

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

023160

-9.ธ.ค.2532

ปริญญาโทปีการศึกษา 2531

ภาควิชา ระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบหัวอ่านติดตามลายเส้น

ผู้จัดทำ

1. นาย สงวนสิทธิ์ ล้วนรัตนากร 281248

2. นาย สันติ ล้อมประยูรยงค์ 281256

.....*(Signature)*.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)



023160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบหัวอ่านติดตามลายเส้น

สงวนสิทธิ์ ล้วนรัตนากร

สันติ ล้อมประบุรยงค์

รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2531

บทคัดย่อ

โครงการนี้ เป็นการศึกษาและพัฒนาการทำงานของ ระบบหัวอ่านติดตามลายเส้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในงานหลายอย่าง เช่น เครื่องตัดเหล็กด้วยแก๊สแบบอัตโนมัติ โดยจะทำการปรับปรุง ในส่วนของ วงจรควบคุมหัวอ่าน โดยเปลี่ยนมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมหัวอ่าน จาก มอเตอร์กระแสตรง ไปเป็น สเตปมอเตอร์ และเปลี่ยนรีโซลเวอร์ซึ่งเดิมเป็นแบบที่มีหน้าสัมผัสทางกล ไปเป็น อิเล็กทรอนิกส์รีโซลเวอร์ เพื่อจะได้เป็นพื้นฐานและแนวทางในการนำไมโครโปรเซสเซอร์มา ใช้ควบคุมการทำงานของระบบต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	21
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	35
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	43
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

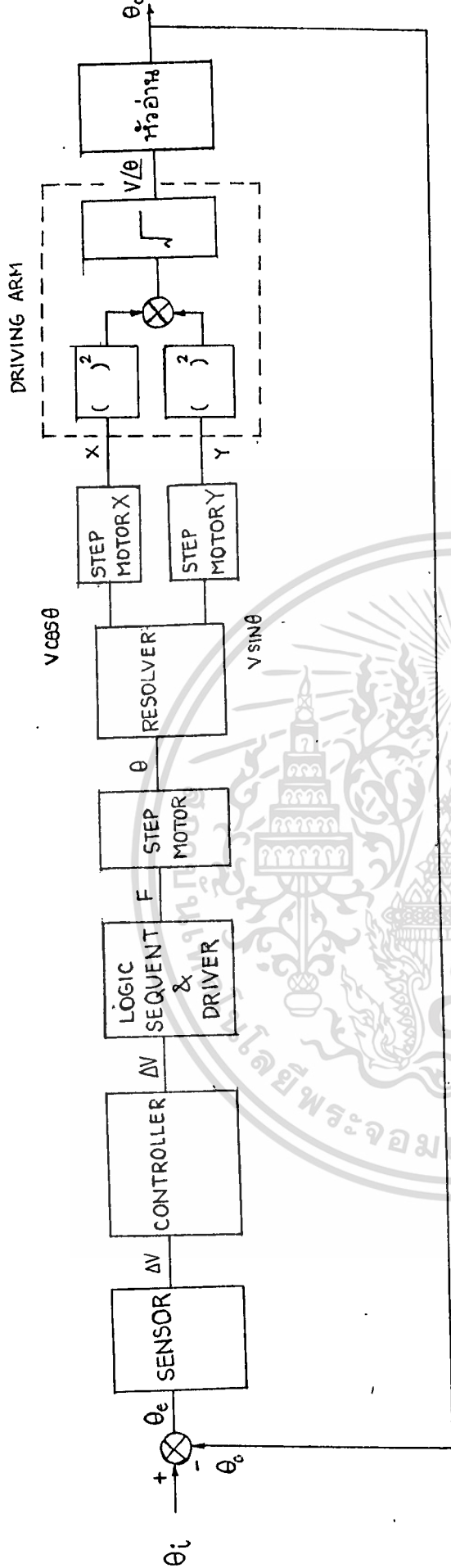
บทนำ

เครื่องตัดแผ่นเหล็กด้วยแก๊สแบบอัตโนมัติ เป็นอุปกรณ์เครื่องตัดเหล็ก
ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งต้องสั่งซื้อด้วยราคาที่แพงจากต่างประเทศ

ผลงานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาระบบหัวอ่านตามลายเส้น (PATTERN
TRACKING SYSTEM) ซึ่งสามารถติดตามเส้นที่มีรูปลักษณะต่างๆ ตามแนวแกนราบและ
แกนตั้งฉากได้ 4 ควอดแดรนต์ เพื่อใช้เป็นหัวอ่านลายเส้นของเครื่องตัดแผ่นเหล็กด้วย
แก๊สแบบอัตโนมัติ

ระบบหัวอ่านติดตามลายเส้นในโครงงานนี้ประกอบด้วย ออปติคอลล
เซ็นเซอร์ 2 ชุด วงจรควบคุม รีโซลเวอร์ วงจรขับและควบคุมความเร็วของ
มอเตอร์ และสเตปมอเตอร์ เทคนิคที่ใช้ในการติดตามลายเส้นก็คือ การแชมป์ลิ่งลายเส้น
เป็นส่วนย่อยๆ ในรูปของเส้นตรงซึ่งอยู่บนพื้นฐานของรีโซลเวอร์ คือ ลายเส้นตามแนวแกน
นอน จะถูกสแกนด้วยความเร็วที่เป็นฟังก์ชันโคไซน์ของมุมเส้นสัมผัสที่ตำแหน่งต่างๆของลาย
เส้นเทียบกับแกนนอน และตามแกนตั้งจะถูกสแกนด้วยความเร็วที่เป็นฟังก์ชันของไซน์ของมุม
เดียวกัน

โครงงานนี้ จะทำการปรับปรุงในส่วนขับเคลื่อนหัวอ่านและรีโซลเวอร์
ซึ่งแต่เดิมใช้ มอเตอร์กระแสตรง และ รีโซลเวอร์ที่ใช้หน้าสัมผัสทางกล เปลี่ยนเป็น
สเตปมอเตอร์ และ รีโซลเวอร์ที่ไม่มีหน้าสัมผัสทางกล เพื่อเป็นพื้นฐานแนวทางในการ
นำไมโครโปรเซสเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมต่อไป รวมทั้งปรับปรุงความละเอียด
และความถูกต้องในการติดตามลายเส้นด้วย



รูป 2.1 Block Diagram

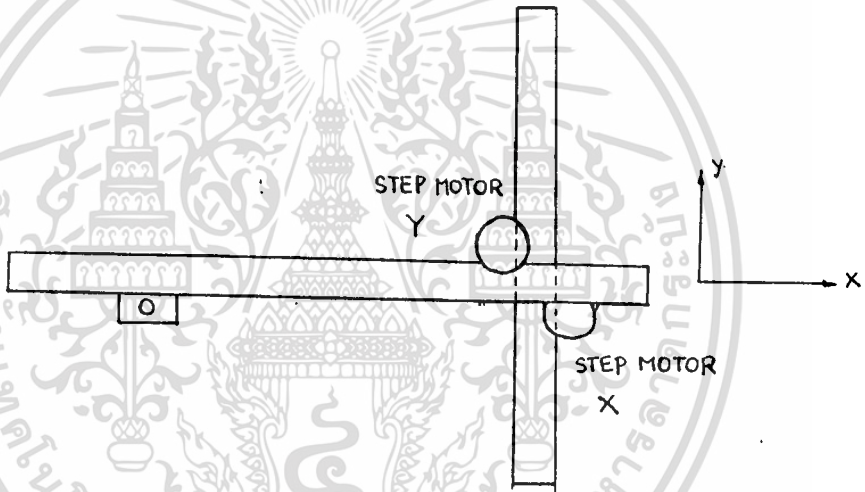
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบหัวอ่านติดตามลายเส้น

ระบบขับเคลื่อนหัวอ่านประกอบด้วย แกนขับเคลื่อน(Driving Arm) 2 แขนวางตั้งฉากกัน แกนขับเคลื่อนที่วางตัวในแนวแกน Y จะถูกยึดตายตัวติดกับฐาน ส่วนแกนขับเคลื่อนที่วางตัวในแนวแกน X นี้ ความเร็วของสเตปมอเตอร์ในแนวแกน X จะเป็นฟังก์ชันของสัญญาณโวลต์เตจ $V\cos\theta$ ที่ได้มาจากตัวรีโซลเวอร์ (Resolver) ขณะที่ความเร็วของสเตปมอเตอร์ในแนวแกน Y จะเป็นฟังก์ชันของสัญญาณโวลต์เตจ $V\sin\theta$



รูป 2.2

2.1.1 หลักการทำงานของระบบหัวอ่านติดตามลายเส้น

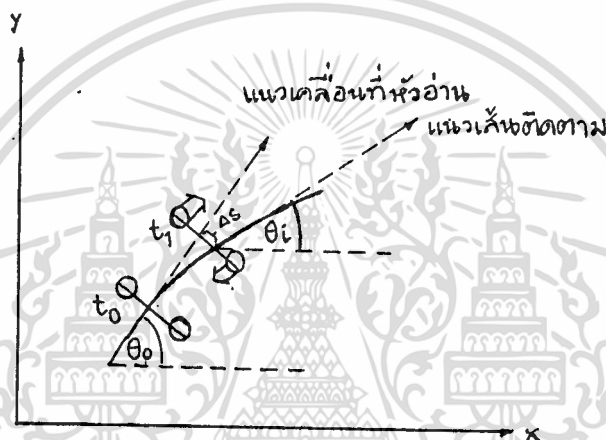
การทำงานของระบบเริ่มจากการที่หัวอ่านเริ่มติดตามลายเส้น (Track) คือเซนเซอร์ทั้ง 2 ชุด คล่อมอยู่ระหว่างแนวเส้นที่จะติดตาม แนวการวางตัวของเซนเซอร์จะถูกตรวจจับโดยรีโซลเวอร์ โดยที่สัญญาณจากรีโซลเวอร์นี้ จะไปกำหนดขนาดของความเร็วในแนวแกน X และแกน Y ของส่วนขับเคลื่อนหัวอ่าน ในแต่ละช่วงเวลาของการสุ่มสัญญาณ (Sampling Time) Δt โดย

ความเร็วของสเตปมอเตอร์ $X = V\cos\theta$

ความเร็วของสเตปมอเตอร์ $Y = V\sin\theta$

ซึ่งจะทำให้หัวอ่านเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว V

ในระหว่างการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาการสุ่มสัญญาณนี้ หากแนวของเส้นที่ทำการติดตามมีการเบี่ยงเบนไปจากแนวการวางตัวของเซนเซอร์ คือเกิดค่าผลต่างมุม (Error Angle) θ_e ของการติดตาม ดังรูป 2.3



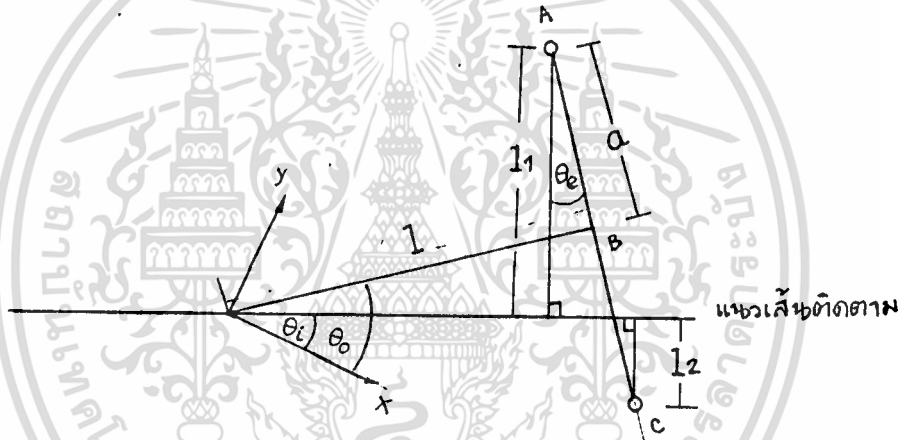
รูปที่ 2.3

ซึ่งมุมเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้ระยะห่างระหว่างแนวเส้นที่ติดตามกับเซนเซอร์ทั้ง 2 ชุด ไม่เท่ากัน มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ Δs ซึ่งทำให้เกิดสัญญาณผลต่างโวลต์ที่แตกต่างระหว่างอปติคอลเซนเซอร์ทั้ง 2 ชุด สัญญาณผลต่างโวลต์ที่แตกต่างนี้จะไปขับสเตปมอเตอร์ของหัวอ่าน เพื่อปรับแก้แนวการวางตัวของเซนเซอร์ θ_e ให้เข้าสู่ค่า θ_i

บล็อกไดอะแกรมของระบบหัวอ่านติดตามหลายเส้นแสดงได้ดังรูป 2.1

2.1.2 วิเคราะห์การทำงานของเซนเซอร์

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.1 ในส่วนของเซนเซอร์ เราสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่าง โวลต์เตจเออเรอร์ (Voltage Error) กับมุมเออเรอร์ได้ โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของหัวอ่านในช่วงเวลาแซมปลิง (Sampling Time) Δt โดย ของวงจรควบคุมของสเตปมอเตอร์ได้ดังรูปที่ 2.4 โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาแซมปลิง Δt โดย หัวอ่านจะเคลื่อนที่ไปได้เป็นระยะทาง $l = v\Delta t$ ซึ่งคงที่เสมอ เนื่องจากความเร็วลำแสงของหัวอ่านซึ่งมีขนาดคงที่อยู่เสมอ



รูปที่ 2.4

ดังที่ได้กล่าวมาในตอนต้นว่า ถ้าในการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน แนวการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน θ_i (แนวการวางตัวของเซนเซอร์) มีการเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิมของเส้นที่ติดตาม θ_e คือ เกิดมุมคลาดเคลื่อน $\theta_e = \theta_i - \theta_0$ ซึ่ง θ_e นี้ จะส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างระยะห่างของเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว จากแนวเส้นติดตาม Δs กับ θ_e ได้จากรูป 2.4 โดยใช้การพิจารณาทางเรขาคณิตและตรีโกณมิติ

จากรูปที่ 2.4

- A คือตำแหน่งของเซนเซอร์ตัวที่ 1
- C คือตำแหน่งของเซนเซอร์ตัวที่ 2
- B คือตำแหน่งกึ่งกลางของเซนเซอร์ทั้ง 2
- a คือรัศมีของเซนเซอร์ (ในที่นี้เท่ากับ 2 มม.)
- l คือระยะที่หัวอ่านเคลื่อนที่ไปได้ในช่วง Δt
- θ_i คือมุมในแนวเส้นสัมผัสของเส้นติดตาม
- θ_0 คือแนวการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน
- 11 คือระยะห่างจากเซนเซอร์ตัวที่ 1 ถึงแนวเส้นติดตาม
- 12 คือระยะห่างจากเซนเซอร์ตัวที่ 2 ถึงแนวเส้นติดตาม

หาโคออดิเนต (Coordinate) ของจุด A , B , C โดยเทียบกับแนวเส้นติดตามได้ดังนี้

$$B ; (l \cos \theta_0 , l \sin \theta_0)$$

$$A ; (l \cos \theta_0 - a \sin \theta_0 , l \sin \theta_0 + a \cos \theta_0)$$

$$C ; (l \cos \theta_0 + a \sin \theta_0 , l \sin \theta_0 - a \cos \theta_0)$$

หาขนาด 11 ; $11 = l \sin \theta_0 + a \cos \theta_0$

$$= \sqrt{l^2 \sin^2 \theta_0 + a^2 \cos^2 \theta_0 + 2la(\sin \theta_0 \cos \theta_0)}$$

$$= \sqrt{l^2 \sin^2 \theta_0 + a^2 \cos^2 \theta_0 + la \sin 2\theta_0}$$

หาขนาด 12 ; $12 = | l \sin \theta_0 - a \cos \theta_0 |$

$$= \sqrt{l^2 \sin^2 \theta_0 + a^2 \cos^2 \theta_0 - 2la(\cos \theta_0 \sin \theta_0)}$$

$$= \sqrt{l^2 \sin^2 \theta_0 + a^2 \cos^2 \theta_0 - la \sin 2\theta_0}$$

$$\Delta s = 11 - 12$$

$$= \sqrt{l^2 \sin^2 \theta_0 + a^2 \cos^2 \theta_0 + la \sin 2\theta_0} - \sqrt{l^2 \sin^2 \theta_0 + a^2 \cos^2 \theta_0 - la \sin 2\theta_0}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่า $Q_e > 0$; $\Delta S > 0$

