1
1	1	1	0
1	1	0	1
1	0	1	1

หมุนทวนเข็มนาฬิกา(ccw)

$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$
1	1	1	0
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	0	1

ตารางที่ 3.3 THREE-EXCITATION หรือ FULL STEP ACTIVE 3 PHASE

หมุนตามเข็มนาฬิกา(cw)

$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$
0	0	0	1
0	0	1	1
0	0	1	0
0	1	1	0
0	1	0	0
1	1	0	0
1	0	0	0
1	0	0	1

หมุนทวนเข็มนาฬิกา(ccw)

$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$
1	0	0	0
1	1	0	0
0	1	0	0
0	1	1	0
0	0	1	0
0	0	1	1
0	0	0	1
1	0	0	1

ตารางที่ 3.4 ONE-TWO-EXCITATION หรือ HALF STEP 1,2

หมุนตามเข็มนาฬิกา (cw)

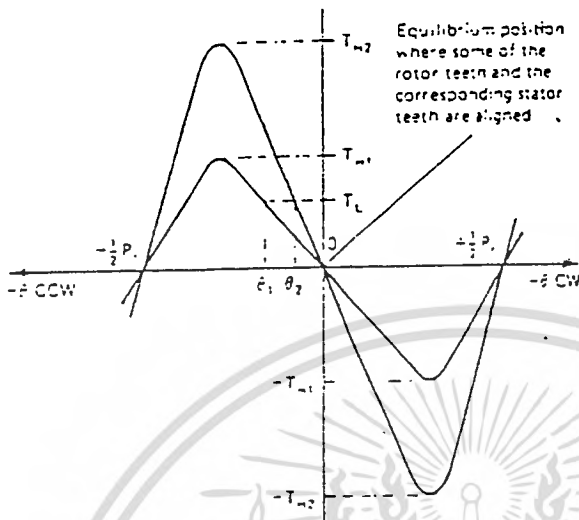
$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$
0	0	1	1
0	1	1	1
0	1	1	0
1	1	1	0
1	1	0	0
1	1	0	1
1	0	0	1
1	0	1	1

หมุนทวนเข็มนาฬิกา (ccw)

$\phi_4$	$\phi_3$	$\phi_2$	$\phi_1$
1	1	0	0
1	1	1	0
0	1	1	0
0	1	1	1
0	0	1	1
1	0	1	1
1	0	0	1
1	1	0	1

ตารางที่ 3.5 TWO-THREE-EXCITATION หรือ HALF STEP 2,3

4. ลักษณะเฉพาะของแรงบิดสถิตย์ (static torque) ใน stepping motor  
 เมื่อมีฟันบางซี่ของ rotor อยู่ในแนวเดียวกับ stator จุดนั้นจะเป็นจุดสมดุล  
 ของ rotor มันจะอยู่ในตำแหน่งนั้นจนกว่ามันจะได้รับสัปดาห์กระตุ้นเฟสอีก จุด rotor  
 สมดุลคือจุด 0 ดังในรูป



รูปที่ 3.4 ลักษณะเฉพาะของแรงบิดสถิตย์ของ stepping motor

- ที่จุด 0 นั้น stepping motor จะไม่มีแรงบิดเกิดขึ้น
- ถ้า rotor ถูกหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาด้วยมุม  $\theta_1$  โดย load ภายนอก ( $T_L$ ) stepping motor แรงบิดจะมีค่าเป็นบวกในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เพื่อปรับจุดสมดุลย์กับ load
- ถ้า rotor ถูกหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา stepping motor ก็จะสร้างแรงบิดย้อนกลับในทิศทางตรงข้าม

เราจึงเรียกแรงบิดนี้ว่า "แรงบิดส่งคืน" (restoring torque) ซึ่งจะมีทิศทางเขาหาจุดสมดุลย์ stepping motor อาจจะไม่สามารถสร้างแรงส่งคืนให้ rotor เคลื่อนที่เข้าหาจุดสมดุลย์ได้ ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ซึ่งจะน้อยกว่า 1 องศา

สามารถหาความสัมพันธ์ได้จาก

$$T_L = -T_H \sin(N_r * \theta_{error})$$

$$\text{or } \theta_{error} = (\sin^{-1}(-T_L/T_H))/N_r \quad \dots (3)$$

เช่น สมมติว่า  $T_H = 100 \text{ Nm}$  สำหรับ Hybrid stepping motor 4 phase ที่มี

$N_r = 50$  ,  $T_L = 40 \text{ Nm}$  ที่ถูกป้อนให้เคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา

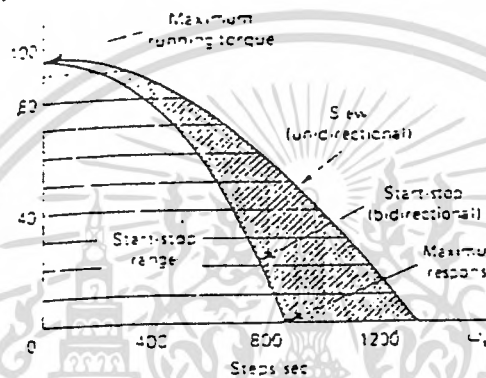
ความคลาดเคลื่อนด้านตำแหน่ง  $\theta_{error} = (\sin^{-1}(-40/-100))/50 = 0.47$  องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า คิดเป็น 26 % ของ step angle ซึ่งมีค่า = 1.8 องศา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5% ของความห่างของฟัน rotor ซึ่งเท่ากับ 7.2 องศา  
 ถ้าสมมติ load เรลาดลงเป็น  $T_L = 10 \text{ Nm}$   
 $\omega_{\text{error}} = 0.115 \text{ องศา}$

### 5. ลักษณะเฉพาะแรงบิดจลน์ (Dynamic torque) ของ stepping motor



รูปที่ 3.5 ลักษณะเฉพาะของแรงบิดกับความเร็วของ stepping motor

- ในช่วงที่น้อยกว่าเส้นโค้ง เริ่ม - หยุด (start - stop) ถ้า stepping motor ถูกใช้งานอยู่ในช่วงนี้ จะทำให้มอเตอร์หมุนเป็น step คือหมุนแล้วหยุด และเริ่มหมุนใหม่เมื่อได้รับ pulse ต่อไป
- ในช่วงบริเวณแรกๆ ระหว่างเส้นโค้งเริ่มหยุด กับเส้นโค้ง slew ถ้าหาก stepping motor ทำงานในช่วงนี้ มันจะหมุนไปอย่างต่อเนื่อง คือไม่มีการหยุดเป็น step
- นอกช่วง slew ถ้าหาก stepping motor ทำงานอยู่นอกเส้นโค้ง slew จะทำให้เกิดการแกว่ง (oscillate) หรือควบคุมไม่ได้ หรือไม่อาจจุด rotor ให้หมุนได้

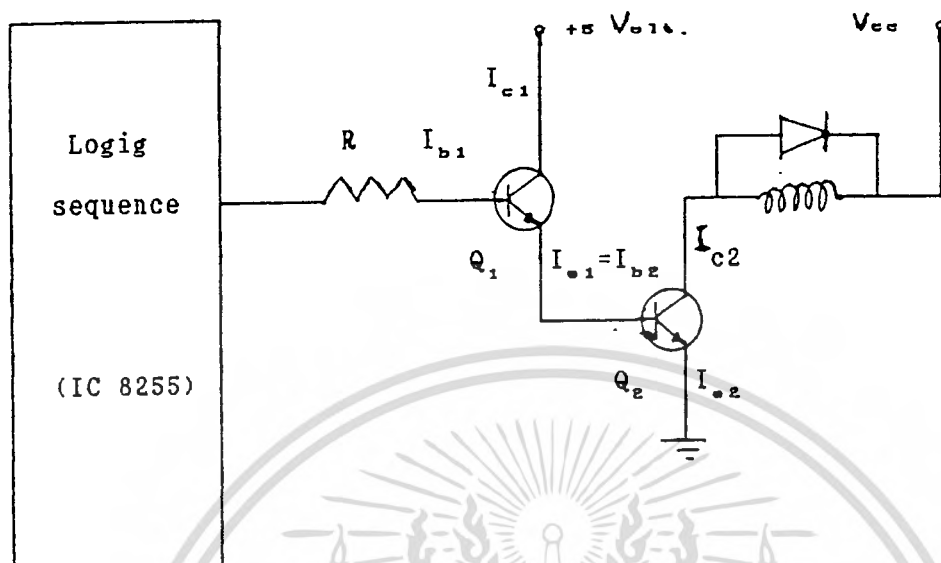
#### การออกแบบวงจรขับ (drive circuit)

การควบคุมใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวปิด-เปิด ในการจ่ายกระแสให้กับขดลวดของ stepping motor จากป้ายชื่อ (name plate) ของ stepping motor ที่โครงการเราใช้

5.2 volt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง 1.4 amp. การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง 1.8 Degree/step หา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรใช้ทรานซิสเตอร์ (Q) 2 ตัว/เฟส



สัญญาณที่ออกจาก IC-8255 เมื่อเป็น high(1) จะมีแรงดัน 4-5 volt, 0.2 mA.

$$\text{จาก } I_c = \beta I_b$$

$$I_e = (\beta + 1) I_b$$

$$V_{be} = 0.6 \text{ Volt.}$$

$$\text{จากวงจรจะได้ } I_{b1} = I_{c2} / ((\beta_1 + 1)\beta_2) \dots (4)$$

$$\text{สมมติเลือก } \beta_1 = 100, \beta_2 = 75$$

stepping motor ต้องการกระแส 1.4 Amp.

$$I_{b1} = 1.4 / ((100 + 1)75)$$

$$= 0.185 \text{ mA.}$$

ซึ่ง  $I_{b1}$  ค่านี IC-8255 สามารถจ่ายได้

$$R = (4 - V_{be1} - V_{be2}) / I_{b1}$$

$$= (4 - 0.6 - 0.6) / 0.185 \times 10^{-3}$$

$$= 15.13 \text{ KOhm.}$$

เราสามารถให้  $R = 15k$  ได้เพราะ  $I_{c2}$  เพิ่มขึ้นมาก (0.014 Amp.)

