สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

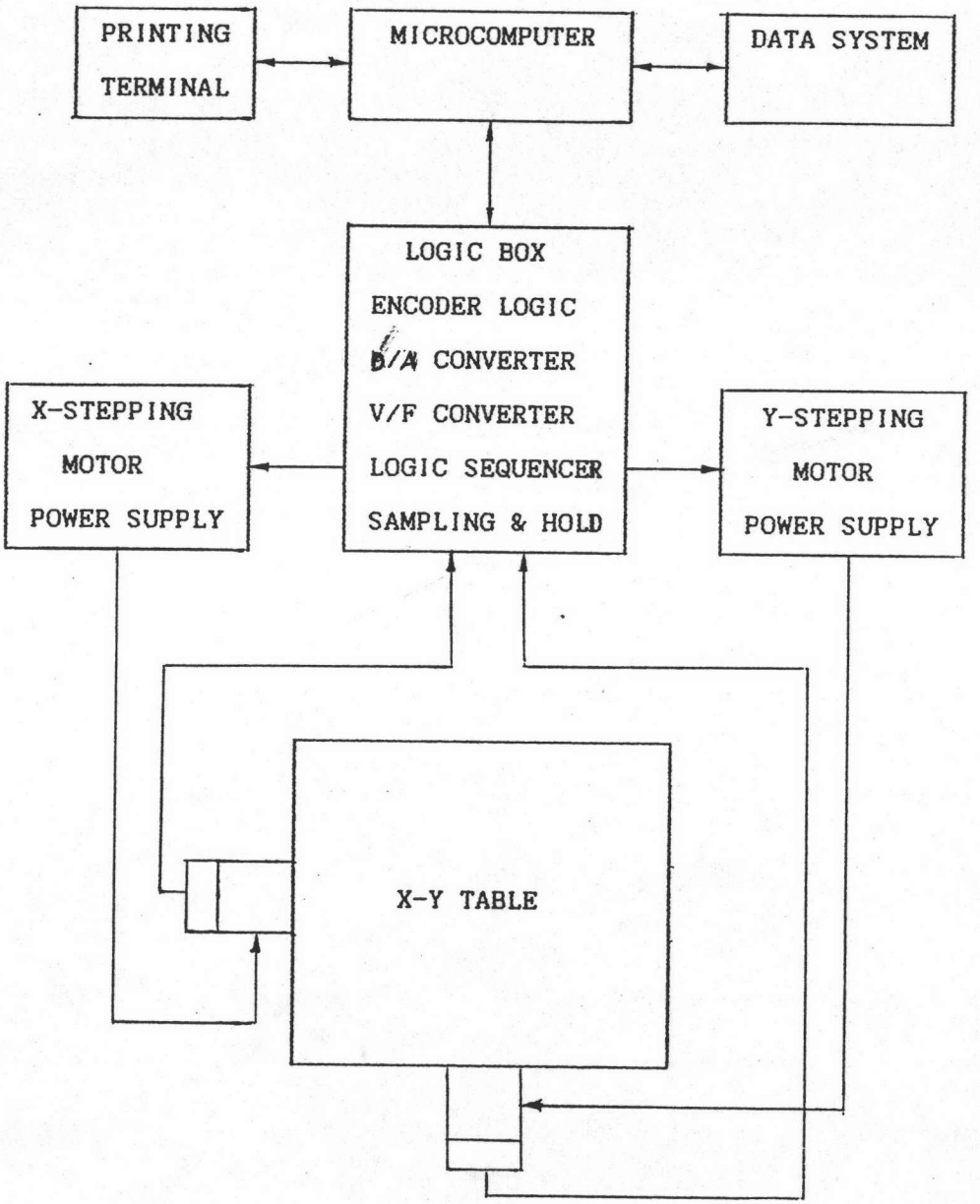
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบระบบควบคุมแบบป้อนกลับของสเตปปิ้งมอเตอร์ แบ่งออกเป็นอุปกรณ์ทางด้านเครื่องกล (mechanical part) อุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้า(electrical part) และเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ รายระเอียดของอุปกรณ์ดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.1 อุปกรณ์ทางด้านเครื่องกลได้แก่โต๊ะ X-Y ประกอบด้วยแท่นแกนเคลื่อนที่ 2 ทิศทางเคลื่อนที่บนสกรูยาว ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยสเตปปิ้งมอเตอร์ ส่วนอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าอิเลคโทรนิคได้แก่ ชุดอุปกรณ์รับสัญญาณเข้าและชุดส่งสัญญาณออกจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นวงจรอินเตอร์เฟสระหว่างคอมพิวเตอร์กับสเตปปิ้งมอเตอร์ ชุดอุปกรณ์รับสัญญาณเข้า ประกอบด้วยเอนโคดเดอร์ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณที่สามารถรับรู้ ตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และส่งสัญญาณนี้ให้แก่ชุดดีโคดเดอร์และเคาน์เตอร์ โดยจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของจำนวนนับ ที่เป็นตัวเลขแบบไบนารี ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถรับรู้ได้โดยผ่านทาง การ์ดอินพุทเอาท์พุทอินเตอร์เฟส ส่วนชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณออกไปควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ได้แก่ การ์ดที่แปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นสัญญาณแบบอนาลอก สัญญาณที่ส่งออกมา อยู่ในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ไม่เกิน ±9 โวลท์ และถูกส่งต่อผ่านไปยังวงจรแซมปิ้งและโฮล (sampling and hold) โดยทำหน้าที่แยกสัญญาณควบคุมมอเตอร์ของแกน X และมอเตอร์ แกน Y และค้างสัญญาณเดิมไว้จนกว่าจะมีการแปลงสัญญาณควบคุมเข้ามาใหม่ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ออกจากวงจร แซมปิ้งและโฮลจะถูกนำไปแปลงเป็นความถี่โดยผ่านวงจร ซึ่งแปลงโวลท์เตจเป็นความถี่ (V/F) สัญญาณความถี่นี้จะถูกนำไปแยกลำดับ เพื่อนำไปกระตุ้นให้สเตปปิ้งมอเตอร์เคลื่อนที่ โดยวงจรลอจิกซีเควนเซอร์(logic sequencer) สัญญาณที่ออกจากวงจรลอจิกซีเควนเซอร์ มีกำลังอ่อนไม่สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ได้โดยตรง จำเป็นต้องมีชุดขยายกำลังก่อนจ่ายให้กับมอเตอร์โดยวงจร เพาว์เวอร์ไดรเวอร์ รายละเอียดและวิธีการใช้งานแต่ละชนิดจะกล่าวต่อไปนี้