$Q_e < 0$; $\Delta S < 0$

$Q_e = 0$; $\Delta S = 0$

ΔS ที่เกิดขึ้นจะทำให้ความเข้มของสัญญาณหรือขนาดของโวลต์เตจที่ได้จากเซนเซอร์ ทั้ง 2 ชุด ไม่เท่ากัน ซึ่งเมื่อนำมาเข้าวงจรเปรียบเทียบ จะได้สัญญาณโวลต์เตจเออเรอร์ ไปขับสแตปมอเตอร์ เพื่อปรับแก้ Q_e ให้เข้าสู่ 0 ;



2.2 สเตปปีงมอเตอร์ (STEPPING MOTOR)

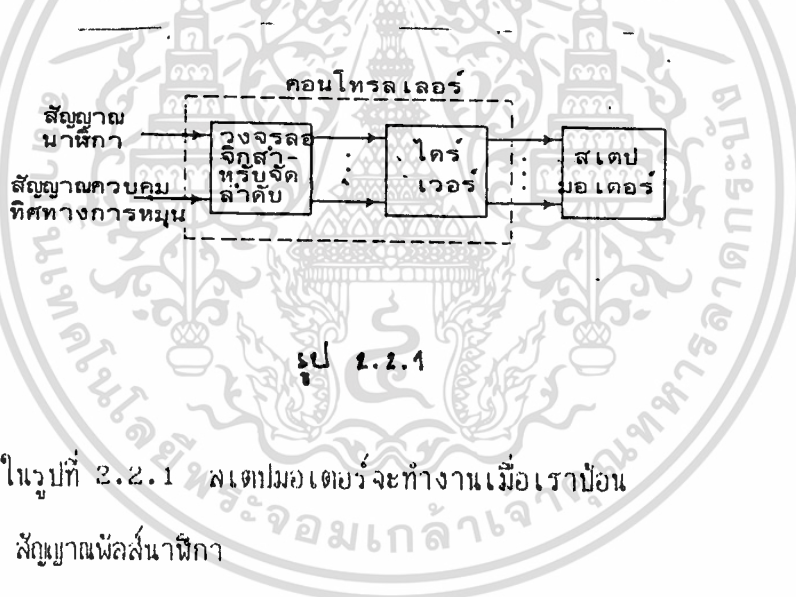
นิยามของสเตปปีงมอเตอร์ จะมีเฟลาหมุนเป็นสเตป

- ป้อนอินพุตด้วยพัลส์ที่มีความถี่ค่าหนึ่ง
- จะสเตปไปหนึ่งสเตปในแต่ละพัลส์
- ขนาดของสเตปขึ้นอยู่กับการออกแบบสเตปมอเตอร์

การทำงานของสเตปมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับพัลส์ที่ป้อนให้กับขดลวดเฟสของมันในลำดับที่ถูกต้อง ด้วยวงจรถ่ายจิกสำหรับจัดลำดับ

- ด้วยกระแสที่พอเพียงโดยวงจรถ่ายจิก

คอนโทรลเลอร์ของสเตปมอเตอร์ แสดงได้ดังในรูปที่ 2.2.1



ในรูปที่ 2.2.1 สเตปมอเตอร์จะทำงานเมื่อเราป้อน

- สัญญาณพัลส์นาฬิกา
- อินพุตสำหรับควบคุมทิศทางการหมุน

คอนโทรลเลอร์ของสเตปมอเตอร์จะอินเตอร์เฟสได้โดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์ หรือ ไมโครคอมพิวเตอร์

สเตปมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของโหลดได้อย่างเที่ยงตรงมาก เนื่องจากแต่ละอินพุตพัลส์จะทำให้สเตปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่งสเตปอย่างเที่ยงตรง



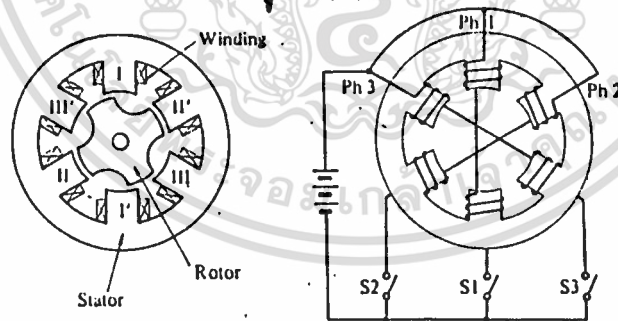
สเตปป์มอเตอรืที่ใช้กันส่วนมากมี 3 ชนิด คือ

1. วาริเอเบิลรีล็คแทนส์สเตปป์มอเตอรื (Variable Stepping Motor)
2. สเตปป์มอเตอรืแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent magnetic Stepping Motor)
3. สเตปป์มอเตอรืแบบไฮบริด (Hybrid Stepping Motor)

2.2.1 วาริเอเบิลรีล็คแทนส์สเตปป์มอเตอรื

มอเตอรืแบบนี้โรเตอรืทำด้วยเหล็กอ่อน ซึ่งค่าซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) สูง และสามารถให้ฟลักแม่เหล็กผ่านได้มาก โดยโรเตอรืจะติดอยู่กับแกนของมอเตอรื และ สเตเตอรืติดอยู่กับโครงของตัวมอเตอรื จากรูป 2.2.2 เป็นภาคตัดขวางของ สเตปป์มอเตอรืแบบนี้ ซึ่งเป็นมอเตอรื 3 เฟส มีฟัน 6 ที่ ฟันของสเตเตอรืจะอยู่ตรงข้ามกันซึ่งอยู่ห่างกัน 18 องศา จะมีเฟสเดียวกัน คือ ขดลวดของฟันแต่ละซี่ ที่อยู่ตรงข้ามกันจะต่อกันเป็นแบบอนุกรมหรือขนานก็ได้ (ในที่นี้ต่อแบบอนุกรม)

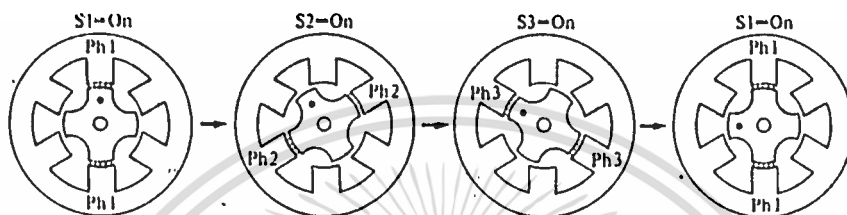
รูป 2.2.2



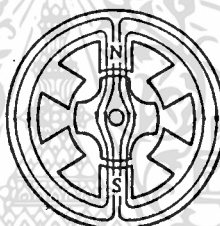
— Cross-sectional model of a three-phase VR stepping motor and winding arrangement.

เราจะเห็นว่าฟันของสเตเตอรื 2 ที่ ที่มีเฟสเดียวกัน จะมีขั้วแม่เหล็กตรงข้ามกันดังแสดงในรูป สมมติว่าฟัน I , II และ III มีขั้วเป็นขั้วเหนือ ฟัน I' , II' และ III' จะเป็นขั้วใต้เมื่อถูกกระตุ้น

กระแสแต่ละเฟสจะถูกควบคุมด้วยสวิตช์ ถ้ามีกระแสไหลในเฟส 1 หรือว่าเฟส 1 ถูกกระตุ้น ฟลักซ์แม่เหล็กก็จะเกิด ดังรูป 2.2.3 ฟันของโรเตอร์ก็จะมิตำแหน่ง ในแนวเดียวกับฟันของสเตเตอร์ ซึ่งจะมีผลให้แมกเนติกรีลัคแทนซ์ (Magnetic Reluctance) น้อยที่สุด สภาวะนี้คือตำแหน่งสมดุล



Step motions as switching sequence proceeds in a three-phase VR motor.



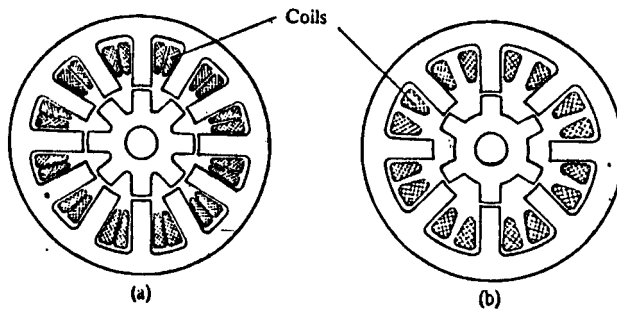
Equilibrium position with phase 1 excited.

รูป 2.2.3

โครงสร้างเบื้องต้นของมอเตอร์แบบนี้จะมีลักษณะดังนี้

1. ช่องว่างอากาศควรจะเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ช่องว่างอากาศระหว่างฟันของโรเตอร์กับฟันของสเตเตอร์ ควรมีความห่างกันน้อยมาก เพื่อที่จะได้ทอร์คสูง และตำแหน่งที่แน่นอนขึ้น

2. สำหรับมุมสเตปเล็กๆ จากรูป 2.2.4a แสดง 3 เฟสมอเตอร์ที่สเตเตอร์มีฟัน 12 ซี่ และมีฟันโรเตอร์ 8 ซี่ รูป 2.2.4b เป็นรูป 4 เฟสมอเตอร์ที่สเตเตอร์มีฟัน 8 ซี่ และโรเตอร์มีฟัน 6 ซี่ ซึ่งทั้งสองรูปมีมุมสเตปเท่ากับ 15 องศา



รูป 2.2.4 Cross-sectional views of VR motors with 15° step angle. (a) Three-phase motor; number of stator teeth = 12; number of rotor teeth = 8. (b) Four-phase motor; number of stator teeth = 8; number of rotor teeth = 6.

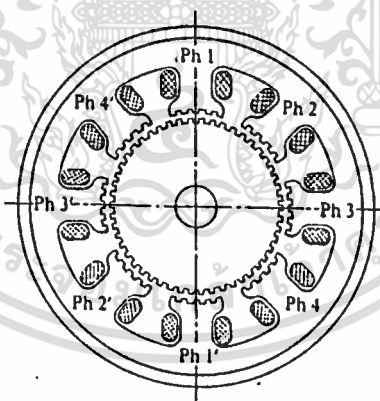
รูป 2.2.4

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสเตป θ_s , จำนวนเฟส m , จำนวนฟันของโรเตอร์ N_r และจำนวนสเตปใน 1 รอบ S จะหาได้โดย

$$S = 360 / \theta_s = m (N_r)$$

นั่นคือเราสามารถลดมุมสเตปลงได้โดยเพิ่มจำนวนฟันบนโรเตอร์ ดังแสดงในรูป

2.2.5



รูป 2.2.5 Cross-sectional view of a four-phase VR motor; number of rotor teeth being 50, step number 200, and step angle 1.8°.

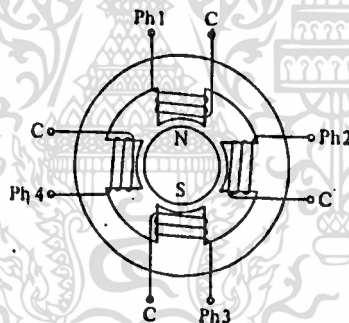
รูป 2.2.5

รูปที่ 2.2.5 หน้าตัดของ 4 เฟสมอเตอร์ มีฟันโรเตอร์ 50 ฟัน มุมสเตป 1.8 องศา

2.2.2 สเตปป์มอเตอรืแบบแม่เหล็กถาวร

สเตปป์มอเตอรืแบบนี้ใช้โรเตอรืแบบแม่เหล็กถาวร รูปที่ 2.2.6 เป็นตัวอย่างของสเตปป์มอเตอรืแบบแม่เหล็กถาวรแบบ 4 เฟส โรเตอรืเป็นทรงกระบอก สเตเตอรืมีฟัน 4 ที่ โดยที่แต่ละที่มีขดลวดพันรอบ ถ้าจำนวนของซี่ฟันบนสเตเตอรืและซี่แม่เหล็กบนโรเตอรืเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า มุมแต่ละสเตปป์จะลดลงจากเดิมครึ่งหนึ่งดังนั้นเพื่อที่จะลดมุมสเตปป์ลงไปอีก โนลสเตปป์มอเตอรืแม่เหล็กถาวร จะต้องเพิ่มจำนวนแม่เหล็กและซี่ฟันอย่างไรก็ตาม ซี่แม่เหล็กที่จะเพิ่มได้นั้นมีจำนวนจำกัด

ลักษณะทั่วไปของมอเตอรืแบบนี้คือ โรเตอรืจะถูกยึดอยู่กับที่ แม้ว่าจะไม่มีการกระตุ้นเฟส ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ดีเพนท์แมคคาไนซึ่ม (Detent Mecanism)

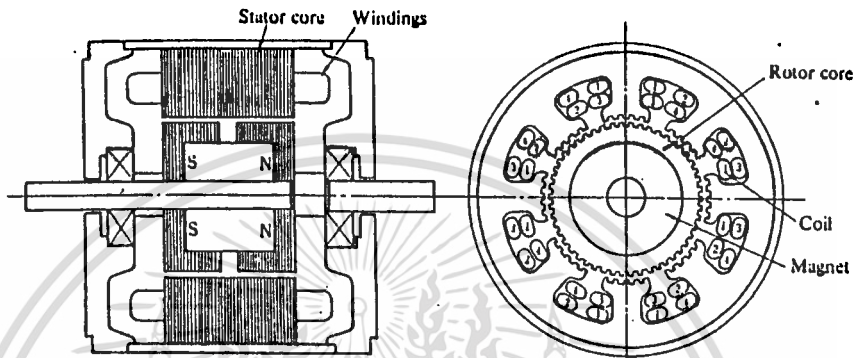


รูปที่ 2.2.6 Cross-sectional model of a four-phase PM motor.

2.2.3 สเตปป์มอเตอรืแบบไฮบริด

เป็นสเตปป์มอเตอรืแบบหนึ่ง ที่มีโรเตอรืเป็นแม่เหล็กถาวร การที่ใช้ข้อไฮบริด ได้มาจากการรวมหลักสำคัญของมอเตอรืแบบแม่เหล็กถาวร และแบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์ โครงสร้างของแกนของสเตเตอรืจะคล้ายกับแบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์ แต่การพันและการต่อขดลวด จะแตกต่างจากแบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์มอเตอรื ซึ่งมีเพียง 1 ขด จาก 2 ขด ของ 1 เฟสที่ถูกพันบนซี่เดียวกัน ในขณะที่ 4 เฟสไฮบริดมอเตอรื

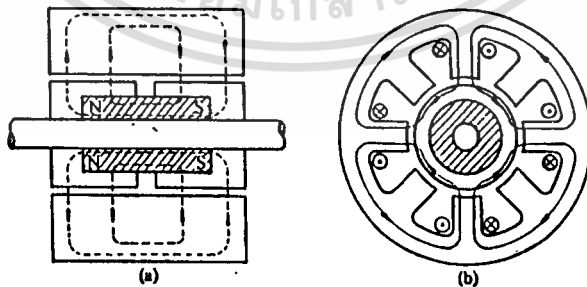
ชุดขดลวด 2 เฟสที่แตกต่างกันจะถูกพันบนขั้วเดียวกัน ดังรูป 2.2.7 เพราะฉะนั้นขั้วหนึ่ง จะไม่มีเพียงเฟสเดียว ขดลวด 2 ชุด จะถูกพันเป็นขั้วเดียวกันแบบ ไบฟิลลา (Bifilar Winding) ซึ่งจะทำให้ขั้วแม่เหล็กต่างกันขณะมีการกระตุ้น



Construction of a hybrid motor.

