

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติเพื่ออุตสาหกรรม

Industrial Automatic Pattern Tracing and Cutting Machine



เลขหมู่ _____
เลขทะเบียน 17546
วัน, เดือน, ปี 10 ก.ค. 2535

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

ISBN 974-416-122-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Industrial Automatic Pattern Tracing and Cutting Machine



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1991
ISBN 974-416-122-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

นักศึกษา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ระดับการศึกษา

ภาควิชา

พ.ศ.

เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติเพื่ออุตสาหกรรม

นายมนตรี พรหมรัตน์

รศ.ดร. โภทศ เห็ชร์สุวรรณ

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2534

บทคัดย่อ

เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติเพื่ออุตสาหกรรม เป็นเครื่องจักรแม่นยำที่มีบทบาทสำคัญสำหรับการตัดวัสดุในงานอุตสาหกรรม การวิจัยและพัฒนานี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นมาเพื่องานตัดแผ่นเหล็ก เครื่องประกอบด้วยหัวอ่าน ระบบควบคุมและหัวตัด หัวอ่านใช้ระบบเซ็นเซอร์แสงและสเตปมอเตอร์ ซึ่งถูกควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ ในการปรับมุมติดตามสายเส้นของแบบลวดลาย ส่วนหัวตัดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟตรง และสามารถตัดแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 1.20 และยาว 2.40 เมตรได้

--

Thesis Title	Industrial Automatic Pattern Tracing and Cutting Machine
Student	Mr.Montri Pannarut
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Kosol Petchsuwan
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering
Department	Control Engineering King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1991

Abstract

An industrial automatic pattern tracing and cutting machine is a precision machine which plays an important role in cutting materials in the industry. In this project, a design of the machine is presented. A prototype is fabricated for cutting steel sheets. It consists of a reading head, a control system and cutting heads. The reading head employs an optical sensor and a stepping motor which are controlled by a microprocessor in following a line of pattern. Cutting heads are driven by direct-current motors and can cut a steel sheet up to a size of 1.20 by 2.40 meters.

กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีก็เพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. โกลล เห็ชร์สุวรรณ และ รองศาสตราจารย์ ดร. โยธิน เปรมปราวน์รัชต์ ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำแก่ ผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณเจ้ารงค์ดี สุกใส ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในส่วนวงจรถวายควบคุมระบบ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุน จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2531 และ 2532 ซึ่งได้ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยได้อย่างดี จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ. โอกาสนี้ด้วย

ประการสำคัญที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้กำเนิด และสนับสนุนด้านการ

ศึกษาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	XII
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 เครื่องตัดสวดสายอัตโนมัติเพื่ออุตสาหกรรม.....	3
2.1 วิธีการรับข้อมูล.....	3
2.1.1 ข้อมูลที่ได้จากการเขียนโปรแกรมควบคุม.....	3
2.1.2 ข้อมูลที่ได้จากการอ่านภาพสายเส้นต้นแบบ.....	3
2.2 วิธีการติดตามสายเส้น.....	3
2.3 หลักการทำงาน.....	6
2.4 โด๊ะแทนเครื่อง.....	7
2.5 หัวอ่าน.....	9
2.6 หน่วยควบคุมระบบ.....	10
2.7 หน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง.....	11
2.8 หัวตัด.....	11
3 การออกแบบโด๊ะแทนเครื่องและหัวอ่าน.....	12
3.1 เครื่องตัดแผ่นเหล็กอัตโนมัติ.....	12
3.2 การออกแบบโด๊ะแทนเครื่อง.....	12
3.3 การออกแบบหัวอ่าน.....	12
3.3.1 สเตปมิ่งมอเตอร์.....	14
3.3.2 เซนเซอร์.....	14
3.3.3 หน้าสัมผัส.....	16
3.3.4 วงจรเซนเซอร์.....	17
3.3.5 การจัดตำแหน่งของตัวรับแสง.....	28

บทที่	หน้า
4 การออกแบบหน่วยควบคุมระบบ.....	34
4.1 วงจรหน่วยควบคุมระบบ.....	34
4.2 โปรแกรมของหน่วยควบคุมระบบ.....	36
4.2.1 การตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น.....	36
4.2.2 การปรับตำแหน่งหัวอ่าน.....	36
4.2.3 การปรับทิศทางหัวเซนเซอร์.....	37
4.2.4 การติดตามลายเส้น.....	37
4.3 ตารางข้อมูลค่าสัญญาณแกน X และ Y.....	39
5 การออกแบบหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง.....	45
5.1 วงจรเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นความถี่.....	46
5.2 วงจรเฟสล็อกสำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบสี่ขั้วตแรงแท้.....	47
5.3 วงจรพัลส์วิดท์โมดูเลเตอร์ (PWM).....	48
5.3.1 วงจรกำเนิดลูกคลื่นสามเหลี่ยม.....	48
5.3.2 วงจรสร้างพัลส์.....	48
5.4 วงจรสวิตชิงเซอร์โวแอมป์.....	49
5.4.1 วงจร PWM แบบลิมิตยูนิโพลาร์.....	56
5.4.2 วงจรสวิตชิงเซอร์โวแอมป์ลิไฟ.....	56
5.5 การออกแบบและวิเคราะห์เสถียรภาพหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง.....	57
5.5.1 การออกแบบหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง.....	57
5.5.2 การทดสอบการตอบสนองของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง ต่อ Unit Step Input.....	61
6 การวิเคราะห์เสถียรภาพเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ.....	63
6.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ.....	63
6.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ.....	67
6.2.1 การตอบสนองของระบบต่อสัญญาณ Unit Step.....	67
6.2.2 การตอบสนองของระบบต่อสัญญาณ Unit Ramp.....	68
7 ชิ้นงานของวิทยานิพนธ์.....	69

บทที่	หน้า
8 ผลการทดลอง.....	77
8.1 ผลของความหนาของเส้นลวดลายที่เขียนด้วยหมึกสีต่างๆ.....	77
8.2 ผลของความเร็วยของหัวอ่านต่อเส้นตรง.....	80
8.3 ผลการเคลื่อนที่ตามมุมฉากด้วยความเร็วต่างๆ.....	81
8.4 ผลการเคลื่อนที่ตามมุม 45 องศาด้วยความเร็วต่างๆ.....	85
8.5 ผลการเคลื่อนที่ตามมุม 15 องศาด้วยความเร็วต่างๆ.....	88
8.6 ผลการเคลื่อนที่ตามเส้นลวดลายรูปวงกลมด้วยความเร็วต่างๆ.....	89
8.7 ผลการเคลื่อนที่ตามเส้นลวดลายรูปลักษณะต่างๆ.....	91
8.8 สรุปผลการทดลอง.....	96
9 บทสรุป.....	97
9.1 ผลสรุปงานวิจัย.....	97
9.2 งานที่ควรศึกษาต่อ.....	98
9.2.1 การปรับปรุงหัวเซนเซอร์.....	98
9.2.2 การปรับปรุงวิธีการรับรู้ข้อมูล.....	100
เอกสารอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก ก. โปรแกรมของหน่วยควบคุมระบบ.....	102
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาปริญญาโท ที่ได้รับการเผยแพร่.....	109
ประวัติผู้เขียน.....	129

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ข้อมูลมาตรฐานสำหรับการตัดแผ่นเหล็กด้วยแก๊ส.....	31
4.1 แสดงค่าในบิตต่างๆของข้อมูลคำสั่งชุดแแกน X ในตำแหน่งที่ 45.....	42
4.2 ข้อมูลคำสั่งชุดแแกน X.....	43
4.3 ข้อมูลคำสั่งชุดแแกน Y.....	44
5.1 ตารางแสดงการทำงานของวงจร PWM แบบลิมิตยูนิโพลาร์.....	55
8.1 ผลของความหนาของเส้นตรงหมึกสีดำต่อการทำงาน.....	77
8.2 ผลของความหนาของเส้นตรงปากกาสูบลื่นสีน้ำเงินต่อการทำงาน.....	78
8.3 ผลของความหนาของเส้นตรงดินสอสีดำ HB ต่อการทำงาน.....	79
8.4 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน(เส้นตรง).....	80
8.5 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน(สายเส้นมุมฉากแหลม).....	81
8.6 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน(สายเส้นมุมฉากมน).....	83
8.7 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน(สายเส้นมุมมน 45 องศา).....	86
8.8 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน(สายเส้นมุมมน 15 องศา).....	89
8.9 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน(สายเส้นรูปร่างกลม).....	89
8.10 ผลของลักษณะของสายเส้นต่อการทำงาน.....	91
8.11 ความเร็วสูงสุดที่เหมาะสมของสายเส้นแต่ละลักษณะ.....	96

สารบัญภาพ

หน้า

2.1	แสดงการแบ่งสายเส้นออกเป็นส่วนย่อยๆ ในรูปของเส้นตรง.....	4
2.2	แผนผังหลักการทำงานของเครื่องตัดลวดสายอัตโนมัติ.....	6
2.3	โครงสร้างของโต๊ะแท่นเครื่องตัดลวดสายอัตโนมัติ.....	8
2.4	รูปแสดงการทำงานของหัวอ่าน.....	9
3.1	รูปแสดงรายละเอียดของโต๊ะแท่นเครื่อง.....	13
3.2	แสดงการใช้เลนส์ช่วยขยายขนาดของสายเส้น.....	14
3.3	รูปแสดงการติดตั้งเลนส์.....	15
3.4	หน้าสัมผัส.....	16
3.5	องค์ประกอบของวงจรเซนเซอร์.....	17
3.6	วงจรกำเนิดสัญญาณแสง.....	18
3.7	วงจรรับสัญญาณแสง.....	18
3.8	วงจรรวมสัญญาณ.....	19
3.9	รูปแสดงการตั้งหัวอ่านแบบวนตามเข็มนาฬิกา.....	20
3.10	รูปแสดงการตั้งหัวอ่านแบบวนทวนเข็มนาฬิกา.....	20
3.11	วงจรตรวจสอบการเข้าสายเส้น.....	20
3.12	วงจรถ่ายค่าสัมบูรณ์ และ เซ็ลล์ เครื่องหมาย.....	21
3.13	รูปแสดงการทำงานของวงจรถ่ายค่าสัมบูรณ์เมื่อ V_{in} มีค่าบวก.....	21
3.14	รูปแสดงการทำงานของวงจรถ่ายค่าสัมบูรณ์เมื่อ V_{in} มีค่าลบ.....	21
3.15	วงจรเปลี่ยนโวลต์เตจเป็นความถี่.....	24
3.16	แสดงลักษณะลูกคลื่นโวลต์เตจ V_A และ V_O	25
3.17	วงจรป้องกันหัวอ่านสั้น.....	27
3.18	วงจรตรวจสอบตำแหน่ง เริ่มต้น.....	28
3.19	รูปแสดงการจัดตำแหน่งหัวรับแสงแบบที่หนึ่ง.....	28
3.20	รูปแสดงการทำงานของหัวเซนเซอร์แบบที่หนึ่งเมื่อสายเส้นเป็นมุมฉาก.....	28
3.21	รูปแสดงการจัดตำแหน่งหัวรับแสงแบบที่สอง.....	29
3.22	รูปแสดงการทำงานของหัวเซนเซอร์แบบที่สองเมื่อสายเส้นเป็นมุมฉาก.....	29

	หน้า
3.23 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเมื่อสายเส้นเป็นมุมฉาก.....	29
3.24 การจัดตำแหน่งตัวรับแสงแบบลูกศร.....	30
3.25 แสดงการเคลื่อนที่รอบวงกลมของหัวอ่าน.....	32
3.26 โครงสร้างของหัวอ่าน.....	33
4.1 แผนผังหน่วยควบคุมระบบ.....	34
4.2 วงจรหน่วยควบคุมระบบ.....	35
4.3 กราฟแสดงการทำงานการตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น.....	36
4.4 กราฟแสดงการทำงานช่วงปรับทิศหัวอ่าน.....	37
4.5 กราฟแสดงการทำงานช่วงติดตามสายเส้น.....	37
4.6 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมหน่วยควบคุมระบบ.....	38
4.7 โครงสร้างของข้อมูลคำสั่งพิกัดแกน X และ Y.....	39
4.8 รูปแสดงการแบ่งทิศทางหัวเซนเซอร์.....	40
5.1 องค์ประกอบของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง.....	45
5.2 วงจรเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นความถี่.....	46
5.3 วงจร PFQSC.....	47
5.4 วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม.....	48
5.5 วงจรสร้างพัลส์.....	48
5.6 วงจรพื้นฐานของ SSA.....	49
5.7 รูปแสดงการไหลของกระแสไฟที่เกิดจากสนามแม่เหล็กขั้วตัว.....	50
5.8 รูปแสดงการไหลของกระแสไฟที่เกิดจากสนามแม่เหล็กขั้วตัวของ SSA แบบลิมิตยูนิโพลาร์.....	52
5.9 รูปโวลต์เตจและกระแสที่ตกคร่อมมอเตอร์ (ก) ขับด้วย SSA แบบธรรมดา (ข) ขับด้วย SSA แบบลิมิตยูนิโพลาร์.....	53
5.10 รูปโวลต์เตจและกระแสที่ตกคร่อมมอเตอร์ ที่ขับด้วย SSA แบบลิมิตยูนิโพลาร์ ความถี่ 10 kHz.....	54
5.11 วงจร PWM แบบลิมิตยูนิโพลาร์.....	55
5.12 วงจรสวิตชิง เซอร์โวแอมพลิไฟ.....	56
5.13 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันจ่ายโวลของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง.....	57
5.14 กราฟ Bode Diagram ของหน่วยควบคุมความเร็วเมื่อ K เท่ากับหนึ่ง.....	59

5.15 กราฟ Bode Diagram ของหน่วยควบคุมความเร็วเมื่อ K เท่ากับ 316.....	60
5.16 การตอบสนองของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง ความถี่ f_c ต่อ ความถี่ f_n แบบ Unit Step.....	62
6.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ.....	63
6.2 กราฟผลการตอบสนองของหัวอ่านต่อสายเส้น.....	64
6.3 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่เขียนใหม่.....	66
6.4 การตอบสนองของระบบ θ_r ต่อ θ_i แบบ Unit Step.....	67
6.5 การตอบสนองของระบบ θ_r ต่อ θ_i แบบ Unit Ramp.....	68
7.1 รูปแสดงรายละเอียดของสวิตช์หน่วยควบคุมระบบ.....	69
7.2 ภาพหัวอ่าน.....	71
7.3 ภาพวงจรเซนเซอร์ของหัวอ่าน.....	71
7.4 ภาพแสดงการติดตั้ง สเตปมิ่งมอเตอร์, ชุดหน้าสัมผัส และหัวเซนเซอร์ ของหัวอ่าน.....	72
7.5 ภาพหน้าปัดของหน่วยควบคุมระบบ.....	73
7.6 ภาพแสดงส่วนประกอบภายในกล่องหน่วยควบคุมระบบ.....	73
7.7 หน่วยขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟตรง.....	74
7.8 หัวตัดแก๊ส.....	75
7.9 เครื่องต้นแบบของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติเพื่ออุตสาหกรรม.....	76
8.1 ผลการอ่านลายเส้นตรงหมึกสีดำหนา 0.3, 0.5 และ 1.0 มม.....	77
8.2 ผลการอ่านลายเส้นตรงปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินหนา 0.3, 0.5 และ 1.0 มม.	78
8.3 ผลการอ่านลายเส้นตรงดินสอดำ HB หนา 0.3, 0.5 และ 1.0 มม.	79
8.4 ผลของการอ่านเส้นตรงด้วยความเร็ว 30, 50 และ 70 ซม.ต่อนาที.....	80
8.5 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามมุมฉากแหลม.....	82
8.6 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามมุมฉากมน.....	84
8.7(ก) ผลการเคลื่อนที่ตามมุมแหลม 45 องศา.....	85
8.7(ข) รูปแสดงการทำงานของหัวอ่านในขณะที่ตามมุมแหลม 45 องศา.....	85
8.8 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามมุมมน 45 องศา.....	87
8.9 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามมุมมน 15 องศา.....	88
8.10 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามรูปวงกลมรัศมี 3 ซม.....	90
8.11(ก) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปสี่เหลี่ยม.....	92

	หน้า
8.11(ข) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปสามเหลี่ยม.....	93
8.11(ค) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปโค้งต่างๆ.....	94
8.11(ง) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปโค้งต่างๆ ที่เขียนด้วยดินสอ HB ทน 0.5 มม. ความเร็ว 30 ซม.ต่อนาที.....	95
9.1 การวางตำแหน่งตัวรับแสงแบบตติจิตอวลวิฐ์ที่หนึ่ง.....	99
9.3 การวางตำแหน่งตัวรับแสงแบบตติจิตอวลวิฐ์ที่สอง.....	99



สัญลักษณ์

C_L	ความโค้งของสายเส้น
C_u	ตัวเก็บประจุในวงจรจ่ายไฟ
$(D0-D6)_x, (D0-D6)_y$	ข้อมูลสำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง X และ Y
$(D7)_x, (D7)_y$	ข้อมูลสำหรับควบคุมทิศทางการหมุนมอเตอร์ไฟตรง X และ Y
f_L	ความยาวไฟกัสของเลนส์
f_g	ความถี่ควบคุมการหมุนสเตปป์มอเตอร์
$I_{L,a}$	กระแสที่เกิดจากสนามแม่เหล็กยกตัว
K_A	ค่าคงที่ของเซอร์โวแอมป์
K_d	ค่าคงที่ของ PFD.
K_e	ค่าคงที่ของโวลต์เต็ลย้อนกลับของมอเตอร์ไฟตรง
K_f	ค่าคงที่ของวงจรเซนเซอร์
K_H	ค่าคงที่ของหัวเซนเซอร์
K_p	ค่าคงที่ของ Encoder
K_s	ค่าคงที่ของสเตปป์มอเตอร์
L	ความยาวของสายเส้น
L_a	อินดักแตนซ์ของมอเตอร์
M_x, M_y	มอเตอร์ตามแกน X และ Y
n	ตำแหน่งทิศทางหัวเซนเซอร์
n_H	ความเร็วรอบของหัวเซนเซอร์
Q_1-Q_6	ทรานซิสเตอร์ในวงจร SSA
r_L	รัศมีความโค้งของสายเส้น
r_s	รัศมีของส่วนโค้ง
r_x	รัศมีของหัวรับแสง
R_a	ความต้านทานของมอเตอร์
R_{in}	ความต้านทานอินพุท

$S_1 - S_4$	สวิตช์ในวงจร SSA
S_H	ระยะทางของหัวอ่าน
T	ระยะเวลาที่กระแสลดลงเป็นศูนย์
T_c	ระยะเวลาที่เก็บประจุ
T_r	คาบเวลาของความถี่
$T.M_x, T.M_y$	ฟังก์ชันถ่ายโอนของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง X และ Y
t_H	คาบเวลาของหัวเซนเซอร์
u_1	ความสูงจากเลนส์ถึงตัวรับ
u_2	ความสูงจากแผ่นต้นแบบลวดลายถึงเลนส์
v_H	ความเร็วของหัวอ่าน
v_n	ความเร็ว ณ ตำแหน่งใดๆ ของสายเส้น
v_x, v_y	ความเร็วในแนวแกน X และ Y
$V_A, V_B, V_C, V_{FA}, V_V$	โวลต์เตจที่จุดต่าง ๆ
V_{CAP}	โวลต์เตจตกคร่อมตัวเก็บประจุ
V_e	โวลต์เตจเออร์เรอ
V_{in}	โวลต์เตจอินพุท
V_{La}	โวลต์เตจที่เกิดจากสนามแม่เหล็กขั้วตัว
V_m	โวลต์เตจตกคร่อมมอเตอร์
V_o	โวลต์เตจเอาต์พุท
$V_{R1} - V_{R4}$	โวลต์เตจของวงจรรับแสง
V_{RZ}	โวลต์เตจปรับศูนย์
V_{VL}	โวลต์เตจที่จุด V ในขณะที่มีค่าต่ำ
V_{VH}	โวลต์เตจที่จุด V ในขณะที่มีค่าสูง
v_x, v_y	โวลต์เตจตามแกน X และแกน Y
V_z	โวลต์เตจของวงจรจ่ายไฟ
w	ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์
w_x, w_y	ความเร็วเชิงมุมตามแกน X และ Y
θ_e	ทิศทางเออร์เรอ
θ_H	ทิศทางของหัวเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปว่าองค์กรนี้คือทั้งเว็บไซต์ และทั้งหน่วยงานที่ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ และหวังว่าสิ่งนี้จะช่วยให้วงการนี้ดีขึ้นต่อไปได้