อุปกรณ์ทางด้านเครื่องกล

ได้แก่โต๊ะ X-Y ประกอบด้วยแท่นแกนเคลื่อนที่ ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นหัวจับปากกา สามารถเคลื่อนที่ในระนาบ X-Y บนสกรูยาวแบบชนิดเกลียว 9 ปากซึ่งมีความยาว 14 นิ้ว(355.6 มม) และมีระยะลีด(lead) 1.5 นิ้ว (1รอบของการหมุนได้ระยะทาง 1.5 นิ้ว)

ดังนั้นจะมีพื้นที่การทำงาน 14x14 ตารางนิ้ว ปลายข้างหนึ่งของสกรูจะถูกขับเคลื่อนด้วยสเตปปิ้งมอเตอร์ โดยมีอัตราทด 1:1 สเตปปิ้งมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ 4 เฟสโดยมีสเตปแองเกิ้ล 2 องศา/สเตป ดังนั้นถ้ามอเตอร์หมุนไป 1 สเตปจะทำให้แท่นแกนเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 0.0088 นิ้ว(1.5/180) ซึ่งเป็นความละเอียดสูงสุด (resolution) ในแต่ละแกน

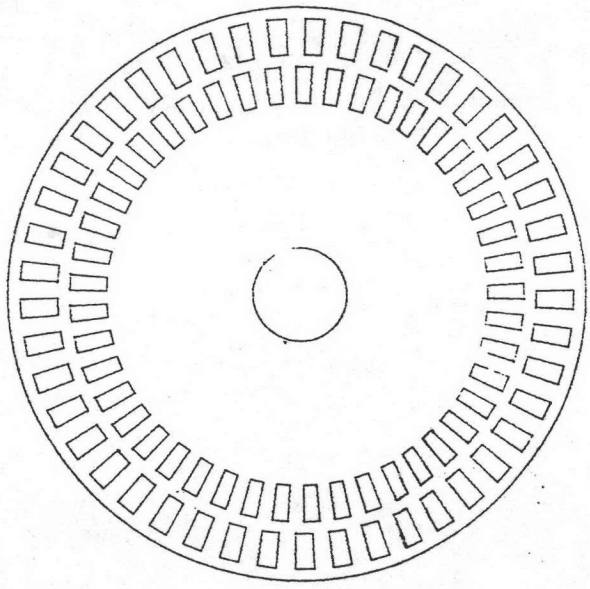


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์แบบปิดกับโต๊ะ X-Y

อุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้า

1. อินคริเม้นท์เอนโคดเดอร์

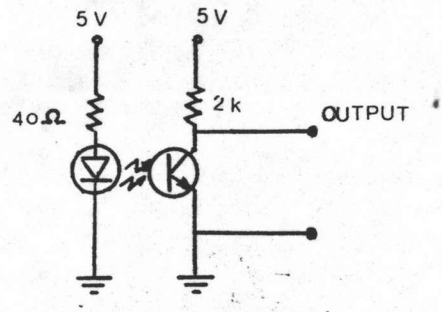
การบังคับตำแหน่งหรือความเร็วของมอเตอร์ ต้องใช้อินคริเม้นท์เอนโคดเดอร์สำหรับรักษาตำแหน่ง และสำหรับสร้างสัญญาณป้อนกลับโดยที่ตัวเอนโคดเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แปรผันโดยตรงกับการหมุนของเพลา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วและตำแหน่งของเพลามอเตอร์ในรูปของอัตราจำนวนพัลส์ได้ อินคริเม้นท์เอนโคดเดอร์ที่ใช้สำหรับรับรู้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ ในที่นี้เป็นชนิดออฟติกัลเอนโคดเดอร์(optical encoder)แบบโรตารี สามารถติดตั้งบนเพลาของมอเตอร์ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ตัวกำเนิดแสง จานหมุน จานอยู่กับที่และตัวเซนเซอร์บนแผ่นจานหมุน ทำเป็นช่องโดยรอบ 2 แถว แถวละ 45 ช่อง และช่องของแต่ละแถวจะมีระยะเหลื่อมกันอยู่ครึ่งช่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ส่วนตัวกำเนิดแสงจานอยู่กับที่ และตัว



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของแผ่นจานหมุน

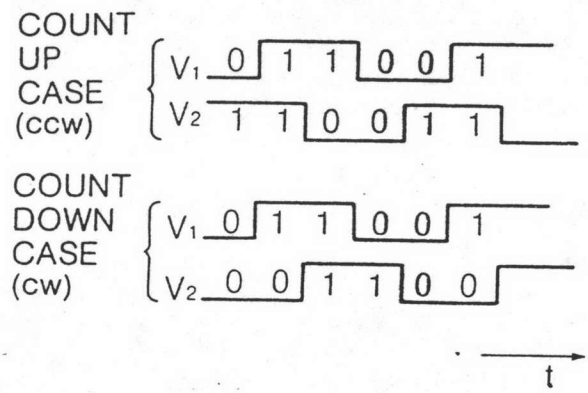
เซนเซอร์มี 2 ชุดทำด้วยตัวถังพลาสติก โดยมีการทำงานเหมือนกับออฟโตคัปเปอร์ ตัวกำเนิดแสงจะให้แสงสว่างผ่านช่องซึ่งเสมือนกับจานอยู่กับที่ ทำให้ลำแสงมีความแคบลง และเมื่อผ่านจานหมุนไปยังตัวรับแสงซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ โฟโตทรานซิสเตอร์ ก็จะให้สัญญาณพัลส์ออกมาทำการปรับรูปสัญญาณพัลส์โดยผ่าน not เกท ดังแสดงในรูปที่ 4.3 สัญญาณที่ได้จากออฟติกัล

เอนโคดเดอร์ มี 2 ชุด เฟสของสัญญาณ 2 ชุดนี้ จะต่างกันอยู่ 90 องศา ซึ่งเรียกว่าเป็น



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรไฟฟ้าของ ออฟติกัลเอนโคดเดอร์

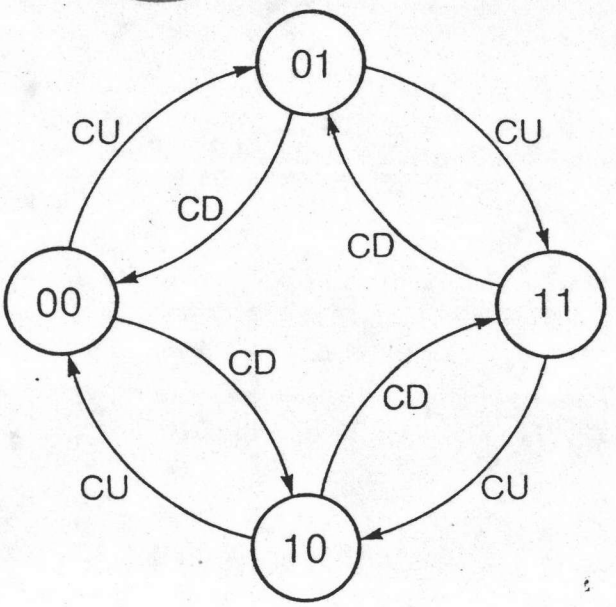
ควอดราเจอร์(quadrature) เหมาะใช้ในการรับรู้ทิศทางการหมุนของเพลา ดังแสดงใน รูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณที่ได้จากเอนโคดเดอร์

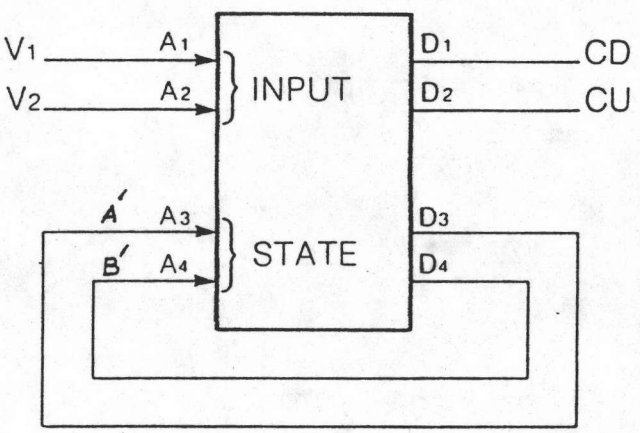
2. ดีโคดเดอร์(decoder)

จากสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากเอนโคดเดอร์ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสัญญาณดิจิตอลพัลส์ สัญญาณเหล่านี้จะเข้าสู่วงจรดีโคดเดอร์ทำการแยกสัญญาณว่า เป็นการนับขึ้นหรือลง จากสัญญาณพัลส์ทั้ง 2 เส้นนี้ สามารถเขียนเป็นลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ภายในดีโคดเดอร์ประกอบด้วย อีพรอม(EPROM) ซึ่งมีหน้าที่สำคัญที่สุดในการแยกสัญญาณว่าเป็นการนับขึ้นหรือลง โดยให้สัญญาณอินพุทที่เข้ามาเป็นสถานะเริ่มต้น และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุทที่เข้ามาใหม่ ถ้าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุทเป็นไปตามลำดับ ดังในรูปที่ 4.5 เอาท์พุทจะให้สัญญาณพัลส์ออกมา



รูปที่ 4.5 ไดอะแกรมแสดงลำดับของเอนโคดเดอร์

จากรูปที่ 4.6 ใน อีพรอม(EPROM) เราใช้เพียง 4 บิท(bit) ในการเรียกแอดเดรส(address) กับ 4 data line A_1 และ A_2 จะรับสัญญาณจากเอนโคดเดอร์ที่เป็นสัญญาณแบบดิจิตอล D_1 และ D_2 ให้สัญญาณเอาท์พุทพัลส์ ที่เป็นการนับขึ้นหรือนับลง A_3,A_4 ต่อเข้ากับ data line D_3 ,D_4 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ดังนั้น V_1, V_2, A', B' เป็นบิทที่ใช้เรียกแอดเดรสและ CD, CU, A', B' เป็นข้อมูลที่เก็บอยู่ใน อีพรอม ซึ่งจะให้ผลเอาท์พุทตามข้อมูลถ้ามีการเรียกแอดเดรสตามรูปที่ 4.7



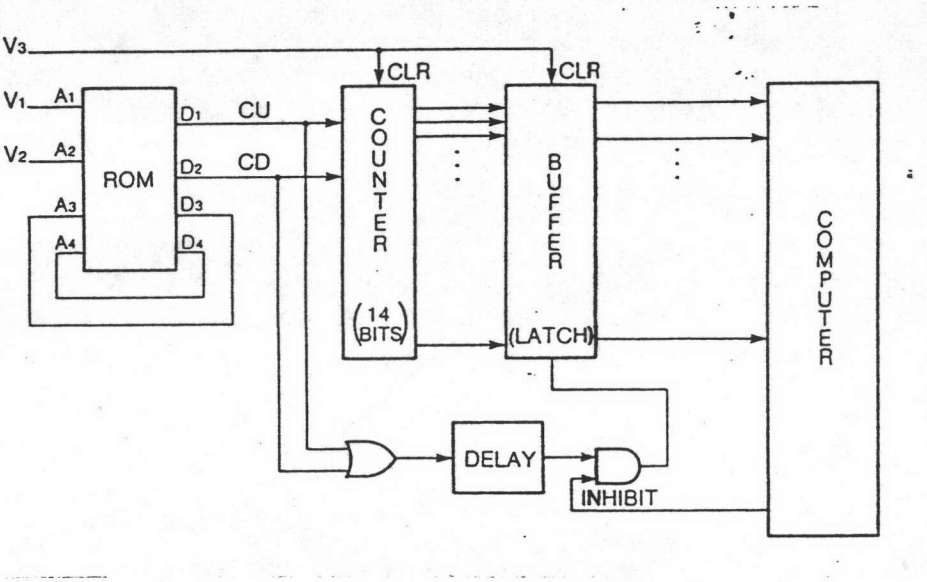
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของอีพรอม

	V_1	V_2	A'	B'	CD	CU	A'	B'
Stable ØØ state	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø
	Ø	Ø	Ø	1	1	Ø	Ø	Ø
	Ø	Ø	1	Ø	Ø	1	Ø	Ø
Impossible	Ø	Ø	1	1	Ø	Ø	Ø	Ø
	Ø	1	Ø	Ø	Ø	1	Ø	1
Stable Ø1 state	Ø	1	Ø	1	Ø	Ø	Ø	1
Imposible	Ø	1	1	Ø	Ø	Ø	Ø	1
	Ø	1	1	1	1	Ø	Ø	1
	1	Ø	Ø	Ø	1	Ø	1	Ø
Impossible	1	Ø	Ø	1	Ø	Ø	1	Ø
Stable 1Ø state	1	Ø	1	Ø	Ø	Ø	1	Ø
	1	Ø	1	1	Ø	1	1	Ø
Impossible	1	1	Ø	Ø	Ø	Ø	1	1
	1	1	Ø	1	Ø	1	1	1
Not stable	1	1	1	Ø	1	Ø	1	1
Stable 11 state	1	1	1	1	Ø	Ø	1	1