รูปที่ 2.2.7

ลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของไฮบริดมอเตอร์ คือ โรเตอร์นั้นจะเป็นแม่เหล็ก รูปร่างทรงกระบอกอยู่ในแกนเหล็กของโรเตอร์ มักถูกทำให้เป็น แม่เหล็กตามยาว เพื่อสร้างสนามขั้วเดียว ดังรูปที่ 2.2.8 แต่ละขั้วแม่เหล็กจะถูกล้อมรอบด้วยฟันเหล็กอ่อน ซึ่งฟันของโรเตอร์กับสเตเตอร์ จะอยู่เหลื่อมกันครึ่งช่วงฟัน



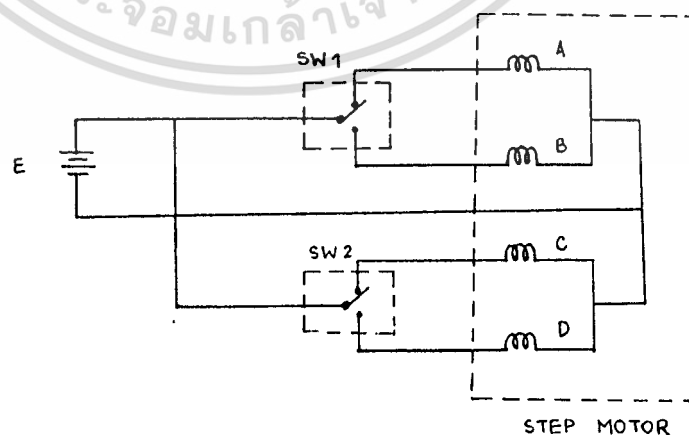
Magnetic paths in a hybrid motor; (a) the flux due to the rotor's magnet producing a unipolar field, while (b) shows the heteropolar distributed flux due to the stator currents.

รูปที่ 2.2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานพื้นฐาน

สเตปป์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ถูกใช้ทำงาน โดยสัญญาณแอนพุทที่เป็นพัลส์ ทุกๆ สัญญาณพัลส์ ที่เข้ามาจะเปลี่ยนแปลงสถานะสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และให้การหมุนของมอเตอร์เป็นมุมคงที่ ซึ่งจะแตกต่างกับการหมุนของมอเตอร์แบบธรรมดา ในระบบควบคุมที่ใช้สัญญาณดิจิทัล เช่น ในการส่งข้อมูล การควบคุมข้อมูล โดยที่เป็นปริมาณค่าของสัญญาณดิจิทัลทั้งหมด จึงทำให้ควบคุมการทำงานของสเตปป์มอเตอร์โดยตรงได้เป็นอย่างดี การทำงานพื้นฐานของสเตปป์มอเตอร์ แสดงใน รูปที่ 2.2.9 ซึ่งแสดงบล็อกของวงจรขับสเตปป์มอเตอร์ ทำให้กระแสไฟดีซี เรียงลำดับเข้าไปตามเฟสต่างๆ ของมอเตอร์ ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปตามองศาที่กำหนดไว้ การที่จะทำให้กระแสไฟดีซี เรียงลำดับเข้าไปที่มอเตอร์ได้ ทำได้ด้วยการใช้งานของสวิตช์ และเพื่อให้มอเตอร์หมุน จำเป็นต้องมี วงจรขับสเตปป์มอเตอร์ สวิตช์ที่ใช้ควบคุมการไหลของกระแส คือ สวิตช์ 1 และ สวิตช์ 2 ถ้าให้การทำงานของสวิตช์ตามตารางการทำงานที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 2.2.10 ถ้าสวิตช์การทำงานโดยใช้รีเลย์ (Relay) หรือมือโยก สเตปป์มอเตอร์ก็จะหมุนเหมือนกัน แต่จะหมุนช้า เนื่องจากรีเลย์หรือมือโยกให้การเปลี่ยนแปลงของสวิตช์ช้า ซึ่งจะทำให้ไม่เร็วเท่ากับความถี่สูงสุดของสัญญาณพัลส์ ที่มอเตอร์สามารถทำงานได้ (เป็นจำนวนพัลส์ต่อวินาที)



รูปที่ 2.2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์มีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับสแตปมอเตอร์มีอยู่ 3 ระบบ คือ

1. ระบบการกระตุ้นสนามแม่เหล็กเฟสเดียว (Single Phase Excitation)
2. ระบบการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก 2 เฟส (2-Phase Excitation)
3. ระบบการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก 1-2 เฟส (Half-Step Excitation)

Table Excitation sequence in the single-phase-on operation.

(1) Three-phase motor

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█			█			█		
Phase 2		█			█			█	
Phase 3			█			█			█

(2) Four-phase motor

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█				█				█
Phase 2		█				█			
Phase 3			█				█		
Phase 4				█				█	

Pulses 

Note: Symbol R indicates 'reset'.

Table Excitation sequence in the two-phase-on operation.

(1) Three-phase motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█	█			█	█			
Phase 2			█	█			█	█	
Phase 3	█				█				█

(2) Four-phase motor

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1	█	█			█	█			█
Phase 2			█	█			█	█	
Phase 3				█	█			█	█
Phase 4	█				█				█

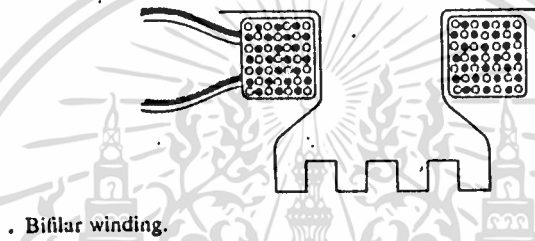
Table Excitation sequence in the half-step operation (three-phase motor).

Clock state (A)	R	1	2	3	4	5				
Clock state (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Phase 1	█	█			█	█				
Phase 2			█	█			█	█		
Phase 3				█	█				█	█

รูปที่ 2.2.10

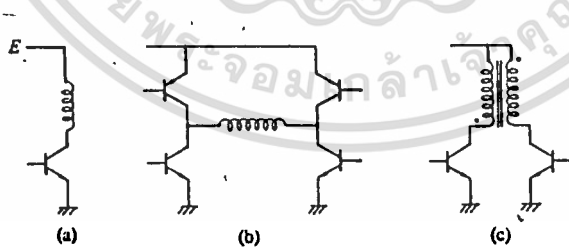
การพันขดลวดแบบโนโมฟีลาและไบฟีลา (Monofilar and Bifilar Winding)

แบบโนโมฟีลา มีการพันขดลวดโดยใช้ลวดเส้นเดียวพันอยู่บนขั้วเดียว ส่วนแบบไบฟีลา เส้นลวด 2 เส้น จะถูกพันเหมือนกันเป็นเส้นเดียวกันบนขั้วเดียว ดังรูปที่ 2.2.11 และขดลวดทั้งสองเส้นนี้จะแยกกันที่ปลายเป็นลักษณะ 2 เส้น แยกกัน ถ้าขดหนึ่งเป็นของเฟส 1 อีกขดเป็นของเฟส 3 และทำนองเดียวกัน ถ้าขดหนึ่งเป็นของเฟส 2 อีกขดจะเป็นของเฟส 4 (กรณีมอเตอร์ 4 เฟส)



รูปที่ 2.2.11

จุดประสงค์ของการพันแบบไบฟีลาก็คือ เพื่อให้จะให้พลังงานกับขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์โดยการสลับขั้วแม่เหล็ก การกระตุ้นแต่ละเฟส อาจเป็นแบบใดแบบหนึ่งใน 3 แบบ ในรูป



Three fundamental exciting circuits: (a) monofilar winding, unipolar excitation; (b) monofilar winding, bipolar excitation; (c) bifilar winding, bipolar excitation.

รูปที่ 2.2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรรูป a) เป็นโมโนฟิลลา ขั้วแม่เหล็กจะถูกกระตุ้นเป็นขั้วเหนือหรือใต้เสมอ ซึ่งแสดงว่าจะไม่สามารถกลับขั้วแม่เหล็กได้ การกระตุ้นแบบนี้เป็นการกระตุ้นแบบขั้วเดียว (Unipolar Excited)

ในวงจรรูป b) ทิศทางของกระแสในขดลวดสามารถสลับได้ต่อเนื่อง จากเป็นวงจรบริดจ์ (Bridge Excited) อย่างไรก็ตามจะต้องใช้ ทราานซิสเตอร์ ถึง 4 ตัว ต่อขดลวด 1 ขด แบบนี้เรียกว่าการกระตุ้นแบบ 2 ขั้ว (Bipolar Excited) การกระตุ้นแบบนี้จะให้ทอร์คที่ความเร็วต่ำ มากกว่าแบบไบฟิลลา แต่ก็มีโอกาสที่ ทราานซิสเตอร์ จะนึ่งได้ เนื่องจากจัดเวลาผิด

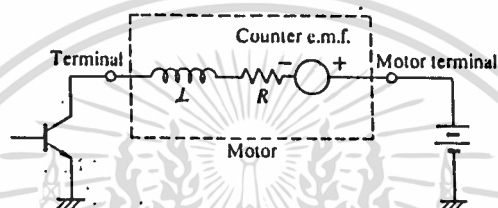
ในวงจรรูป c) เกี่ยวกับคู่สายไบฟิลลา และ ทราานซิสเตอร์ 2 ตัว โดยทำให้สเตเตอร์ถูกกระตุ้นเป็นขั้วแม่เหล็กแบบใดก็ได้ ขณะที่ขดหนึ่งถูกกระตุ้น เป็นขั้วเหนือ อีกขดจะเป็นขั้วใต้ ขดลวด 2 ขดที่พันอยู่ เป็นแบบไบฟิลลา ก็จะเกิดลนามแม่เหล็กคัปปลิง (Coupling) เมื่อขั้วใดขั้วหนึ่งถูกกระตุ้น ถ้าแทนการพันแบบไบฟิลลา ด้วยเส้นลวด 2 เส้นที่แยกจากกัน ความแตกต่างของอินดัคแตนซ์ (Inductance) จะปรากฏระหว่าง ขด 2 ขด ทำให้ตำแหน่งผิดไป

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร กับแบบไฮบริด ที่ใช้แบบไบฟิลลานั้น จะได้ประสิทธิภาพดีกว่า แบบโมโนฟิลลา

2.2.4 วงจรขับมอเตอร์ (Motor Drive)

จุดประสงค์ของวงจรขับก็คือ เพื่อให้ได้โวลต์เตจ และ กระแสที่ถูกต้องไปยังมอเตอร์ในช่วงเวลาที่สั้น และในลักษณะที่มีประสิทธิภาพ ทิศทางของกระแสในขดลวดของมอเตอร์เป็นแบบแม่เหล็กถาวร และ แบบไฮบริดมีความสำคัญ เพราะจะต้องใช้ในทิศทางที่เหมาะสมในเวลาต่างๆ สำหรับการขับมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์จะไม่ขึ้นกับทิศทางของกระแสในขดลวด เนื่องจากไม่มีแม่เหล็กอยู่ในตัวมันเลย

วงจรขับมอเตอร์ จะรับสัญญาณควบคุมมาจาก วงจรจัดลำดับลจิก ในการสร้างวงจรขับมอเตอร์จะมีปัญหา เกี่ยวกับอินดักแทนซ์ และ รีซิสแทนซ์ (Resistance) อนุกรมในวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.2.13 อีกทั้งในการหมุนยังมีปัญหาเกี่ยวกับแรงดันไฟดันกลับ (Back Electromotive Force : Back emf.) นอกจากนี้ยังต้อง คำนึงถึงแหล่งจ่ายไฟดีซี และการใช้กับการป้องกันเฟวเวอร์ทรานซิลเตอร์



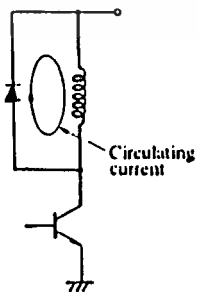
. Equivalent circuit to a winding of a stepping motor.

รูปที่ 2.2.13

จากรูป 2.2.13 เมื่อทรานซิลเตอร์หยุดทำงาน จะเกิดสไปค์โวลท์เตจ (Spike Voltage) เนื่องจากขดลวด (ตัวเหนี่ยวนำ) ซึ่งขดลวดนี้ให้ทรานซิลเตอร์ฟังได้ จึงต้องมีวงจรป้องกันและลดลักษณะแบบนี้อย่างรวดเร็ว โดยวิธีต่อไปนี้

1. ลดโดยใช้ไดโอด (Diode Suppressor) ใช้ไดโอดต่อคล่อมขนานกับขดลวด

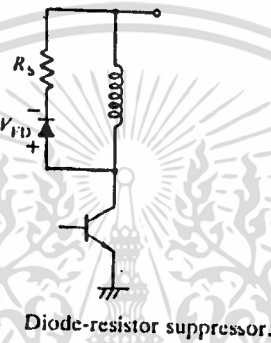
ดัง รูปที่ 2.2.14 กระแสไหลวนอยู่ในวงจรขดลวดกับไดโอด หลังจากทรานซิลเตอร์หยุดทำงาน ซึ่งกระแสนี้จะลดลงไปตามเวลา แต่ก็ใช้เวลานานมาก จึงยังเกิดทอร์คยังมอเตอร์อยู่



Diode suppressor.

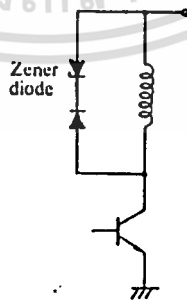
รูปที่ 2.4.14

2. โดยใช้ไดโอดและตัวต้านทาน (Diode and Resistor Suppressor) โดยการต่อตัวต้านทานอนุกรมกับไดโอด แล้วต่อขานานคล่อมขดลวด ดังรูปที่ 2.2.15 วิธีนี้จะช่วยลดเวลา ในการที่จะทำให้กระแสหยุดไหลวน ยิ่งใช้ตัวต้านทานค่า มากๆ กระแสจะหยุดไหลเร็วขึ้น แต่ทรานซิสเตอร์ต้องทนโวลท์เตจคล่อม คอลเลคเตอร์-อีมีเตอร์ เพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.2.15

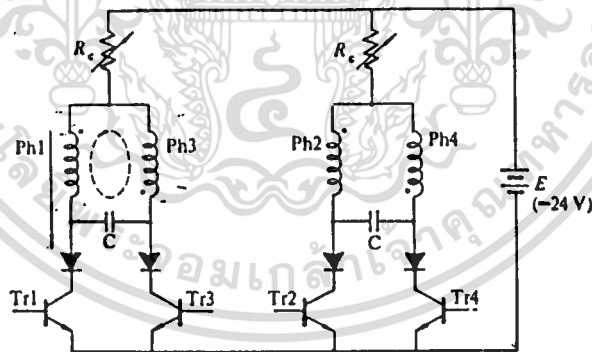
3. โดยใช้ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode Suppressor) โดยการต่อซีเนอร์ไดโอดดัง รูปที่ 2.2.16 การต่อแบบนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับ 2 แบบแรกแล้ว จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ลดกระแสที่เกิดขึ้นได้เร็วกว่า



Zener diode suppressor.

รูปที่ 2.2.16

4. โดยใช้คอนเดนเซอร์ (Condensor Suppressor) วิธีนี้มักจะใช้กับ
 ลเตอมอเตอร์แบบไบพอลาร์ การต่อวงจรดังรูป 2.2.17 ของมอเตอร์ 4 เฟส ตัว
 คอนเดนเซอร์ที่ต่ออยู่ระหว่างเฟส 1 กับเฟส 3 และ เฟส 2 กับเฟส 4 จะทำ
 หน้าที่ดังนี้ ในตอนที่ทรานซิสเตอร์ T1 หยุดทำงาน ในการทำงานแบบกระตุ้นเฟส
 เดียว T2 หรือ T4 เริ่มทำงาน แต่ T3 ยังไม่ทำงาน เนื่องจากเฟส 1 กับเฟส 3
 ต่อกันในลักษณะ ไบพอลาร์ กระแสที่เกิดขึ้นหลังจากที่ T1 หยุดทำงาน จะไหลวนไปตาม
 เส้นไขว่ปลา ดังที่แสดงในรูป. ถ้า T3 เริ่มทำงาน ประจุที่ชาร์จ (Charge) เก็บ
 ในคอนเดนเซอร์จะช่วยเพิ่มทอร์คให้ โดยปล่อยกระแสไหลผ่านเฟส 1 ทั้งนี้การต่อ
 คอนเดนเซอร์สามารถจะใช้กับ การกระตุ้นแบบ 2 เฟสได้ด้วย สำหรับค่า ke ใส่ไว้
 เพื่อปรับค่ากระแสให้เหมาะสม นอกจากนั้นคอนเดนเซอร์ยังช่วยลดการสั่นของมอเตอร์
 โดยเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อนแทน



Four-phase driver with condensor suppressor. External resistors denoted by R_c are adjusted so that the current is at rating.