θ_L

ทิศทางของสายเส้น

 θ_T

ทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน

 ΔL

ขนาดของสายเส้นที่ถูกแบ่งออกเป็นเส้นตรงส่วนย่อยๆ

 $\Delta x_n, \Delta y_n$ ความยาว ΔL ในแนวแกน x และ y ณ ตำแหน่งใดๆ

บทที่ 1

บทนำ

ในงานอุตสาหกรรมทุกชนิด จะต้องมีการตัดชิ้นส่วนวัสดุให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ ผ่านชิ้นส่วนวัสดุทั้งแผ่นเหล็ก แผ่นไม้ แผ่นกระดาษ แผ่นไฟเบอร์ แผ่นกระเบื้องกระดาษ แผ่นบอร์ดวางจระโหลไฟฟ้า แผ่นผ้าต่างๆ ฯลฯ

ในอุตสาหกรรมที่มีการผลิตจำนวนมาก (mass production) ประสิทธิภาพในการตัดชิ้นส่วนวัสดุจำนวนมากมีบทบาทที่สำคัญยิ่ง การตัดชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปมีความต้องการดังต่อไปนี้

- (1) ให้เหลือเศษวัสดุน้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียวัสดุ
- (2) ให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด เพื่อลดความเสียหาย
- (3) ให้ตัดได้อย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มผลผลิต
- (4) ให้มีความแม่นยำและมีคุณภาพสม่ำเสมอ เพื่อคุณภาพที่ดีของงาน
- (5) ให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ

เพื่อให้ได้ผลตามความต้องการดังกล่าวข้างบน ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติขึ้นมาทำงานแทนการตัดด้วยมือ และในประเทศอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาเครื่องเหล่านี้และนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวาง มีตั้งแต่เครื่องที่ทำงานด้วยระบบง่าย ๆ ที่มีหัวตัดเพียงหัวเดียว เครื่องที่มีหัวตัดหลายหัวทำงานพร้อม ๆ กัน เครื่องที่มีการควบคุมการทำงานด้วยระบบตัวเลขหรือ NC (Numerically Controlled) ไปจนถึงเครื่องขนาดใหญ่ที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์

สำหรับหัวตัดแผ่นเหล็กก็สามารถใช้หัวตัดชนิดต่างๆ ได้เช่น หัวตัดแก๊ส (flame cutting), หัวตัดพลาสมา (plasma arc cutting), หัวตัดเลเซอร์ (laser cutting), ฯลฯ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยได้มีการนำเอาเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติจากต่างประเทศมาใช้ในอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวาง และมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมของประเทศ ราคาของเครื่องเหล่านี้มีตั้งแต่ระบบง่าย ๆ ราคา 2-3 ล้านบาทไปจนถึงระบบที่มีความแม่นยำสูง มีหัวตัดจำนวนมากหลายหัวและมีความสามารถพิเศษอื่น ๆ ในราคาสูงกว่า 3 ล้านบาท

การศึกษาวิจัยจะเริ่มจากการออกแบบ และพัฒนาสร้างเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติสำหรับการตัดแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 1.20 ยาว 2.40 เมตร ที่มีการควบคุมการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้สามารถโปรแกรมการทำงานในฟังก์ชันต่างๆ ได้สะดวก รวดเร็วและแม่นยำ พัฒนาระบบหัวอ่านด้วยการใช้เทคโนโลยีออปติคัลให้สามารถอ่านลายเส้นของแบบลวดลายได้ละเอียดขึ้น นอกจากนี้ยังนำเทคนิคเฟสล็อกคูลูมาควบคุมความเร็วมอเตอร์เซอร์โวขับเคลื่อนหัวตัด เพื่อให้การทำงานตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น วิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดในบทต่างๆ ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำจะอธิบายถึงวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ และเนื้อหาคร่าวๆของแต่ละบทในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

บทที่ 2 อธิบายถึงวิธีการรับข้อมูล และหลักการทำงานของส่วนต่างๆของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ

บทที่ 3 อธิบายรายละเอียดของการออกแบบโต๊ะแท่นเครื่องและหัวอ่าน

บทที่ 4 อธิบายรายละเอียดของการออกแบบหน่วยควบคุมระบบ รวมทั้งไฟล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม

บทที่ 5 อธิบายรายละเอียดของการออกแบบหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง รวมทั้งการวิเคราะห์เสถียรภาพ

บทที่ 6 การวิเคราะห์เสถียรภาพเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ

บทที่ 7 เป็นชิ้นงานของวิทยานิพนธ์ที่ได้สร้างขึ้น

บทที่ 8 เป็นผลการทดลองของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ ในการติดตามเส้นตรงและเส้นโค้งต่างๆ เพื่อสังเกตเออร์เรอต่างๆของผลการติดตามลายเส้น

บทที่ 9 บทสรุป

ส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นภาคผนวกอันประกอบด้วยโปรแกรมของหน่วยควบคุมระบบ และผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

บทที่ 2

เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติเพื่ออุตสาหกรรม

2.1 วิธีการรับข้อมูล

เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติเป็นเครื่องตัดชิ้นส่วนวัสดุให้มีลวดลายต่างๆตามต้องการ วัสดุที่นำมาตัดต้องมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ การตัดชิ้นวัสดุจะทำงานในลักษณะสองมิติ คือตัดตามแกน X และแกน Y การรับรู้ข้อมูลที่ใช้ควบคุมเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีคือ ข้อมูลที่ได้จากการเขียนโปรแกรมควบคุม กับข้อมูลที่ได้จากการอ่านภาพลายเส้นต้นแบบ

2.1.1 ข้อมูลที่ได้จากการเขียนโปรแกรมควบคุม

วิธีนี้เป็น การเขียนโปรแกรมสั่งงานการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ การเขียนโปรแกรมจะไม่เหมาะสม ถ้ารูปต้นแบบที่ได้มามีลักษณะของเส้นโค้ง หรือลักษณะของเส้นที่ไม่เป็นรูปแบบทางเรขาคณิต ผู้ที่เขียนโปรแกรมสั่งงานหรือโปรแกรมการเคลื่อนที่ จะต้องพยายามเขียนให้การเคลื่อนที่อยู่ในแนวลายเส้นรูปต้นแบบ ซึ่งค่อนข้างจะต้องใช้เวลาในการเขียนโปรแกรมมาก

2.1.2 ข้อมูลที่ได้จากการอ่านภาพลายเส้นต้นแบบ

เป็นวิธีการที่จะแก้ปัญหาคความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมสั่งงาน โดยการใช่วิธีให้เครื่องอ่านภาพลายเส้นต้นแบบและประมวลผลภาพเอง ทำให้ลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมสั่งงาน วิธีการอ่านภาพลายเส้นมีด้วยกันหลายวิธี วิธีที่นำมาทำในวิทยานิพนธ์นี้เป็นวิธีการติดตามลายเส้นโดยพยายามให้ลายเส้นอยู่ระหว่างตัวตรวจจับลายเส้นสองตัว

2.2 วิธีการติดตามลายเส้น [11]

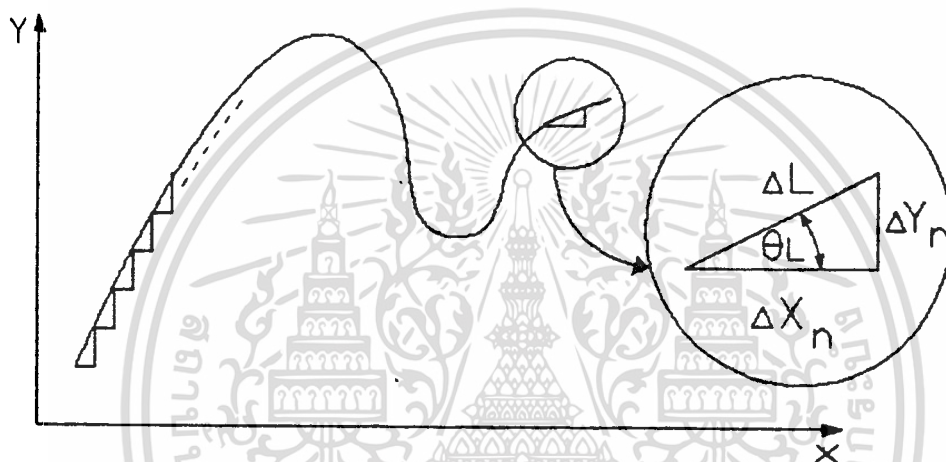
ลายเส้นในระนาบแกน X และ Y สามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆในรูปของเส้นตรงได้ [1] ดังแสดงในรูปที่ 2.1

จากรูปที่ 2.1 หากค่า Δx_n และ Δy_n ได้ดังนี้

$$\Delta x_n = \Delta L \cdot \cos \theta_L \quad (2.1)$$

$$\Delta y_n = \Delta L \cdot \sin \theta_L \quad (2.2)$$

- เมื่อ ΔL เป็นขนาดของสายเส้นที่ถูกแบ่งออกเป็นเส้นตรงส่วนย่อยๆ
 θ_L เป็นทิศทางของสายเส้นเมื่อเทียบกับแกน X
 Δx_n เป็นความยาว ΔL ในแนวแกน X ณ. ตำแหน่งใดๆ
 Δy_n เป็นความยาว ΔL ในแนวแกน Y ณ. ตำแหน่งใดๆ



รูปที่ 2.1 แสดงการแบ่งสายเส้นออกเป็นส่วนย่อยๆ ในรูปของเส้นตรง

ในการอ่านสายเส้น ใช้วิธีการเคลื่อนที่ตามสายเส้นด้วยความเร็ว v ความสัมพันธ์ของความเร็ว v กับความยาวของสายเส้น L คือ

$$v = dL/dt \quad (2.3)$$

เมื่อ v เป็นความเร็วในการติดตามสายเส้น

L เป็นความยาวของสายเส้น

เนื่องจากความยาวของสายเส้น L ถูกแบ่งออกเป็นเส้นตรงส่วนย่อยๆ ΔL ดังนั้นจึงสามารถหาความเร็ว ณ. ตำแหน่งใดๆ (v_n) ของสายเส้นได้ดังนี้

$$v_n = d\Delta L/dt \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ดังนี้

จากรูป 2.1 สามารถหาความเร็ว v_x ในแนวแกน X ณ ตำแหน่งใดๆ (v_x)

$$v_x = d\Delta x_n / dt \quad (2.5)$$

จากสมการ (2.1) แทนค่า Δx_n ลงในสมการ (2.5)

$$v_x = (d\Delta L / dt) \cos \theta_L \quad (2.6)$$

จากสมการ (2.4) แทนค่า $d\Delta L / dt$ ลงในสมการ (2.6)

$$v_x = v_n \cdot \cos \theta_L \quad (2.7)$$

กำหนดให้ความเร็วในการติดตามลายเส้นมีค่าคงที่
ดังนั้น $v_n = v$

แทนค่า v_n ลงในสมการ (2.7)

$$v_x = v \cdot \cos \theta_L \quad (2.8)$$

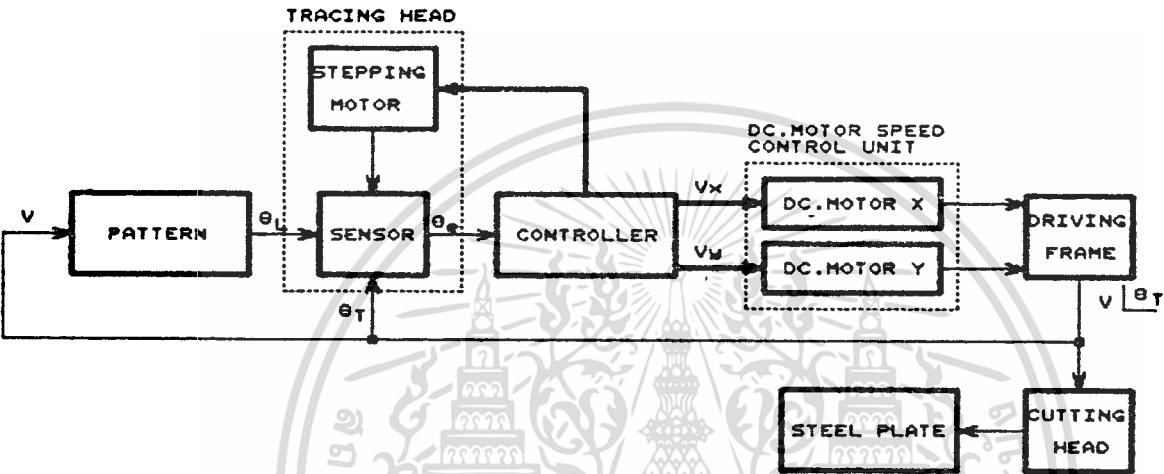
ในทำนองเดียวกัน ก็สามารถหาความเร็ว v_y ในแนวแกน Y ณ ตำแหน่งใดๆ (v_y) ได้
เช่นเดียวกับ v_x

$$v_y = v \cdot \sin \theta_L \quad (2.9)$$

จากสมการ (2.8) และ (2.9) เราสามารถหาความเร็วตามแกน X (v_x) และ
Y (v_y) ได้ เมื่อเรารู้ราบทิศทางของลายเส้น θ_L

2.3 หลักการทำงาน

เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ส่วนหัวอ่านกับส่วนหัวตัด ส่วนหัวอ่านประกอบด้วย หัวอ่าน หน่วยควบคุมระบบ หน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง และโต๊ะ แผ่นเครื่อง การทำงานของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังหลักการทำงานของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ

หัวอ่าน (tracing head) มีหน้าที่อ่านลายเส้นของรูปแบบ ที่เราต้องการตัดชิ้นส่วนวัสดุ ซึ่งทำงานด้วยระบบเซนเซอร์แสง (optical sensor) [2] โดยมีมอเตอร์แบบขั้นหรือสเตปป์มอเตอร์ (stepping motor) ปรับหัวอ่านให้อยู่ในแนวเดียวกับทิศทางของลายเส้น (θ_L) ของแบบที่อ่าน เซนเซอร์จะให้สัญญาณ θ_L ออกมา ที่บอกความแตกต่างของทิศทางของเซนเซอร์ (θ_T) กับทิศทางของลายเส้น สัญญาณ θ_L นี้จะถูกนำไปป้อนเข้าหน่วยควบคุมระบบ (controller) ซึ่งทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ที่ควบคุมสเตปป์มอเตอร์ให้หมุนไปในทิศทางที่ถูกต้อง เพื่อปรับทิศทางของเซนเซอร์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของลายเส้น

ในขณะที่เวียนกันที่สเตปป์มอเตอร์หมุนไป หน่วยควบคุมระบบจะเปิดตารางข้อมูล (data table) อ่านค่าออกมา 2 ค่า ที่มีเฟสตั้งฉากซึ่งกันและกัน เราเรียกสัญญาณทั้งสองนี้ว่าสัญญาณตามแกน X (V_x) และสัญญาณตามแกน Y (V_y) ตามลำดับ สัญญาณแต่ละค่าจะถูกนำไปป้อนหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง โดยมอเตอร์ตัวหนึ่งจะไปขับหัวอ่านให้เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน X และมอเตอร์อีกตัวหนึ่งจะไปขับเคลื่อนที่วางหัวอ่านให้เคลื่อนที่ไปตามแกน Y ดังนั้นเมื่อมอเตอร์ไฟตรงทั้งสองทำงานพร้อมๆกัน หัวอ่านก็จะเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นของแบบลวดลาย

หัวอ่านนั้นจะต่อเข้าด้วยกันกับหัวตัด เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ไปตามลายเส้นของแบบลวดลาย ก็จะทำให้หัวตัดเคลื่อนที่ไปในรูปแบบเดียวกัน ซึ่งจะตัดผ่านชิ้นวัสดุเป็นลวดลายตามที่เราได้เขียนให้หัวอ่านอ่าน

2.3 โต้ะแทนเครื่อง

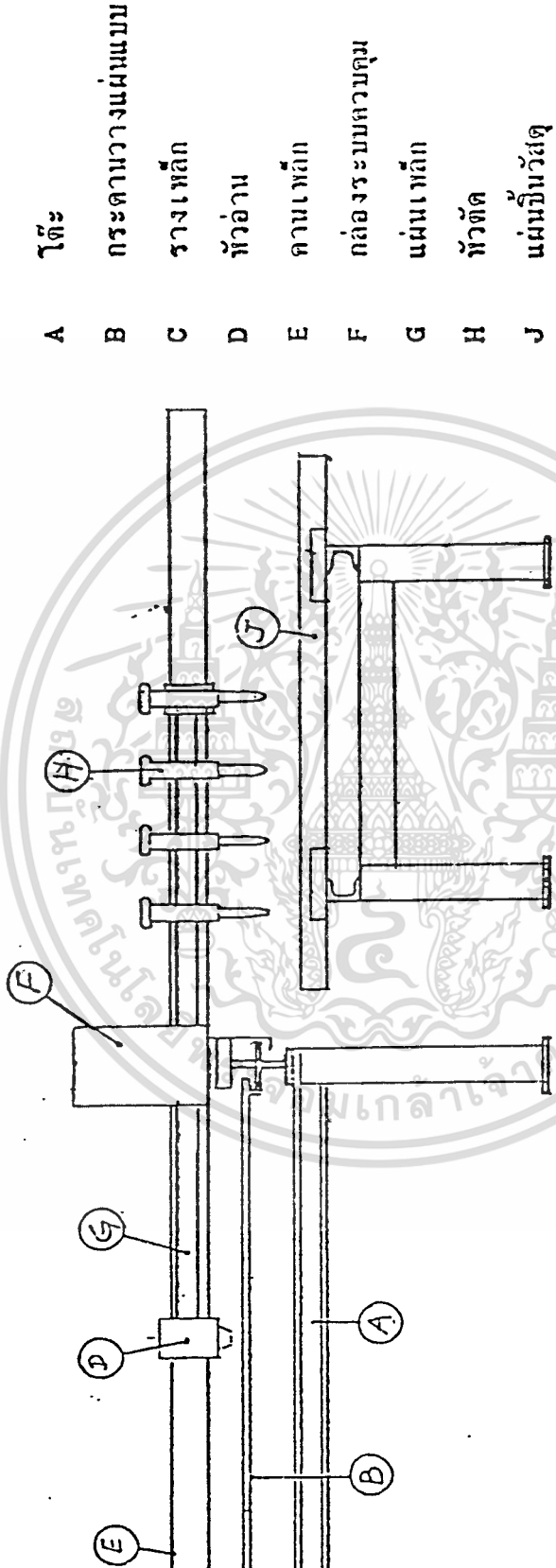
เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัวอ่านและส่วนหัวตัด ทั้งสองส่วนนี้จะต้องวางยึดติดต่อกันบนโต้ะเหล็กที่มีความมั่นคงแข็งแรง ที่สามารถรับน้ำหนักของแผ่นชิ้นวัสดุ เช่น แผ่นเหล็กได้เป็นอย่างดี

รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะโครงสร้างของโต้ะแทนเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ A เป็นโต้ะวางต้นแบบลวดลาย มีแผ่นกระดาน B สำหรับวางแผ่นต้นแบบลวดลาย แผ่นกระดานนี้สามารถเลื่อนตำแหน่งได้ตามราง C ที่ติดตั้งบนโต้ะ A D เป็นหัวอ่านที่ติดตั้งอยู่บนแผ่นเหล็ก G แผ่นเหล็ก G นี้สามารถเคลื่อนที่ตามแกน E ได้ ในขณะที่เดียวกัน หัวอ่าน D และแกน E ก็สามารถเคลื่อนที่ไปตามราง C ได้ กล่องของหน่วยควบคุมระบบ F ติดตั้งอยู่บนแกน E และมีมอเตอร์ไฟตรง 2 ตัวติดตั้งอยู่บนแท่นเดียวกันกับกล่องของหน่วยควบคุมระบบนี้