รูปที่ 4.7 แสดงโปรแกรมที่ถูกเก็บไว้ในอีพรอม

สมมติว่า V_1 และ V_2 เป็นสัญญาณอินพุทเข้ามาโดย V_1 = 1, V_2 = Ø เอาท์พุทของอีพรอม จะให้สัญญาณ ØØ1Ø (ยังไม่เกิดการนับ) ส่วน lower bit คือ 1Ø ต่อเข้ากับ A_3 A_4 เพราะฉะนั้นข้อมูลอินพุท คือ 1Ø1Ø ข้อมูลที่เก็บไว้ในแอดเดรสที่ 1Ø1Ø คือ ØØ1Ø และ บิทหลังของแอดเดรสที่เอาท์พุทและอินพุทเหมือนกัน ในสภาวะนี้ทำให้ระบบอยู่ในสมดุลย์ ถ้าข้อมูล V_2 เปลี่ยนจาก Ø เป็น 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 หรือ 4.5 คือ ข้อมูลอินพุทเปลี่ยนจาก 1Ø เป็น 11 ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งการเรียกแอดเดรสเปลี่ยนจาก 1Ø1Ø เป็น 111Ø เอาท์พุทของ อีพรอม จะได้ 1Ø11 และในเวลาต่อมาบิทหลังของเอาท์พุทจะให้สัญญาณไปที่อินพุท ทำให้อินพุทมี แอดเดรส เป็น 1111 เอาท์พุทของ EPROM ตามข้อมูลเป็น ØØ11 จากการเปลี่ยนแปลงที่กล่าวมาจะให้สัญญาณพัลส์นับลง 1 พัลส์ ดังนั้นเราสามารถแยกสัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอนโคดเดอร์ว่าเป็นการนับขึ้นหรือลงโดยใช้ ไอซีชิฟ

เพียงตัวเดียว ส่วนต่อไปของวงจร ดีโคดเดอร์ คือต้องเก็บข้อมูลของจำนวนพัลส์ที่ได้โดยมีวงจร เคาน์เตอร์(counter) และข้อมูลเหล่านี้ ส่งให้กับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน บัฟเฟอร์ (buffer) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการอ่านข้อมูลเข้า จะให้สัญญาณ inhibit เป็น ø (ปกติจะมีค่าเป็น 1) ข้อมูลจากบัฟเฟอร์ ก็จะเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วจึงปรับให้ inhibit กลับมาเป็น 1 ตามเดิม สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จาก ดีโคดเดอร์ เป็นสัญญาณแบบ TTL มีทั้งหมด 18 บิท



รูปที่ 4.8 บล๊อกไดอะแกรมของวงจรนับตำแหน่ง

3. <u>การ์ดอินเตอร์เฟสอินพุทเอาท์พุท</u>

เป็นไมโครคอมพิวเตอร์เตอร์การ์ด ที่ถูกออกแบบให้รับหรือส่งข้อมูลเข้าออกเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล การ์ดที่ใช้ในที่นี้สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ทั้งหมด 8 พอร์ต แต่ละพอร์ตมี 8 บิท การใช้สามารถทำได้ง่าย โดยเพียงเสียบการ์ดเข้ากับ เอ็กซ์แพนชั่นสล๊อต (expansion slot) ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ตระกูล ไอบีเอ็ม พีซี การรับหรือการส่งข้อมูลทำได้โดยการเรียกแอดเดรสใช้งาน ø28øH-287H ในงานวิจัยนี้จะใช้การ์ดนี้สำหรับรับข้อมูลจากดีโคดเดอร์และเคาน์เตอร์ ทั้ง 2 แกนคือ แกน X และแกน Y แกนละ 18 บิท และส่งสัญญาณดิจิตอลไปควบคุมการทำงานของระบบ เช่นสัญญาณ inhibit ของวงจรดีโคดเดอร์และเคาน์เตอร์ สัญญาณควบคุมการเลือกแกนในวงจร แซมปิ้งและโฮล สัญญาณควบคุมทิศทาง

การหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ โดยแบ่งพอร์ตของการ์ดใช้งานดังนี้

อินพุทพอร์ต

พอร์ต Ø28ØH-281H ใช้รับข้อมูลจากวงจรดีโคดเดอร์และเคาน์เตอร์ ของแกน X 16 บิทแรก

พอร์ต Ø282H-283H ใช้รับข้อมูลจากวงจรดีโคดเดอร์และเคาน์เตอร์ ของแกน Y 16 บิทแรก

พอร์ต Ø284H ใช้เพียง 4 บิท โดย 2 บิทหน้าใช้รับข้อมูลจากดีโคดเดอร์และเคาน์เตอร์ของแกน Y ในบิทที่ 17และ18 2บิทหลังใช้รับข้อมูลจากดีโคดเดอร์ของแกน X ในบิทที่ 17 และ 18