ไม่เป็นอันตรายต่อ stepping motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4. ไมโครโพรเซสเซอร์และการควบคุมไอซี

### ข้อดีข้อเสียของไมโครโพรเซสเซอร์

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการทำงานและความสามารถของไมโครโพรเซสเซอร์กับอุปกรณ์ลอจิกแบบต่างๆแล้วเราสามารถแยกแยะข้อดีข้อเสียได้ดังนี้

**ข้อดี**

ความยืดหยุ่น (Flexibility) ข้อดีหลักของไมโครโพรเซสเซอร์คือความสามารถที่ยืดหยุ่นได้หมายความว่าเมื่อออกแบบสร้างวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอมพิวเตอร์หรือที่เราเรียกว่า ฮาร์ดแวร์ (Hardware) เพื่อให้ได้ระบบที่จะทำงานได้ตามต้องการแล้วจากนั้นก็เป็นการพัฒนาโปรแกรมหรือที่เราเรียกว่าซอฟต์แวร์ (Software) เพื่อควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้น และเมื่อมีความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันการทำงานของระบบที่สร้างขึ้นเพียงบางอย่างก็สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานเท่านั้นไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์

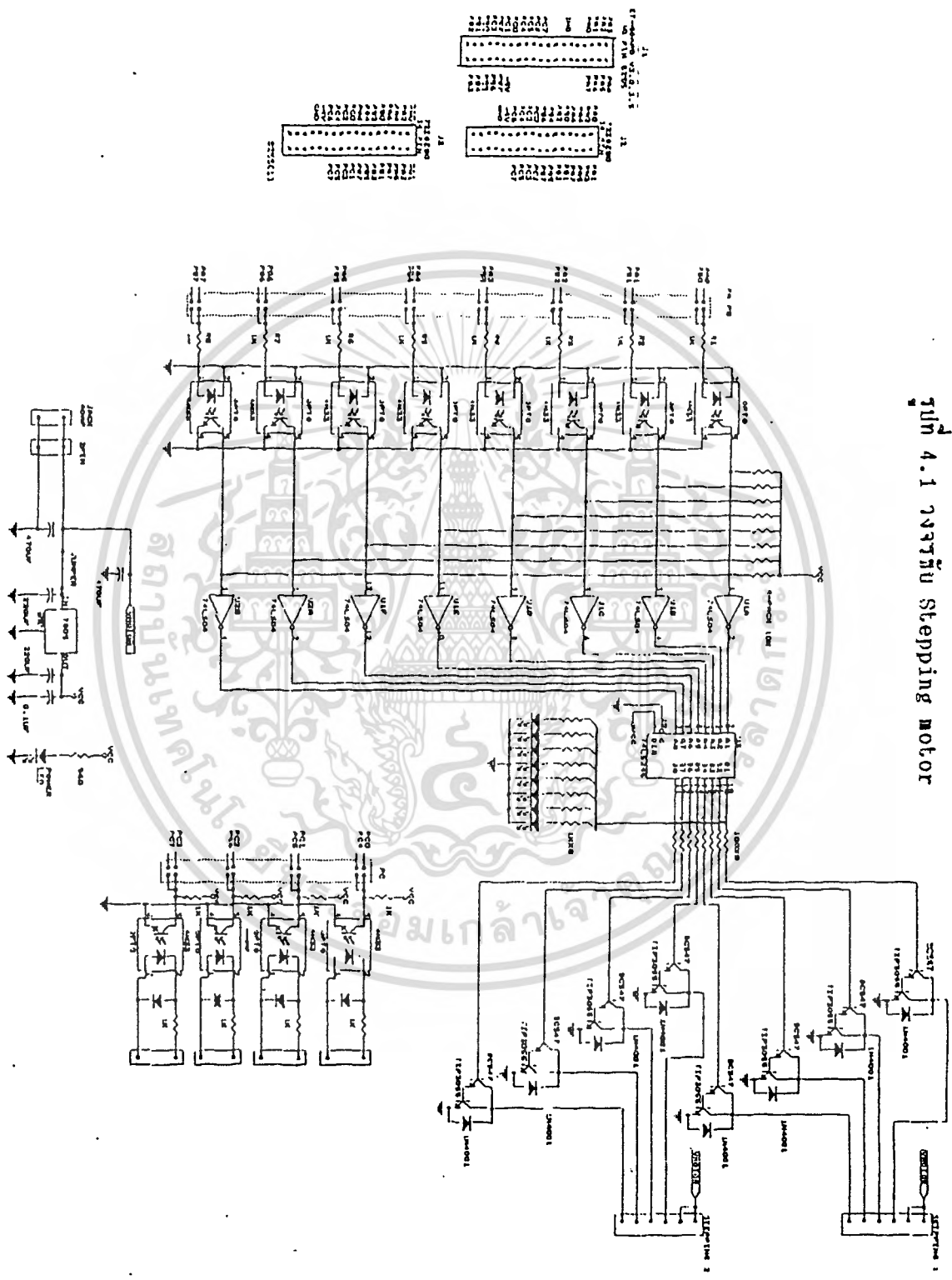
ราคา เมื่อใช้ไมโครโพรเซสเซอร์มาแทนวงจรลอจิกจะทำให้สามารถลดจำนวนของอุปกรณ์ลอจิกเช่นเกตต่างๆหรือฟลิปฟล็อปลงไปได้เป็นอย่างมาก นั้นหมายความว่าขนาดวงจรจะเล็กลงและราคาจะต่ำลงด้วย เนื่องจากราคาของไมโครโพรเซสเซอร์จะต่ำลงเมื่อเทคโนโลยีในการผลิตไอซีก้าวหน้าขึ้น

### ข้อเสีย

ความเร็ว เนื่องจากไมโครโพรเซสเซอร์ใช้เทคโนโลยีการผลิตไอซีแบบ MOS ซึ่งไอซีแบบนี้มีการทำงานที่ช้ากว่าไอซีในตระกูล TTL หรือ ECL อีกทั้งการทำงานของไมโครโพรเซสเซอร์ต้องทำตามคำสั่งที่กำหนดไว้ให้แล้วในหน่วยความจำ ซึ่งในการทำงานในแต่ละคำสั่งนั้นจะต้องใช้เวลาอ่านคำสั่งมาจากหน่วยความจำ ตัดความ แล้วจึงทำงาน ดังนั้นงานหนึ่งๆจะทำให้สำเร็จได้ก็ต้องมีโปรแกรมเพื่อควบคุมให้ทำงานตามที่ต้องการ ดังนั้นกว่าจะทำโปรแกรมเสร็จก็ต้องใช้เวลาระยะหนึ่งแต่ในระบบที่ใช้วงจรลอจิกความเร็วในการทำงานจำกัดโดยค่าหน่วยเวลาของลอจิกเกตตระกูลนั้นๆ ซึ่งค่าหน่วยเวลานี้มีค่าต่ำมาก

ซอฟต์แวร์ จากที่กล่าวมาแล้วว่าการที่จะให้ระบบที่มีไมโครโพรเซสเซอร์สามารถทำงานได้จะต้องมีโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ การพัฒนาซอฟต์แวร์ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความคุ้นเคยกับไมโครโพรเซสเซอร์ที่ใช้เพื่อที่จะได้สามารถเขียนโปรแกรมให้ทำงานตามที่ต้องการได้

รูปที่ 4.1 วงจรขับ Stepping Motor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวเจาะ

2000	3E 80	STMST	LD	A, 80H
2002	D3 23		OUT	(STMINT), A
2004	DD 21 3000		LD	IX, STMDAT
2008	DD 22 2FFF		LD	(STMBUF), IX

;

200C	3E 03		LD	A, CLEAR
200E	D7		RST	SYSCAL
200F	16 01		LD	D, 1
2011	01 0000		LD	BC, 0
2014	D5	STM	PUSH	DE
2015	C5		PUSH	BC
2016	CD 209A		CALL	STMDL
2019	21 3FFD		LD	HL, SYSFAG
201C	CB 86		RES	0, (HL)
201E	3E 80		LD	A, 80H
2020	32 3FE7		LD	(DISPY), A
2023	3E 02		LD	A, SCAN
2025	D7		RST	SYSCAL

;

2026	DD 2A 2FFE		LD	IX, (STMBUF)
202A	C1		POP	BC
202B	D1		POP	DE

;

202C	FE 04	STMR	CP	4
202E	20 0F		JR	NZ, STML
2030	CD 206B		CALL	STMRT
2033	07		RLCA	
2034	FE 10		CP	10H

2036	20 02		JR	NZ, STMR1
------	-------	--	----	-----------

;

2038	3E 01		LD	A,1
203A	CD 207B	STMR1	CALL	STMRT1
203D	18 D5		JR	STM
203F	FE 05	STML	CP	5
2041	20 0F		JR	NZ,STMRN
2043	CD 206B		CALL	STMRT
2046	0F		RRCA	
2047	FE 80		CP	80H
2049	20 02		JR	NZ,STML1
;				
204B	3E 08		LD	A,8
204D	CD 207B	STMI,1	CALL	STMRT1
2050	18 C2		JR	STM
;				
2052	FE 06	STMRN	CP	6
2054	20 BE		JR	NZ,STM
2056	DD 2B		DEC	IX
2058	C5		PUSH	BC
2059	CD 2084	STMRN1	CALL	STMGO
205C	20 FB		JR	NZ,STMRN1
205E	C1		POP	BC
205F	CD 2084	STMRN2	CALL	STMGO
2062	DD 23		INC	IX
2064	DD 23		INC	IX
2066	20 F7		JR	NZ,STMRN2
;				
2068	3E 00	STMEN	LD	A,MON
206A	D7		RST	SYSCAL