มอเตอร์ไฟตรงตัวหนึ่ง เรียกว่า มอเตอร์ M_x จะขับให้หัวอ่าน D เคลื่อนที่บนแกน E ไปตามแกนที่เรียกว่าแกน X (เมื่อให้แนวกว้างของโต้ะอ่านเป็นแกน X) โดยขับผ่านแผ่นเหล็ก G แผ่นเหล็กนี้มีปลายด้านหนึ่งยึดติดหัวอ่าน ส่วนอีกด้านหนึ่งยึดติดกับแฉงหัวตัด H ดังนั้นระยะทางที่หัวอ่านเคลื่อนที่ตามแนวแกน X ก็จะทำให้หัวตัดเคลื่อนที่ตามแนวแกน X เป็นระยะทางเท่ากัน

ส่วนมอเตอร์ไฟตรงอีกตัวหนึ่ง เรียกว่า มอเตอร์ M_y จะขับให้แกน E เคลื่อนที่ไปตามความยาวของโต้ะอ่าน หรือแกนแนวแกน Y ซึ่งจะทำให้หัวตัด H เคลื่อนที่ไปตามแกน Y เป็นระยะทางเท่ากับที่หัวอ่าน D เคลื่อนที่เช่นกัน นั่นคือเมื่อหัวอ่าน D เคลื่อนที่ไปตามเส้นของลวดลาย ก็จะทำให้หัวตัด H เคลื่อนที่ในรูปแบบเดียวกัน

โต้ะแทนตัดแผ่นชิ้นวัสดุ J วางอยู่ที่หัวตัด H ที่มีเหล็กแผ่นวางท่างเป็นระยะ ๆ เพื่อให้เปลวไฟจากหัวตัด และเศษวัสดุที่เกิดจากการตัดแผ่นวัสดุตกผ่านลงไปได้



โต๊ะ

กระดานวางแผ่นแบบ

รางเหล็ก

หัวอ่าน

จานเหล็ก

กล่องระบบควบคุม

แผ่นเหล็ก

หัวตัด

แผ่นรับวัสดุ

A

B

C

D

E

F

G

H

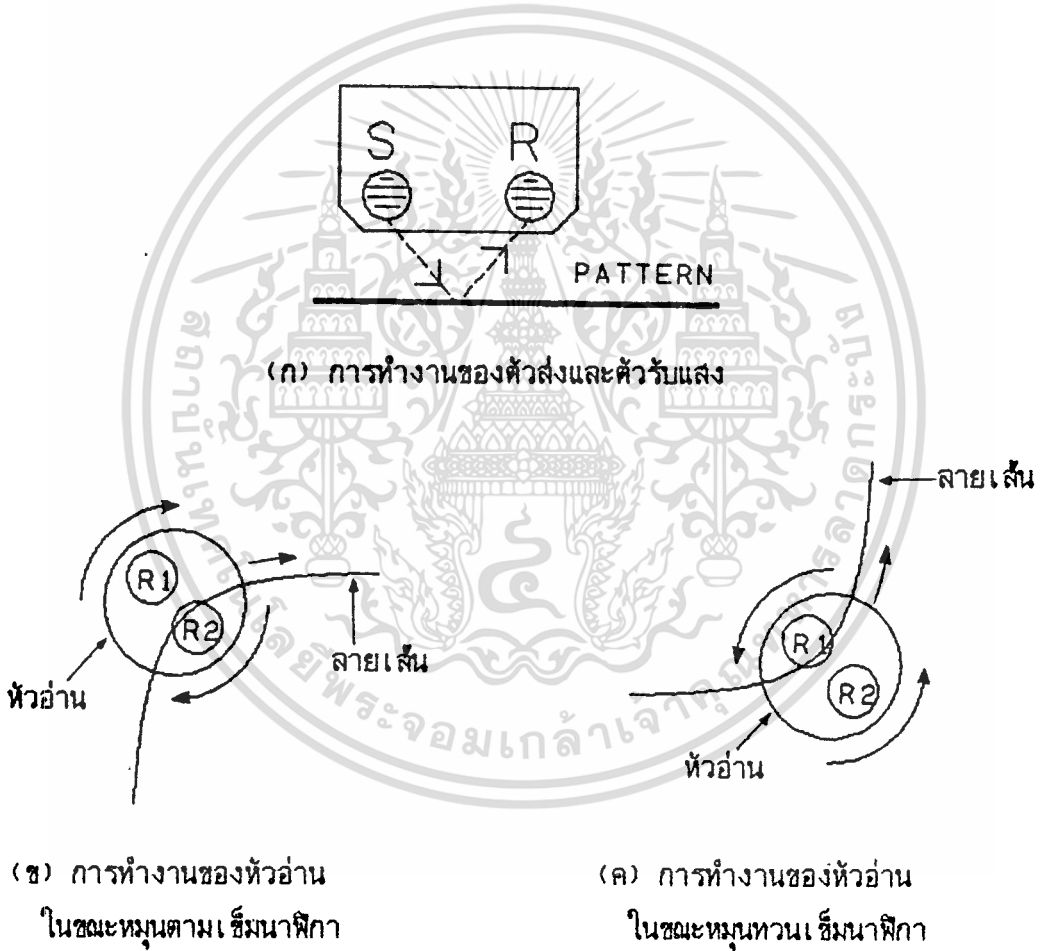
J

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของโต๊ะแทนเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ

2.5 หัวอ่าน (tracing head)

หัวอ่านเป็นหน่วยอ่านลายเส้น ที่มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.4 S เป็นตัวกำเนิดหรือตัวส่งสัญญาณแสง ที่ส่งลงบนลายเส้นที่กำลังอ่าน แล้วสะท้อนกลับขึ้นมายังตัวรับแสง R ซึ่งเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ (photo transistor) ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ก)

ตัวส่ง S และตัวรับแสง R ซึ่งทำหน้าที่เป็นหัวเซนเซอร์ เพื่อเปรียบเทียบความเข้มของแสงบริเวณลายเส้น เมื่อสัญญาณตกลงบนพื้นของแผ่นแบบลวดลายที่มีสีขาวก็จะมีสัญญาณแสงสะท้อนกลับขึ้นไปมาก ส่วนลายเส้นที่มีสีดำก็จะมีสัญญาณแสงสะท้อนกลับขึ้นไปน้อย



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของหัวอ่าน

ตัวรับแสงแบ่งออกเป็นสองชุดคือ R_1 และ R_2 ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ข) ในขณะที่หัวอ่านเคลื่อนที่ไปตามลายเส้น หากตัวรับชุดใดมีความเข้มของสัญญาณลดลงก็แสดงว่า ตัวรับชุดนั้น เข้า ไปใกล้ลายเส้นมากกว่าอีกชุดหนึ่ง เรานำสัญญาณจากตัวรับแสงทั้งสองชุดมา เปรียบเทียบหาผลต่างกันไปป้อน

เข้าหน่วยควบคุมระบบ หน่วยควบคุมระบบจะหมุนสเตปป์มอเตอร์ให้ปรับแนวของตัวรับให้อยู่ในทิศทางที่สายเส้นอยู่กึ่งกลางระหว่างตัวรับแสงทั้งสองพอดี หรือนั่นคือสเตปป์มอเตอร์จะปรับให้ตัวรับอยู่ในทิศทางของแนวสายเส้นตลอดเวลา รูปที่ 2.4(ข) แสดงการทำงานของหัวอ่านขณะหมุนตามเข็มนาฬิกา สัญญาณจากตัวรับแสง R_2 น้อยกว่า R_1 รูปที่ 2.4(ค) แสดงการทำงานของหัวอ่านขณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา สัญญาณจากตัวรับแสง R_1 น้อยกว่า R_2

2.6 หน่วยควบคุมระบบ (controller)

หน่วยควบคุมระบบมีหน้าที่ควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของสเตปป์มอเตอร์ ในขณะเดียวกันหน่วยควบคุมระบบก็จะทำการเปิดตาราง อ่านค่าออกมาสองค่าคือสัญญาณตามแกน X (V_x) และสัญญาณตามแกน Y (V_y) โดยสัญญาณ V_x และ V_y เป็นสัญญาณควบคุมความเร็วมอเตอร์ M_x และ M_y ดังนั้นสัญญาณ V_x และ V_y จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แปรผันโดยตรงกับความเร็ว v_x และ v_y ตามลำดับ จากสมการ (2.8) และ (2.9) สามารถหาแรงเคลื่อนไฟฟ้า V_x และ V_y ได้ดังนี้

$$V_x = V \cdot \cos \theta_n \quad (2.10)$$

$$V_y = V \cdot \sin \theta_n \quad (2.11)$$

เมื่อ V เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แปรผันโดยตรงกับความเร็วในการติดตามสายเส้น v
 θ_n เป็นทิศทางของหัวเซนเซอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับทิศทางสายเส้น θ_s

หน่วยควบคุมระบบจะทำการอ่านค่า V_x และ V_y จากตารางทุกครั้ง ที่สเตปป์มอเตอร์หมุนไปหนึ่งสเตป ในขณะที่ตัวรับแสงของหัวอ่านทั้งสองชุดมีค่าสัญญาณแตกต่างกัน อันเกิดจากแนวทิศทางที่หัวอ่านกำลังเคลื่อนที่แตกต่างกับแนวของสายเส้น และค่าสัญญาณแตกต่างกันนี้จะไปอินหน่วยควบคุมระบบ หน่วยควบคุมระบบจะหมุนสเตปป์มอเตอร์ให้ปรับทิศของหัวเซนเซอร์ ให้ไปในแนวเดียวกับทิศของสายเส้น และในขณะเดียวกันหน่วยควบคุมระบบจะสร้างสัญญาณ V_x และ V_y ไปควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟตรงตามแกน X และแกน Y ตามลำดับ

2.6 หน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง

หน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรงมีหน้าที่ควบคุมความเร็ว และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟตรงตามแกน X และแกน Y ให้เป็นไปตามสัญญาณ V_x และ V_y ที่ส่งมาจากหน่วยควบคุมระบบตามลำดับโดยขนาดของสัญญาณ V_x และ V_y นี้สามารถปรับได้ การปรับขนาดทั้งสองจะปรับในอัตราส่วนที่เท่ากัน เพื่อปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ติดตามลายเส้นของหัวอ่าน

2.7 หัวตัด

หัวตัดวางอยู่บนแกน X และยึดติดกับแผ่นเหล็กที่มีปลายอีกด้านหนึ่งติดตั้งหัวอ่านอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ดังนั้นในขณะที่ มอเตอร์ M_x และมอเตอร์ M_y ขับหัวอ่านให้เคลื่อนที่ไปตามลายเส้นนั้น หัวตัดก็จะเคลื่อนที่ไปในรูปแบบเดียวกัน

เมื่อเราติดตั้งหัวตัดหลายหัว ก็จะทำให้สามารถตัดพร้อม ๆ กันหลายอันได้



บทที่ 3

การออกแบบโต๊ะแท่นเครื่องและหัวอ่าน

3.1 เครื่องตัดแผ่นเหล็กอัตโนมัติ

เพื่อเป็นการแสดงหลักการทำงานของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ และคีย์งานตัดแผ่นเหล็ก เป็นงานที่มีอยู่อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม จึงได้เลือกการออกแบบสร้างเครื่องตัดเหล็กอัตโนมัติ เป็นตัวอย่างของการออกแบบสร้างเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ

ส่วนหัวตัดนั้นใช้แบบหัวตัดแก๊ส หรือหัวตัดเปลวไฟ (flame or oxy - fuel cutting) เพราะเป็นหัวตัดที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด และเหมาะสมกับการตัดแผ่นเหล็กทั่วไป

นอกจากนี้ เพื่อจะให้ได้เครื่องที่สามารถใช้งานได้จริง ๆ ในอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดให้เครื่องมีขนาด 3.65 x 3.50 เมตร โดยมีโต๊ะวางแผ่นเหล็กขนาด 1.50 x 3.00 เมตร ที่สามารถรับแผ่นเหล็กขนาด 1.20 x 2.40 เมตรได้ และติดตั้งหัวตัดแก๊ส 4 หัว สำหรับการตัด 4 ชิ้นพร้อม ๆ กันจากการอ่านครั้งเดียว

3.2 การออกแบบโต๊ะแท่นเครื่อง

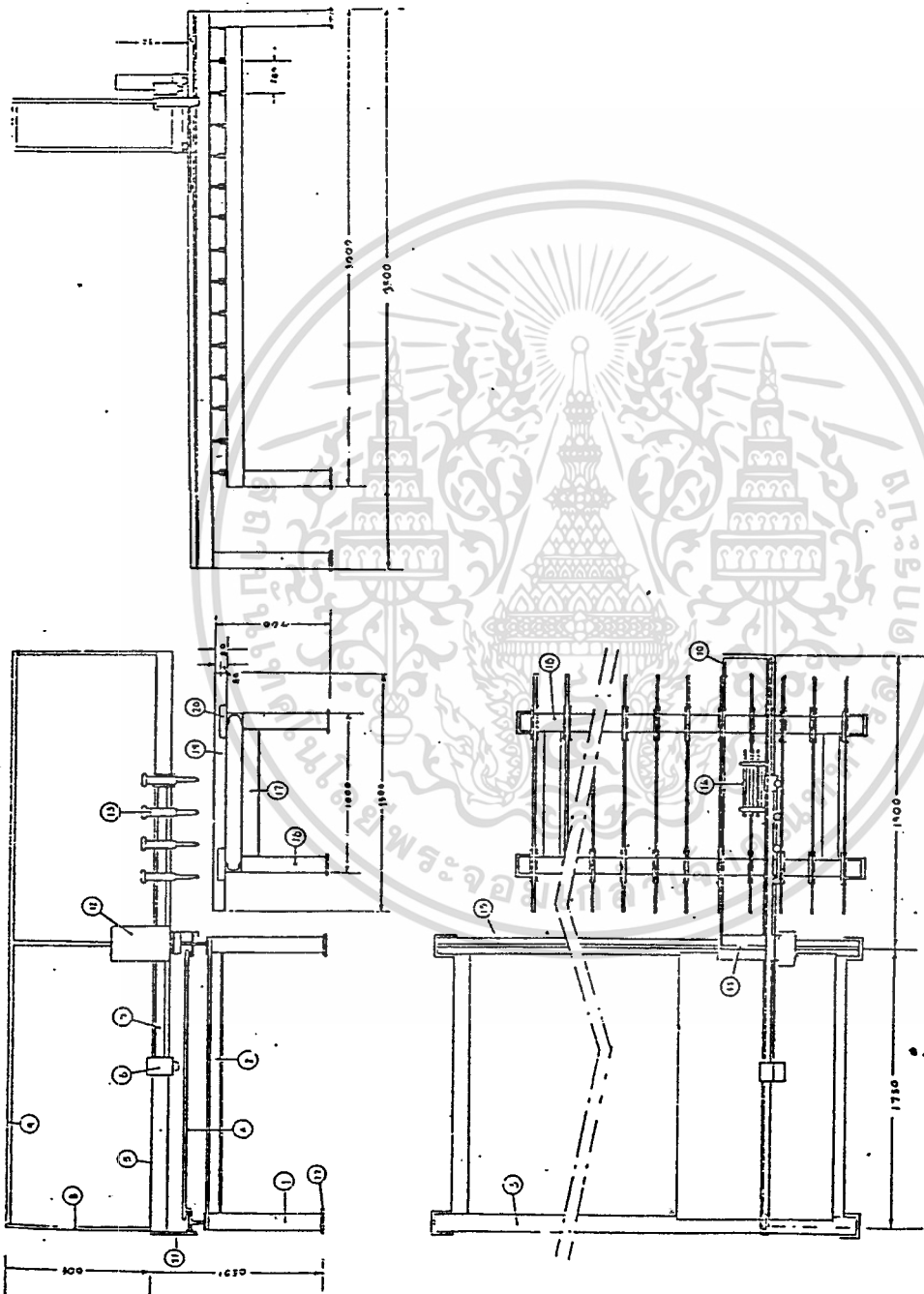
โต๊ะแท่นเครื่องมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.2 และเพื่อให้สามารถใช้ทำงานตัดแผ่นเหล็กในงานอุตสาหกรรมได้จริง จึงให้โต๊ะอ่านที่ประกอบด้วยหัวอ่านและวางแผ่นต้นแบบลวดลายมีขนาด 1.75 x 3.50 เมตร และโต๊ะวางแผ่นเหล็กที่จะตัดมีขนาด 1.50 x 3.00 เมตร

เพื่อความมั่นคงแข็งแรงของโต๊ะแท่นเครื่อง คุณสมบัติของวัสดุ และขนาดของส่วนต่าง ๆ ของโต๊ะแท่นเครื่องมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.3 การออกแบบหัวอ่าน

จากหลักการทำงานของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ หัวเซนเซอร์จะหมุนตามทิศทางของลายเส้นตลอดเวลา ดังนั้นหัวอ่านจะต้องมีส่วนประกอบทางด้านเครื่องกลด้วย องค์ประกอบของหัวอ่านประกอบด้วย

- สเตปมิ่งมอเตอร์
- เสนช
- หน้าสัมผัส
- วงจรเซนเซอร์
- หัวเซนเซอร์



รูปที่ 2.3 รูปแสดงรายละเอียดของโต๊ะแทนเครื่อง

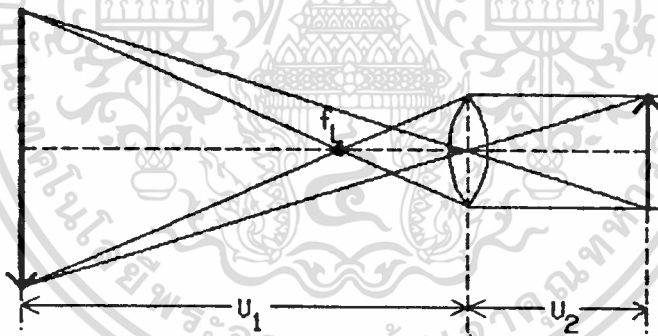
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 สเตปป์มอเตอร์

จากการทำงานของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ หัวเซนเซอร์จะต้องหมุนตลอดเวลาในการติดตามลายเส้น และจะต้องหมุนได้รอบตัว ในขณะที่เดียวกันจะต้องรู้ตำแหน่งที่แน่นอนของหัวเซนเซอร์ด้วย จากเงื่อนไขดังกล่าวจึงได้เลือกใช้สเตปป์มอเตอร์ ที่มีความละเอียดเท่ากับ 100 สเตปป์ต่อรอบ มาใช้หมุนหัวเซนเซอร์ โดยหมุนผ่านเกียร์ทดที่มีอัตราทดเท่ากับ 2 ต่อ 1 (ดังแสดงในรูปที่ 3.27) จึงทำให้ความละเอียดในการแบ่งตำแหน่งของทิศทางของหัวเซนเซอร์ (θ_n) ละเอียดขึ้นเป็น 200 ตำแหน่งต่อรอบ หรือเท่ากับ 1.8 องศาต่อตำแหน่ง

3.3.2 เลนส์

เลนส์เป็นส่วนที่สำคัญมากต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของหัวอ่าน ทำให้หัวอ่านสามารถอ่านลายเส้นที่มีความหนาแน่นๆ ได้ โดยการใช้เลนส์ช่วยขยายขนาดของลายเส้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ในการออกแบบได้กำหนดให้อัตราขยายเท่ากับ 2.5 เท่า ความยาวโฟกัสของเลนส์ (f_L) เท่ากับ 25 มม. ความสูงของเลนส์จากแผ่นต้นแบบลวดลาย (u_1) เท่ากับ 35 มม.