รูปที่ 2.2.17

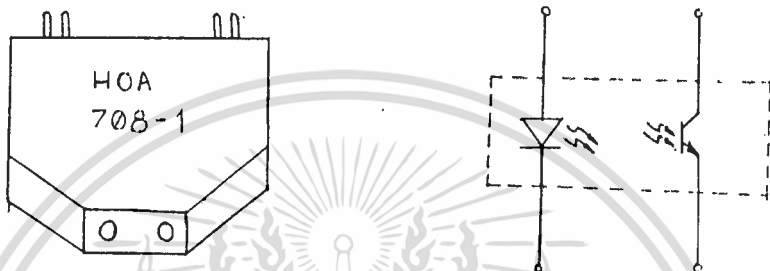
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างและส่วนประกอบของระบบหัวอ่านตามลายเส้น

3.1 โครงสร้างของส่วนหัวอ่านและส่วนควบคุม

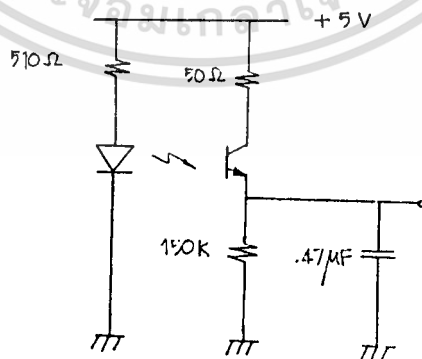
ในส่วนหัวอ่าน เราใช้ Optical Sensor เบอร์ HOA 708-1 ซึ่งมี

โครงสร้างดังรูป 3.1



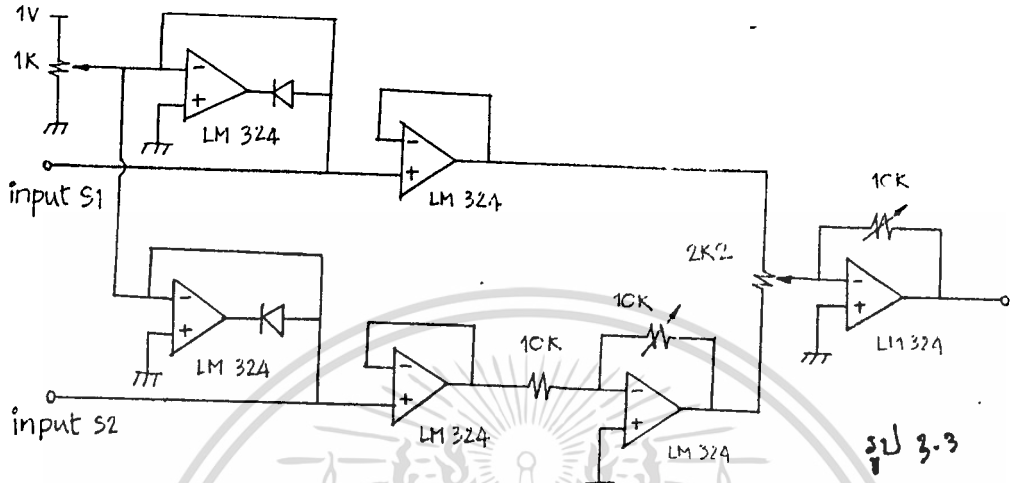
รูป 3.1

จากรูป หัวอ่านจะประกอบด้วย ตัวส่งสัญญาณแสงอินฟราเรด (Infrared Transmitter) และ ตัวรับสัญญาณ (Receiver) ซึ่งเป็น Photo Transistor อยู่ในตัวเดียวกันและทำมุมกัน 40 องศา เมื่อทำการทดลอง จ่ายไฟตรง 5 V และวัดผลตอบสนองของ Photo Transistor ที่ระยะห่างต่างๆกันจากลายเส้น ได้ผลการทดลอง ดังรูป 3.2



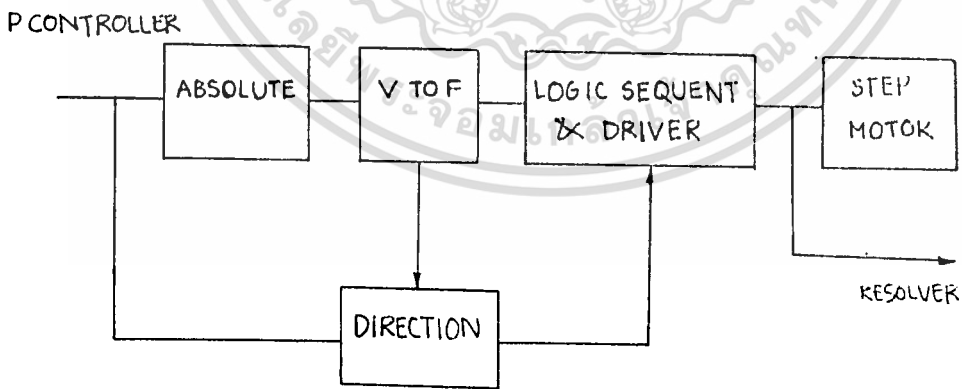
รูป 3.2

ในการทำงานของระบบ ใช้หัวอ่าน 2 หัว ต่อเชื่อมไปที่เส้นที่ต้องการติดตาม แล้ววัดผลต่างของสัญญาณจากหัวอ่านทั้ง 2 หัว นำไปเข้าวงจรควบคุม ดังรูป 3.3



3.2 วงจรขับเคลื่อนสเตปมอเตอร์

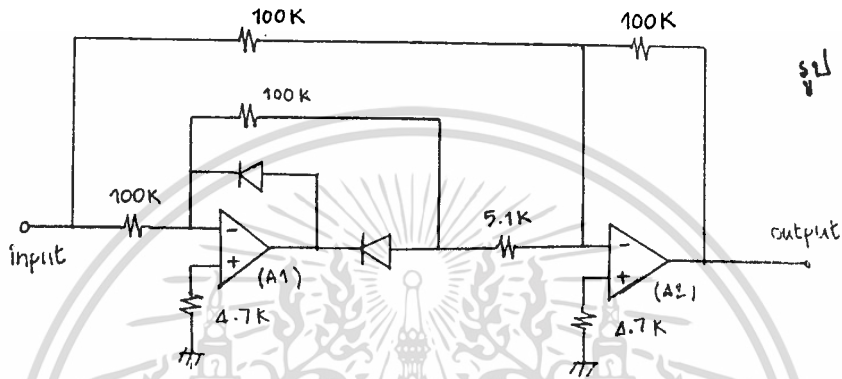
สัญญาณจากตัวควบคุม ซึ่งเป็นผลต่างของระยะห่างจากสายเส้นของหัวอ่านทั้ง 2 จะถูกนำไปขับเคลื่อนสเตปมอเตอร์ ให้หมุนไปในทิศทางที่จะลดผลต่างของสัญญาณจากหัวอ่านทั้ง 2 ซึ่งก็คือ ให้สายเส้นอยู่ตรงกลางระหว่างหัวอ่านทั้ง 2 รายละเอียดของวงจรมี ดังรูป 3.4



รูป 3.4

3.2.1 วงจรค่าสัมบูรณ์

เนื่องจากสัญญาณจากตัวควบคุม มีทั้งค่าบวกและลบ จึงต้องนำมาเข้าวงจรนี้ ก่อนจะไปยังวงจร เปลี่ยนศักดาเป็นความถี่



รูป 3.5

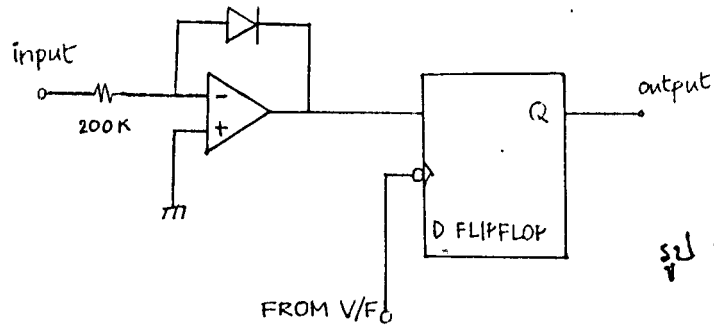
หลักการทำงาน จากรูปจะเห็นว่า เมื่ออินพุตโวลต์เตจเป็นลบ สัญญาณจะถูกกลับเฟส โดย A2 ผ่านทาง Upper Channel (A) ขณะที่ Lower Channel (B) ไม่มีกระแสไหล เมื่ออินพุตโวลต์เตจเป็นบวก สัญญาณจะถูกกลับเฟสโดย A1 และขาอินพุต E₋ ของ A2 จะได้รับกระแส(I)จากอินพุตโวลต์เตจผ่านทาง Channel A และ จ่ายกระแส(2I)ผ่านทาง Channel B ดังนั้น เอาท์พุทโวลต์เตจ จึงมีค่าเป็นบวกเสมอ เขียน Transfer Function

ได้

$$V_o = |V_i|$$

3.2.2 วงจรเช็คเครื่องหมาย

สัญญาณจากวงจรควบคุม จะถูกนำมาตรวจสอบว่าเป็นบวกหรือลบ เพื่อนำไปควบคุมทิศทางหมุนของสเตปมอเตอร์

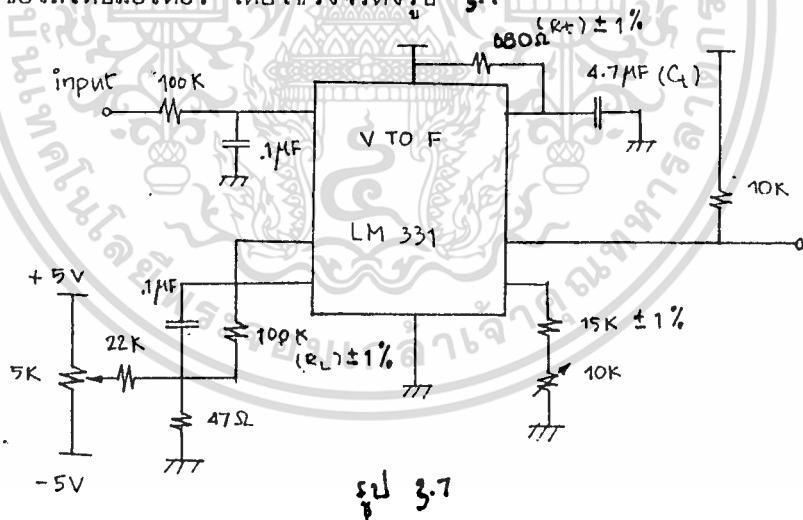


รูป 3.6

จากรูป เมื่ออินพุตเป็นลบ D1 นำกระแส เอาท์พุทจึงเป็นศูนย์ เมื่ออินพุตเป็นบวก D1 ไม่นำกระแส เอาท์พุทจะเป็น 5V (V+ supply) ส่วน D Flip Flop ใช้เพื่อลดสัญญาณรบกวน โดยใช้ clock จาก วงจรเปลี่ยนศักดาเป็นความถี่

3.2.3 วงจรเปลี่ยนศักดาเป็นความถี่ (V/F)

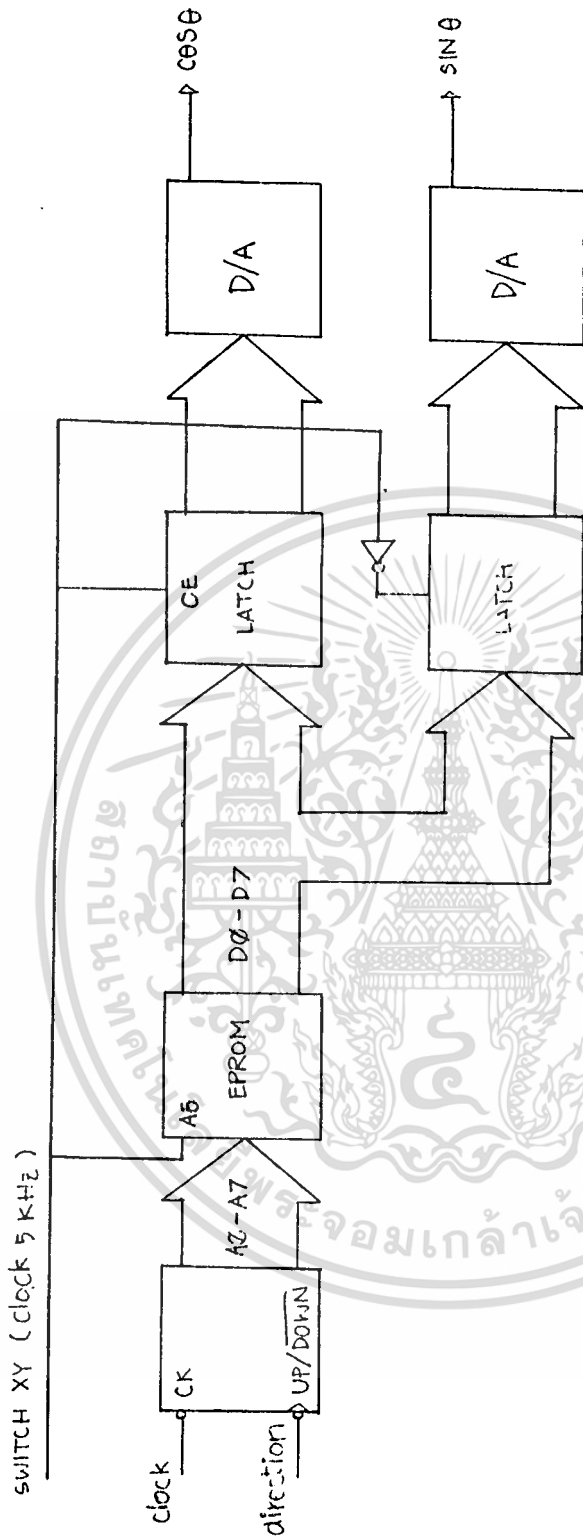
สัญญาณโวลท์เตจที่ได้จากวงจรค่าสัมบูรณ์ จะถูกนำมาใช้สร้างความถี่ เพื่อควบคุมความเร็วของสเตปมอเตอร์ โดยให้วงจรดังรูป 3.7