เอาท์พุทพอร์ต

พอร์ต Ø285H ใช้เพียง 4 บิท 2 บิทหน้าจะส่งสัญญาณควบคุมการเลือกแกนในวงจรแซมปิ้งและโฮล 2 บิทหลังจะส่งสัญญาณ inhibit ทั้ง 2 แกนในดีโคดเดอร์

พอร์ต Ø286H ใช้เป็นพอร์ตควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์แกน X

พอร์ต Ø287H ใช้เป็นพอร์ตควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์แกน Y

4. การแปลงสัญญาณดิจิตอลกับอนาลอก

ในระบบการควบคุมในงานอุตสาหกรรม การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D converter) หรือการแปลงกลับจากสัญญาณดิจิตอล เป็นอนาลอก(D/A converter) เป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับอินเตอร์เฟส ระหว่างระบบที่ต้องการควบคุมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างสัญญาณ อนาลอกเช่น แรงดัน กระแสไฟ ความร้อน ซึ่งต้องแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยผ่านวงจร A/D และสัญญาณดิจิตอลเหล่านี้ถูกนำไปประมวลผลสามารถทราบปริมานที่วัดได้ หรือสัญญาณดิจิตอลที่ได้จากการประมวลผล สามารถแปลงเป็นสัญญาณอนาลอกโดยผ่านวงจร D/A จะได้โวลท์เตทที่สามารถนำไปควบคุมระบบที่ต้องการ วงจร D/A และ A/D นี้ปัจจุบันถูกพัฒนาขึ้นในการ์ดที่สามารถเสียบลงในสล๊อตของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้เลยการ์ด A/D และ D/A ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี D/A 1 ช่องขนาด 12 บิทและ A/D 16 ช่องขนาด 12 บิท สัญญาณโวลท์เตทที่ได้เป็นชนิด 2 ขั้วคือสามารถให้โวลท์เตทที่มีศักย์เป็นบวกหรือลบ มีช่วงระหว่าง -9 ถึง 9 โวท การส่งโวลท์เตทออกจากตัวการ์ดทำได้โดยใช้คำสั่งเอาท์พุทที่แอดเดรส 638-639 ที่แอดเดรส 638 เป็นข้อมูล 8 บิทหลังและแอดเดรสที่ 639 เป็นข้อมูล 4 บิทหน้าก่อน นำการ์ดนี้มาใช้งาน ต้องทำการปรับหาค่าของสมการ เพื่อการจ่ายโวลท์เตทที่ถูกต้อง ซึ่งได้สมการของการ์ดที่ใช้ในงานวิจัยดังนี้

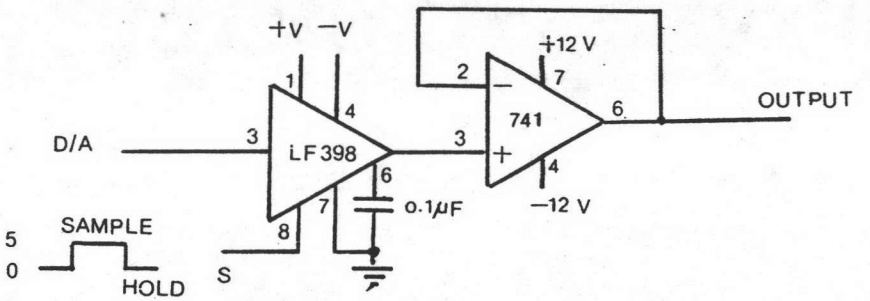
DATA = (volt + 9.052)/0.004397 (4.1)

กำหนดให้ volt คือค่าของโวลท์เตทที่ต้องการส่งออก

DATA คือค่าของข้อมูลแบบไบนารีขนาดไม่เกิน 12 บิทที่ต้องส่งออกที่แอดเดรส 638-639

5. แซมปิ้งและโฮล (sampling and hold)

เนื่องจากสัญญาณ D/A ที่ได้จากการ์ด A/D&D/A มีเพียง 1 ช่อง แต่ต้องใช้ควบคุมมอเตอร์ทั้งสองแกน ดังนั้นจึงต้องมีวงจรแยกสัญญาณออกไปใช้งานและสามารถค้างสัญญาณเดิมไว้จนกว่าจะมีการเลือกสัญญาณเข้าออกใหม่ วงจรนี้เรียกว่า แซมปิ้งและโฮลหรือ S/H รายระเอียดของวงจรแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.9 ประกอบด้วย ไอซีชิฟ LF398 และ Op-Amp 741