รูปที่ 3.2 แสดงการใช้เลนส์ช่วยขยายขนาดของลายเส้น

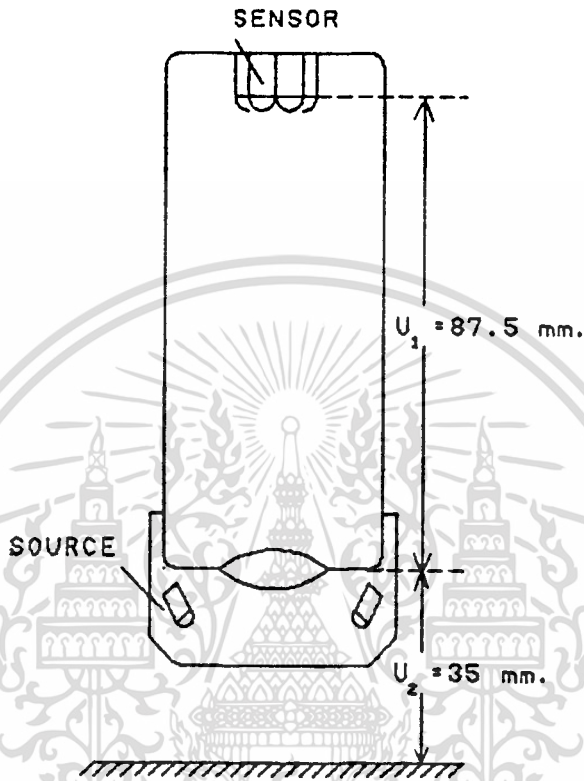
จากรูป 3.2

$$1/f_L = 1/u_1 + 1/u_2 \quad (3.1)$$

เมื่อ f_L เป็นความยาวโฟกัสของเลนส์

u_1 เป็นความสูงจากเลนส์ถึงตัวรับ

u_2 เป็นความสูงจากแผ่นต้นแบบลวดลายถึงเลนส์



รูปที่ 3.3 รูปแสดงการติดตั้งเลนส์

$$\text{อัตราขยาย} = u_1/u_2 \quad (3.2)$$

กำหนดให้อัตราขยายเท่ากับ 2.5 และแทนค่าลงในสมการ (3.2)

$$u_1 = 2.5u_2 \quad (3.3)$$

เมื่อให้ $f_L = 25$ มม. และแทนค่า f_L, u_1 ลงในสมการ (3.1)

$$1/25 = 1/(2.5u_2) + 1/u_2$$

$$u_2 = 35 \text{ มม.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า u_p ลงในสมการ (3.3)

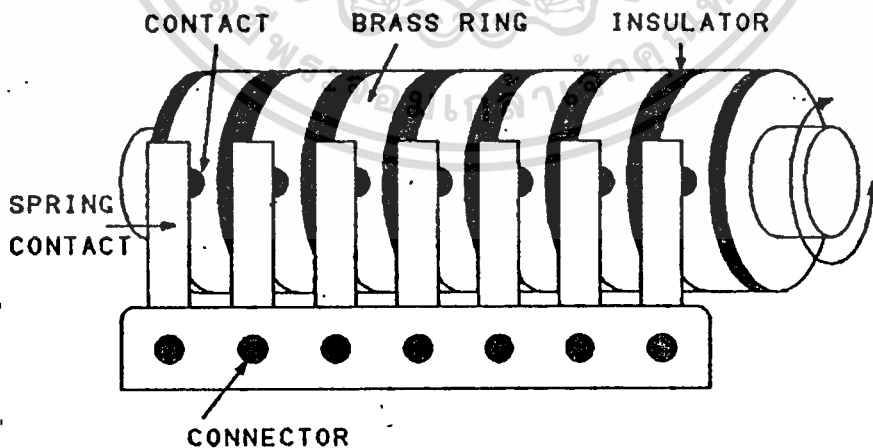
$$\begin{aligned} u_p &= 2.5 \cdot 35 \\ &= 87.5 \text{ มม.} \end{aligned}$$

รายละเอียดของการติดตั้งเลนส์ หัวเซนเซอร์ และระยะการวางภาพหลายเส้นต้นแบบ ดังแสดงในรูป 3.3

3.3.3 หน้าสัมผัส (contact)

หน้าสัมผัสเป็นส่วนที่เชื่อมโยงระหว่างวงจรเซนเซอร์กับหัวเซนเซอร์ เนื่องจากหัวเซนเซอร์จะต้องหมุนอยู่ตลอดเวลาในการติดตามลายเส้น และจะต้องหมุนได้รอบตัว ดังนั้นการส่งสัญญาณต่างๆระหว่างวงจรเซนเซอร์กับตัวรับแสงจะต้องส่งผ่านหน้าสัมผัส

หน้าสัมผัสมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.4 ลักษณะของหน้าสัมผัส เป็นหน้าสัมผัสที่วางซ้อนกันเป็นชั้นๆตามแนวแกน โดยมีฉนวนไฟฟ้า (insulator) กั้นระหว่างหน้าสัมผัสแต่ละชั้น หน้าสัมผัสทำด้วยวงแหวนทองเหลือง (brass ring) ที่วงแหวนทองเหลืองจะมีก้านสัมผัส (contact) ซึ่งทำด้วยทองเหลือง แล้วยึดติดกับแผ่นสปริง (spring contact) ทำให้ก้านสัมผัสติดกับวงแหวนทองเหลืองตลอดเวลา ดังนั้นความต้านทานของหน้าสัมผัสจึงมีค่าน้อย

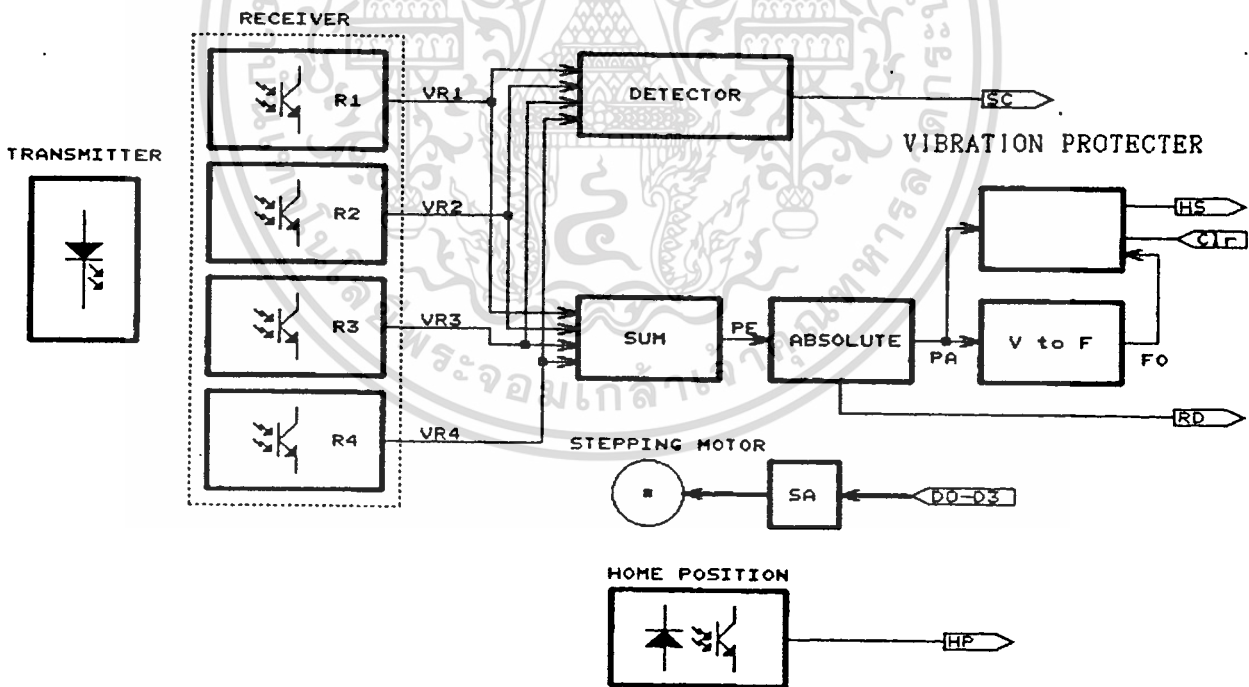


รูปที่ 3.4 หน้าสัมผัส

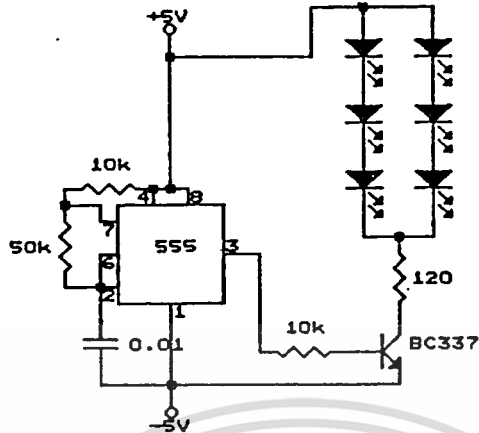
3.3.4 วงจรเซนเซอร์

วงจรเซนเซอร์เป็นวงจรถ่ายทอดสัญญาณ ที่บอกถึงความแตกต่างของทิศทางเคลื่อนที่ของหัวอ่านกับทิศทางของสายเส้น ซึ่งมีองค์ประกอบของวงจรเซนเซอร์แสดงในรูปที่ 3.5 ประกอบด้วย

- วงจรกำเนิดสัญญาณแสง (transmitter)
- วงจรรับสัญญาณแสง (receiver)
- วงจรรวมสัญญาณ (sum)
- วงจรตรวจสอบการเข้าสายเส้น (detector)
- วงจรหาค่าสมบูรณ์และเช็คเครื่องหมาย (absolute)
- วงจรเปลี่ยนโวลต์เตจเป็นความถี่ (voltage to frequency)
- วงจรป้องกันหัวอ่านล้น (vibration protector)
- วงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น (home position)



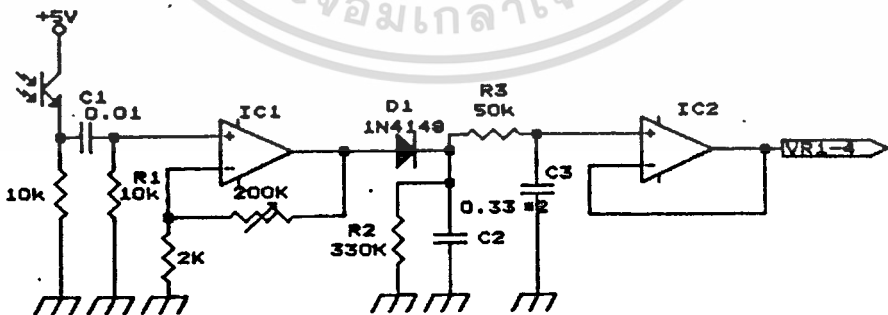
รูปที่ 3.5 องค์ประกอบของวงจรเซนเซอร์



รูปที่ 3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณแสง (Transmitter)

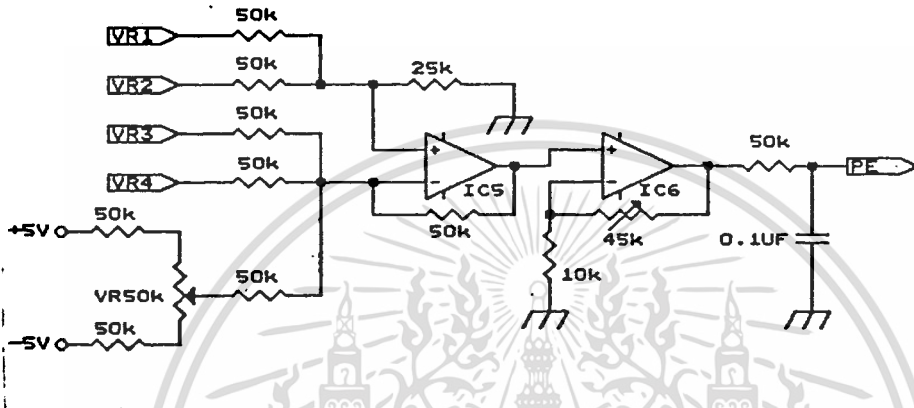
(1) วงจรกำเนิดสัญญาณแสง เป็นวงจรถ่ายทอดสัญญาณที่มีความถี่ประมาณ 1.3 kHz รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.6 วงจรในรูป IC555 เป็นวงจรถ่ายทอดสัญญาณ แล้วไปขับทรานซิสเตอร์ และ LED สีแดง 6 ตัว

(2) วงจรรับสัญญาณแสง วงจรรับสัญญาณแสงมีทั้งหมดสี่ชุด ซึ่งมีวงจรภายในเหมือนกัน รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.7 สัญญาณแสงที่ได้รับถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยโฟโตทรานซิสเตอร์ สัญญาณไฟฟ้าที่ได้เป็นสัญญาณความถี่ 1.3kHz ผสมกับสัญญาณรบกวนที่เป็นไฟตรงและหรือสัญญาณความถี่ 50Hz (เกิดจากแสงอาทิตย์และ หรือหลอดไฟฟ้า) สัญญาณรบกวนเหล่านี้จะถูกกรองทิ้งด้วยวงจรกรอง R1, C1 สัญญาณที่ได้จึงเหลือแต่สัญญาณไฟสลับความถี่ 1.3kHz



รูปที่ 3.7 วงจรรับสัญญาณแสง

สัญญาณไฟสลับจะถูกขยายด้วยวงจร IC1 และถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟตรงด้วยวงจร D1, R2,R3,C2 และ C3 IC2 ทำหน้าที่เป็นวงจรกันชน (buffer)



รูปที่ 3.8 วงจรรวมสัญญาณ

(3) วงจรรวมสัญญาณ มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.8 สัญญาณที่ได้จากวงจรรับแสงคือ $V_{R1} - V_{R4}$ V_{R1} กับ V_{R2} เป็นสัญญาณที่ได้จากโฟโตทรานซิสเตอร์ทางซีกซ้าย และ V_{R3} กับ V_{R4} เป็นสัญญาณที่ได้จากทางซีกขวา สัญญาณทั้งหมดถูกรวมกันด้วย IC5 โดยสัญญาณออก V_o สามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้ [3]

$$V_o = V_{R1} + V_{R2} - V_{R3} - V_{R4} - V_{RZ} \quad (3.4)$$

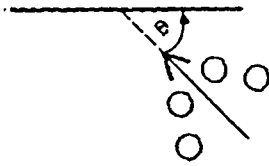
$VR50k$ เป็นตัวปรับศูนย์ (V_{RZ}) ของวงจรรวมสัญญาณ สัญญาณที่ได้จากวงจรมีเป็นสัญญาณเออร์เรอของตำแหน่งหัวอ่าน (PE)

(4) วงจรตรวจสอบการเข้าสายเส้น ก่อนที่หัวอ่านจะติดตามลายเส้นจะต้องให้หัวอ่านเคลื่อนที่จากภายนอกลายเส้น ในช่วงนี้หน่วยควบคุมระบบจะยังไม่ตอบสนองต่อสัญญาณเออร์เรอของหัวอ่านจนกว่าหน่วยควบคุมระบบจะได้รับสัญญาณการเข้าสายเส้น (SC)

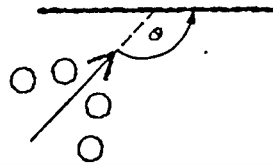
การเข้าสายเส้นของหัวอ่านแบ่งออกได้สองแบบคือ

- การเข้าสายเส้นแบบวนตามเข็มนาฬิกา
- การเข้าสายเส้นแบบวนทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

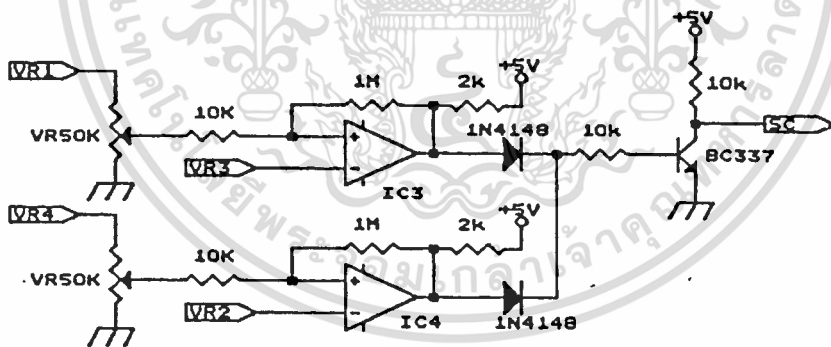


รูปที่ 3.9 รูปแสดงการตั้งหัวเซนเซอร์แบบวนตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 3.10 รูปแสดงการตั้งหัวเซนเซอร์แบบวนทวนเข็มนาฬิกา

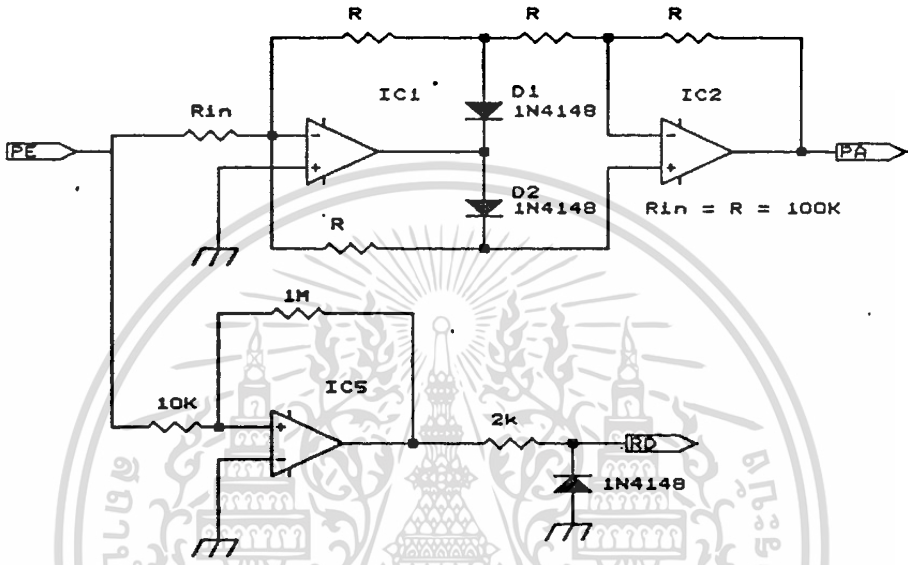
- การเข้าสายเส้นแบบวนตามเข็มนาฬิกา ในช่วงนี้จะตั้งหัวเซนเซอร์ให้ทำมุม θ ประมาณ -45 องศา แสดงในรูปที่ 3.9 การตรวจสอบเข้าสายเส้นจะใช้สัญญาณ V_{n1} เปรียบเทียบกับ V_{n2}
- การเข้าสายเส้นแบบทวนเข็มนาฬิกา ในช่วงนี้จะตั้งหัวเซนเซอร์ให้ทำมุม θ ประมาณ +135 องศา แสดงในรูปที่ 3.10 การตรวจสอบเข้าสายเส้นจะใช้สัญญาณ V_{n2} เปรียบเทียบกับ V_{n1}



รูปที่ 3.11 วงจรตรวจสอบการเข้าสายเส้น

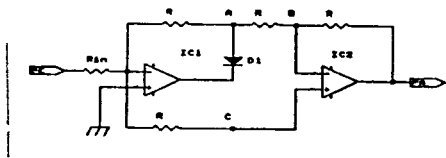
จากลักษณะการเข้าสายเส้นทั้งสองแบบจึงได้ออกแบบวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.11 ในวงจร V_{n1} กับ V_{n2} และ V_{n2} กับ V_{n1} จะเข้าวงจรเปรียบเทียบของ IC3 และ IC4 ตามลำดับ โดยจะปรับ V_{n1} และ V_{n2} ให้มีระดับต่ำกว่า V_{n2} และ V_{n1} ตามลำดับ เพื่อให้เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบทั้งสองมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่เข้าสายเส้น V_{n1} หรือ V_{n2} จะมีค่าต่ำลงทำให้เอาต์พุตของ IC3 หรือ IC4 เป็นหนึ่ง ขึ้นอยู่กับ θ ที่หัวอ่านเคลื่อนที่เข้าสายเส้น เอาต์พุตของ IC3 และ IC4 ก็จะรวมกันเป็นสัญญาณ SC

(5) วงจรหาค่าสัมบูรณ์และเช็คเครื่องหมาย [4] สัญญาณเออร์เรอ PE ที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณมีค่าทั้งบวกและลบ จะต้องผ่านวงจรหาค่าสัมบูรณ์และเช็คเครื่องหมาย เพื่อหาขนาดและตรวจสอบเครื่องหมายของสัญญาณ รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.12