รูป 3.7

สัญญาณความถี่ที่ได้จากวงจรมี จะแปรค่าตามโวลท์เตจอินพุท ตามสมการ

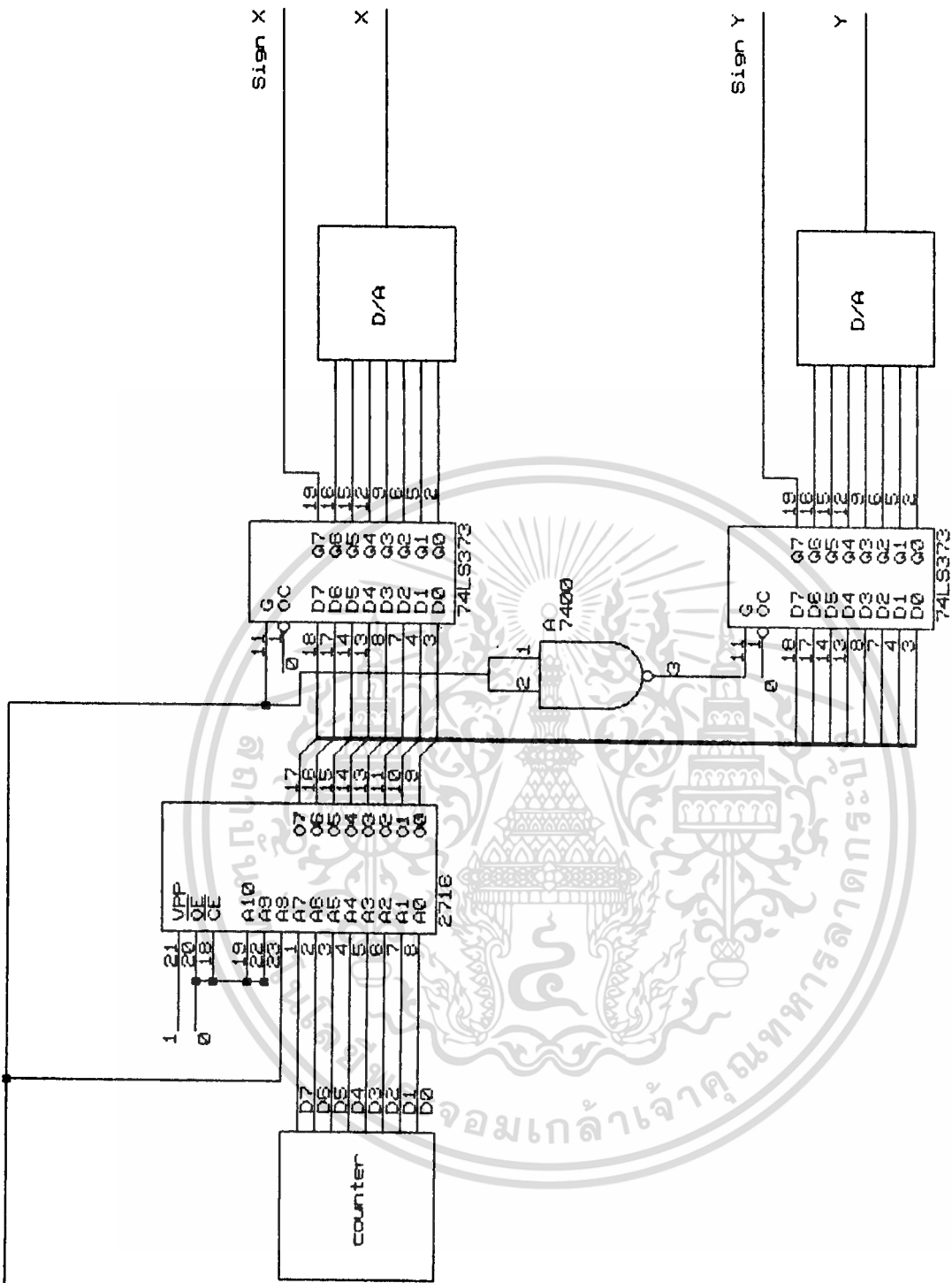
$$F_{out} = (V_{in} * R_s) / (2.09 * R_L * R_L * C_t)$$



รูป 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Clock 5Kz

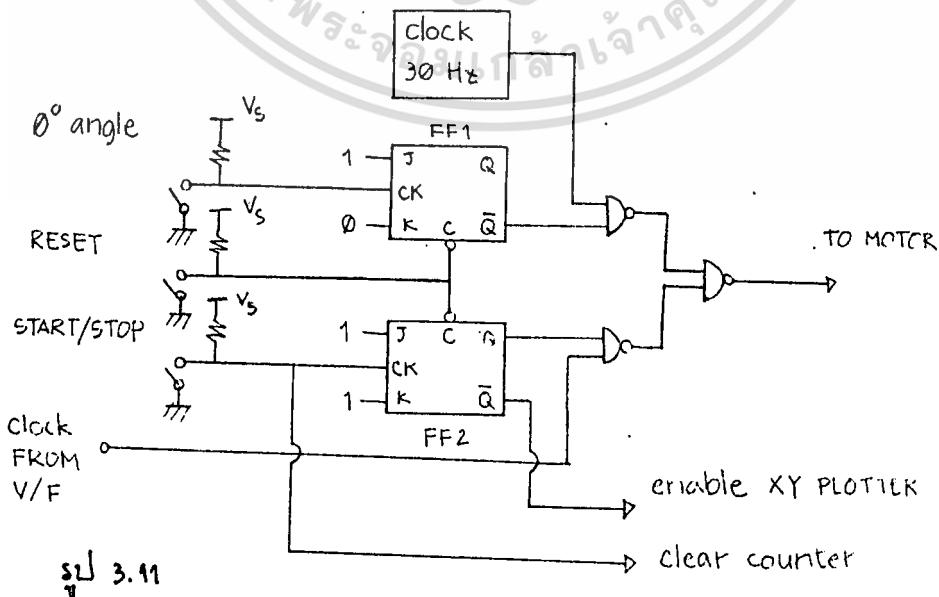


รูป 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของวงจร

clock ที่จะนำไปขับเสตีปมอเตอร์ จะถูกนับโดยวงจรรนับ เพื่อที่จะได้รู้ว่า มอเตอร์ได้หมุนไปเป็นมุมเท่าไร โดยที่มอเตอร์จะหมุนครบ 1 รอบ 360 องศา ก็ต่อเมื่อ หมุนไป 200 เสตีปละ 1.8 องศา โดยทิศทางการหมุนของมอเตอร์ จะสัมพันธ์กับการ นับขึ้นและลงของวงจรรนับนั่นเอง ค่าที่ได้จากวงจรรนับ จะชี้ไปยังตำแหน่งต่างๆในตาราง ค่า $\cos\theta$, $\sin\theta$ ที่เก็บไว้ใน EPROM โดยมี สวิตช์ XY ซึ่ง เป็น clock ความถี่ 5 kHz เป็นตัว demultiplex ระหว่างค่า \cos และ \sin ให้แยกกันออกมาที่ วงจร latch ของแต่ละตัว โดยเราเก็บตารางของค่า $\sin\theta$ ที่แอดเดรส 0000 - 00FF และของ $\cos\theta$ ที่แอดเดรส 0100 - 01FF ดังนั้นเราจึงใช้สถานะของขา A8 ของ EPROM เป็นตัวบอกว่า ค่าที่ได้ออกมานั้น เป็นค่า \cos หรือ \sin (โดยเมื่อขา A8 เป็น 1 ค่าที่ออกมาจะเป็นค่า \cos และเมื่อเป็น 0 จะเป็นค่า \sin) แล้วไปสั่งให้วงจรร latch ของแต่ละตัวทำงาน จากวงจรร latch เราก็นำไปเข้าวงจรร D/A เพื่อไปขับ driving arm ของแต่ละแกนต่อไป โดยมี bit D7 เป็น sign bit. จากหลักการข้างนี้ Resolver จะทำงานได้ถูกต้องก็ต่อเมื่อ เราต้องทำการ ตั้งมุม 0 องศา ให้กับ Resolver เสียก่อนโดยถือเอาแกน x เป็นหลัก โดยมีวงจรร ดังรูป 3.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

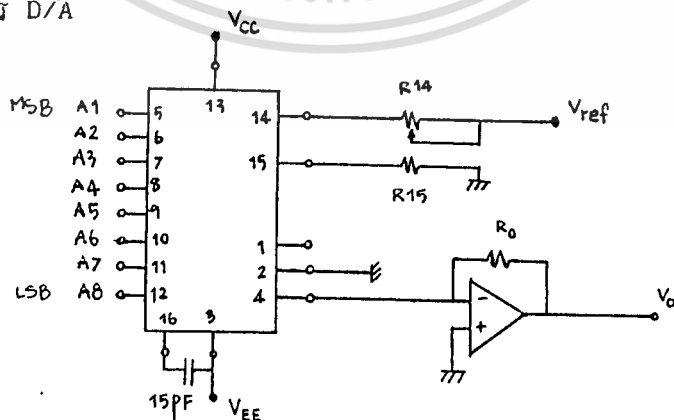
หลักการทํางาน

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องหรือสวิตช์ reset ถูกกด FF1 จะเป็นตัวเปิด gate ให้ clock ความถี่ 30 Hz ผ่านไปขับ motor ให้หมุนไปหามุม 0 องศา โดยในขณะนี้ FF2 ซึ่งเป็นวงจร toggle จะปิด gate ไม่ให้ความถี่จากวงจร V/F ผ่านไปได้ เมื่อ motor หมุนไปถึงมุม 0 องศา ก็จะมีสัญญาณมาทริก FF1 ทำให้ gate ถูกปิด ความถี่ 30 Hz ก็จะไม่สามารรถผ่านไปได้ motor ก็จะหยุดหมุน และรอรับสัญญาณจาก switch start/stop ที่จะไปเปิด gate โดย FF2 ให้ความถี่จากวงจร V/F ผ่านไปขับ motor เป็นการเริ่มการทํางานของระบบ

3.3.1 วงจรนับ 200 ขึ้น-ลง

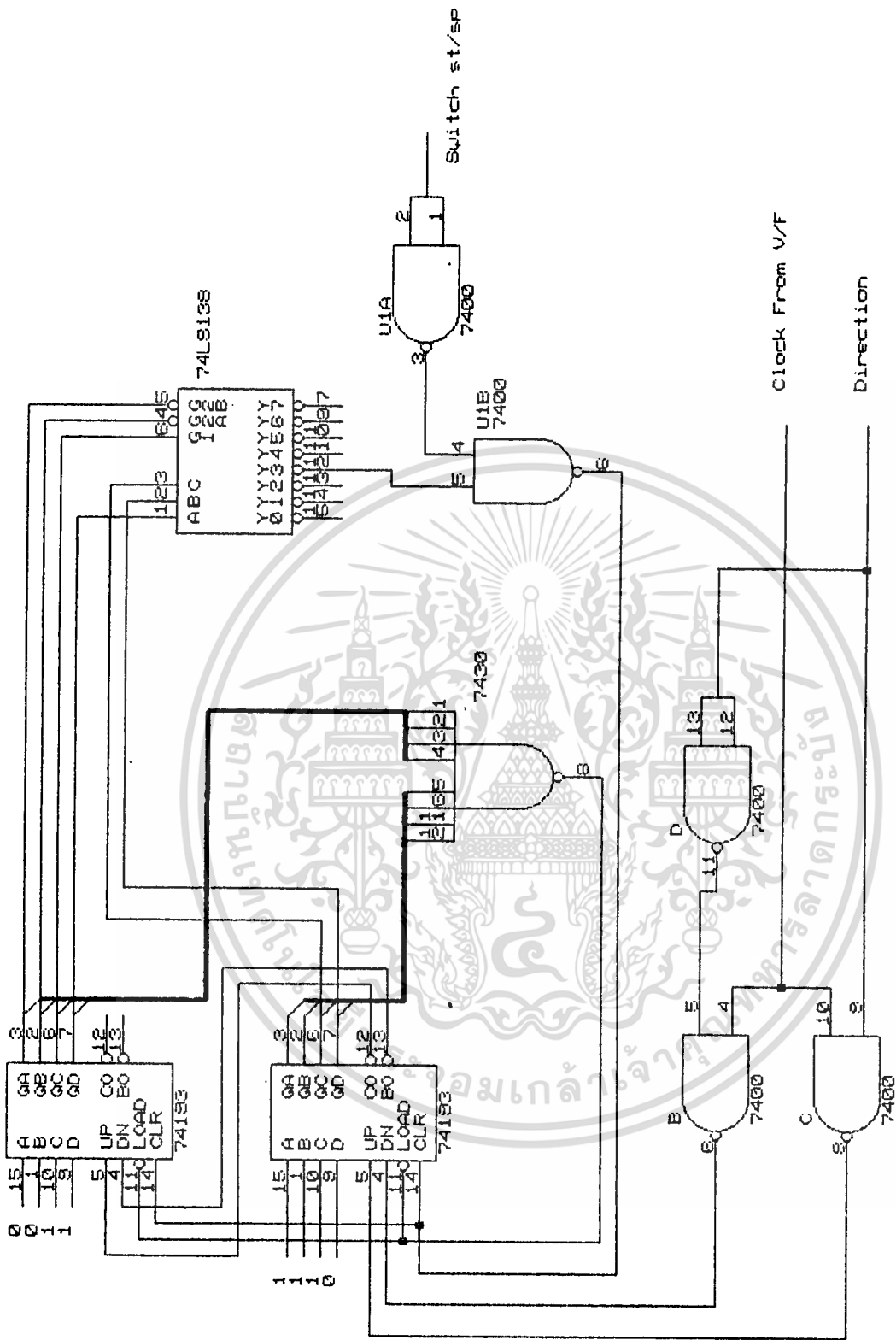
จากรูป 3.10 เราใช้ Counter เบอร์ 74193 2 ตัว ต่ออนุกรมกัน ซึ่งจะสามารถนับได้ ตั้งแต่ 0 - 255 แต่เราต้องการให้นับเพียง 0 - 199 ดังนั้น เราจึงใช้ IC 7430 ซึ่งเป็น NAND Gate ที่มี อินพุต 8 ขา และ IC 74LS138 เป็นตัว Decode เมื่อ วงจรนับ นับขึ้นถึง 199 IC 74LS138 ก็จะส่งสัญญาณไป Clear วงจรนับ เมื่อ นับลงถึง 255 IC 7430 ก็จะส่งสัญญาณไป Load ค่า 199 มาให้วงจรถับ **ผังรูป 3.13**

3.3.2 วงจร D/A



รูป 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



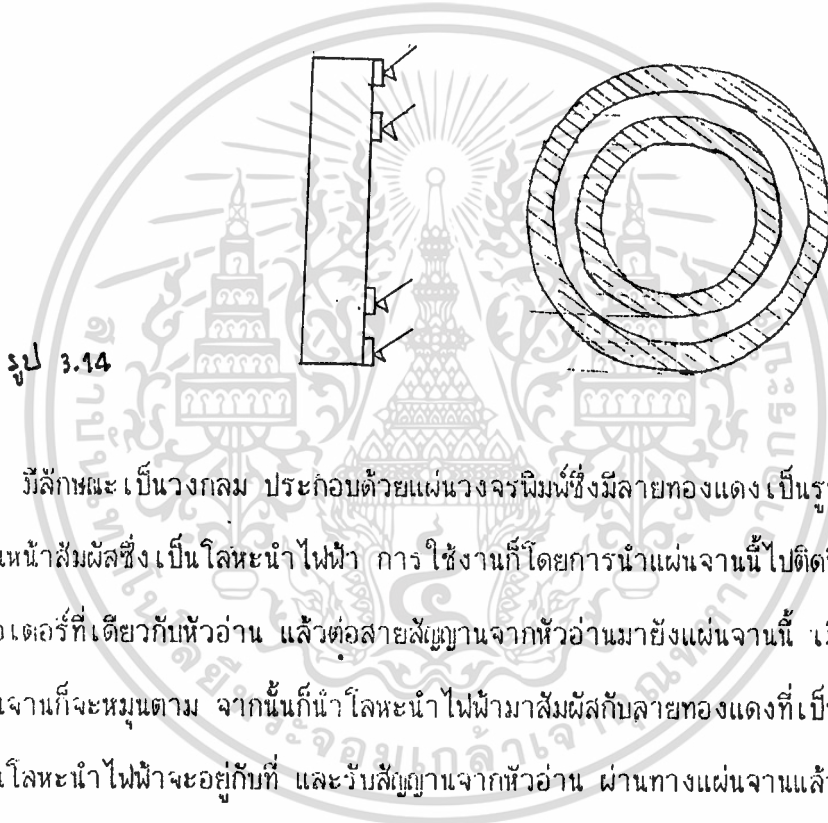
รูป 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ส่วนส่งและรับสัญญาณจากหัวอ่าน

ในการทำงานของระบบ PATTERN TRACKING นี้ ส่วนหนึ่งที่สำคัญและมีผลต่อการทำงานของระบบมาก ก็คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ รับและส่งสัญญาณจากหัวอ่านซึ่งจะต้องหมุนอยู่ตลอดเวลา ทำให้ใช้สายไฟแบบธรรมดาไม่ได้ ซึ่งปัญหานี้ก็มีวิธีแก้ไขได้หลายทาง เช่น