;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

206F 7A          LD      A,D
2070 DD 77 00   LD      (IX+0),A
2073 D3 01      OUT     (SEGM),A
2075 D3 20      OUT     (STMOP),A
2077 CD 209A    CALL   STMDL
207A C9         RET

```

;

```

207B 57          STMRT1 LD      D,A
207C DD 23       INC     IX
207E DD 22 2FFE  LD      (STMBUF),IX
2082 03         INC     BC
2083 C9         RET

```

;

```

2084 C5          STMGO  PUSH   BC
2085 3E 06      LD      A,6
2087 D3 02      OUT     (DIGIT),A
2089 DD 7E 00   LD      A,(IX+0)
208C D3 01      OUT     (SEGM),A
208E D3 20      OUT     (STMOP),A
2090 CD 209A    CALL   STMDL
2093 C1         POP     BC
2094 DD 2B      DEC     IX
2096 0B         DEC     BC
2097 78         LD      A,B
2098 B1         OR      C
2099 C9         RET

```

;

```

209A 08          STMDL  EX     AF,AF'
209B 21 1500    LD      HL,1500H
209E 2B         STMDL1 DEC    HL
209F 7C         LD      A,H

```

```

20A0 B5         OR      L

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20A1	20	FB		JR	NZ,STMDL1
20A3	08			EX	AF,AF'
20A4	C9			RET	
20A5	01	8502		LD	BC,0285
20A8	3E	80		LD	A,80H
20AA	D3	23		OUT	DA,23
20AC	11	00 27	X3	LD	DE,2700H
20B0	1A			LD	A,(DE)
20B1	CD	20 20		CALL	DELAY
20B4	D3	20		OUT	(STP),A
20B6	FE	83		CP	83
20B8	20	06		JR	NZ X1
20BA	11	00 27		LD	DE,2700H
20BD	C3	16 20		JR	X2
20C0	13		X1	INC	(DE)
20C1	06		X2	DEC	BC
20C2	78			LD	A,B
20C3	61			OR	C
20C4	20	EA		JR	NZ X3
20C6	F5			PUSH	AF
20C7	21	00 20		LD	HL,2000H
20CA	2B		X4	DEC	HL
20CB	7C			LD	A,H
20CC	B5			OR	L
20CD	20	F6		JR	NZ X4
20CF	F1			POP	AF
20D0	C9			RET	
20D1	C9			END	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปและวิจารณ์

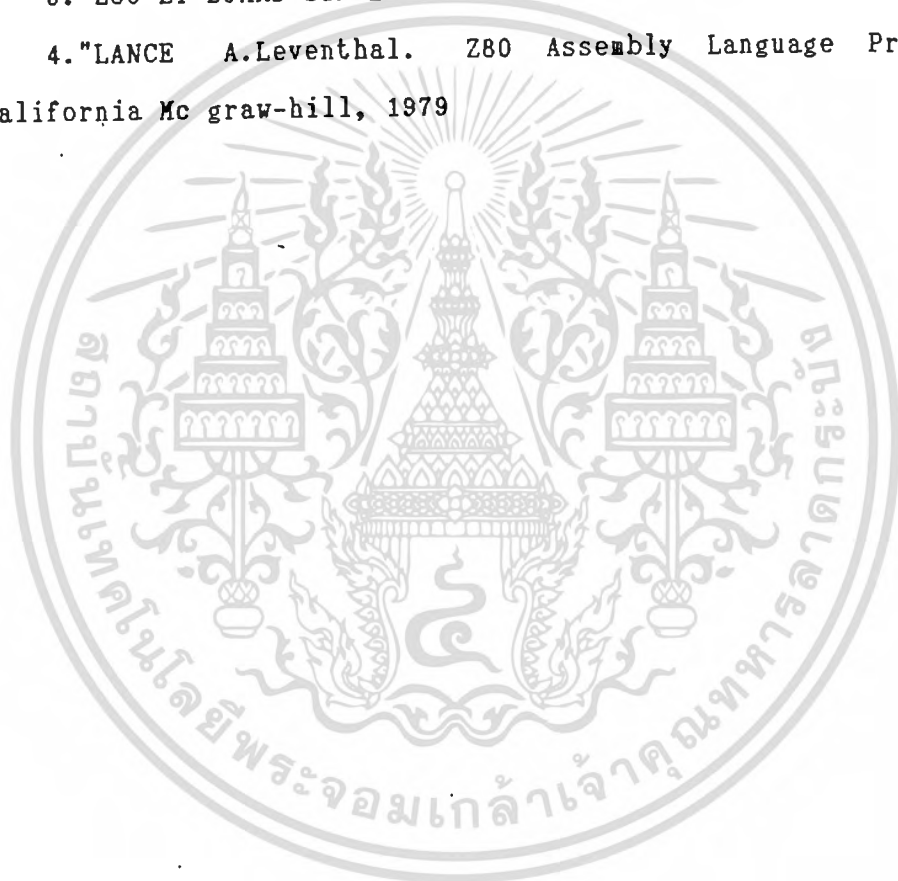
จากจุดประสงค์ของโครงการนี้คือต้องการควบคุมอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเจาะให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการใช้งาน จากการทดลองให้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจคือสามารถปรับอัตราเร็วให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ แต่ถ้ามีความเร็วมากเกินไปจะทำให้มอเตอร์มีแรงบิดน้อยไม่สามารถขับ Ball Screw ได้

ปัญหาที่พบในโครงการนี้คือ

- Stepping motor ที่ใช้ในการหมุนหัวเจาะมีขนาดใหญ่เกินไปทำให้ Ball Screw ต้องรับภาระหนักเกินความจำเป็น
- ส่วนที่เป็น Guide Line มีความผิดสูงทำให้ชิ้นส่วนเกิดการสึกหรอ ควรจะเปลี่ยนไปใช้ Slider แทน
- หม้อแปลงที่ใช้ต้องให้กระแสสูงจึงจะสามารถใช้งานได้
- ไมโครโปรเซสเซอร์มีข้อจำกัดทางหน่วยความจำซึ่งมีผลทำให้เรากำหนดตัวแปรได้น้อย เพราะฉะนั้น ผู้ที่ใช้จะต้องมีความชำนาญค่อนข้างสูง

## หนังสืออ้างอิง

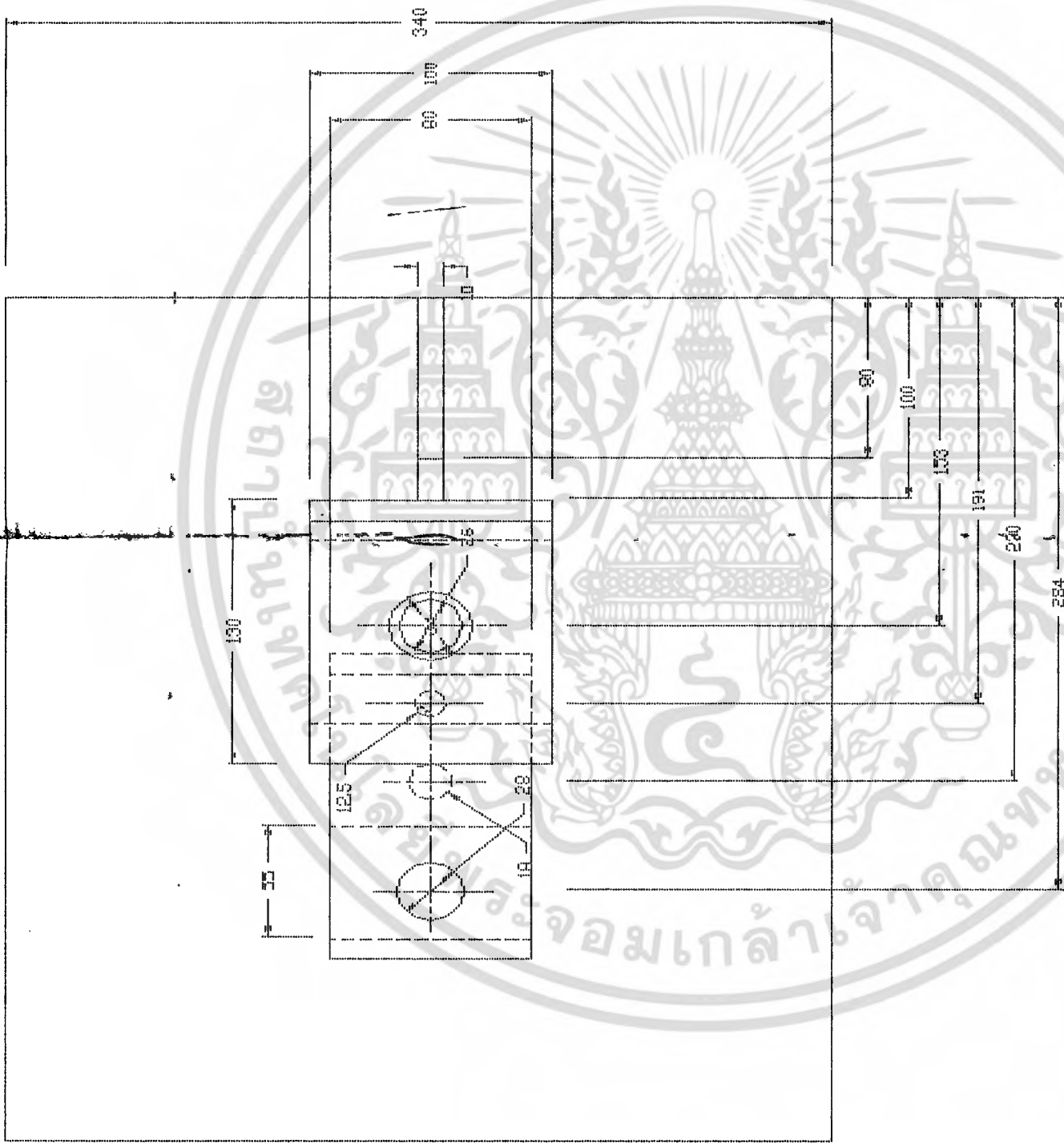
1. เอกสารการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง "การประยุกต์ใช้เครื่อง EDM. ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ละเอียด" , สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม , 2534
2. ไมโครโปรเซสเซอร์ , วิบูลย์ ชื่นแขก , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2532
3. "Z80 ET-BOARD SINGLE BOARD MICROCOMPUTER" , ETT CO.,LTD , 2532
4. "LANCE A. Leventhal. Z80 Assembly Language Programing" California Mc graw-hill, 1979