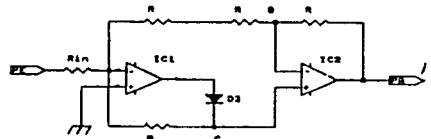


รูปที่ 3.12 วงจรหาค่าสัมบูรณ์ และเช็คเครื่องหมาย

จากวงจร IC1 และ IC2 ประกอบกันขึ้นเป็นวงจรหาค่าสัมบูรณ์ การทำงานของวงจรสามารถแบ่งออกเป็นสองโหมดคือ เมื่อ V_{in} มีค่าเป็นบวก และเมื่อ V_{in} มีค่าเป็นลบดังแสดงในรูปที่ 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ



รูปที่ 3.13 แสดงการทำงานของวงจรหาค่าสัมบูรณ์เมื่อ V_{in} มีค่าบวก



รูปที่ 3.14 แสดงการทำงานของวงจรหาค่าสัมบูรณ์เมื่อ V_{in} มีค่าลบ

ในรูปที่ 3.13 IC1 ทำงานเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แอมป์ เมื่อ V_{in} มีค่าเป็นบวกกระแสอินพุตทั้งหมดเท่ากับ V_{in}/R_{in} จะไหลผ่านจุด A และ D1 ทำให้โวลต์เตจที่จุด A เท่ากับ

$$V_A = -V_{in}R/R_{in} \quad (3.5)$$

โวลต์เตจที่จุด C เป็นศูนย์ เนื่องจากไม่มีกระแสไหลผ่าน R ตัวล่าง ทำให้ IC2 ทำงานเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แอมป์ โดยมีอินพุตอยู่ที่จุด A ทำให้โวลต์เตจที่จุด PA เท่ากับ

$$\begin{aligned} V_{PA} &= -(-V_{in}R/R_{in})R/R \\ &= V_{in}R/R_{in} \end{aligned} \quad (3.6)$$

จากสมการ(3.6) เมื่อ V_{in} มีค่าเป็นบวกวงจรจะทำงานเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แอมป์ โวลต์เตจเอาต์พุต (V_{PA}) จะมีค่าเป็นบวก โดยอัตราขยายของวงจรเท่ากับ R/R_{in}

ในรูปที่ 3.14 เมื่อ V_{in} มีค่าเป็นลบ IC1 ทำงานเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แอมป์ ทำให้โวลต์เตจเอาต์พุตของ IC1 มีค่าเป็นบวก กระแสที่ไหลออกจาก IC1 จะไหลผ่าน D2 และ R ไปยังอินพุต จากรูปที่ 3.14 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

พิจารณากระแสที่ขาบวกของ IC1

$$V_{in}/R_{in} + V_B/(2R) + V_C/R = 0 \quad (3.7)$$

โวลต์เตจอินพุตขาบวกและขาลบของออปแอมป์มีค่าเท่ากัน

$$\text{ดังนั้น} \quad V_C = V_B \quad (3.8)$$

แทนค่า V_C ลงในสมการ (3.7)

$$\begin{aligned} -V_{in}/R_{in} &= 3V_B/(2R) \\ V_B &= -V_{in} \cdot 2R/(3R_{in}) \end{aligned} \quad (3.9)$$

ในช่วงที่ V_{in} มีค่าเป็นลบ IC2 จะทำงานเป็นวงจรถอนอินเวอร์เตอร์แอมป์ โดยมีอินพุทอยู่ที่จุด C

$$\text{ดังนั้น} \quad V_{PA} = I_B \cdot 3R \quad (3.10)$$

$$\text{พิจารณากระแสที่จุด B} \quad I_B = V_B / 2R \quad (3.11)$$

จากสมการ (3.11) และ (3.9) แทนค่า I_B และ V_B ลงในสมการ (3.10) ตามลำดับ

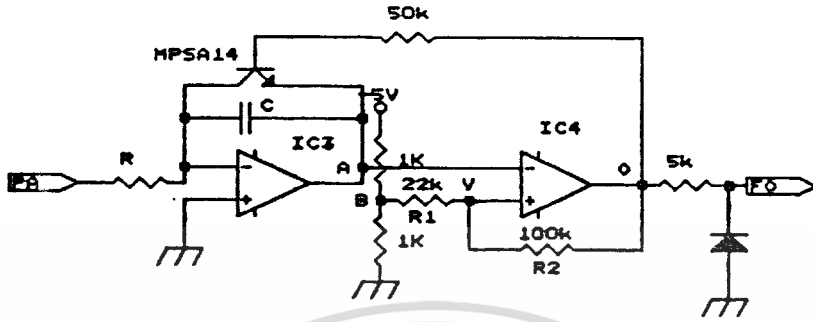
$$\begin{aligned} V_{PA} &= -(V_{in} \cdot 2R \cdot 3R) / (2R \cdot 3R_{in}) \\ V_{PA} &= -V_{in} \cdot (R/R_{in}) \end{aligned} \quad (3.12)$$

จากสมการ (3.12) จะเห็นได้ว่าเมื่อ V_{in} มีค่าลบ วงจรจะทำงานเป็นวงจรถอนอินเวอร์เตอร์แอมป์ จึงทำให้ V_{PA} มีค่าเป็นบวก โดยมีอัตราขยายของวงจรเท่ากับ R/R_{in} จากสมการ (3.6) และ (3.12) สามารถเขียนรวมกันได้ดังนี้

$$V_{PA} = |V_{in}| \cdot (R/R_{in}) \quad (3.13)$$

วงจรเช็คเครื่องหมายมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.12 วงจร IC5 ทำหน้าที่ตรวจสอบเครื่องหมายของ V_{PE} โดยเทียบกับกราวด์ เมื่อ V_{PE} มีค่าเป็นบวก RD จะเป็น 1 และเมื่อ V_{PE} มีค่าเป็นลบ RD จะเป็น 0

(6) วงจรเปลี่ยนโวลต์เตจเป็นความถี่ มีหน้าที่เปลี่ยนโวลต์เตจ PA ให้เป็นความถี่ FO ความถี่ FO เป็นสัญญาณสำหรับควบคุมความเร็วของสเตปป์มอเตอร์หัวอ่าน โดยส่งผ่านทางหน่วยควบคุมระบบ จากการทดสอบสเตปป์มอเตอร์ที่อยู่กับหัวอ่าน ผลปรากฏว่าสเตปป์มอเตอร์ตอบสนองความถี่สูงสุดประมาณ 150Hz เพื่อป้องกันการกระโดดข้ามของสเตปป์ที่เกิดจากความผิดพลาด ดังนั้นในการออกแบบจึงกำหนดให้ความถี่เอาร์พุท (FO) ของวงจรมีค่า 130Hz เมื่อโวลต์เตจอินพุท (PA) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3 โวลต์ รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.15 วงจร IC3 เป็นวงจรถอนอินทรีเกรต



รูปที่ 3.15 วงจรเปลี่ยนโวลต์เต็จเป็นควมถึ

กระแสอินพุท IC3 $i = V_{PA}/R$ (3.14)

โวลต์เต็จที่จุด A $V_A = -V_{cap}$
 $= (-1/C) \int i dt$ (3.15)

ในสมการ (3.15) กระแส i เป็นกระแสคงที่ (I) ดังนัน
 $V_A = -IT_c/C$ (3.16)

เมื่อ T_c เป็นเวลาที่เก็บประจุในคอนเดนเซอร์
 จากสมการ (3.14) แทนค่า i ลงในสมการ (3.16)

$$V_A = -V_{PA}T_c/RC$$
 (3.17)

IC4 เป็นวงจรเปรียบเทียบที่มี Hysteresis โดยโวลต์เต็จที่ขาบวกของ IC4 มีค่าได้สองค่าคือ V_{vL} กับ V_{vH} ขึ้นอยู่กับโวลต์เต็จเอาต์พุท V_o
 พิจารณาโวลต์เต็จที่จุด V ในวงจร

$$V_v = V_v + (V_o - V_v)R_1/(R_1 + R_2)$$
 (3.18)

กำหนดให้ $R_1 = 22k$ และ $R_2 = 100k$ แทนค่า R_1 และ R_2 ลงในสมการ (3.18)

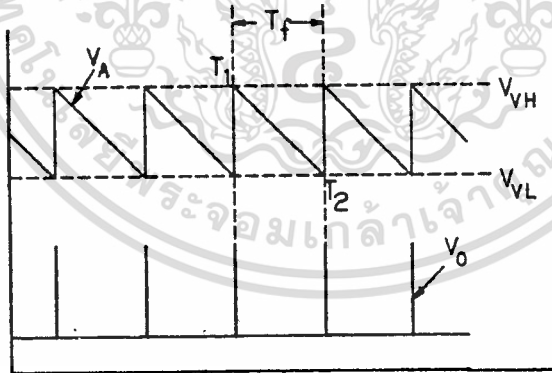
$$V_{vL} = V_{vH} + (V_0 - V_{vH})22 \cdot 10^3 / [(100+22) \cdot 10^3] \quad (3.19)$$

ในวงจร V_{vL} เท่ากับ -2.5 โวลต์เมื่อโวลต์เต็มเออร์พุท V_0 มีค่าต่ำเท่ากับ -5 โวลต์ แทนค่า V_0 และ V_{vH} ลงในสมการ (3.19)

$$\begin{aligned} V_{vL} &= [(-5) - (-2.5)]22 \cdot 10^3 / 122 \cdot 10^3 + (-2.5) \\ &= -2.95 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

โวลต์เต็มเออร์พุท V_0 มีค่าสูงเท่ากับ 5 โวลต์ แทนค่า V_0 ลงในสมการ (3.19)

$$\begin{aligned} V_{vH} &= [5 - (-2.5)]22 \cdot 10^3 / 122 \cdot 10^3 + (-2.5) \\ &= -1.15 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะลูกคลื่นโวลต์เต็ม V_A และ V_0 .

ลักษณะของโวลต์เต็ม V_A และ V_0 แสดงในรูปที่ 3.16 โวลต์เต็ม V_A เป็นโวลต์เต็มเออร์พุทของ IC3 เมื่อ IC3 อินทรีเกรตกระแส 1 ทำให้โวลต์เต็ม V_A มีค่าลดลง ต่ำกว่าโวลต์เต็ม V_{vL} เล็กน้อย โวลต์เต็ม V_{vH} ก็จะถูกคายประจุออกอย่างรวดเร็วด้วยทรานซิสเตอร์ ทำให้

โวลต์เต็ม V_A มีค่าสูงขึ้น สูงกว่าโวลต์เต็ม V_{VH} เล็กน้อย ทรานซิสเตอร์จึงหยุดนำกระแส IC3 จึงเริ่มอินทรีเกรตกระแส i ใหม่อีกครั้ง

จากรูปที่ 3.16 T_r เป็นช่วงเวลาที่โวลต์เต็ม V_A ลดลงจาก V_{VH} มายัง V_{VL} (เกิดจากการอินทรีเกรตกระแส i ของ IC3)

$$\text{ดังนั้น} \quad T_r = T_2 - T_1 \quad (3.20)$$

พิจารณาโวลต์เต็ม V_A ที่ T_1

$$\begin{aligned} V_A &= V_{VH} \\ T_c &= T_1 \text{ (เป็นเวลาเริ่มต้นอินทรีเกรต)} \end{aligned}$$

แทนค่า V_A และ T_c ลงในสมการ (3.17)

$$\begin{aligned} V_{VH} &= -V_{FA} T_1 / RC \\ T_1 &= -V_{VH} RC / V_{FA} \end{aligned} \quad (3.21)$$

พิจารณาโวลต์เต็ม V_A ที่ T_2

$$\begin{aligned} V_A &= V_{VL} \\ T_c &= T_2 \text{ (เป็นเวลาสุดท้ายของการอินทรีเกรต)} \end{aligned}$$

แทนค่า V_A และ T_c ลงในสมการ (3.17)

$$\begin{aligned} V_{VL} &= -V_{FA} T_2 / RC \\ T_2 &= -V_{VL} RC / V_{FA} \end{aligned} \quad (3.22)$$

จากสมการ (3.21) และ (3.22) แทนค่า T_1 และ T_2 ลงในสมการ (3.20)

$$\begin{aligned} T_r &= (-V_{VL} RC / V_{FA}) - (-V_{VH} RC / V_{FA}) \\ &= (RC / V_{FA}) (V_{VH} - V_{VL}) \end{aligned} \quad (3.23)$$

ความถี่สูงสุดที่ต้องการเท่ากับ 130 Hz เมื่อ V_{PA} เท่ากับ 3 โวลต์

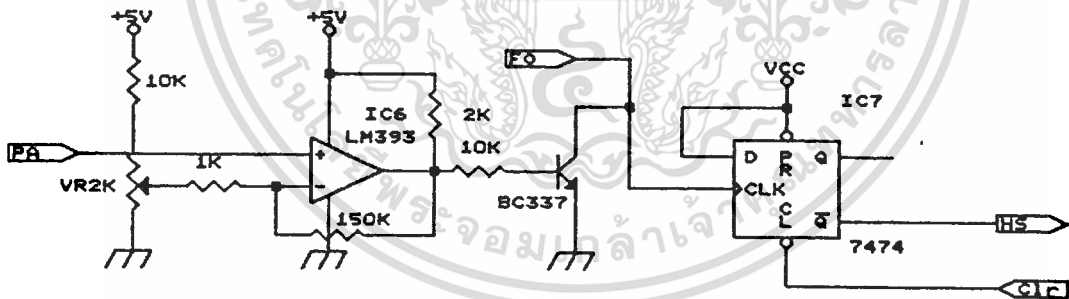
$$\begin{aligned} \text{คาบเวลา } T_f &= 1/f \\ &= 1/130 \\ &= 7.7 \text{ msec} \end{aligned}$$

ให้ C เท่ากับ 0.1 μF

แทนค่า V_{PA}, T_f, C, V_{OL} และ V_{OH} ลงในสมการ (3.23)

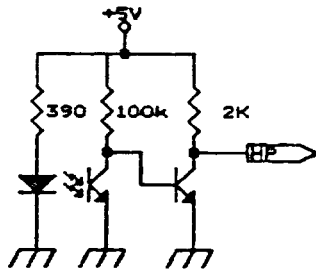
$$\begin{aligned} 7.7 \cdot 10^{-3} &= (R \cdot 0.1 \cdot 10^{-6} / 3) \cdot (2.95 - 1.15) \\ R &= 128 \text{ k} \end{aligned}$$

ค่า R ที่คำนวณได้จะเป็นค่าโดยประมาณ ในการใช้งานจริงค่า R จะน้อยกว่านี้ เนื่องจากการคำนวณไม่ได้นำเวลาที่ใช้ในการคายประจุ C มาคิด ดังนั้นในการใช้งานจริงควรจะใช้ R ชนิดปรับค่าได้



รูปที่ 3.17 วงจรป้องกันหัวอ่านสั้น

(7) วงจรป้องกันหัวอ่านสั้น มีหน้าที่ทำให้หัวอ่านหยุดหมุนเมื่อ V_{PA} มีค่าต่ำใกล้ศูนย์ รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.17 วงจร IC6 เป็นวงจรเปรียบเทียบ เมื่อ V_{PA} มีค่าต่ำกว่าค่าที่ปรับไว้ (ปรับค่าที่ VR 2k) ทำให้ความถี่ FO เป็นศูนย์ IC7 เป็นดี-ฟลิปฟล็อป มีหน้าที่ส่งความถี่ FO ไปยังหน่วยควบคุมระบบทางสัญญาณ HS เมื่อหน่วยควบคุมระบบรับทราบจะส่งสัญญาณ clr ต่อบรับ

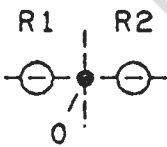


รูปที่ 3.18 วงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น

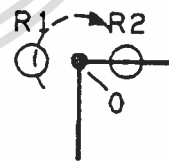
(8) วงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น มีหน้าที่ส่งสัญญาณออกให้หน่วยควบคุมระบบ เมื่อหัวอ่านหมุนมาในทิศที่กำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ โดยที่หัวอ่านจะหมุนหาตำแหน่งนี้ทุกครั้งเมื่อเริ่มเปิดเครื่อง รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.18

3.3.3 การจัดตำแหน่งของตัวรับแสง

การจัดตำแหน่งของตัวรับแสงจำเป็นต้องคำนึงถึงความเร็วสูงสุดในการติดตามลายเส้นและความเร็วสูงสุดของการหมุนหัวเซนเซอร์ เนื่องจาก การติดตามลายเส้นหัวอ่านจะต้องหมุนหัวเซนเซอร์อยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ลายเส้นอยู่ระหว่างตรงกลางของตัวรับแสงทั้งสอง วิธีการจัดตำแหน่งตัวรับแสงสามารถแบ่งออกได้สามแบบคือ

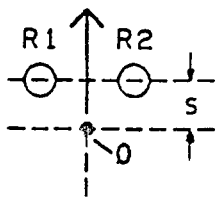


รูปที่ 3.19 รูปแสดงการจัดตำแหน่งตัวรับแสงแบบที่หนึ่ง

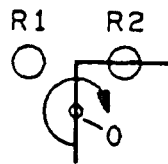


รูปที่ 3.20 รูปแสดงการทำงานของหัวเซนเซอร์แบบที่หนึ่งเมื่อลายเส้นเป็นมุมฉาก

(1) วางแนวตำแหน่งตัวรับแสงอยู่ในแนวเดียวกับจุดศูนย์กลางของหัวเซนเซอร์ ตามรูปที่ 3.19 จะเห็นว่าตัวรับแสง R1 และ R2 อยู่ในแนวเดียวกับจุดศูนย์กลาง 0. ทำให้เมื่อลายเส้นมาตรงกับตัวรับแสง (รูปที่ 3.20) หัวเซนเซอร์จะต้องหมุนทันทีทันใดเพื่อไม่ให้หลุดออกจากลายเส้นและจะทำให้การเคลื่อนที่ของหัวอ่านสั้นได้



รูปที่ 3.21 รูปแสดงการจัดตำแหน่งตัวรับแสงแบบที่สอง



รูปที่ 3.22 รูปแสดงการทำงานของหัวเซนเซอร์แบบที่สอง เมื่อสายเส้นเป็นมุมฉาก

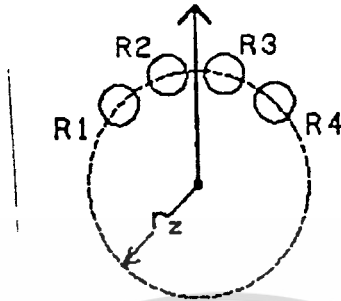
(2) วางแนวตำแหน่งของตัวรับแสงให้อยู่ด้านหน้าจุดศูนย์กลางของหัวเซนเซอร์ ตามรูปที่ 3.21 ตัวรับแสง R1 และ R2 จัดตำแหน่งไว้ด้านหน้าของจุดศูนย์กลางของหัวเซนเซอร์ ซึ่งการวางตำแหน่งในลักษณะเช่นนี้เป็นการอ่านลายเส้นแบบสว่างหน้า เมื่อสายเส้นมาตรงกับตัวรับแสง R2 (รูปที่ 3.22) หัวอ่านจะค่อยๆ หมุน เนื่องจากจุดศูนย์กลางของหัวอ่านยังไม่ถึงมุมฉาก แต่การวางตำแหน่งของตัวรับแสงในลักษณะเช่นนี้ ทำให้เกิดรัศมีขึ้นในการติดตามลายเส้นที่เป็นมุมเหลี่ยม ตามเส้นปะในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ลักษณะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเมื่อสายเส้นเป็นมุมฉาก

รัศมี r_s ที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะ s ในการวางตำแหน่งตัวรับแสงในรูปที่ 3.21 ถ้าระยะ s มีค่ามากก็จะทำให้รัศมี r_s มีค่ามาก ถ้าระยะ s มีค่าน้อยก็จะทำให้เกิดรัศมี r_s มีค่าน้อย แต่โอกาสที่จะหลุดออกจากสายเส้นมีมาก ดังนั้นในการตั้งระยะ s จะต้องคำนึงถึงความเร็วในการติดตามลายเส้น และความเร็วในการหมุนหัวเซนเซอร์

(3) วางแนวตำแหน่งตัวรับแสงในลักษณะหัวลูกศร การวางตำแหน่งแบบนี้เป็นการจัดตำแหน่งที่มีตัวรับแสงมากกว่าสองตัว ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ตัวรับแสง 4 ตัววางอยู่ในแนวรัศมี r_s ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การจัดตำแหน่งตัวรับแสงแบบลูกศร