3.4.1 หน้าสัมผัสแบบจาน

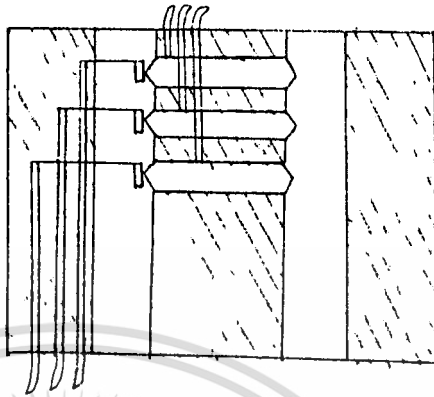


รูป 3.14

วิธีลักษณะ เป็นวงกลม ประกอบด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งมีลายทองแดง เป็นรูปร่างแหวน และส่วนหน้าสัมผัสซึ่งเป็นโลหะนำไฟฟ้า การใช้งานก็โดยการนำแผ่นจานนี้ ไปติดที่เนลลอมอเตอร์ที่เดียวกับหัวอ่าน แล้วต่อสายสัญญาณจากหัวอ่านมายังแผ่นจานนี้ เมื่อหัวอ่านหมุนแผ่นจานก็จะหมุนตาม จากนั้นก็นำโลหะนำไฟฟ้ามาสัมผัสกับลายทองแดงที่เป็นรูปร่างแหวน โดยส่วนโลหะนำไฟฟ้าจะอยู่กับที่ และรับสัญญาณจากหัวอ่าน ผ่านทางแผ่นจานแล้วส่งไปยังวงจรควบคุมต่อไป

ข้อเสียของหน้าสัมผัสแบบจานนี้ก็คือการสึกหรอของหน้าสัมผัส เนื่องจากรัศมีของวงแหวนแต่ละวงไม่เท่ากัน เมื่อมีการใช้งาน การสึกหรอที่เกิดขึ้นก็จะไม่เท่ากัน ทำให้การทำงานของระบบอาจเกิดการผิดพลาดได้ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ โดยเปลี่ยนมาใช้หน้าสัมผัสแบบทรงกระบอก

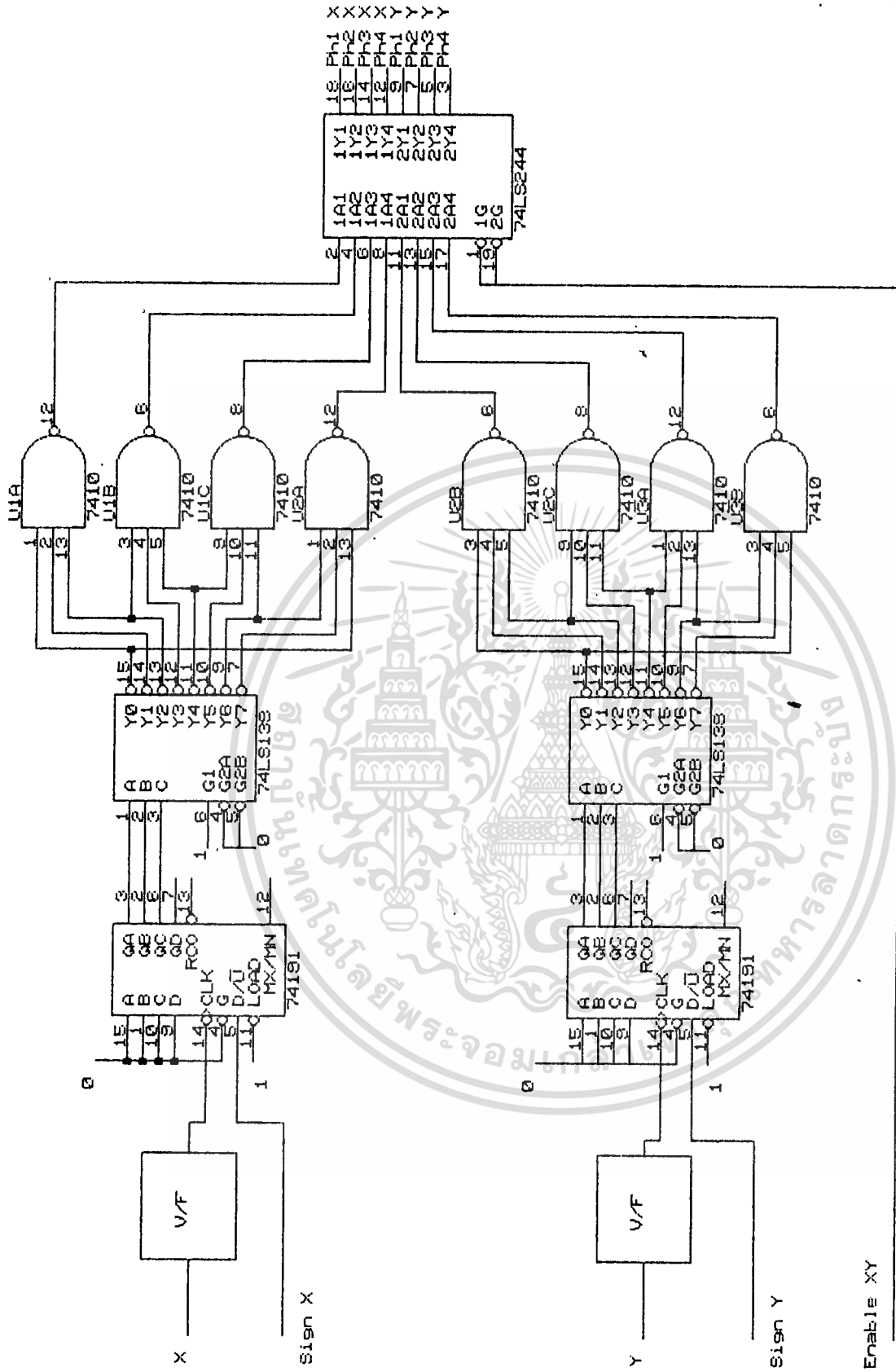
3.4.3 หน้าสัมผัสแบบทรงกระบอก



รูป 3.15

หน้าสัมผัสแบบนี้จะมีโครงสร้างดังรูป ประกอบด้วยทรงกระบอก 2 อัน สวมเข้าด้วยกัน ทรงกระบอกอันในจะกลวงและมีโลหะนำไฟฟ้าฝังเป็นรูปร่างแหวนอยู่รอบนอก แต่ลวดวงแหวนจะมีสายไฟต่อมายังตำแหน่งของทรงกระบอกโดยผ่านทางด้านกลวงของทรงกระบอก ทรงกระบอกอันนอกจะถูกนำมาสวมกับอันใน และมีหน้าสัมผัสยื่นออกมาแตะกับวงแหวนของทรงกระบอกอันใน การใช้งานก็ทำได้โดยการนำทรงกระบอกอันในไปต่อติดกับเพลามอเตอร์และหัวอ่าน เมื่อหัวอ่านหมุนทรงกระบอกก็จะหมุนตาม ขณะที่ทรงกระบอกอันนอกอยู่กับที่ และรับสัญญาณจากหัวอ่านผ่านทางหน้าสัมผัสส่งไปยังวงจรควบคุมต่อไป ซึ่งแบบนี้จะสามารถแก้ปัญหาการลึกรหรือที่ไม่เท่ากันของหน้าสัมผัสได้

นอกจากการลึกรหรือของหน้าสัมผัสแล้ว ที่หน้าสัมผัสยังมีความต้านทานอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสัญญาณที่จะส่งได้ รวมทั้งการสัมผัสของหน้าสัมผัสซึ่งบางที่ก็สัมผัส บางที่ก็ไม่สัมผัส ทำให้สัญญาณที่ได้ผิดพลาด ทางแก้ไขก็คือ ให้นำหน้าสัมผัส 2-3 ชุด ต่อสายสัญญาณ 1 เส้น ซึ่งจะทำให้ความต้านทานรวมลดลง อีกทั้งเมื่อนำหน้าสัมผัสอันหนึ่งไม่สัมผัส ก็ยังเหลือหน้าสัมผัสอันอื่นอีกที่จะเป็นตัวส่งสัญญาณ เป็นการเพิ่มความเชื่อถือในการทำงานของระบบด้วย



รูป 3.17

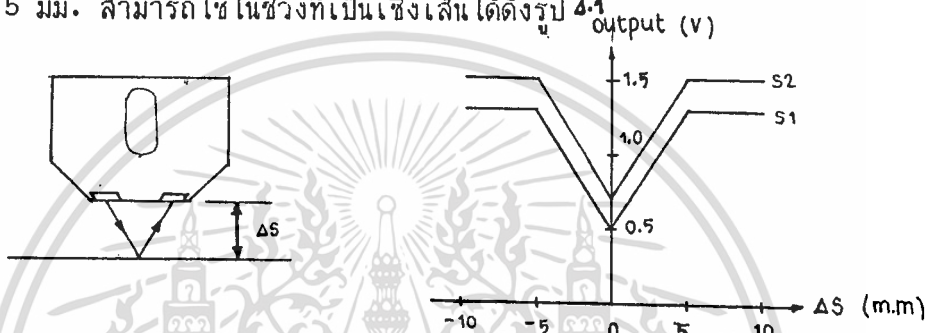
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ส่วนรับสัญญาณและวงจรมุมเตอร์

4.1.1 ส่วนรับสัญญาณและตัวควบคุม

จากวงจรในรูป 3.2 เมื่อวัดค่าโวลต์เทียบกับระยะทาง Δs สูงจากกระดาษในช่วง 0 - 5 มม. สามารถใช้ในช่วงที่เป็นเชิงเส้นได้ดังรูป 4.1



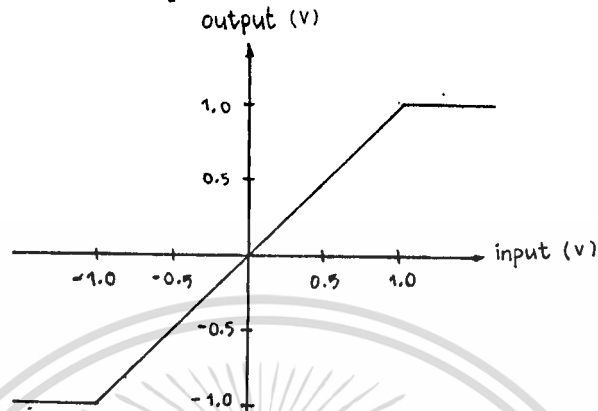
รูป 4.1

จะเห็นว่าผลตอบสนองต่อสัญญาณของ sensor ทั้ง 2 ชุด จะไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจาก

- 1 ความไม่เหมือนกันโดยสมบรูณ์ของ sensor 2 ตัว
- 2 ความไม่เรียบของกระดาษที่ใช้ทดลอง
- 3 แสงรบกวนจากสภาพแวดล้อม

ทางแก้ไข ก็ทำได้โดยการใช้วงจรลิมิตโวลต์เตจ เพื่อจะได้ใช้สัญญาณเอาต์พุต จาก sensor เฉพาะในช่วงที่เป็นเชิงเส้น ในวงจรจะตั้งไว้ที่ค่า 1 โวลต์ โดย VR1 ในส่วนของตัวควบคุม ซึ่งเป็นแบบ P controller มี VR4 เป็นตัวปรับอัตราขยายของวงจร และ มี VR2 , VR3 เป็นตัวรับค่าผลตอบสนองของ sensor ทั้ง 2 ชุด ให้มีค่าเท่ากัน รายละเอียดของวงจรอยู่ในรูป

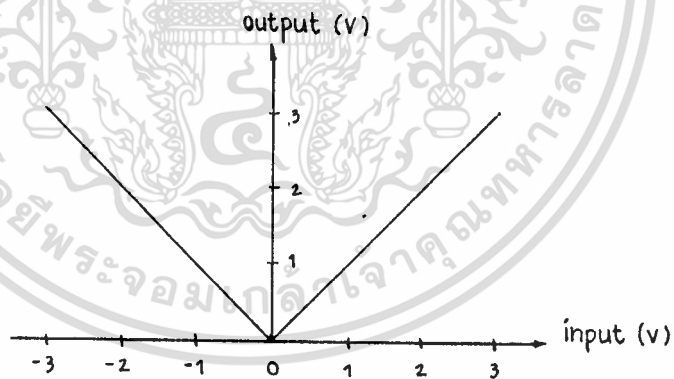
กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อินพุตคือความแตกต่างของระยะห่างจากสายเส้นของหัวอ่านทั้ง 2 กับเอาต์พุตจากตัวควบคุม แสดงได้ดังรูป 4.2



รูป 4.2

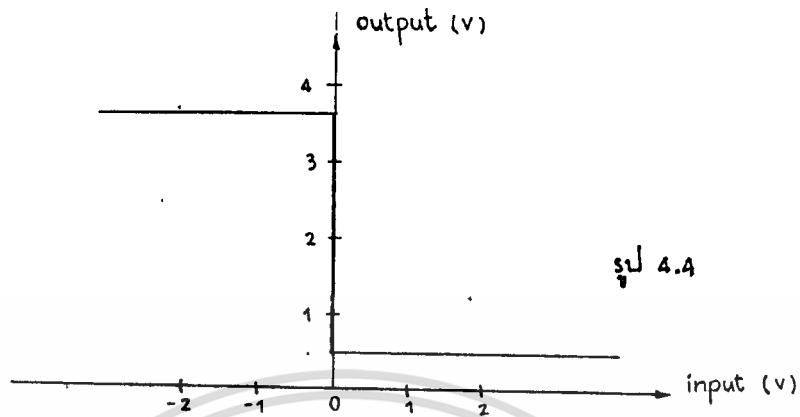
สัญญาณจากตัวควบคุม จะถูกนำไปควบคุมสเตปมอเตอร์ให้หมุนไปในทิศทางที่จะลดผลต่างระหว่างสัญญาณที่ได้รับจากหัวอ่าน ทั้ง 2 ตัว โดยวงจรจะประกอบไปด้วย

4.1.2 วงจรค่าสมบูร์ดังรูป 3.5 ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่าง อินพุตกับเอาต์พุต ดังรูป 4.3



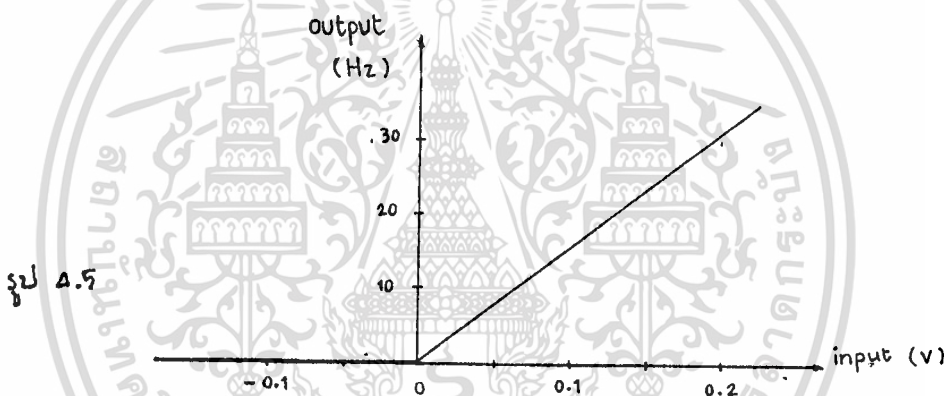
รูป 4.3

4.1.3 วงจรเช็คเครื่องหมาย รูป 3.6 แสดงผลการทดลองได้ดังรูป 4.4



รูป 4.4

4.1.4 วงจรเปลี่ยนโวลต์เตจเป็นความถี่



$$F_{out} = (V_{in} * R_s) / (2.09 * R_L * R_t * C_t)$$

สัญญาณจาก V/F และวงจรเช็คเครื่องหมาย จะถูกนำไปเข้าวงจรจัดลำดับลอจิกและวงจรขับ โดยจะเป็นแบบ กระตุ่นเฟลเตียว และวงจรขับใช้แบบ Diode Suppressor