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

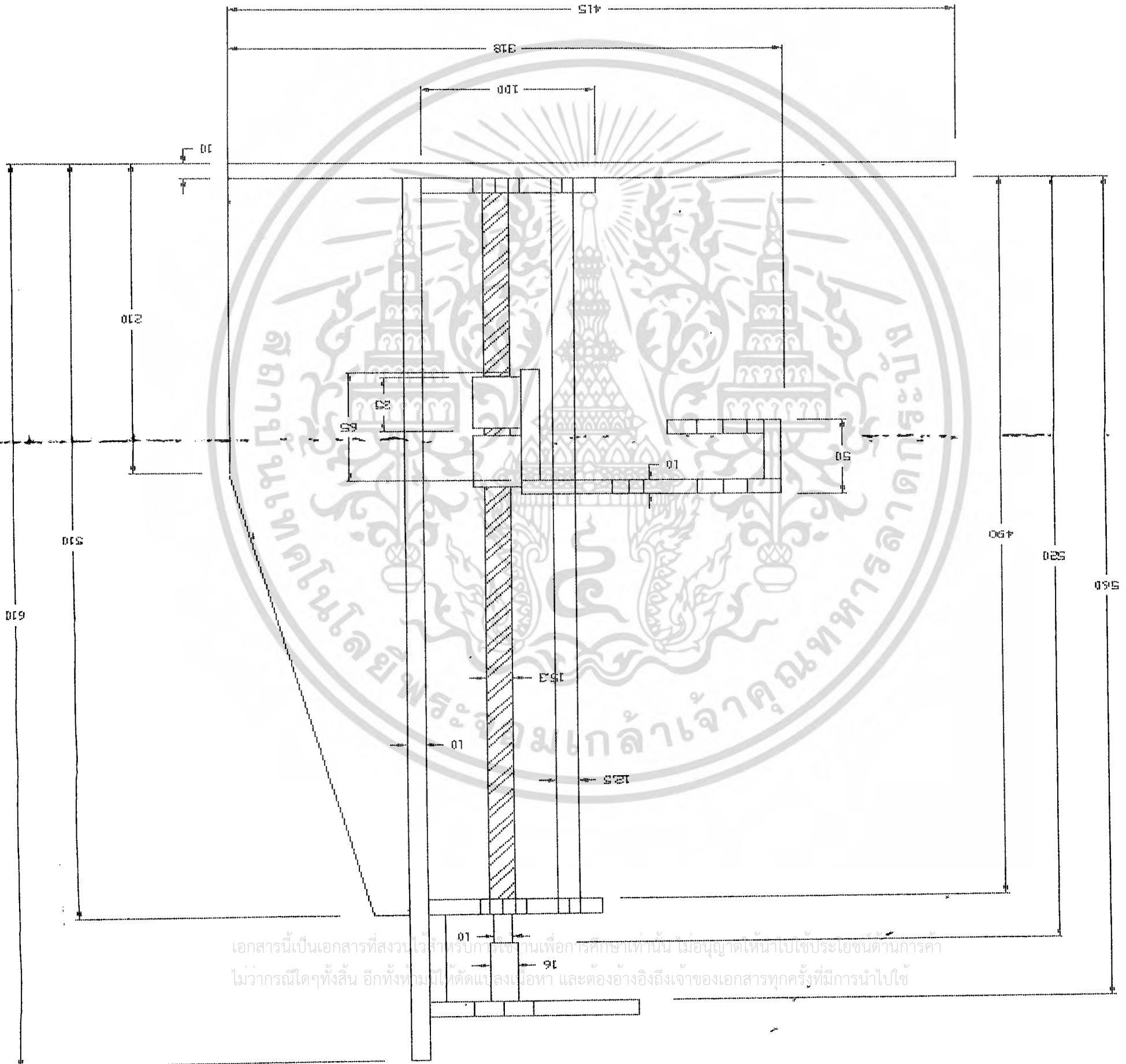


TOP VIEW

SCALE 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FRONT VIEW  
SCALE 1:3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำรายงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อตกลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดง OBJECT CODE ของ ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT	OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
8E	ADC A,(HL)	E620	AND n
008E05	ADC A,(IX+d)	C846	BIT 0,(HL)
F08E05	ADC A,(IY+d)	DOC80546	BIT 0,(IX+d)
8F	ADC A,A	FDC80546	BIT 0,(IY+d)
88	ADC A,B	C847	BIT 0,A
89	ADC A,C	C840	BIT 0,B
8A	ADC A,D	C841	BIT 0,C
8B	ADC A,E	C842	BIT 0,D
8C	ADC A,H	C843	BIT 0,E
8D	ADC A,L	C844	BIT 0,H
CE20	ADC A,n	C845	BIT 0,L
ED4A	ADC HL,BC	C84E	BIT 1 (HL)
ED5A	ADC HL,DE	DOC8054E	BIT 1,(IX+d)
ED6A	ADC HL,HL	FDC8054E	BIT 1,(IY+d)
ED7A	ADC HL,SP	C84F	BIT 1,A
86	ADD A,(HL)	C848	BIT 1,B
008605	ADD A,(IX+d)	C849	BIT 1,C
F08605	ADD A,(IY+d)	C84A	BIT 1,D
87	ADD A,A	C84B	BIT 1,E
80	ADD A,B	C84C	BIT 1,H
81	ADD A,C	C84D	BIT 1,L
82	ADD A,D	C856	BIT 2,(HL)
83	ADD A,E	DOC80556	BIT 2,(IX+d)
84	ADD A,H	FDC80556	BIT 2,(IY+d)
85	ADD A,L	C857	BIT 2,A
C620	ADD A,n	C850	BIT 2,B
09	ADD HL,BC	C851	BIT 2,C
19	ADD HL,DE	C852	BIT 2,D
29	ADD HL,HL	C853	BIT 2,E
39	ADD HL,SP	C854	BIT 2,H
0009	ADD IX,BC	C855	BIT 2,L
0019	ADD IX,DE	C85E	BIT 3,(HL)
0029	ADD IX,IX	DOC8055E	BIT 3,(IX+d)
0039	ADD IX,SP	FDC8055E	BIT 3,(IY+d)
F009	ADD IY,BC	C85F	BIT 3,A
F019	ADD IY,DE	C858	BIT 3,B
F029	ADD IY,IY	C859	BIT 3,C
F039	ADD IY,SP	C85A	BIT 3,D
A6	AND (HL)	C85B	BIT 3,E
DDA605	AND (IX+d)	C85C	BIT 3,H
FOA605	AND (IY+d)	C85D	BIT 3,L
A7	AND A	C866	BIT 4,(HL)
A0	AND B	DOC80566	BIT 4,(IX+d)
A1	AND C	FDC80566	BIT 4,(IY+d)
A2	AND D	C867	BIT 4,A
A3	AND E	C860	BIT 4,B
A4	AND H	C861	BIT 4,C
A5	AND L	C862	BIT 4,D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
C863	BIT 4,E
C864	BIT 4,H
C865	BIT 4,L
C86E	BIT 5,(HL)
DDC8056E	BIT 5,(IX+d)
FDC8056E	BIT 5,(IY+d)
C86F	BIT 5,A
C868	BIT 5,B
C869	BIT 5,C
C86A	BIT 5,D
C86B	BIT 5,E
C86C	BIT 5,H
C86D	BIT 5,L
C876	BIT 6,(HL)
DDC80576	BIT 6,(IX+d)
FDC80576	BIT 6,(IY+d)
C877	BIT 6,A
C870	BIT 6,B
C871	BIT 6,C
C872	BIT 6,D
C873	BIT 6,E
C874	BIT 6,H
C875	BIT 6,L
C87E	BIT 7,(HL)
DDC8057E	BIT 7,(IX+d)
FDC8067E	BIT 7,(IY+d)
C87F	BIT 7,A
C878	BIT 7,B
C879	BIT 7,C
C87A	BIT 7,D
C87B	BIT 7,E
C87C	BIT 7,H
C87D	BIT 7,L
DC8405	CALL C,nn
FC8405	CALL M,nn
D48405	CALL NC,nn
C48405	CALL NZ,nn
F48405	CALL P,nn
EC8405	CALL PE,nn
E48405	CALL PO,nn
CC8405	CALL Z,nn
CD8405	CALL nn
3F	CCF-
8E	CP (HL)
DD8E05	CP (IX+d)
FD8E05	CP (IY+d)
8F	CP A
88	CP B
89	CP C
8A	CP D
8B	CP E
8C	CP H
8D	CP L
FE20	CP n
EOA9	CPD
EO89	CPDR