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรของแซมปิ้งและโฮล

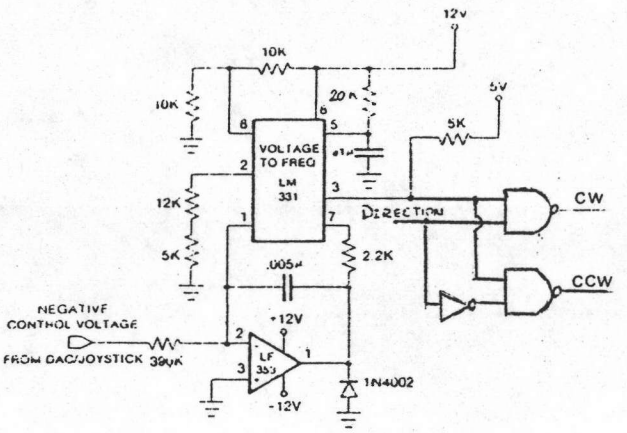
ขาอินพุทของ LF 398 ต่อเข้ากับเอาท์พุทของ D/A กันแบบขนาน สมมุติว่ามีการส่งโวลท์เตทจาก D/A มาควบคุมมอเตอร์แกน X ค่าโวลท์เตทจะมาค้างอยู่ที่ขาอินพุท ของไอซี LF 398 ทั้ง 2 แกน ก่อนส่งค่าโวลท์เตทไปควบคุมมอเตอร์แกน X ขาเลือกสัญญาณ(s) มีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็น ø เมื่อต้องการส่งโวลท์เตทไปควบคุมทำได้โดยการให้พัลส์ 1 พัลส์ แก่ขาเลือก s จะทำให้เอาท์พุทของ LF 398 มีค่าเท่ากับโวลท์เตทอินพุท และจะค้างสัญญาณโวลท์เตทนี้ไว้จนกระทั่งมีการให้พัลส์แก่ขาเลือก s ใหม่ช่วงที่กำลังค้างโวลท์เตทแกน X นี้คอมพิวเตอร์จะประมวลผลและให้โวลท์เตทมาควบคุมมอเตอร์แกน Y โดยผ่านวงจร D/A เดิมจะมารออยู่ที่ขาอินพุทของ LF 398 แล้วทำการทริกขาเลือกของแกน Y ก็จะได้โวลท์เตทมาควบคุมมอเตอร์แกน Y และจะ

ค้างสัญญาณโวลท์เตทนี้จนกว่าจะมีการเลือกสัญญาณใหม่ Op-Amp 741 ต่อแบบ ยูนิตี้(unity) ดังนั้น โวลท์เตทเอาท์พุทของ Op-amp จะมีค่าเท่ากับโวลท์เตทอินพุท

6. <u>วงจรเปลี่ยนโวลท์เตทเป็นความถี่</u>

เนื่องจากสเตปปิ้งมอเตอร์ มีสัญญาณอินพุทที่ควบคุมการหมุนเป็นแบบดิจิตอล ดังนั้นโวลท์เตทที่ส่งออกจาก D/A ไปควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์จะผ่านวงจรแปลงสัญญาณจากโวลท์เตทเป็นความถี่(voltage to frequency converter) หรือ V/F ซึ่งความถี่ที่ได้เป็นสัญญาณลอจิกสามารถป้อนเข้าส่วนของลอจิกซีเควนเซอร์(Logic Sequencer) ที่ทำหน้าที่ควบคุมลำดับการกระตุ้นของขดลวดในสเตปปิ้งมอเตอร์ วงจร V/F ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยไอซี LM 331 ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของวงจรดังแสดงในรูป 4.10

เนื่องจากการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ขึ้นอยู่กับโหลดและความถี่ที่ป้อนเข้า ถ้าป้อนความถี่เข้ามากไปจะทำให้มอเตอร์ทำงานคลาดสเตปได้ ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบความเร็วของมอเตอร์ที่จะไม่ทำให้เกิดการคลาดสเตป โดยให้โวลท์เตทที่ป้อนเข้าสูงสุด -9 โวลท์ และเปลี่ยนค่า R และ C จนกระทั่งมอเตอร์หมุนหรือขับเคลื่อนระบบของโต๊ะ X-Y โดยไม่มีการคลาดสเตป ส่วนวงจรแยกทิศทางการหมุนว่า เป็นการหมุนทวนเข็มหรือตามเข็มสร้างจากไอซี NOT เกท และ NAND เกท ต่อกันดังแสดงในรูป ถ้าป้อนสัญญาณ H เข้าที่ขาควบคุมทิศทางการหมุน จะทำให้ความถี่ออกมาอยู่ในทิศ CW ถ้าป้อนสัญญาณ L ความถี่จะออกมาที่ CCW ความถี่ที่แยกออกมาทางใดทางหนึ่ง จะถูกป้อนเข้าต่อไปยังส่วนของวงจรลอจิกซีเควนเซอร์ ซึ่งเป็นวงจรควบคุมลำดับของการกระตุ้น