ข้อดีของการวางตำแหน่งตัวรับแสงในลักษณะลูกศร คือ

- เพิ่มระยะในการตรวจจับลายเส้นด้านข้างซ้ายและขวาให้กว้างขึ้น
- เพิ่มระยะในการตรวจจับลายเส้นด้านหน้าให้กว้างขึ้น
- เป็นการตรวจจับลายเส้นแบบสว่างหน้าตามลักษณะของแบบที่สอง

การวางตำแหน่งตัวรับแสงกับจุดศูนย์กลาง O ของแบบที่สาม ยังต้องยึดหลักการออกแบบตามแบบที่สอง คือต้องคำนึงถึงความเร็วในการติดตามลายเส้น และความเร็วหมุนหัวเซนเซอร์

การเคลื่อนที่ของหัวอ่านเมื่อผ่านมุมฉาก หัวอ่านจะไม่สามารถเคลื่อนที่เป็นลักษณะมุมฉากได้ แต่หัวอ่านจะเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้งแทน เนื่องจากในขณะที่หัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านมุมฉากหัวอ่านจะต้องหมุนหัวเซนเซอร์ไปตามลายเส้น และในขณะเดียวกันหัวอ่านจะต้องเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วย จึงทำให้การเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้ง (ดังแสดงในรูปที่ 3.23) รัศมีของส่วนโค้งที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วในการติดตามลายเส้น กับความเร็วรอบของหัวเซนเซอร์ เมื่อหัวอ่านผ่านมุมฉากหัวอ่านจะหมุนหัวเซนเซอร์ด้วยความเร็วรอบสูงสุด ดังนั้นรัศมีของส่วนโค้งจึงขึ้นอยู่กับความเร็วในการติดตามลายเส้นเท่านั้น โดยรัศมีมีขนาดเล็กเมื่อความเร็วต่ำและรัศมีมีขนาดใหญ่เมื่อความเร็วสูง

ดังนั้นเมื่อต้องการให้หัวอ่านเคลื่อนที่ผ่านมุมฉากได้ หัวอ่านจะต้องเลี้ยวก่อนถึงมุมฉาก เป็นระยะทางเท่ากับรัศมีของส่วนโค้ง r_c ในการคำนวณหาค่า r_c ต้องคำนึงถึงความเร็วสูงสุดในการตัดเหล็ก จากตารางข้อมูลมาตรฐานการตัดเหล็กด้วยหัวตัดแก๊ส ของมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JIS) ในตารางที่ 3.1 ความเร็วสูงสุดที่ใช้ตัดแผ่นเหล็กหนา 0 ถึง 3/16 in เท่ากับ 27 in/min หรือเท่ากับ 686 mm/min

Plate Thickness in	Nozzle Size	Gas Pressure p.s.i.		Cutting Speed in/min	Gas Flow cf h		
		Oxygen	Acetylene		Cutting Oxygen	Preheat Oxygen	Acetylene
~ 3/8	00	21	2.8	~27	24	16	14
3/8 ~ 1/2	0	28	2.8	27~22	42	16	14
1/2 ~ 5/8	1	36	2.8	22~19	74	16	14
5/8 ~ 1 1/8	2	43	2.8	19~16	120	16	14
1 1/8 ~ 1 3/8	3	43	2.8	16~14	152	19	17
1 3/8 ~ 2	4	50	3.6	14~13	229	21	19
2 ~ 4	5	57	4.3	13~8	388	26	24
4 ~ 6	6	57	5.0	8~6	530	29	26
6 ~ 8	7	64	5.7	6~4	777	39	35
10 ~ 12	8	64	5.7	4~3	988	39	35

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลมาตรฐานสำหรับการตัดแผ่นเหล็กด้วยแก๊ส

$$\text{ความเร็วรอบสูงสุดของหัวเซนเซอร์ } n_H = f_s \cdot K_s / 360 \quad (3.24)$$

เมื่อ f_s เป็นความถี่สูงสุดที่ใช้หมุนหัวเซนเซอร์เท่ากับ 130 Hz (จากการออกแบบวงจรเปลี่ยนโวลต์เตจเป็นความถี่ของวงจรเซนเซอร์)

K_s เป็นค่าคงที่ของสเตปป์มอเตอร์เท่ากับ 1.8 องศาต่อสเตป

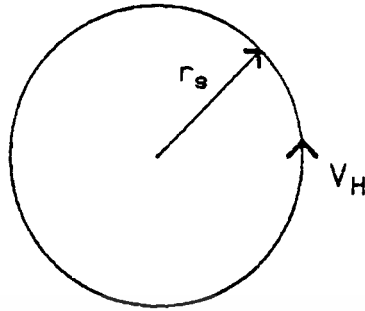
v_H เป็นความเร็วสูงสุดของหัวอ่านเท่ากับ 686 mm/min

แทนค่า f_s และ K_s ลงในสมการ (3.24)

$$\begin{aligned} n_H &= 130 \cdot 1.8 / 360 \\ &= 0.65 \text{ รอบต่อวินาที} \end{aligned}$$

เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่ตามส่วนโค้งของวงกลมหนึ่งรอบ หัวอ่านจะต้องหมุนหนึ่งรอบด้วย

$$\text{เวลาที่หัวอ่านใช้หมุนหนึ่งรอบ } t_H = 1/n_H \quad (3.25)$$



รูปที่ 3.25 แสดงการเคลื่อนที่รอบวงกลมของหัวอ่าน

แทนค่า n_H ลงในสมการ (3.25)

$$\begin{aligned} t_H &= 1/0.65 \\ &= 1.54 \text{ วินาที} \end{aligned}$$

จากรูป 3.25 หัวอ่านเคลื่อนที่รอบวงกลมด้วยความเร็ว v_H ในเวลา t_H ได้ระยะทาง S_H

$$S_H = t_H \cdot v_H \quad (3.26)$$

แทนค่า t_H และ v_H ลงในสมการ (3.26)

$$\begin{aligned} S_H &= 1.54 \cdot 686/60 \\ &= 17.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

รัศมีของส่วนโค้ง

$$r_s = S_H / (2\pi) \quad (3.27)$$

แทนค่า S_H ลงในสมการ (3.27)

$$\begin{aligned} r_s &= 17.6 / (2\pi) \\ &= 2.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

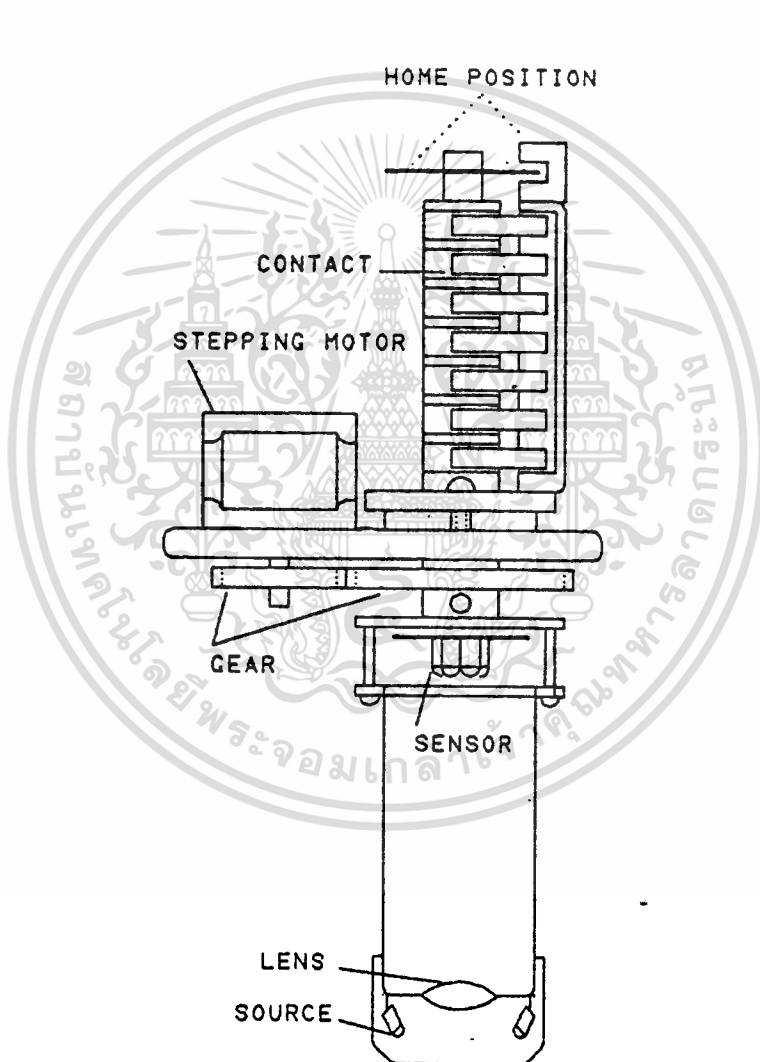
เนื่องจากเลนส์ขยายลายเส้น 2.5 เท่า

ดังนั้นรัศมี r_s ของแนวหัวรับแสง (ในรูป 3.24) เท่ากับ $2.8 \cdot 2.5 = 7 \text{ มม.}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ลิขสิทธิ์จะอยู่กับผู้จัดทำเอกสาร และต้องอ้างถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบต่างๆของหัวอ่านสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังในรูปที่ 3.26 ซึ่งประกอบด้วย สเตปมิ่งมอเตอร์ (stepping motor) เกียร์ทด (gear) หน้าสัมผัส (contact) ตัวรับแสง (sensor) ตัวส่งสัญญาณแสง (source) เลนส์ (lens) และวงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น (home position)



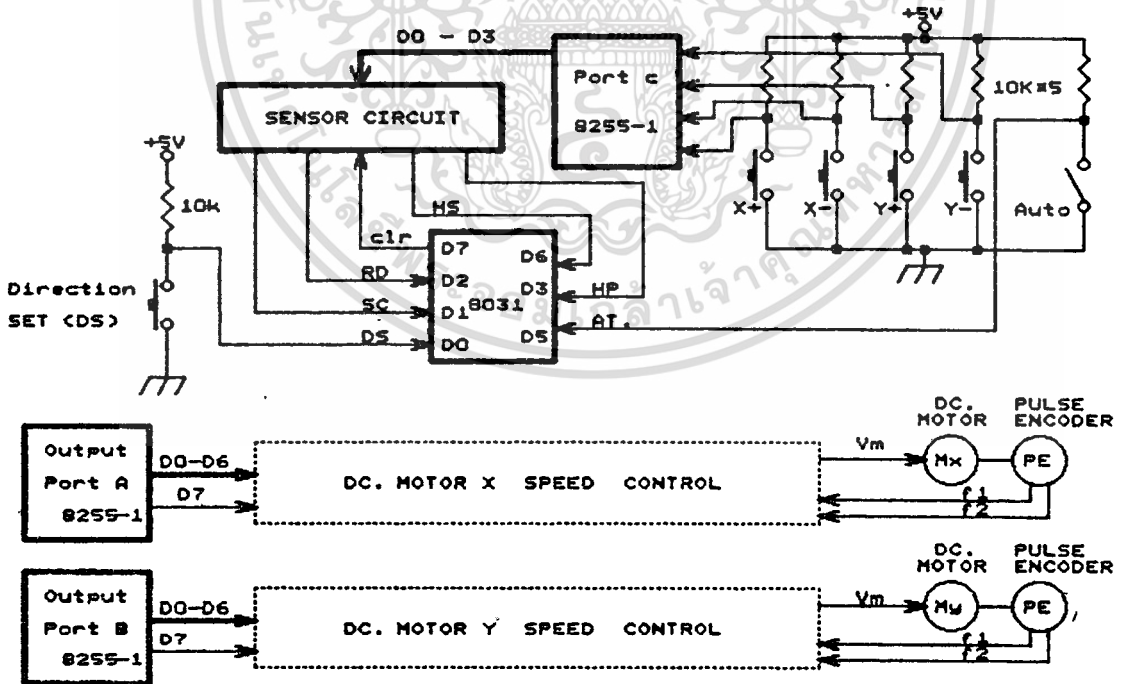
รูปที่ 3.26 โครงสร้างของหัวอ่าน

บทที่ 4

การออกแบบหน่วยควบคุมระบบ

4.1 วงจรหน่วยควบคุมระบบ

หน่วยควบคุมระบบออกแบบเป็นระบบดิจิทัล มีรายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.2 หน่วยควบคุมระบบที่ออกแบบได้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 8031 [5] การออกแบบระบบได้กำหนดให้มีอินพุตพอร์ทเอาต์พุตพอร์ททั้งหมด 8 พอร์ท การเชื่อมโยงระหว่างหน่วยต่างๆกับหน่วยควบคุมระบบสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยพอร์ทที่ 1 ของ 8031 และ 4 บิตล่างพอร์ท C ของ 8255-1 ติดต่อกับหัวอ่าน 4 บิตบนพอร์ท C ของ 8255-1 ติดต่อกับสวิทช์ปรับตำแหน่ง X+ X- Y+ และ Y- พอร์ท A และ B ของ 8255-1 ติดต่อกับหน่วยควบคุมมอเตอร์ไฟตรง X และ Y ส่วนพอร์ทที่เหลือของ 8225-2 เก็บไว้ขยายระบบ หน่วยความจำของระบบได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลไบต์ กับหน่วยความจำข้อมูล 32 กิโลไบต์



รูปที่ 4.1 แผนผังหน่วยควบคุมระบบ

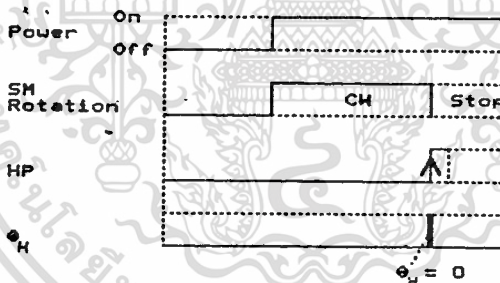
4.2 โปรแกรมของหน่วยควบคุมระบบ

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของหน่วยควบคุมระบบ สามารถแบ่งการทำงานของโปรแกรมออกเป็น 4 ช่วงคือ

- การตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น
- การปรับตำแหน่งหัวอ่าน
- การปรับทิศทางหัวเซนเซอร์
- การติดตามลายเส้น

4.2.1 การตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น

เมื่อเปิดไฟเข้าเครื่อง หน่วยควบคุมระบบจะส่งสัญญาณให้สเตปป์มอเตอร์หัวอ่าน หมุนตามเข็มนาฬิกา จนกระทั่งมีสัญญาณ HP (เป็นสัญญาณบอกตำแหน่งเริ่มต้นของหัวอ่าน) หน่วยควบคุมระบบจะหยุดหมุนสเตปป์มอเตอร์ และในขณะเดียวกันก็จะปรับทิศทางของหัวเซนเซอร์ (θ_H) ให้เท่ากับศูนย์



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการทำงานของหน่วยตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น

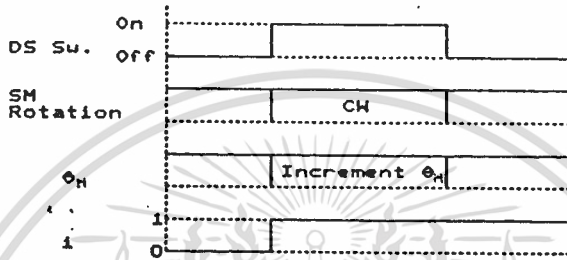
4.2.2 การปรับตำแหน่งหัวอ่าน (position set)

เมื่อต้องการเคลื่อนตำแหน่งหัวอ่านไปในตำแหน่งต่างๆ สามารถทำได้โดย โยกสวิตซ์ AUTO ไปตำแหน่ง MANUAL เมื่อหน่วยควบคุมระบบพบสัญญาณ MANUAL แล้วก็จะตรวจสอบการกดสวิตซ์ X+, X-, Y+ และ Y- โดยที่หน่วยควบคุมระบบจะทำงานตามการกดสวิตซ์ต่างๆดังต่อไปนี้

เมื่อกดสวิตซ์ X+	หน่วยควบคุมระบบจะหมุนมอเตอร์ X ตามเข็มนาฬิกา
" X-	" " X ทวนเข็มนาฬิกา
" Y+	" " Y ตามเข็มนาฬิกา
" Y-	" " Y ทวนเข็มนาฬิกา

4.2.3 การปรับทิศทางหัวเซนเซอร์ (direction set)

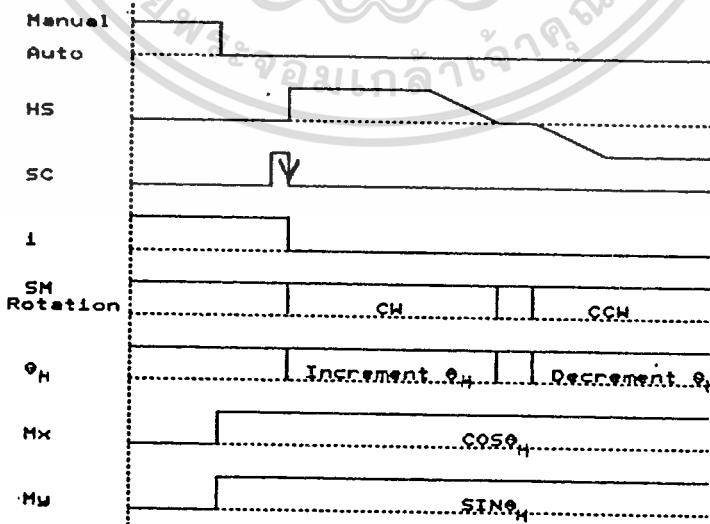
การปรับทิศทางหัวเซนเซอร์ เป็นการปรับทิศทางเคลื่อนที่ของหัวอ่านก่อนที่จะติดตามลายเส้น ทำได้โดยกคสวิทช์ DS (ในรูปที่ 4.2) หน่วยควบคุมระบบจะส่งสัญญาณให้สแตมป์มอเตอร์หัวอ่านหมุนตามเข็มนาฬิกา และในขณะเดียวกันก็จะเพิ่มค่า θ_n ในขณะที่กคสวิทช์ DS หน่วยควบคุมระบบจะเซตค่า i เป็นหนึ่ง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการทำงานช่วงปรับทิศทางหัวเซนเซอร์

4.2.4 การติดตามลายเส้น (auto tracing)