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
EDB1	CPIR
EDA1	CPI
2F	CPL
27	DAA
35	DEC (HL)
DD3505	DEC (IX+d)
FD3505	DEC (IY+d)
30	DEC A
05	DEC B
08	DEC BC
00	DEC C
15	DEC D
18	DEC DE
10	DEC E
25	DEC H
28	DEC HL
DD28	DEC IX
FD28	DEC IY
20	DEC L
38	DEC SP
F3	DI
102E	DJNZ e
FB	EI
E3	EX (SP),HL
ODE3	EX (SP),IX
FDE3	EX (SP),IY
08	EX AF,AF'
EB	EX DE,HL
O9	EXX
76	HALT
ED46	IM 0
ED56	IM 1
ED5E	IM 2
ED78	IN A,(C)
ED40	IN B,(C)
ED48	IN C,(C)
ED50	IN D,(C)
ED58	IN E,(C)
ED60	IN H,(C)
ED68	IN L,(C)
34	INC (HL)
DD3405	INC (IX+d)
FD3405	INC (IY+d)
3C	INC A
04	INC B
03	INC BC
0C	INC C
14	INC D
13	INC DE
1C	INC E
24	INC H
23	INC HL
DD23	INC IX
FD23	INC IY
2C	INC L
33	INC SP
DB20	IN A,(n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
EDAA	IND
EDBA	INDR
EDA2	INI
EDB2	INIR
C38405	JP nn
E9	JP (HL)
DDE9	JP (IX)
FDE9	JP (IY)
DA8405	JP C,nn
FA8405	JP M,nn
D28405	JP NC,nn
C28405	JP NZ,nn
F28405	JP P,nn
EA8405	JP PE,nn
E28405	JP PO,nn
CA8405	JP Z,nn
382E	JR C,e
302E	JR NC,e
202E	JR NZ,e
282E	JR Z,e
182E	JR e,HL
02	LD (BC),A
12	LD (DE),A
77	LD (HL),A
70	LD (HL),B
71	LD (HL),C
72	LD (HL),D
73	LD (HL),E
74	LD (HL),H
75	LD (HL),L
3620	LD (HL),n
DD7705	LD (IX+d),A
DD7005	LD (IX+d),B
DD7105	LD (IX+d),C
DD7205	LD (IX+d),D
DD7305	LD (IX+d),E
DD7405	LD (IX+d),H
DD7505	LD (IX+d),L
DD360520	LD (IX+d),n
FD7705	LD (IY+d),A
FD7005	LD (IY+d),B
FD7105	LD (IY+d),C
FD7205	LD (IY+d),D
FD7305	LD (IY+d),E
FD7405	LD (IY+d),H
FD7505	LD (IY+d),L
FD360520	LD (IY+d),n
328405	LD (nn),A
ED438405	LD (nn),BC
ED538405	LD (nn),DE
228405	LD (nn),HL
DD228405	LD (nn),IX
FD228405	LD (nn),IY
ED738405	LD (nn),SP
0A	LD A,(BC)
1A	LD A,(DE)
7E	LD A,(HL)

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
DD7E05	LD A,(IX+d)
FD7E05	LD A,(IY+d)
3A8405	LD A,(nn),
7F	LD A,A
78	LD A,B
79	LD A,C
7A	LD A,D
7B	LD A,E
7C	LD A,H
ED57	LD A,I
7D	LD A,L
3E20	LD A,n
ED5F	LD A,R
46	LD B,(HL)
DD4605	LD B,(IX+d)
FD4605	LD B,(IY+d)
47	LD B,A
40	LD B,B
41	LD B,C
42	LD B,D
43	LD B,E
44	LD B,H
45	LD B,L
0620	LD B,n
ED488405	LD BC,(nn)
018405	LD BC,nn
4E	LD C,(HL)
DD4E05	LD C,(IX+d)
FD4E05	LD C,(IY+d)
4F	LD C,A
48	LD C,B
49	LD C,C
4A	LD C,D
4B	LD C,E
4C	LD C,H
4D	LD C,L
0E20	LD C,n
56	LD D,(HL)
DD5605	LD D,(IX+d)
FD5605	LD D,(IY+d)
57	LD D,A
50	LD D,B
51	LD D,C
52	LD D,D
53	LD D,E
54	LD D,H
55	LD D,L
1620	LD D,n
ED588405	LD DE,(nn)
118405	LD DE,nn
5E	LD E,(HL)
DD5E05	LD E,(IX+d)
FD5E05	LD E,(IY+d)
5F	LD E,A
58	LD E,B
59	LD E,C
5A	LD E,D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
5B	LD E,E
5C	LD E,H
5D	LD E,L
1E20	LD E,n
65	LD H,(HL)
DD6605	LD H,(IX+d)
FD6605	LD H,(IY+d)
67	LD H,A
60	LD H,B
61	LD H,C
62	LD H,D
63	LD H,E
64	LD H,H
65	LD H,L
2620	LD H,n
2A8405	LD HL,(nn)
218405	LD HL,nn
ED47	LD I,A
DD2A8405	LD IX,(nn)
DD218405	LD IX,nn
FD2A8405	LD IY,(nn)
FD218405	LD IY,nn
6E	LD L,(HL)
DD6E05	LD L,(IX+d)
FD6E05	LD L,(IY+d)
6F	LD L,A
68	LD L,B
69	LD L,C
6A	LD L,D
6B	LD L,E
6C	LD L,H
6D	LD L,L
2E20	LD L,n
ED4F	LD R,A
ED788405	LD SP,(nn)
F9	LD SP,HL
DDF9	LD SP,IX
DDF9	LD SP,IY
318405	LD SP,nn
EDA8	LDD
ED88	LODR
EDA0	LDI
ED80	LDIR
ED44	NEG
00	NOP
36	OR (HL)
DD8605	OR (IX+d)
FD8605	OR (IY+d)
87	OR A
80	OR B
81	OR C
82	OR D
83	OR E
84	OR H
85	OR L
F620	OR n
ED8B	OTDR

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
ED83	OTIR
ED79	OUT (C),A
ED41	OUT (C),B
ED49	OUT (C),C
ED51	OUT (C),D
ED59	OUT (C),E
ED61	OUT (C),H
ED69	OUT (C),L
D320	OUT (n),A
EDA8	OUTD
EDA3	OUTI
F1	POP AF
C1	POP BC
D1	POP DE
E1	POP HL
ODE1	POP IX
FDE1	POP IY
F5	PUSH AF
C5	PUSH BC
D5	PUSH DE
E5	PUSH HL
DOE5	PUSH IX
FDE5	PUSH IY
C886	RES 0,(HL)
DDC8058E	RES 0,(IX+d)
FDC8058E	RES 0,(IY+d)
C887	RES 0,A
C880	RES 0,B
C881	RES 0,C
C882	RES 0,D
C883	RES 0,E
C884	RES 0,H
C885	RES 0,L
C88E	RES 1,(HL)
DDC8058E	RES 1,(IX+d)
FDC8058E	RES 1,(IY+d)
C88F	RES 1,A
C888	RES 1,B
C889	RES 1,C
C88A	RES 1,D
C888	RES 1,E
C88C	RES 1,H
C88D	RES 1,L
C896	RES 2,(HL)
DDC80596	RES 2,(IX+d)
FDC80596	RES 2,(IY+d)
C897	RES 2,A
C890	RES 2,B
C891	RES 2,C
C892	RES 2,D
C893	RES 2,E
C894	RES 2,H
C895	RES 2,L
C89E	RES 3,(HL)
DDC8059E	RES 3,(IX+d)
FDC8059E	RES 3,(IY+d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
C89F	RES 3,A
C898	RES 3,B
C899	RES 3,C
C89A	RES 3,D
C89B	RES 3,E
C89C	RES 3,H
C89D	RES 3,L
C8A6	RES 4,(HL)
DDC805A6	RES 4,(IX+d)
FDC805A6	RES 4,(IY+d)
C8A7	RES 4,A
C8A0	RES 4,B
C8A1	RES 4,C
C8A2	RES 4,D
C8A3	RES 4,E
C8A4	RES 4,H
C8A5	RES 4,L
C8AE	RES 5,(HL)
DDC805AE	RES 5,(IX+d)
FDC805AE	RES 5,(IY+d)
C8AF	RES 5,A
C8A8	RES 5,B
C8A9	RES 5,C
C8AA	RES 5,D
C8AB	RES 5,E
C8AC	RES 5,H
C8AD	RES 5,L
C8B6	RES 6,(HL)
DDC805B6	RES 6,(IX+d)
FDC805B6	RES 6,(IY+d)
C8B7	RES 6,A
C8B0	RES 6,B
C8B1	RES 6,C
C8B2	RES 6,D
C8B3	RES 6,E
C8B4	RES 6,H
C8B5	RES 6,L
C8BE	RES 7,(HL)
DDC805BE	RES 7,(IX+d)
FDC805BE	RES 7,(IY+d)
C8BF	RES 7,A
C8B8	RES 7,B
C8B9	RES 7,C
C8BA	RES 7,D
C8BB	RES 7,E
C8BC	RES 7,H
C8BD	RES 7,L
C9	RET
D8	RET C
F8	RET M
D0	RET NC
C0	PET NZ
F0	RET P
E8	RET PE
E0	RET P0
C8	RET Z