รูปที่ 4.10 แสดงวงจรโวลท์เตทเปลี่ยนเป็นความถี่

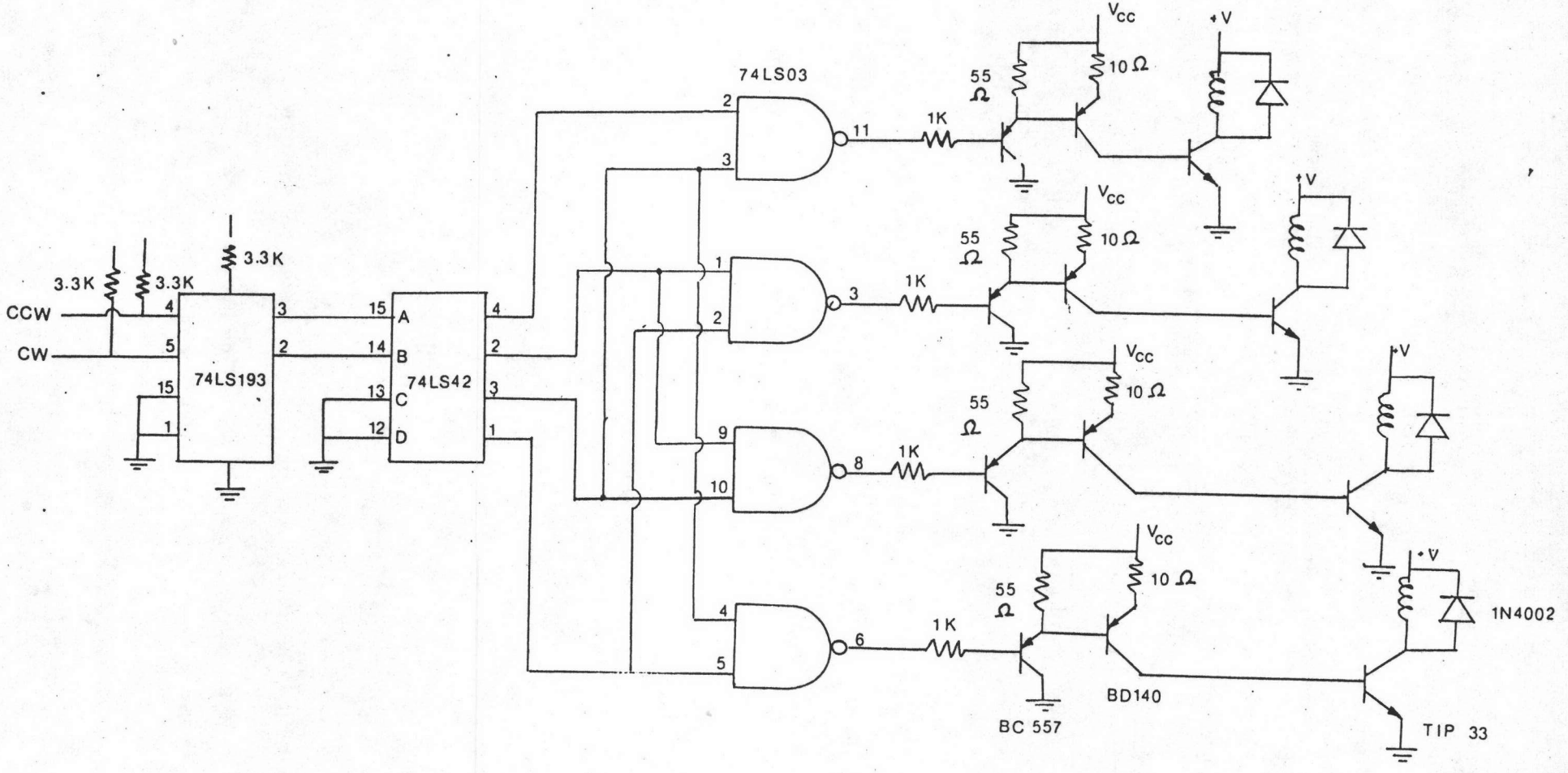
7. <u>วงจรลอจิกซีเควนเซอร์และวงจรไดเวอร์</u>

เป็นวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของสเตปปิ้งมอเตอร์ พัลส์ที่อยู่ในรูปของความถี่ถูกส่งเข้ามาสู่วงจรลอจิกซีเควนเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่จัดลำดับสัญญาณเพื่อใช้ในสมการกระตุ้นขดลวดของสเตปปิ้งมอเตอร์ ลอจิกซีเควนเซอร์ที่ใช้ในงานนี้เป็นแบบกระตุ้นที่ละ 2 เฟส ซึ่งทำให้ลดการสั่นระหว่างการเคลื่อนที่ รูปที่ 4.11 แสดงตารางลอจิกสำหรับการกระตุ้นทีละ 2 เฟส สัญญาณที่ได้จากวงจรลอจิกซีเควนเซอร์จะถูกนำมาขยายสัญญาณเพื่อป้อนให้แก่สเตปปิ้งมอเตอร์โดยวงจรไดเวอร์ ในรูปที่ 4.12 แสดงการต่อวงจรทั้ง 2 เข้าด้วยกัน

, Four-phase motor

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

รูปที่ 4.11 ตารางแสดงการจัดลำดับของการกระตุ้นแบบ 2 เฟส



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์