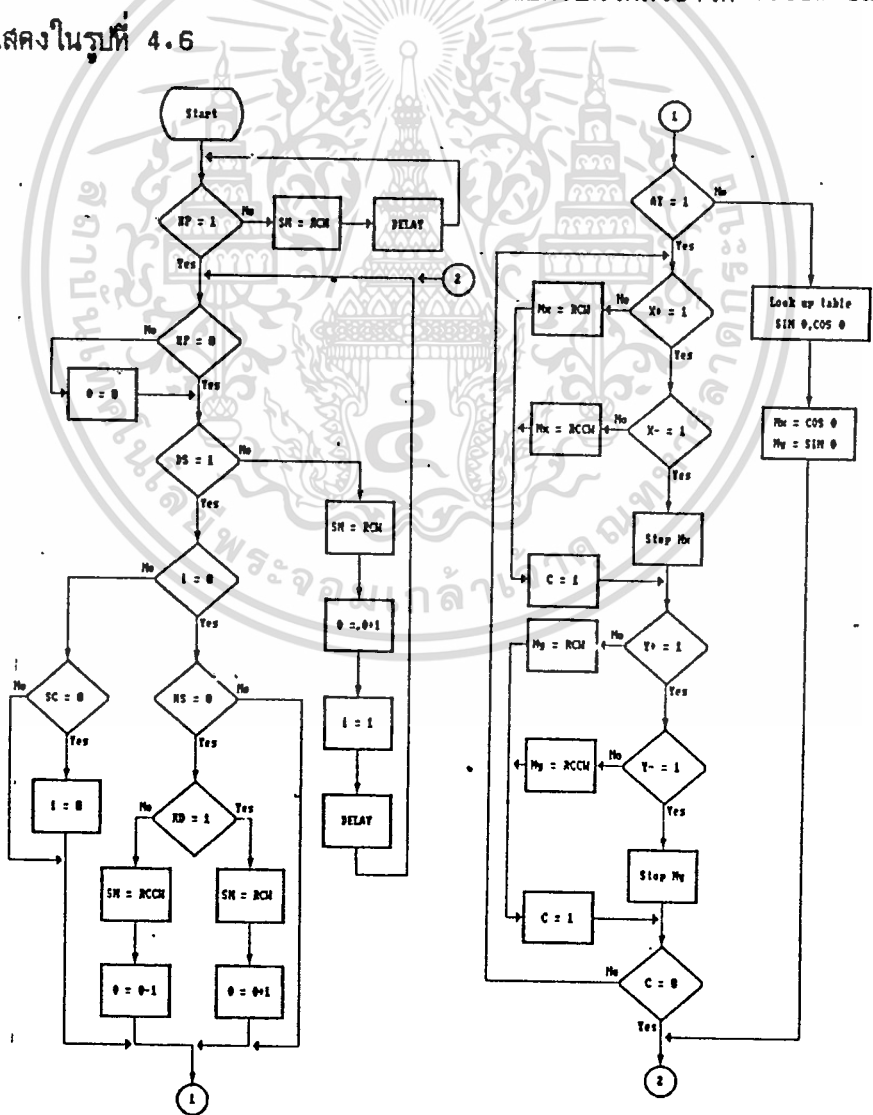
เมื่อปรับทิศทางหัวเซนเซอร์ให้หันหน้าไปยังรูปแบบลายเส้น แล้วโยกสวิตช์อัตโนมัติไปที่ Auto (ในรูปที่ 4.2) หน่วยควบคุมระบบจะอ่านค่าสัญญาณตามแกน X และ Y จากตารางตามค่า θ_n ในขณะนั้น แล้วส่งไปควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง M_x และ M_y ตามลำดับ ในระหว่างที่หัวอ่าน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการทำงานช่วงติดตามลายเส้น

เคลื่อนที่เข้าไปยังแบบสายเส้น อาจจะมีสัญญาณเออเรอร์ HS ของหัวอ่าน ที่เกิดจากความสกปรกของ กระจก ที่วาดแบบสายเส้นเข้ามาที่หน่วยควบคุมระบบ ในขณะนี้หน่วยควบคุมระบบ จะไม่ตอบสนองต่อ สัญญาณรบกวนเหล่านี้ เนื่องจากค่า i มีค่าเป็นหนึ่ง เมื่อหัวอ่านเคลื่อนที่พบสายเส้น หน่วยควบคุม ระบบจะเปลี่ยนค่า i เป็นศูนย์ หลังจากนั้นหน่วยควบคุมระบบ จะตอบสนองต่อสัญญาณเออเรอร์ของ หัวอ่าน โดยจะหมุนสเตปป์มอเตอร์ตามสัญญาณเออเรอร์นั้น ในขณะเดียวกันจะเปลี่ยน θ_n ตามการ หมุนของสเตปป์มอเตอร์ และจะทำการเปิดตารางอ่านค่าสัญญาณตามแกน X และ Y แล้วส่งค่าที่อ่าน ได้ไปควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง M_x และ M_y ตามลำดับ ความเร็วในการติดตามลายเส้น สามารถปรับได้โดยการปรับลูกบิดปรับความเร็วที่หน้าปัด ให้ได้ความเร็วตามต้องการ

จากการทำงานของโปรแกรมทั้งหมดสามารถเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ต (flow chart) แสดง การทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมหน่วยควบคุมระบบ

4.3 ตารางข้อมูลค่าสัญญาณแกน X และ Y

ตารางข้อมูลค่าสัญญาณแกน X และ Y เป็นข้อมูลสำหรับควบคุมความเร็ว และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟตรงตามแกน X และ Y ตามลำดับ ในบทที่ 3 ได้ออกแบบให้หัวเซนเซอร์มีความละเอียดเท่ากับ 200 ตำแหน่งต่อรอบ ดังนั้นจึงต้องสร้างตารางข้อมูลค่าสัญญาณแกน X และ Y ให้มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 200 ข้อมูลใน 360 องศา หรือแต่ละข้อมูลจะห่างกันเท่ากับ 1.8 องศา

D7	D6	ข้อมูลสำหรับควบคุมความเร็ว				D0
----	----	----------------------------	--	--	--	----

D0 - D6 เป็นข้อมูลสำหรับควบคุมความเร็ว

D7 เป็นบิตควบคุมทิศทางการหมุน

รูปที่ 4.7 โครงสร้างของข้อมูลค่าสัญญาณแกน X และ Y

โครงสร้างของข้อมูลค่าสัญญาณแกน X และ Y เป็นข้อมูลขนาด 8 บิตดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยบิต 0 ถึงบิต 6 เป็นข้อมูลที่ใช้ควบคุมความเร็ว ซึ่งเป็นค่าสัมบูรณ์ ส่วนบิตที่ 7 เป็นบิตที่ใช้กำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ถ้าบิตนี้มีค่าเป็นหนึ่งมอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา และถ้าบิตนี้มีค่าเป็นศูนย์มอเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

ข้อมูลสำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง X หรือ $(D0-D6)_x$ และ Y หรือ $(D0-D6)_y$ เป็นค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณ V_x และ V_y ตามลำดับ

$$\text{ดังนั้น} \quad (D0-D6)_x = |V_x| \quad (4.1)$$

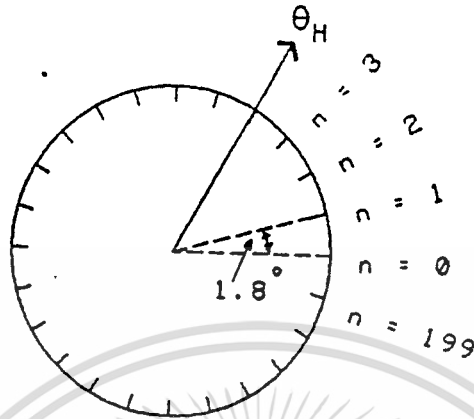
$$\text{และ} \quad (D0-D6)_y = |V_y| \quad (4.2)$$

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) แทนค่า V_x และ V_y ลงในสมการ (4.1) และ (4.2) ตามลำดับ

$$(D0-D6)_x = |\cos \theta_n| \cdot V \quad (4.3)$$

$$(D0-D6)_y = |\sin \theta_n| \cdot V \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รูปแสดงการแบ่งทิศทางหัวเซนเซอร์

ในรูปที่ 4.8 แต่ละตำแหน่งของทิศทางหัวเซนเซอร์ห่างกันเท่ากับ 1.8 องศาต่อตำแหน่ง ดังนั้นทิศทางหัวเซนเซอร์ (θ_n) ในตำแหน่งต่างๆเท่ากับ

$$\theta_n = 1.8 \cdot n \quad (4.5)$$

เมื่อ n เป็นค่าออกตำแหน่งของทิศทางหัวเซนเซอร์ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 199 แทนค่า θ_n ลงในสมการ (4.3) และ (4.4) ตามลำดับ

$$(DO-D6)_x = \left| \cos (1.8 \cdot n) \right| \cdot V \quad (4.6)$$

$$(DO-D6)_y = \left| \sin (1.8 \cdot n) \right| \cdot V \quad (4.7)$$

เมื่อ V เป็นค่าสูงสุดของข้อมูลสำหรับควบคุมความเร็ว (บิต 0 ถึงบิต 6) เท่ากับ 1111111 ในเลขฐานสอง หรือเท่ากับ 127 ในเลขฐานสิบ

ข้อมูลสำหรับควบคุมทิศทางการหมุนมอเตอร์ไฟตรง X หรือ $(D7)_x$ และ Y หรือ $(D7)_y$ เป็นเครื่องหมายของสัญญาณ V_x และ V_y ตามลำดับ โดย D7 มีค่าเท่ากับ 10000000 ในเลขฐานสอง หรือเท่ากับ 128 ในเลขฐานสิบ เมื่อสัญญาณมีค่าเป็นบวก และ D7 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อสัญญาณมีค่าเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราหาค่า $(D7)_{\times}$ และ $(D7)_{\gamma}$ ได้ดังนี้

$$(D7)_{\times} = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } \cos 1.8n \leq 0 \\ 128 & \text{เมื่อ } \cos 1.8n > 0 \end{cases} \quad (4.8)$$

$$(D7)_{\gamma} = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } \sin 1.8n \leq 0 \\ 128 & \text{เมื่อ } \sin 1.8n > 0 \end{cases} \quad (4.9)$$

ข้อมูลที่ใช้สำหรับสร้างตารางค่าสัญญาณแกน X สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.6) และ (4.8) โดยนำค่าที่คำนวณได้ทั้งสองมาบวกกัน เช่นต้องการหาข้อมูลในตำแหน่งที่ 45 หาค่า $(D0-D6)_{\times}$ โดยแทนค่า n เท่ากับ 45 และ V เท่ากับ 127 ลงในสมการ (4.6)

$$\begin{aligned} (D0-D6)_{\times} &= |\cos(1.8 \cdot 45)| \cdot 127 \\ &= 20 \end{aligned}$$

หาค่า $(D7)_{\times}$ โดยแทนค่า n เท่ากับ 45 ลงในสมการ (4.8)

$$\cos(1.8 \cdot 45) = 0.156 \text{ ซึ่งมีค่ามากกว่า } 0$$

ดังนั้น

$$(D7)_{\times} = 128$$

ข้อมูลของสัญญาณความคมมอดเตอร์ไฟตรงแกน X หรือ D_{\times}

$$D_{\times} = (D0-D6)_{\times} + (D7)_{\times} \quad (4.10)$$

แทนค่า $(D0-D6)_{\times}$ และ $(D7)_{\times}$ ลงในสมการ (4.10)

$$\begin{aligned} D_{\times} &= 20 + 128 \\ &= 148 \end{aligned}$$

ดังนั้นข้อมูลค่าสัญญาณแกน X ในตำแหน่งที่ 45 มีค่าเท่ากับ 148 ในเลขฐานสิบ หรือ 10010100 ในเลขฐานสอง หรือนั่นคือค่าในบิตต่างๆของข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ตารางข้อมูลค่าสัญญาณแกน X ที่คำนวณได้ในตำแหน่ง 0 ถึง 199 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	1	0	1	0	0

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าในบิตต่างๆของข้อมูลค่าสัญญาณแกน X ในตำแหน่งที่ 45

ในทำนองเดียวกันข้อมูลค่าสัญญาณแกน Y ก็สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.7) และ (4.9) โดยนำค่าที่คำนวณได้ทั้งสองมาบวกกัน ตารางข้อมูลค่าสัญญาณแกน Y ที่คำนวณได้ในตำแหน่ง 0 ถึง 199 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ค่าของ n ในตาราง 4.2 และ 4.3 ในแกนนอนเป็นค่า "หลักหน่วย" ส่วนค่าในแกนตั้งเป็นค่าของ "หลักสิบ" ขึ้นไป ค่าในตารางได้แสดงเป็นเลขฐานสิบ แต่ในหน่วยความจำอยู่ในรูปของบิตของเลขฐานสอง

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	255	255	155	254	254	253	253	252	251	250
10	249	247	246	245	243	241	239	237	235	233
20	231	228	226	223	221	218	215	212	209	206
30	203	199	196	193	189	186	182	178	175	171
40	167	163	160	156	152	148	144	140	136	132
50	128	004	008	012	016	020	024	028	032	035
60	039	043	047	050	054	058	061	065	068	071
70	075	078	081	084	087	090	093	095	098	100
80	103	105	107	109	111	113	115	117	118	119
90	121	122	123	124	125	125	126	126	127	127
100	127	127	127	126	126	125	125	124	123	122
110	121	119	118	117	115	113	111	109	107	105
120	103	100	098	095	093	090	087	084	081	078
130	075	071	068	065	061	058	054	050	047	043
140	039	035	032	028	024	020	016	012	008	004
150	000	132	136	140	144	148	152	156	160	163
160	167	171	175	178	182	186	189	193	196	199
170	203	206	209	212	215	218	221	223	226	228
180	231	233	235	237	239	241	243	245	246	247
190	249	250	251	252	253	254	254	255	255	255

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลค่าสัมภาคแทน X

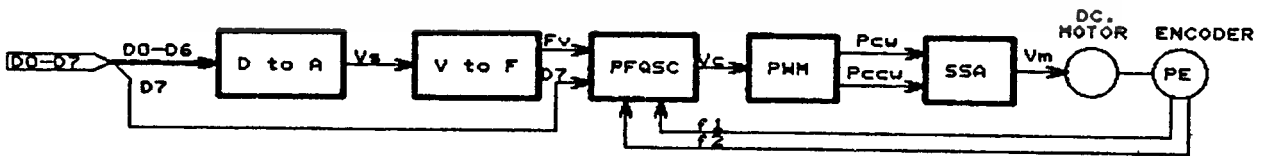
(ค่าของ n ในแกนนอนเป็นค่า"หลักหน่วย" ส่วนค่าในแกนตั้งเป็นค่าของ"หลักสิบ"ขึ้นไป)

บทที่ 5

การออกแบบหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง

ความเร็วที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่านและหัวตัดในการตัดแผ่นเหล็ก จะต้องคงที่ตลอดเวลาตลอดช่วงของการตัด ดังนั้นมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่านและหัวตัดจะต้องหมุนด้วยความเร็วที่ราบเรียบ และไม่สั่นแม้ในขณะที่เปลี่ยนความเร็ว ความเร็วของมอเตอร์ต้องสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง จากข้อกำหนดดังกล่าวมอเตอร์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ มอเตอร์ไฟตรง วิธีการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรงให้มีความเร็วคงที่มักมีด้วยกันหลายวิธี แต่ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการพัฒนาหน่วยควบคุมความเร็วแบบเฟสล็อกกลุ๊ปให้สามารถควบคุมความเร็วได้สี่ควอดแรนท์ ซึ่งเรียกว่าระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบสี่ควอดแรนท์ด้วยเฟสล็อกกลุ๊ป ความสำเร็จในการพัฒนาหน่วยควบคุมความเร็วนี้อยู่ที่การออกแบบวงจรคอนโทรลลอจิกให้ทำงานร่วมกับดิจิทัลเฟส-ฟรีควอนซิติ์เทคเตอร์ (PFD) ได้อย่างเหมาะสม วงจรคอนโทรลลอจิกนี้เป็นส่วนทำให้ความสามารถในการคอนโทรลของ PFD เพิ่มขึ้นอย่างมาก และทำให้สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงได้สี่ควอดแรนท์ การตอบสนองของความเร็วมอเตอร์ในสี่ควอดแรนท์ของหน่วยควบคุมความเร็วแบบเฟสล็อกกลุ๊ปนี้ สามารถควบคุมได้โดยการแปรความถี่ของสัญญาณอินพุตอ้างอิง และคำสั่งควบคุมทิศทางการหมุน องค์ประกอบของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งประกอบด้วย

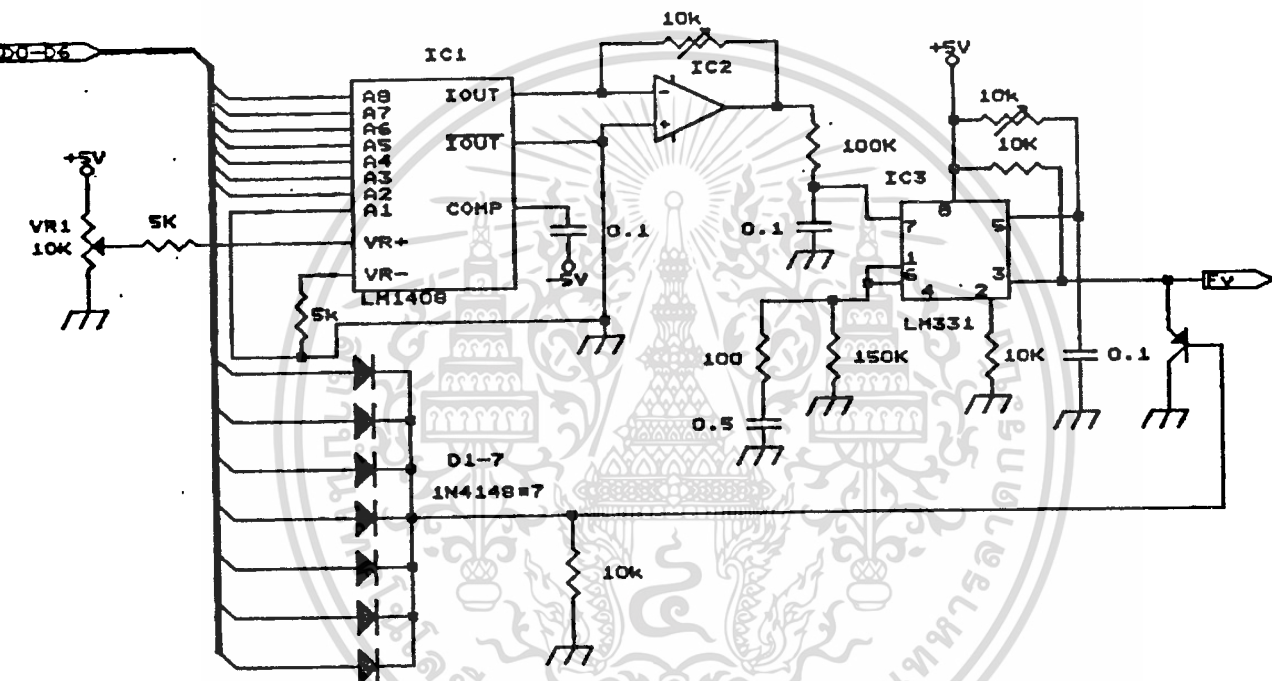
- วงจรเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นความถี่ (digital to frequency)
- วงจรเฟสล็อกกลุ๊ป
- วงจรพัลส์วีกต์โมดูเลเตอร์ (PWM)
- วงจรสวิตชิงเซอร์โวแอมป์ (SSA)



รูปที่ 5.1 องค์ประกอบของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง

5.1 วงจรเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นความถี่

วงจรเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นความถี่ มีหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิทัล(D0-D6)ที่ส่งมาจากหน่วยควบคุมระบบ ให้เป็นความถี่ (Fv) รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งประกอบด้วย วงจรเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นโวลต์ที่เต็ม (digital to analog) และวงจรเปลี่ยนโวลต์ที่เต็มเป็นความถี่ (voltage to frequency)



รูปที่ 5.2 วงจร Digital to Frequency

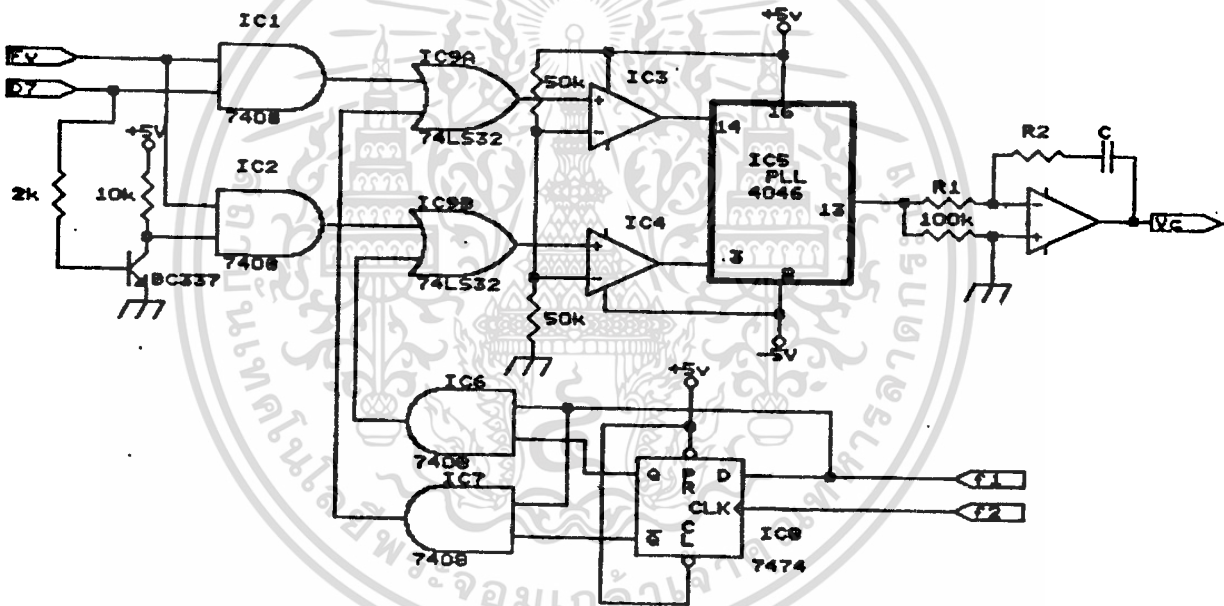
- วงจรเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นโวลต์ที่เต็ม มีหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิทัล 7 บิตล่างที่ส่งมาจากหน่วยควบคุมระบบทางเอาร์พูพอร์ท A ของ 8255-1 ให้เป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งขนาดของสัญญาณอนาล็อกสามารถเปลี่ยนได้ด้วยการปรับโวลต์ที่เต็มอ้างอิง (VR1) การปรับ VR1 เป็นการปรับความเร็วของหัวอ่านในการติดตามลายเส้นด้วย ซึ่งสามารถปรับความเร็วได้ตั้งแต่ 100 ถึง 1000 มม.ต่อนาที วงจรที่ทำหน้าที่นี้คือวงจร IC1 และ IC2