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
ED40	RETI
ED45	RETN
C816	RL (HL)
DDC80516	RL (IX+d)
FDC80516	RL (IY+d)
C817	RL A
C810	RL B
C811	RL C
C812	RL D
C813	RL E
C814	RL H
C815	RL L
17	RLA
C806	RLC (HL)
DDC80506	RLC (IX+d)
FDC80506	RLC (IY+d)
C807	RLC A
C800	RLC B
C801	RLC C
C802	RLC D
C803	RLC E
C804	RLC H
C805	RLC L
07	RLCA
ED6F	RLO
C81E	RR (HL)
DDC8051E	RR (IX+d)
FDC8051E	RR (IY+d)
C81F	RR A
C818	RR B
C819	RR C
C81A	RR D
C81B	RR E
C81C	RR H
C81D	RR L
1F	RAA
C80E	RRC (HL)
DDC8050E	RRC (IX+d)
FDC8050E	RRC (IY+d)
C80F	RRC A
C808	RRC B
C809	RRC C
C80A	RRC D
C80B	RRC E
C80C	RRC H
C80D	RRC L
0F	RACA
ED67	RRO
C7	RST 00H
CF	RST 08H
D7	RST 10H
0F	RST 18H
E7	RST 20H
EF	RST 28H
F7	RST 30H
FF	RST 38H
DE20	SBC A,n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
9E	SBC A,(HL)
DD9E05	SBC A,(IX+d)
FD9E05	SBC A,(IY+d)
9F	SBC A,A
98	SBC A,B
99	SBC A,C
9A	SBC A,D
9B	SBC A,E
9C	SBC A,H
9D	SBC A,L
ED42	SBC HL,BC
ED52	SBC HL,DE
ED62	SBC HL,HL
ED72	SBC HL,SP
37	SCF
CBC6	SET 0,(HL)
DDC805C6	SET 0,(IX+d)
FDC805C6	SET 0,(IY+d)
CBC7	SET 0,A
CBC0	SET 0,B
CBC1	SET 0,C
CBC2	SET 0,D
CBC3	SET 0,E
CBC4	SET 0,H
CBC5	SET 0,L
CBC E	SET 1,(HL)
DDC805CE	SET 1,(IX+d)
FDC805CE	SET 1,(IY+d)
CBCF	SET 1,A
CBC8	SET 1,B
CBC9	SET 1,C
CBCA	SET 1,D
C3C8	SET 1,E
CBC C	SET 1,H
CBCD	SET 1,L
CBO6	SET 2,(HL)
DDC805D6	SET 2,(IX+d)
FDC805D6	SET 2,(IY+d)
CBO7	SET 2,A
CBO0	SET 2,B
CBO1	SET 2,C
CBO2	SET 2,D
CBO3	SET 2,E
CBO4	SET 2,H
CBO5	SET 2,L
CBO8	SET 3,B
CBDE	SET 3,(HL)
DDC805DE	SET 3,(IX+d)
FDC805DE	SET 3,(IY+d)
CBDF	SET 3,A
CBO9	SET 3,C
CBDA	SET 3,D
CBDB	SET 3,E
CBDC	SET 3,H
CBDD	SET 3,L
CBE6	SET 4,(HL)

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT
DDC805E6	SET 4,(IX+d)
FDC805E6	SET 4,(IY+d)
CBE7	SET 4,A
CBE0	SET 4,B
CBE1	SET 4,C
CBE2	SET 4,D
CBE3	SET 4,E
CBE4	SET 4,H
CBE5	SET 4,L
CBEE	SET 5,(HL)
DDC805EE	SET 5,(IX+d)
FDC805EE	SET 5,(IY+d)
CBEF	SET 5,A
CBE8	SET 5,B
CBE9	SET 5,C
CBEA	SET 5,D
CBE B	SET 5,E
CBE C	SET 5,H
CBE D	SET 5,L
CBF6	SET 6,(HL)
DDC805F6	SET 6,(IX+d)
FDC805F6	SET 6,(IY+d)
CBF7	SET 6,A
CBF0	SET 6,B
CBF1	SET 6,C
CBF2	SET 6,D
CBF3	SET 6,E
CBF4	SET 6,H
CBF5	SET 6,L
CBFE	SET 7,(HL)
DDC805FE	SET 7,(IX+d)
FDC805FE	SET 7,(IY+d)
CBFF	SET 7,A
CBF8	SET 7,B
CBF9	SET 7,C
CBFA	SET 7,D
CBFB	SET 7,E
CBFC	SET 7,H
CBFD	SET 7,L
CB26	SLA (HL)
DDC80526	SLA (IX+d)
FDC80526	SLA (IY+d)
CB27	SLA A
CB20	SLA B
CB21	SLA C
CB22	SLA D
CB23	SLA E
CB24	SLA H
CB25	SLA L
CB2E	SRA (HL)
DDC8052E	SRA (IX+d)
FDC8052E	SRA (IY+d)
CB2F	SRA A
CB28	SRA B
CB29	SRA C
CB2A	SRA D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OBJ CODE	SOURCE STATEMENT	
C82B	SRA	E
C82C	SRA	H
C82D	SRA	L
C83E	SRL	(HL)
DOC8053E	SRL	(IX+d)
FDC8053E	SRL	(IY+d)
C83F	SRL	A
C838	SRL	B
C839	SRL	C
C83A	SRL	D
C83B	SRL	E
C83C	SRL	H
C83D	SRL	L
96	SUB	(HL)
DD9605	SUB	(IX+d)
FD9605	SUB	(IY+d)
97	SUB	A
90	SUB	B
91	SUB	C
92	SUB	D
93	SUB	E
94	SUB	H
95	SUB	L
D620	SUB	n
AE	XOR	(HL)
DOAE05	XOR	(IX+d)
FOAE05	XOR	(IY+d)
AF	XOR	A
A8	XOR	B
A9	XOR	C
AA	XOR	D
AB	XOR	E
AC	XOR	H
AD	XOR	L
EE20	XOR	n

DECIMAL	BCD	DEC	BCD	DEC	BCD
0	0000	10	00010000	90	10010000
1	0001	11	00010001	91	10010001
2	0010	12	00010010	92	10010010
3	0011	13	00010011	93	10010011
4	0100	14	00010100	94	10010100
5	0101	15	00010101	95	10010101
6	0110	16	00010110	96	10010110
7	0111	17	00010111	97	10010111
8	1000	18	00011000	98	10011000
9	1001	19	00011001	99	10011001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

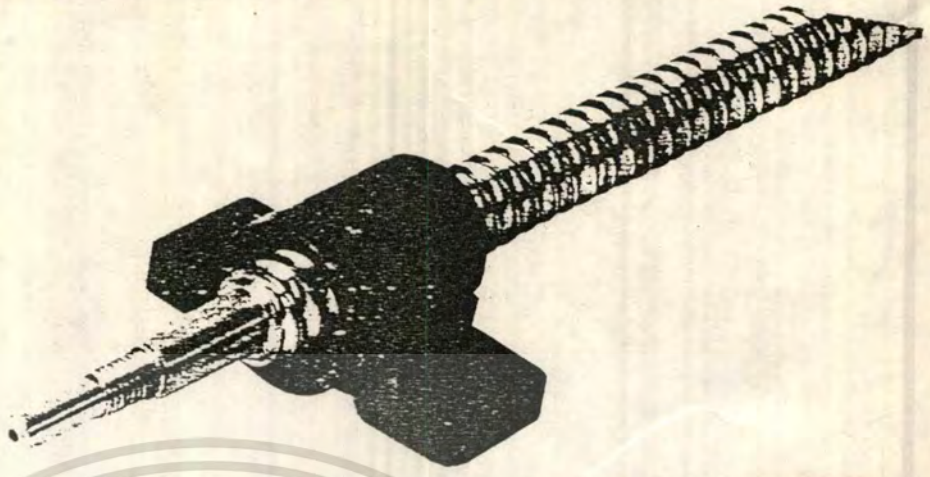


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



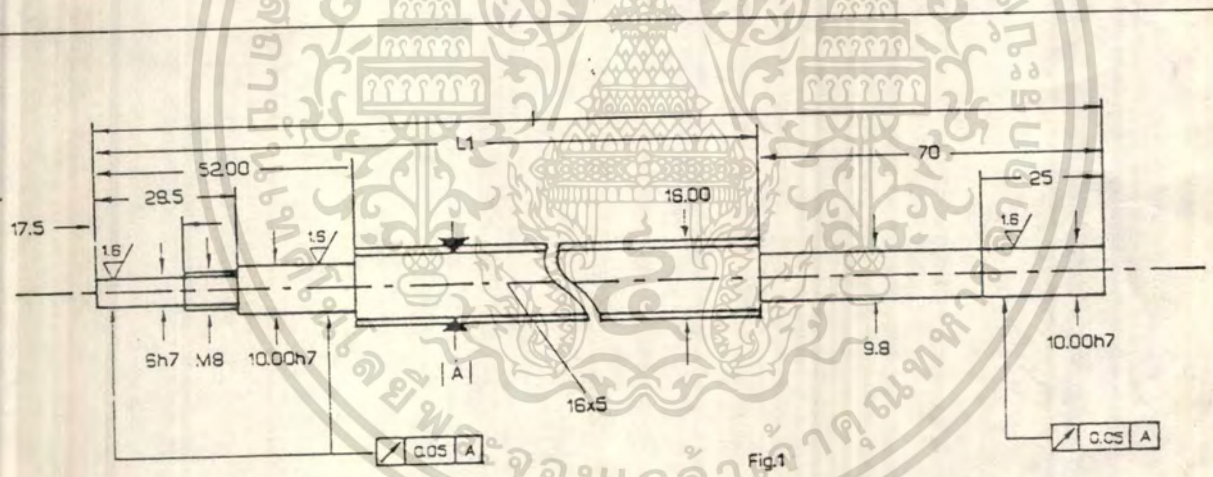
**FEATURES**

- High efficiency, approximately 90%
- No stick/slip effect
- High positioning accuracy
- High rotational speed
- Long life
- Excellent cost performance ratio



**SPECIFICATIONS**

Pitch mm	Diameter mm	Number of Ball Circuits	Load (N)	
			Dynamic (C <sub>d</sub> )	Static
5	16	4	8200	14300
10		2	4200	6500
20		1	1900	2500