จากการทดลอง เมื่อนำหัวอ่านไปคล่อมเส้นที่จะติดตาม เราก็สามารถควบคุมให้ หัวอ่านหยุดอยู่ตรงกลางระหว่างเส้นได้

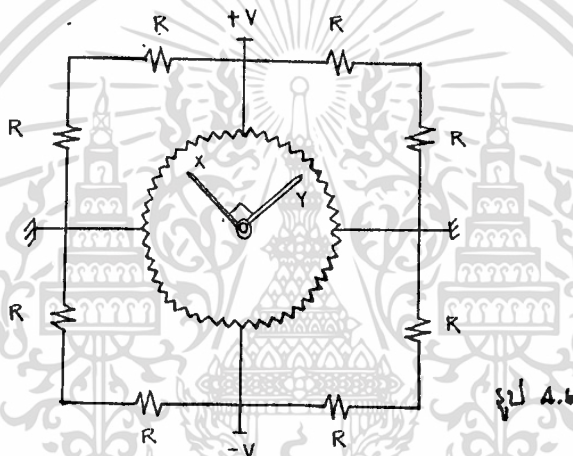
เมื่อทำการเปรียบเทียบการทำงานของส่วนนี้ระหว่าง 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ มอเตอร์กระแสตรง กับ แบบที่ใช้สเตปมอเตอร์ ได้ดังนี้คือ แบบที่ใช้สเตปมอเตอร์จะใช้พลังงานมากกว่า วงจรควบคุมก็ซับซ้อนกว่า แต่จะสามารถ ควบคุมได้โดยง่ายจากไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

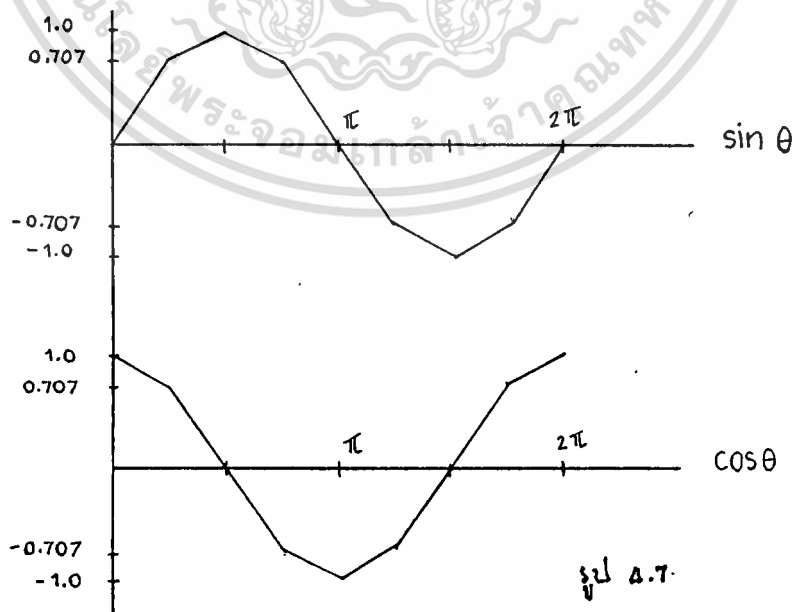
4.2 รีโวลเวอร์

ในส่วนนี้จะประกอบด้วยวงจรต่างๆดังรูป เราทำการทดลองโดยการป้อนพัลส์ให้กับวงจรนับในทิศทางเดียวกันตลอด แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตที่วงจร D/A ทั้ง 2 ชุด เราจะได้สัญญาณ $\cos\theta$ และ $\sin\theta$ ออกมามีคาบเวลาแปรค่าตามความถี่ และขนาดแปรค่าตามอัตราขยายของวงจร D/A จากการ Simulate วงจรรีโวลเวอร์โดยไมโครคอมพิวเตอร์ จะได้ผลออกมาดังรูป

เมื่อเปรียบเทียบกับรีโวลเวอร์แบบที่มีหน้าสัมผัสทางกลที่มีวงจรดังรูป 4.6

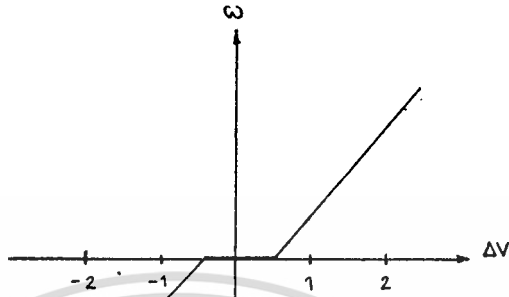


ซึ่งมีเอาต์พุตออกมาดังรูป 4.7

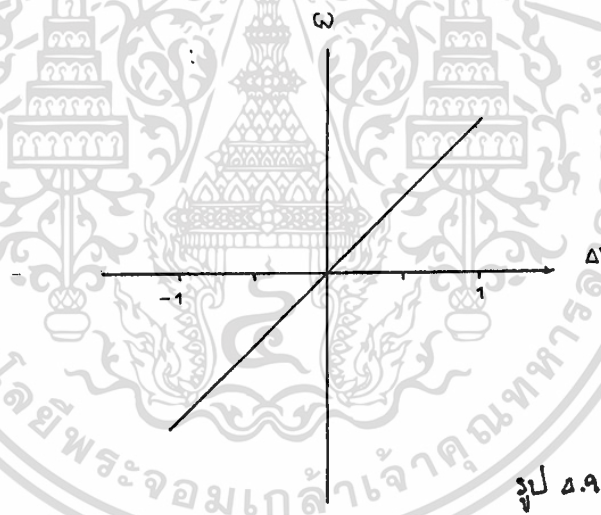


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทโวลต์เทียบกับความเร็วมอเตอร์ของทั้ง 2 แบบ

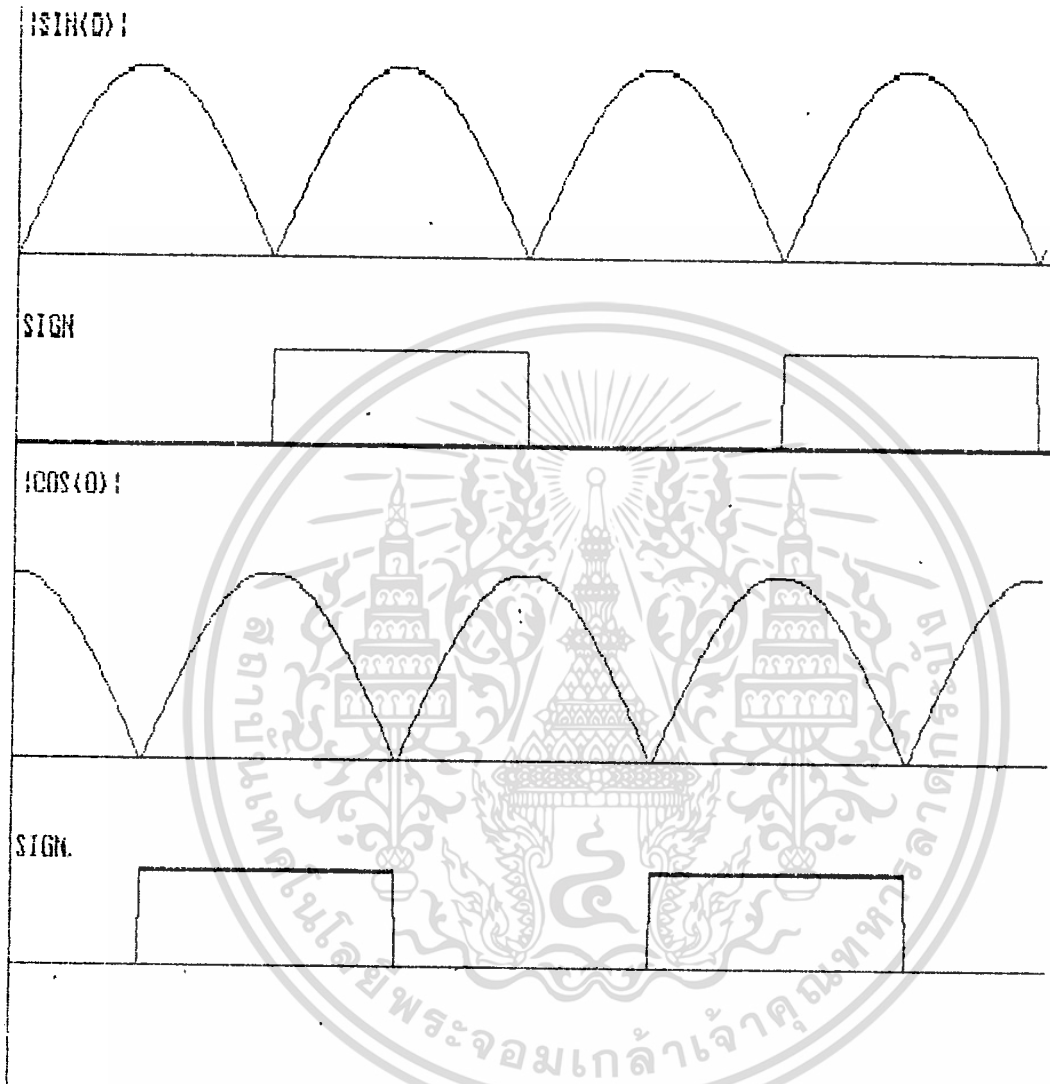


รูป 4.8



รูป 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าอิเล็กทรอนิกส์โซลเวอร์ จะมีเอาต์พุตที่มีความละเอียดสูงขึ้น ความคงทนและความเชื่อถือในการใช้งานมากขึ้น ไม่มีการสึกหรอของหน้าสัมผัสและสัญญาณรบกวน แต่ว่าวงจรจะมีความซับซ้อนมากขึ้น และราคาสูงขึ้นด้วย

4.3 วงจรจัดลำดับลอจิกและวงจรขับของ Driving Arm

จากการทดลองเมื่อขับสเตปมอเตอร์โดยใช้การกระตุ้นแบบ 2 เฟส พบว่าที่ความเร็วต่ำจะเกิดการสั่นและเกิดเสียงดัง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ในการกระตุ้นแบบ 1 -2 เฟส ก็จะแก้ปัญหาการสั่นและเกิดเสียงดังได้

4.4 ระบบหัวอ่านติดตามลายเส้น

เมื่อทำการทดลองระบบรวมทั้งหมดพร้อมกัน โดยเริ่มต้น เราจะนำหัวอ่านไปคล้องเส้นที่จะติดตาม และตั้งมุม 0 องศา ให้กับหัวอ่าน จากนั้นก็เป็นการเริ่มต้นการทำงานของระบบ จากการทดลองปรากฏว่าหัวอ่านสามารถที่จะติดตามลายเส้นได้ทั้งในแนวแกน X และแกน Y แต่เมื่อทำการทดลองต่อไปหลายครั้ง ปรากฏว่าในบางครั้ง หัวอ่านจะหลุดออกจากลายเส้นที่ติดตามอยู่ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการที่วงจรมุมซึ่งมีหน้าที่ตรวจสอบมุมที่หัวอ่านทำกับมุม 0 องศา นับผิดเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนในระบบได้ อีกสาเหตุหนึ่งก็คือ สเตปมอเตอร์ที่ควบคุมหัวอ่านเราใช้การกระตุ้นแบบ 1 เฟส คือมอเตอร์จะหมุนแต่ละสเตป เป็นมุม 1.8 องศา ซึ่งในบางครั้งมอเตอร์ได้รับสัญญาณให้หมุนกลับทิศ หัวอ่านอาจจะหมุนเลยออกนอกเส้นที่ติดตามด้วยก็ได้ แนวทางแก้ไขก็คือการเปลี่ยนไปใช้การกระตุ้นแบบ 1 -2 เฟส ซึ่งจะช่วยให้มุมในการหมุนแต่ละสเตปลดลงได้

ในการทำงานของระบบหัวอ่านติดตามลายเส้นนี้ เนื่องจากว่าระบบนี้ประกอบไปด้วย สเตปมอเตอร์ถึง 3 ตัว แต่ละตัวต่างก็ใช้พลังงานมาก สัญญาณรบกวนที่ออกมาจากสเตปมอเตอร์ทั้ง 3 ตัวนี้ ในบางครั้งจะไปรบกวนการทำงานของระบบ จนระบบเกิดการ ออสซิลเลทและไม่สามารถทำงานได้ก็มี สรุปก็คือระบบที่สร้างขึ้นตอนนี้ สามารถใช้งานได้ เพียงบางส่วน ยังไม่สมบูรณ์จนสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง และยิ่งขาดความน่า เชื่อถือในการทำงานด้วย ในการที่จะพัฒนาต่อไปโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์มาควบคุม การทำงานของระบบนั้น สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงก็คือ เรื่องของสัญญาณรบกวนนี้เอง

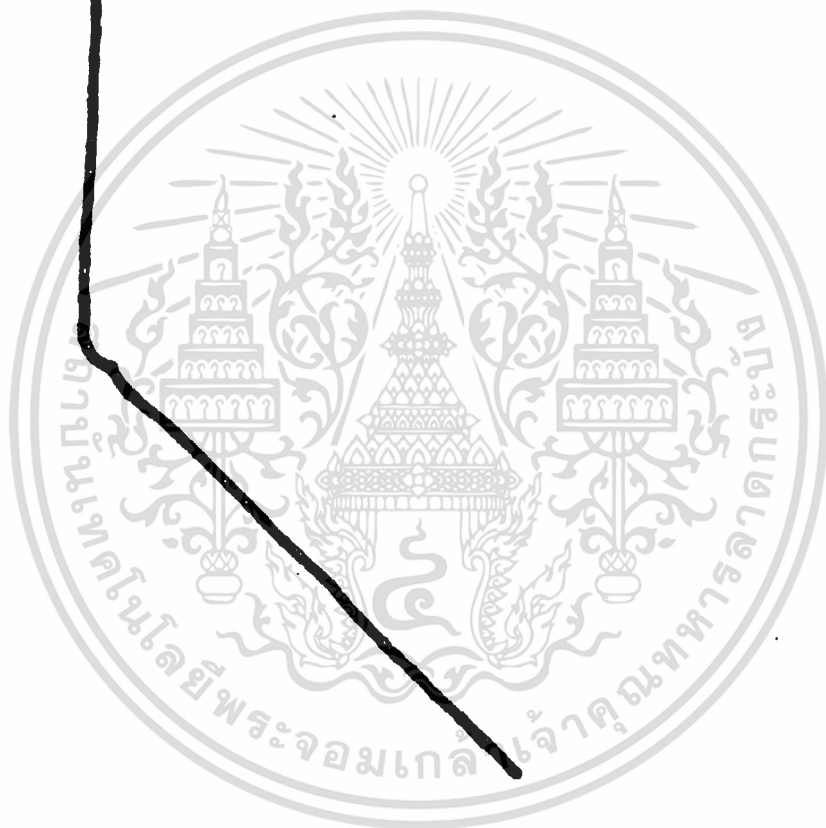


ผลกรทศ๑๐๑ท้ระบบ



(ต้นแบบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(มรทล๑๑)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ต้นแบบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ทรทค๑๑)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

ระบบหัวอ่านติดตามลายเส้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้มากมาย อยู่ ณ สถานที่เห็นได้ชัดก็คือ ใช้ในเครื่องตัดเหล็กด้วยแก๊สแบบอัตโนมัติ ซึ่งต้องสั่งซื้อด้วยราคาที่แพงจากต่างประเทศ ดังนั้นในการพัฒนาระบบหัวอ่านติดตามลายเส้นนี้ นอกจากจะต้องเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบแล้ว ยังต้องคำนึงถึงต้นทุนในการสร้างอีกด้วย

จากการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่า เราสามารถพัฒนาองค์ประกอบแต่ละส่วนของระบบให้ดีขึ้นได้ เช่น ในส่วนของรีโซลเวอร์และวงจรถามุมหัวอ่าน และเมื่อทำการทดลองรวมทั้งระบบแล้ว ปรากฏว่า ระบบสามารถทำงานได้ดีเป็นบางครั้ง นั่นก็หมายความว่าระบบยังขาดความน่าเชื่อถือในการทำงานอยู่ เนื่องจากสาเหตุดังกล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ ระบบยังขาดสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งานอีกหลายอย่าง เช่น ส่วนควบคุมหัวอ่านให้หยุดทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อทำงานเสร็จ เป็นต้น ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ ถ้าหากเราใช้วงจรถามุมและดิจิตอลแบบเดิมในการแก้ปัญหา ก็จะส่งผลให้ระบบมีความซับซ้อนมากขึ้นและราคาสูงขึ้นด้วย เพราะฉะนั้นทางออกทางหนึ่งก็คือ การนำไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบแทนแบบเดิม ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยใช้การเขียนโปรแกรม ทำให้ระบบมีความยุ่งยากลดลง สามารถตรวจสอบการทำงานของระบบ และเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ง่าย ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นด้วย เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ได้พัฒนาไปมาก ยังผลให้เราสามารถใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีคุณภาพสูงในราคาที่ไม่แพงมากได้ ซึ่งจะมีผลต่อต้นทุนในการพัฒนาและผลิตเพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรมต่อไป

35	0 0 1 0 0 0 1 1	23	129	122	0 1 1 1 1 0 1 0	7A	29
32	0 0 1 0 0 0 0 0	20	12A	123	0 1 1 1 1 0 1 1	7B	2A
29	0 0 0 1 1 1 0 0	1C	12B	124	0 1 1 1 1 1 0 0	7C	2B
24	0 0 0 1 1 0 0 0	18	12C	125	0 1 1 1 1 1 0 1	7D	2C
20	0 0 0 1 0 1 0 0	14	12D	125	0 1 1 1 1 1 0 1	7D	2D
16	0 0 0 1 0 0 0 0	10	12E	126	0 1 1 1 1 1 1 0	7E	2E
12	0 0 0 0 1 1 0 0	0C	12F	126	0 1 1 1 1 1 1 0	7E	2F
8	0 0 0 0 1 0 0 0	08	130	127	0 1 1 1 1 1 1 1	7F	30
4	0 0 0 0 0 1 0 0	04	131	127	0 1 1 1 1 1 1 1	7F	31
0	0 0 0 0 0 0 0 0	00	132	127	0 1 1 1 1 1 1 1	7F	32
-4	1 0 0 0 0 1 0 0	84	133	127	0 1 1 1 1 1 1 1	7F	33
-8	1 0 0 0 1 0 0 0	88	134	127	0 1 1 1 1 1 1 1	7F	34
12	1 0 0 0 1 1 0 0	8C	135	126	0 1 1 1 1 1 1 0	7E	35
16	1 0 0 1 0 0 0 0	90	136	126	0 1 1 1 1 1 1 0	7E	36
20	1 0 0 1 0 1 0 0	94	137	125	0 1 1 1 1 1 0 1	7D	37
24	1 0 0 1 1 0 0 0	98	138	125	0 1 1 1 1 1 0 1	7D	38
28	1 0 0 1 1 1 0 0	9C	139	124	0 1 1 1 1 1 0 0	7C	39
32	1 0 1 0 0 0 0 0	A0	13A	123	0 1 1 1 1 0 1 1	7B	3A
35	1 0 1 0 0 0 1 1	A3	13B	122	0 1 1 1 1 0 1 0	7A	3B
39	1 0 1 0 0 1 1 1	A7	13C	121	0 1 1 1 1 0 0 1	79	3C
43	1 0 1 0 1 0 1 1	AB	13D	119	0 1 1 1 0 1 1 1	77	3D
47	1 0 1 0 1 1 1 1	AF	13E	118	0 1 1 1 0 1 1 0	76	3E
50	1 0 1 1 0 0 1 0	B2	13F	117	0 1 1 1 0 1 0 1	75	3F
54	1 0 1 1 0 1 1 0	B6	140	115	0 1 1 1 0 0 1 1	73	40
58	1 0 1 1 1 0 1 0	BA	141	113	0 1 1 1 0 0 0 1	71	41
61	1 0 1 1 1 1 0 1	BD	142	111	0 1 1 0 1 1 1 1	6F	42
65	1 1 0 0 0 0 0 1	C1	143	109	0 1 1 0 1 1 0 1	6D	43
68	1 1 0 0 0 1 0 0	C4	144	107	0 1 1 0 1 0 1 1	6B	44
71	1 1 0 0 0 1 1 1	C7	145	105	0 1 1 0 1 0 0 1	69	45
75	1 1 0 0 1 0 1 1	CB	146	103	0 1 1 0 0 1 1 1	67	46
78	1 1 0 0 1 1 1 0	CE	147	100	0 1 1 0 0 1 0 0	64	47
81	1 1 0 1 0 0 0 1	D1	148	98	0 1 1 0 0 0 1 0	62	48
84	1 1 0 1 0 1 0 0	D4	149	95	0 1 0 1 1 1 1 1	5F	49
87	1 1 0 1 0 1 1 1	D7	14A	93	0 1 0 1 1 1 0 1	5D	4A
90	1 1 0 1 1 0 1 0	DA	14B	90	0 1 0 1 1 0 1 0	5A	4B
93	1 1 0 1 1 1 0 1	DD	14C	87	0 1 0 1 0 1 1 1	57	4C
95	1 1 0 1 1 1 1 1	DF	14D	84	0 1 0 1 0 1 0 0	54	4D
96	1 1 1 0 0 0 1 0	E2	14E	81	0 1 0 1 0 0 0 1	51	4E
00	1 1 1 0 0 1 0 0	E4	14F	78	0 1 0 0 1 1 1 0	4E	4F
03	1 1 1 0 0 1 1 1	E7	150	75	0 1 0 0 1 0 1 1	4B	50

DATA ADDRESS

DATA ADDRESS

COS θ

SIN θ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	1	1	1	0	1	0	0	1	E9	151	71	0	1	0	0	0	1	1	1	47	51
1	1	1	1	0	1	0	1	1	EB	152	68	0	1	0	0	0	1	0	0	44	52
09	1	1	1	0	1	1	0	1	ED	153	65	0	1	0	0	0	0	0	1	41	53
11	1	1	1	0	1	1	1	1	EF	154	61	0	0	1	1	1	1	0	1	3D	54
13	1	1	1	1	0	0	0	1	F1	155	58	0	0	1	1	1	0	1	0	3A	55
15	1	1	1	1	0	0	1	1	F3	156	54	0	0	1	1	0	1	1	0	36	56
17	1	1	1	1	0	1	0	1	F5	157	50	0	0	1	1	0	0	1	0	32	57
18	1	1	1	1	0	1	1	0	F6	158	47	0	0	1	0	1	1	1	1	2F	58
19	1	1	1	1	0	1	1	1	F7	159	43	0	0	1	0	1	0	1	1	2B	59
21	1	1	1	1	1	0	0	1	F9	15A	39	0	0	1	0	0	1	1	1	27	5A
22	1	1	1	1	1	0	1	0	FA	15B	35	0	0	1	0	0	0	1	1	23	5B
23	1	1	1	1	1	0	1	1	FB	15C	32	0	0	1	0	0	0	0	0	20	5C
24	1	1	1	1	1	1	0	0	FC	15D	28	0	0	0	1	1	1	0	0	1C	5D
25	1	1	1	1	1	1	0	1	FD	15E	24	0	0	0	1	1	0	0	0	18	5E
26	1	1	1	1	1	1	0	1	FD	15F	20	0	0	0	1	0	1	0	0	14	5F
26	1	1	1	1	1	1	1	0	FE	160	16	0	0	0	1	0	0	0	0	10	60
27	1	1	1	1	1	1	1	1	FF	162	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0C	61
27	1	1	1	1	1	1	1	1	FF	163	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0B	62
27	1	1	1	1	1	1	1	1	FF	164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	04	63
27	1	1	1	1	1	1	1	1	FF	165	-4	1	0	0	0	0	1	0	0	00	64
27	1	1	1	1	1	1	1	1	FF	166	-8	1	0	0	0	1	0	0	0	84	65
28	1	1	1	1	1	1	1	0	FE	167	-12	1	0	0	0	1	1	0	0	88	66
28	1	1	1	1	1	1	1	0	FE	168	-16	1	0	0	1	0	0	0	0	8C	67
25	1	1	1	1	1	1	0	1	FD	169	-20	1	0	0	1	0	1	0	0	90	68
25	1	1	1	1	1	1	0	1	FD	16A	-24	1	0	0	1	1	0	0	0	94	69
24	1	1	1	1	1	1	0	0	FC	16B	-28	1	0	0	1	1	0	0	0	98	6A
23	1	1	1	1	1	0	1	1	FB	16C	-32	1	0	1	0	0	0	0	0	9C	6B
22	1	1	1	1	1	0	1	0	FA	16D	-35	1	0	1	0	0	0	1	1	A0	6C
21	1	1	1	1	1	0	0	1	F9	16E	-39	1	0	1	0	0	1	1	1	A3	6D
19	1	1	1	1	0	1	1	1	F7	16F	-43	1	0	1	0	1	0	1	1	A7	6E
18	1	1	1	1	0	1	1	0	F6	170	-47	1	0	1	0	1	1	1	1	AB	6F
17	1	1	1	1	0	1	0	1	F5	171	-50	1	0	1	1	0	0	1	0	AF	70
15	1	1	1	1	0	0	1	1	F3	172	-54	1	0	1	1	0	1	1	0	B2	71
13	1	1	1	1	0	0	0	1	F1	173	-58	1	0	1	1	1	0	1	0	B6	72
11	1	1	1	0	1	1	1	1	EF	174	-61	1	0	1	1	1	0	1	0	BA	73
09	1	1	1	0	1	1	0	1	ED	175	-65	1	1	0	0	0	0	0	1	BD	74
07	1	1	1	0	1	0	1	1	EB	176	-68	1	1	0	0	0	1	0	0	C1	75
05	1	1	1	0	1	0	0	1	E9	177	-71	1	1	0	0	0	1	0	0	C4	76
03	1	1	1	0	0	1	1	1	E7	178	-75	1	1	0	0	1	0	1	1	C7	77
																				CB	78

DATA ADDRESS.

DATA ADDRE

COS θ

SIN θ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

00101011	2B	1A1	-119	11110111	F7	A1
00101111	2F	1A2	-118	11110110	F6	A2
00110010	32	1A3	-117	11110101	F5	A3
00110110	36	1A4	-115	11110011	F3	A4
00111101	3A	1A5	-113	11110001	F1	A5
00111101	3B	1A6	-111	11101111	EF	A6
01000001	41	1A7	-109	11101101	ED	A7
01000111	44	1A8	-107	11101011	EB	A8
01000111	47	1A9	-105	11101001	E9	A9
01001011	4B	1AA	-103	11100111	E7	AA
01001110	4E	1AB	-100	11100100	E4	AB
01010001	51	1AC	-98	11100010	E2	AC
01010100	54	1AD	-95	11011111	DF	AD
01010111	57	1AE	-93	11011101	DD	AE
01011010	5A	1AF	-90	11011010	DA	AF
01011101	5D	1B0	-87	11010111	D7	B0
01011111	5F	1B1	-84	11010100	D4	B1
01100001	62	1B2	-81	11010001	D1	B2
01100100	64	1B3	-78	11001110	CE	B3
01100111	67	1B4	-75	11001011	CB	B4
01101001	69	1B5	-71	11000111	C7	B5
01101011	6B	1B6	-68	11000100	C4	B6
01101101	6D	1B7	-65	11000001	C1	B7
01101111	6F	1B8	-61	10111101	BD	B8
01110001	71	1B9	-58	10111010	BA	B9
01110011	73	1BA	-54	10110110	B6	BA
01110101	75	1BB	-50	10110010	B2	BB
01110110	76	1BC	-47	10101111	AF	BC
01110111	77	1BD	-43	10101011	AB	BD
01111001	79	1BE	-39	10100111	A7	BE
01111010	7A	1BF	-35	10100011	A3	BF
01111011	7B	1C0	-32	10100000	A0	C0
01111100	7C	1C1	-28	10011100	9C	C1
01111101	7D	1C2	-24	10011000	98	C2
01111101	7E	1C3	-20	10010100	94	C3
01111110	7E	1C4	-16	10010000	90	C4
01111111	7E	1C5	-12	10001100	8C	C5
01111111	7F	1C6	-8	10001000	88	C6
01111111	7F	1C7	-4	10000100	84	C7

DATA ADDRESS

DATA ADDRESS

COS θ

SIN θ

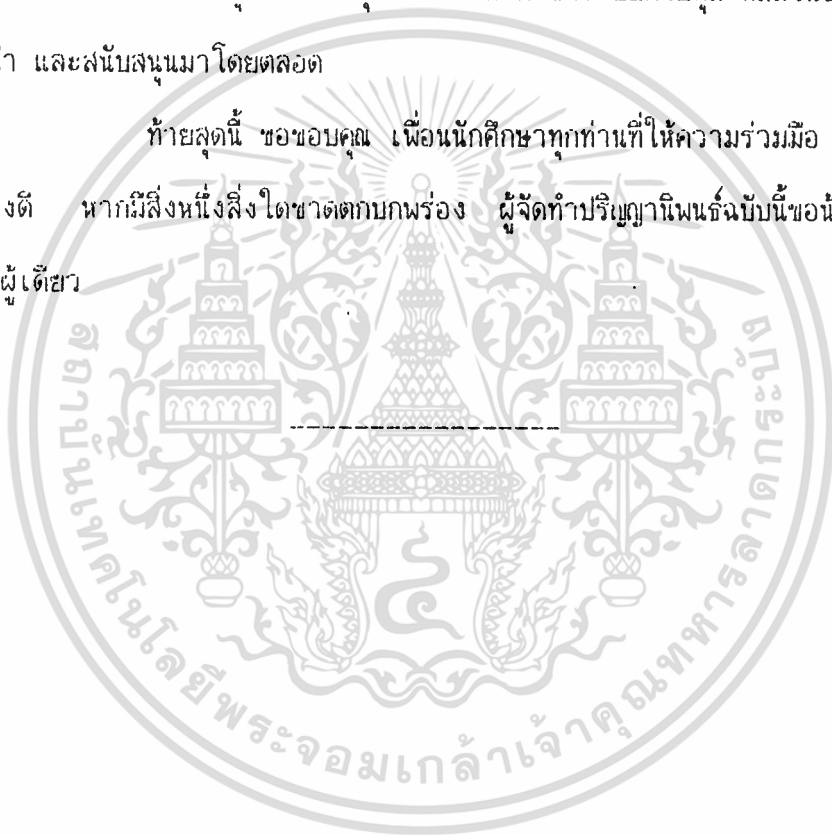
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญาโทฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณ
รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ สนับสนุน
และช่วยเหลือในทุกด้าน

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาระบบควบคุม ที่มีส่วนช่วยให้
คำแนะนำ และสนับสนุนมาโดยตลอด

ท้ายสุดนี้ ขอขอบคุณ เพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ และกำลังใจ
เป็นอย่างดี หากมีสิ่งหนึ่งสิ่งใดขาดตกบกพร่อง ผู้จัดทำปริญาโทฉบับนี้ขออภัยไว้
แต่เพียงผู้เดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. มนตรี พรรณรัตน์ , " เครื่องตัดแผ่นเหล็กด้วยแก๊สระบบอัตโนมัติ " , ปรินญาไพเพอร์ , 42 หน้า , 2529
2. รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ , " วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ " , บริษัทอิเล็กทรอนิกส์เวิลด์ จำกัด , 2528
3. TAKASHI KENJO , " STEPPING MOTOR AND THEIR MICROPROCESSOR CONTROL " , CLARENDON PRESS - OXFORD , 1984
4. Precision Voltage-To-Frequency Converter " , NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION - Linear Databook " , 1982
5. Friedrich Frohr and Fritz Urtenburger , Introduction to Electronic Control Engineering " , 1982
6. David F. Stout and Milton Kaufman , " Handbook of Operational Amplifier Circuit Design " , 1976
7. Shafi Motiwalla , " Continuous Path Control with Stepping Motors" , Part 1-2 , 1983