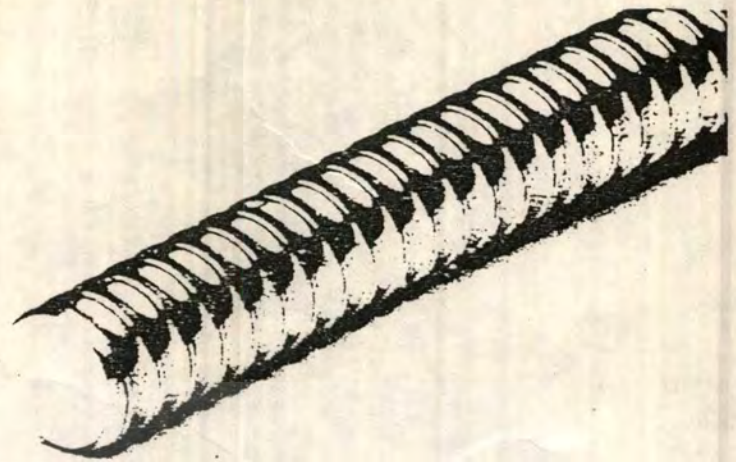
**SCREWS WITH UNMACHINED ENDS**

MATERIAL : Steel Hardened to RC58-62, with 16 mm O.D.  
 ACCURACY : 0.050 mm/300 mm (C7) cumulative

**CATALOG NUMBER**

Pitch 5 mm	Pitch 10 mm	Pitch 20 mm	Length
NR211134 3053	NR211135 3053	NR211136 3058	0.50 M.
NR211134 3103	NR211135 3103	NR211136 3103	1.03 M.
NR211134 3153	NR211135 3153	NR211136 3153	1.50 M.
NR211134 3300	NR211135 3300	NR211136 3300	3.00 M.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



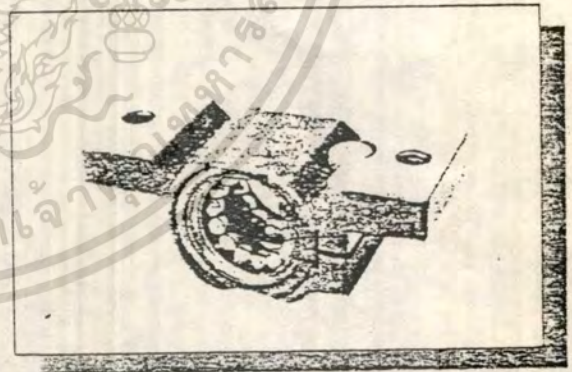
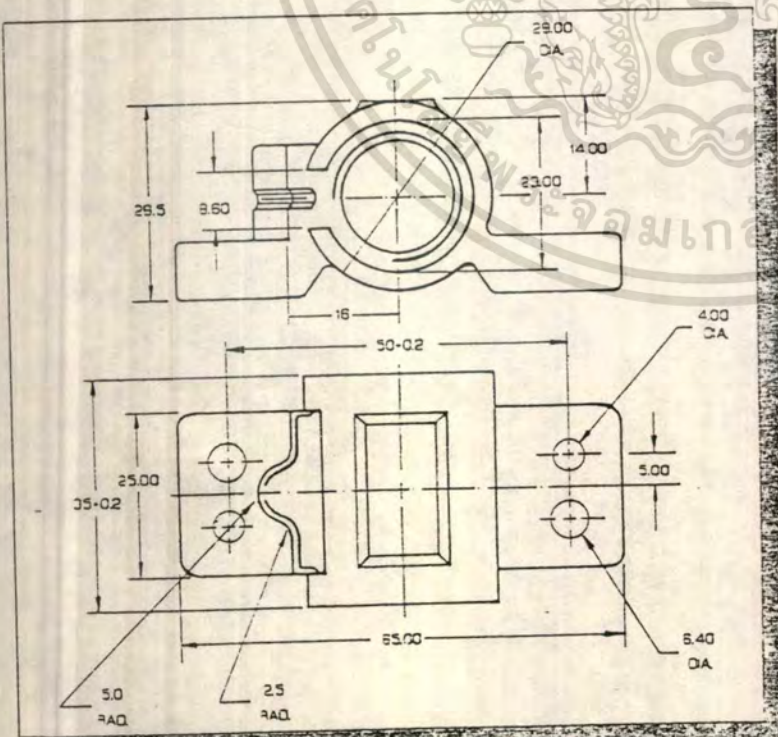
**SCREWS WITH UNMACHINED ENDS**

MATERIAL : Steel Hardened to RC58-62, with 16 mm O.D.  
 ACCURACY : 0.050 mm/300 mm (C7) cummulative

**CATALOG-NUMBER**

Pitch 5 mm	Pitch 10 mm	Pitch 20 mm	Length
NR211134 3103	NR211135 3103	NR211136 3103	1.03 M.
NR211134 3153	NR211135 3153	NR211136 3153	1.50 M.
NR211134 3300	NR211135 3300	NR211136 3300	3.00 M.

NOTE : These screws are cut with an abrasive cut-off saw to a tolerance of +/-4 mm



**BALL NUTS**

MATERIAL : Balls - Steel hardened to RC 61-65  
 Nut - Steel Hardened to RC 58-62  
 REPEATABILITY : +/- 0.005 mm.

**Catalog Number**

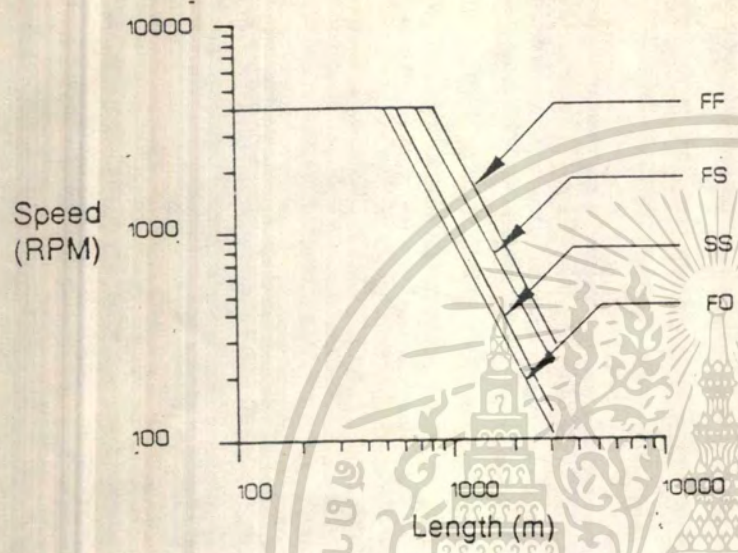
Pitch 5 mm	Pitch 10 mm	Pitch 20 mm
NR213J05	NR213010	NR213020

NOTE : A blank shaft is used to retain the balls during shipment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

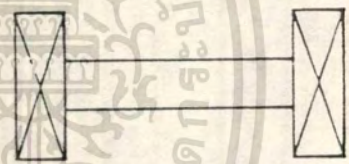


CRITICAL SPEED

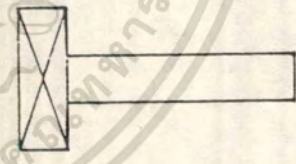


BEARING SUPPORT TYPES

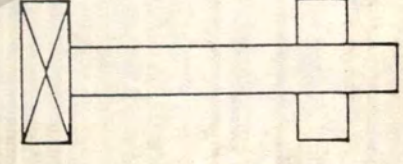
FF - Fixed, Fixed



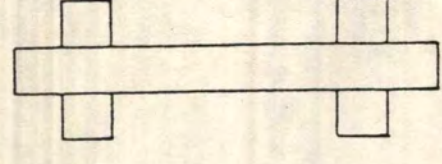
FO - Fixed, Open



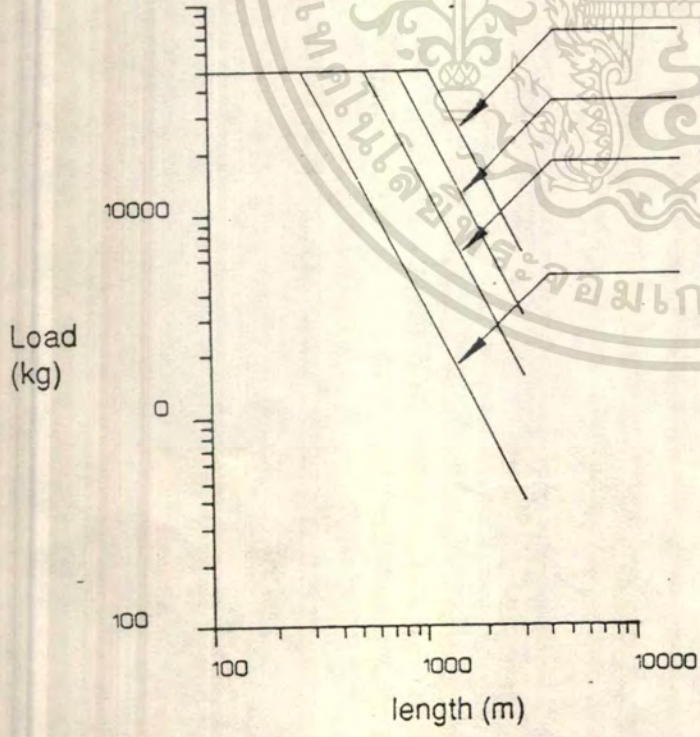
FS - Fixed Simple



SS - Simple, Simple



CRITICAL SPEED



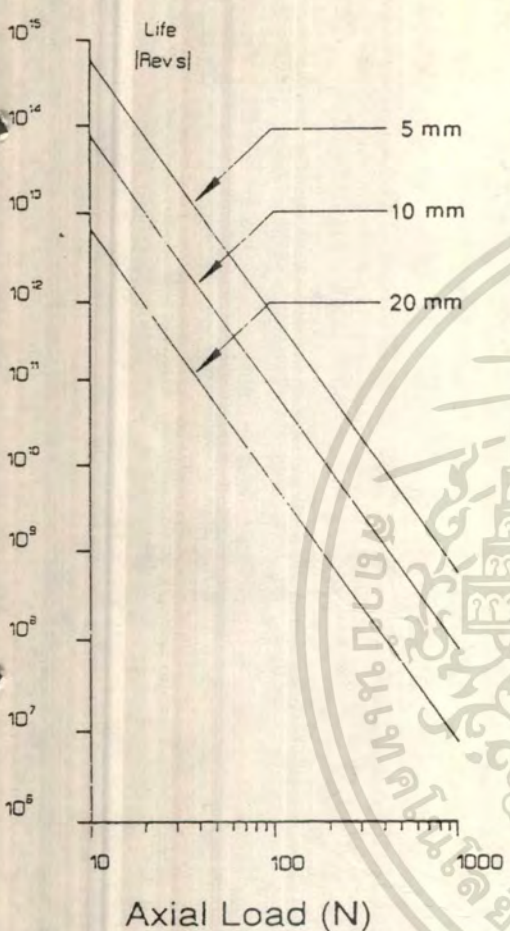
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอแจ้งด้วยว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท N.R. AUTOMATION CO., LTD.



# LIFE EXPECTANCY

## SPECIFICATIONS

Pitch mm	Diameter mm	Number of Ball Circuits	Axial Load (N)	
			Dynamic (C <sub>a</sub> )	Static
5	16	4	8200	14300
10		2	4200	6500
20		1	1900	2500



$$L = \left[ \frac{C_a}{F_m} \right]^3 \times 10^6$$

L - life expectancy expressed in number of revolutions

C<sub>a</sub> - dynamic load rating (N), see table I

F<sub>m</sub> - average axial load (N)

Example : For 10 mm pitch screw, C<sub>a</sub> = 4200 N carrying an average axial load, F<sub>m</sub> = 200 N (45 lbs.) the expected life is :

$$L = \left[ \frac{4200}{200} \right]^3 \times 10^6 = 9.261 \times 10^9 \text{ revolutions}$$

At an average of 1000 RPM this will result in :

$$\frac{9.261 \times 10^9 \text{ revolutions}}{1000 \text{ RPM}} \times \frac{1 \text{ hour}}{60 \text{ minutes}} = 154,000 \text{ hours}$$

of expected operational life. Note that the nature of the motion (jerky, smooth, etc.) will affect the life expectancy.

## Force/Torque

$$M = \frac{F \times p}{2000 \times \pi \times .9}$$

M = torque applied to screw (Nm)

P - screw pitch (mm)

F - resulting linear force (N)

Example : For a force of 200 N (45 lbs.) with a 10 mm pitch screw, the required torque is :

$$M = \frac{200 \times 10}{2000 \times \pi \times .9} = .35 \text{ Nm} = 50 \text{ oz. in.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





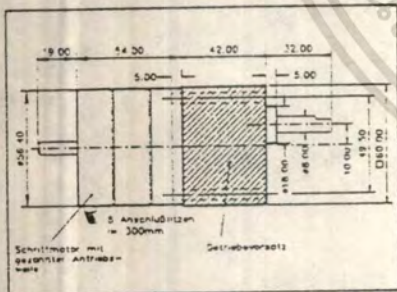
**75 Ncm STEPPING MOTOR WITH PINION SHAFT**



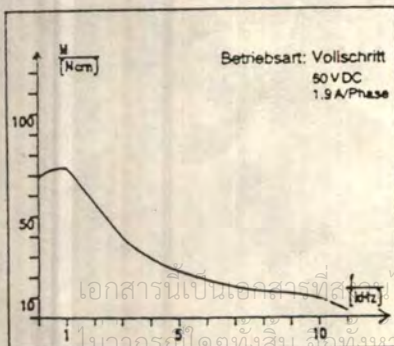
NR 473110

Holding Torque	75 Ncm
Step Angle	1.8°
Coil Resistance	5.0 ohm
Coil Inductance	9.0 mH
Coil Current, Series	0.58A
Coil Current, Parallel	1.7A
Insulation, Class B	Max. 130° C
Radial Load	Max. 33N
Rotor Inertia	135 g - cm <sup>2</sup>
Number of Leads	8
Weight	1 kg

**DIMENSIONS**



**SPEED vs. TORQUE CHARACTERISTICS**



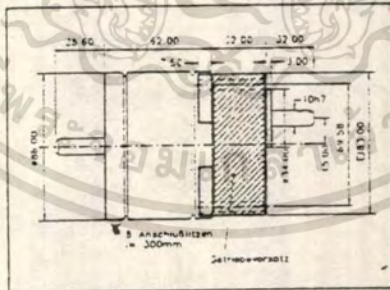
**170 Ncm STEPPING MOTOR WITH PINION SHAFT**



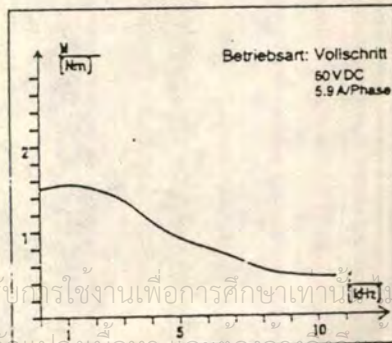
NR 473120

Holding Torque	170 Ncm
Step Angle	1.8°
Coil Resistance	0.75 ohm
Coil Inductance	3.9 mH
Coil Current, Series	2.8A
Coil Current, Parallel	5.6A
Insulation, Class B	Max. 130° C
Radial Load	Max. 43N
Rotor Inertia	560 g - cm <sup>2</sup>
Number of Leads	8
Weight	2.15 kg

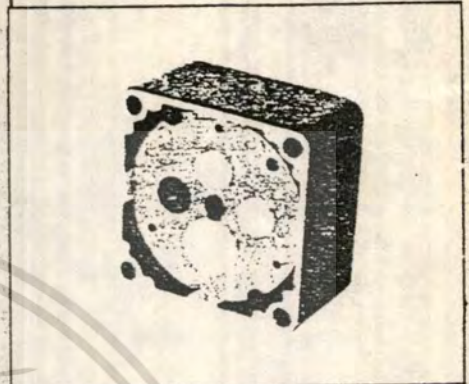
**DIMENSIONS**



**SPEED vs. TORQUE CHARACTERISTICS**



**STEPPING MOTOR GEAR HEAD**



NR 473110

Catalog Number	Gear Ratio	Max. Torque Ncm	Max. Axial Load kg
NR 473216	1:5	16	8
NR 473210	1:9	29	8
NR 473212	1:25	73	15
NR 473214	1:50	132	15

FOR USE WITH MOTOR HL2100M473120

Catalog Number	Gear Ratio	Max. Torque Ncm	Max. Axial Load kg
NR 473220	1:5	64	15
NR 473222	1:9	116	15
NR 473224	1.25	292	30
NR 473226	1.50	528	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ในวงการนี้เองยังมีผู้ที่ทำผิดลิขสิทธิ์และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**STEPPING MOTOR DRIVE  
FORMAT 1**

■ Complete assembly with 6.35 mm shaft coupling

**STEPPING MOTOR DRIVE  
FORMAT 2**

■ Complete assembly with 6.35 mm shaft coupling

**STEPPING MOTOR DRIVE  
WITH GEAR HEAD**

■ Complete assembly with 6.35 mm shaft coupling motor NR 473110 or motor NR 473120



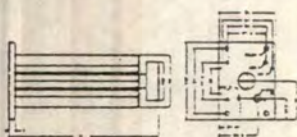
Catalog Number	Holding torque Ncm	Length mm	Wt. kg.
NR 210000	55	142	1.0
NR 210001	110	167	1.2
NR 210002	150	190.5	1.4

Catalog Number	Holding torque Ncm	Length mm	Wt. kg.
NR 210005	170	153.6	2.5
NR 210006	300	185.1	2.8

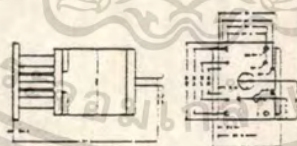
**WITH MOTOR HL2100M4731**

Catalog Number	Gear Ratio	Length mm	Wt. kg.
NR 210010005	1:5	176	2.5
NR 210010009	1:9	176	2.5
NR 210010025	1:25	176	2.5
NR 210010050	1:50	176	2.5

**DIMENSIONS**



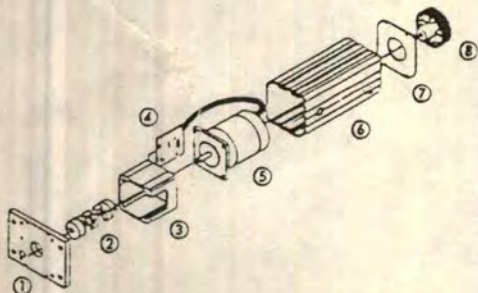
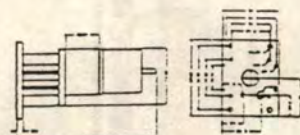
**DIMENSIONS**



**WITH MOTOR HL2100M47320**

Catalog Number	Gear Ratio	Length mm	Wt. kg.
NR 210010005	1:5	165	1.3
NR 210010009	1:9	165	1.3
NR 210010025	1:25	165	1.3
NR 210010050	1:50	165	1.3

**DIMENSIONS**



- 1- Mounting Plate
- 2- Coupling 6.35 mm Bore
- 3- Coupling Housing
- 4- P.C. Board for Motor Power & Home Switch
- 5- Stepping Motor
- 6- Motor Housing
- 7- Housing Cover
- 8- Knob

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**STEPPING MOTOR DRIVE, FORMAT 1**