- วงจรเปลี่ยนโวลต์ที่เต็มเป็นความถี่ มีหน้าที่เปลี่ยนระดับโวลต์ที่เต็มให้เป็นความถี่ด้วยวงจร IC LM331 ในวงจรได้นำสัญญาณดิจิทัล D₀ ถึง D₆ มา OR กันด้วยไดโอด D1 ถึง D7 เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลว่ามีบิตใดเป็นหนึ่งหรือไม่ ถ้าไม่มีบิตใดเป็นหนึ่งก็จะทำให้ความถี่ Fv เป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วงจรเฟสล็อกสำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบสี่ควอดแรนท์ (Phase-locked loop for Four Quadrants motor Speed Control system) หรือ PFQSC

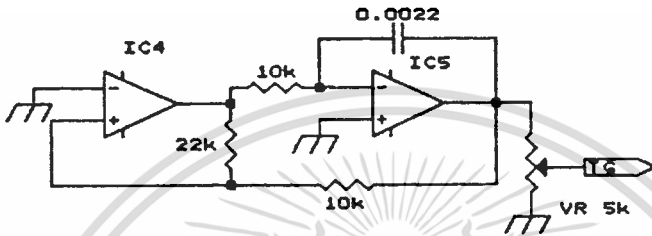
วงจร PFQSC เป็นวงจรสำหรับรักษาระดับความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงให้คงที่เสมอตามสัญญาณควบคุม Fv รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.3 การทำงานของวงจรได้กล่าวอย่างละเอียดในภาคผนวก ข. [11]



รูปที่ 5.3 วงจร PFQSC

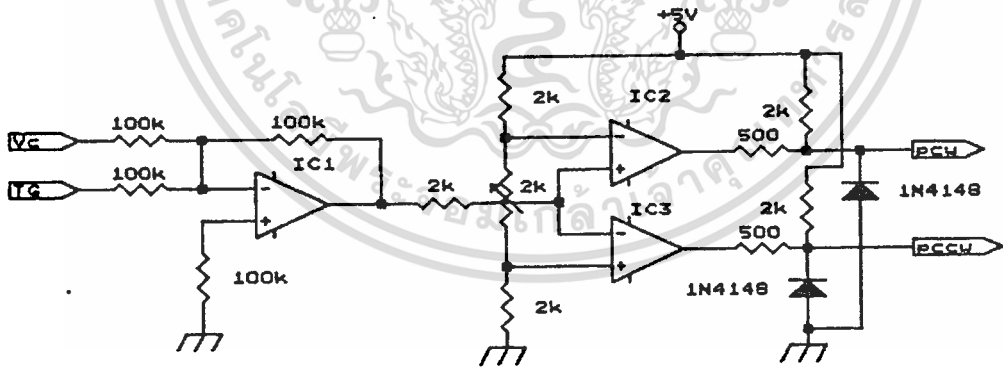
5.3 วงจรพัลส์วัดท์โมดูลเลเตอร์ (PWM)

วงจร PWM เป็นวงจรสำหรับสร้างพัลส์ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความกว้างพัลส์ ตามระดับโวลต์เต็มอินพุต (V_{in}) เพื่อนำไปขับวงจรสวิตชิงเซอร์โวแอมป์ (SSA) ซึ่งประกอบด้วยวงจรถ้าเนตลอคคัลลิ้นสามเหลี่ยมกับวงจรสร้างพัลส์



รูปที่ 5.4 วงจรถ้าเนตลอคคัลลิ้นสามเหลี่ยม

(1) วงจรถ้าเนตลอคคัลลิ้นสามเหลี่ยม [6] รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.35 ประกอบด้วย IC4 และ IC5 IC4 เป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมกับกราวด์ IC5 เป็นวงจรอินทรีเกรต ความถี่ที่ได้จากวงจรเท่ากับ 25KHz



รูปที่ 5.5 วงจรสร้างพัลส์

(2) วงจรสร้างพัลส์ รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.5 ประกอบด้วย IC1, IC2 และ IC3 IC1เป็นวงจรรวมสัญญาณ V_{in} กับสัญญาณลอคคัลลิ้นสามเหลี่ยม IC2 และ IC3 เป็นวงจร window comparator มีหน้าที่สร้างพัลส์ เมื่อ V_{in} มีค่าบวกจะได้พัลส์ออกมาทาง Pccw และเมื่อ V_{in} มีค่าลบจะได้พัลส์ออกมาทาง Pcw โดยความกว้างของพัลส์ทั้งสองเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสัมบูรณ์ของ V_{in}

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

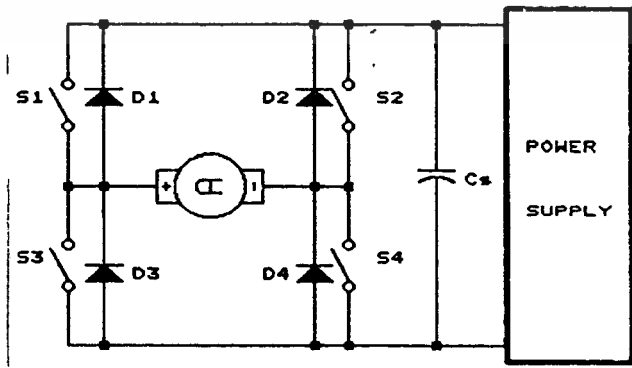
5.4 วงจรสวิตชิงเซอรัวแอมป์ (SSA)

การออกแบบสวิตชิงเซอรัวแอมป์จำเป็นต้องคำนึงถึง การไหลของกระแสไฟฟ้าในมอเตอร์ เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ขับวงจร SSA เป็นพัลส์[7] ก็จะทำให้กระแสไหลในตัวมอเตอร์ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นในการออกแบบจะต้องหาวิธีการที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวมอเตอร์ไหลต่อเนื่องมากที่สุด

$$V_m = L_a di/dt + iR_a + K_e w \tag{5.1}$$

- เมื่อ V_m เป็นโวลต์เต็มของมอเตอร์
- L_a เป็นอินดักแตนซ์ของอาร์มาเจอร์
- i เป็นกระแสของมอเตอร์
- R_a เป็นความต้านทานของอาร์มาเจอร์
- K_e เป็นตัวคงที่ของ โวลต์เต็มย้อนกลับของมอเตอร์
- w เป็นความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

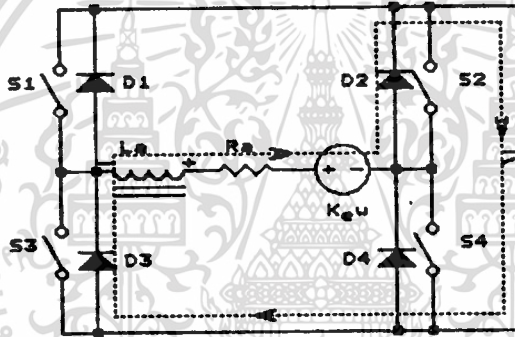
สมการ (5.1) เป็นสมการไฟฟ้าของมอเตอร์ โวลต์เต็มที่ตกคร่อมมอเตอร์ (V_m) จะประกอบด้วยโวลต์เต็มจากค่าอินดักแตนซ์ของขดลวด L_a โวลต์เต็มจากค่าความต้านทานของขดลวด R_a และโวลต์เต็มย้อนกลับของมอเตอร์ (back emf) เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลในตัวมอเตอร์ จะมีพลังงานส่วนหนึ่งถูกสะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กของขดลวด L_a และเมื่อหยุดจ่ายกระแสพลังงานที่สะสมไว้จะถูกจ่ายคืนกลับออกมา



รูปที่ 5.6 วงจรพื้นฐานของ SSA

รูปที่ 5.6 เป็นวงจรพื้นฐานของ SSA โดยปกติทุกๆไปจะควบคุมการปิดและเปิดของสวิตช์เป็นคู่คือ S1 คู่กับ S4 และ S2 คู่กับ S3

เมื่อให้สวิตช์ S1 และ S4 ปิด กระแสจะไหลผ่านสวิตช์ S1 มอเตอร์และสวิตช์ S4 ลงกราวด์ ในช่วงนี้โวลต์เต็งตกรวมมอเตอร์จะเท่ากับโวลต์เต็งขั้วพลาญ และพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกสะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็ก ในเวลาต่อมาให้สวิตช์ S1 และ S4 เปิด สนามแม่เหล็กของขดลวด L_m ยุบตัวทำให้เกิดโวลต์เต็ง V_{L_m} ขึ้นดังในรูปที่ 5.7 กระแสที่เกิดจากโวลต์เต็ง V_{L_m} จึงไหลผ่านมอเตอร์, D2, C_m (ตัวเก็บประจุของเพาเวอร์ซัพพลาย), D3 และไหลกลับมาเข้ามอเตอร์ครบวงจร



รูปที่ 5.7 แสดงการไหลของกระแสที่เกิดจากสนามแม่เหล็กยุบตัว

$$L_m di/dt + iR_m + K_{ew} \omega + (1/C_m) \cdot i dt = 0 \tag{5.2}$$

จากสมการ (5.2) ให้ C มีค่ามากๆ ดังนั้น $V_{c_{ap}}(t) = V_{c_{ap}}(0) = V_g$ แทนค่า $V_{c_{ap}}$ ในสมการ (5.2)

$$L_m di/dt + iR_m + K_{ew} \omega + V_g = 0 \tag{5.3}$$

จากสมการ (5.1) แทนค่า V_m ลงในสมการ (5.3)

$$V_m = -V_g \tag{5.4}$$

จากสมการ (5.4) เมื่อหลังจากการยุบตัวของสนามแม่เหล็กจะทำให้โวลต์เตจตกคร่อมมอเตอร์เท่ากับ $-V_m$

จากสมการ (5.3) สมมติให้กระแสลดลงเป็นศูนย์ในเวลา T ด้วยอัตราคงที่ ดังนั้น

$$di/dt = -I_{L_m}/T$$

ให้กระแส i ที่ไหลผ่าน R_m เป็นกระแสเฉลี่ยในเวลา T เท่ากับ $I_{L_m}/2$

แทนค่า di/dt และ i ลงในสมการ (5.3)

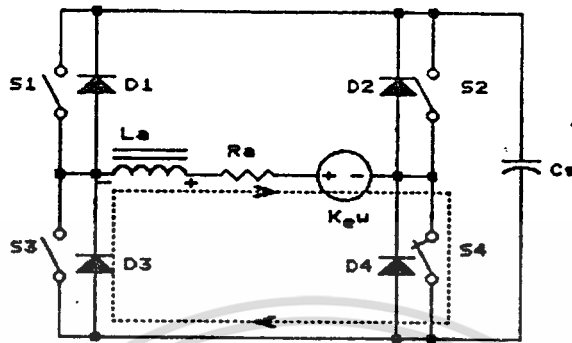
$$L_m(-I_{L_m}/T) + (I_{L_m}/2)R_m + K_m\omega + V_m = 0$$

$$T = 2I_{L_m}L_m / (R_m I_{L_m} + 2V_m + 2K_m\omega) \quad (5.5)$$

ในสมการ (5.4) T เป็นเวลาที่กระแส I_{L_m} จ่ายให้แก่มอเตอร์เป็นเวลานาน T หลังจากนั้นจะไม่มีกระแสไหลในตัวมอเตอร์จนกว่าจะจ่ายไฟให้กับมอเตอร์อีกครั้ง ในช่วงนี้โวลต์เตจตกคร่อมมอเตอร์จะเท่ากับโวลต์เตจย้อนกลับของมอเตอร์

$$V_m = -K_m\omega \quad (5.6)$$

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาเวลา T ในสมการ (5.5) มีค่าคงที่ $2V_m$ ทารอยู่ด้วยจึงทำให้เวลา T สั้น ทั้งนี้เนื่องจากกระแส I_{L_m} ที่เกิดจากการยุบตัวของสนามแม่เหล็กไหลผ่านคอนเดนเซอร์ของเพาเวอร์ฟลิปฟลาย (C_m) จากปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนวิธีการเปิดของสวิตช์ใหม่ โดยเปิดเฉพาะสวิตช์ S1 เท่านั้นแต่ยังคงให้สวิตช์ S4 ปิดอยู่ วิธีการนี้เรียกว่าสวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบลิมิตยูนิโพลาร์ [8]



รูปที่ 5.8 แสดงการไหลของกระแสไฟที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก
ขั้วตัวของ SSA แบบลิมิตยูนีโพลาร์

ในรูปที่ 5.8 กระแส I_{L_a} ไหลผ่านมอเตอร์, S4 และ D3

$$L_a \cdot di/dt + iR_a + K_e \omega = 0 \tag{5.7}$$

จากสมการ (5.7) โวลต์ที่เต็มตกร่อมมอเตอร์เท่ากับศูนย์เมื่อยังมีกระแส I_{L_a} ไหลอยู่
ในสมการ (5.7) สมมติให้กระแสลดลงเป็นศูนย์ในเวลา T ด้วยอัตราการคงที่
ดังนั้น $di/dt = -I_{L_a}/T$

ให้กระแส i ที่ไหลผ่าน R_a เป็นกระแสเฉลี่ยเท่ากับ $I_{L_a}/2$
แทนค่า di/dt และ i ลงในสมการ (5.7)

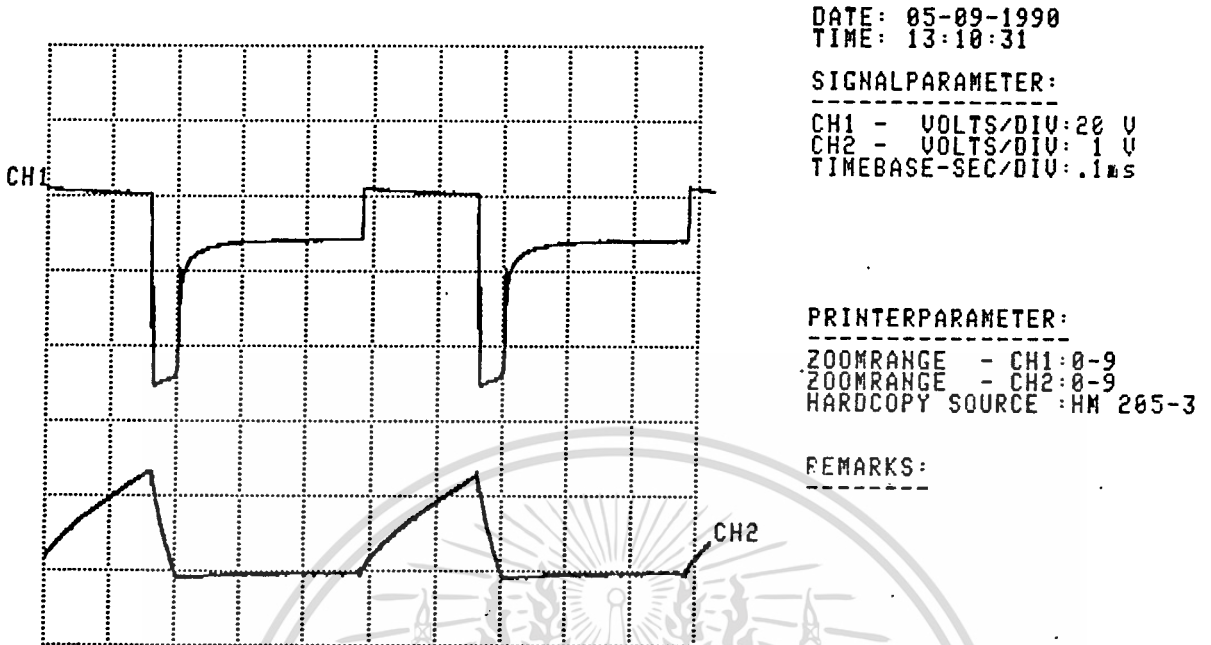
$$L_a (-I_{L_a}/T) + (I_{L_a}/2)R_a + K_e \omega = 0 \tag{5.8}$$

$$T = 2I_{L_a}L_a / (I_{L_a}R_a + 2K_e \omega)$$

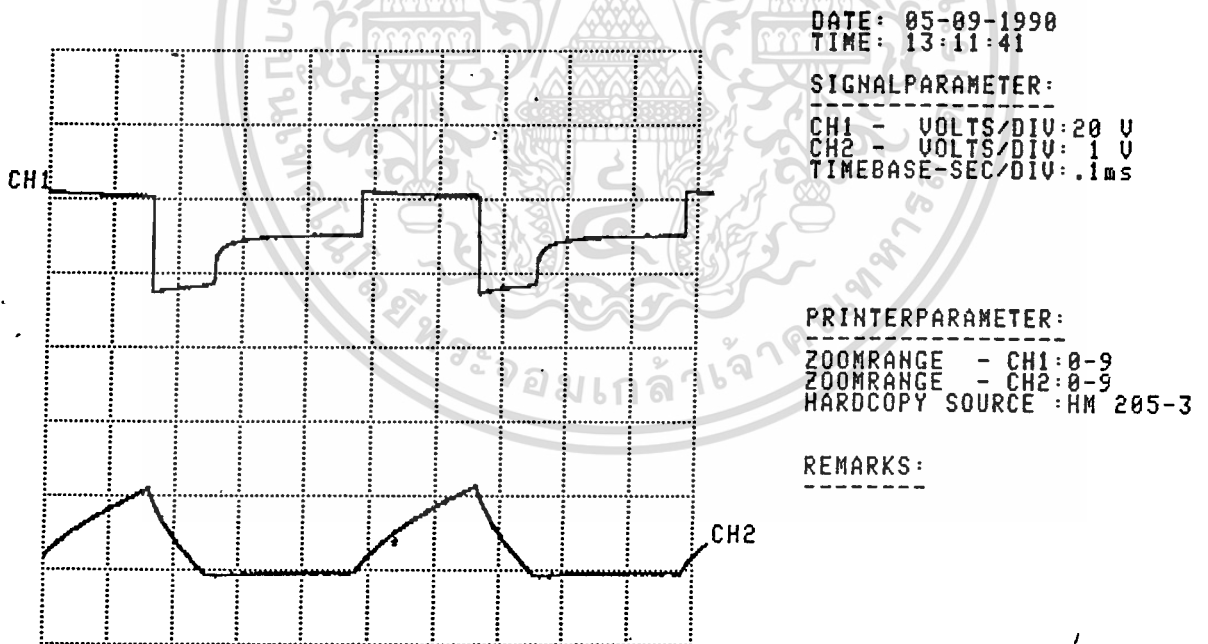
ในสมการ (5.8) T เป็นเวลาที่กระแส I_{L_a} ง่ายให้แก่มอเตอร์เป็นเวลานาน T หลังจากนั้นจะไม่มีกระแสไหลในตัวมอเตอร์จนกว่าจะจ่ายไฟให้กับมอเตอร์อีกครั้ง ในช่วงนี้โวลต์ที่เต็มตกร่อมมอเตอร์จะเท่ากับโวลต์เต็มย้อนกลับของมอเตอร์

$$V_m = K_e \omega \tag{5.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ขั้วด้วยสวิทชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบธรรมดา

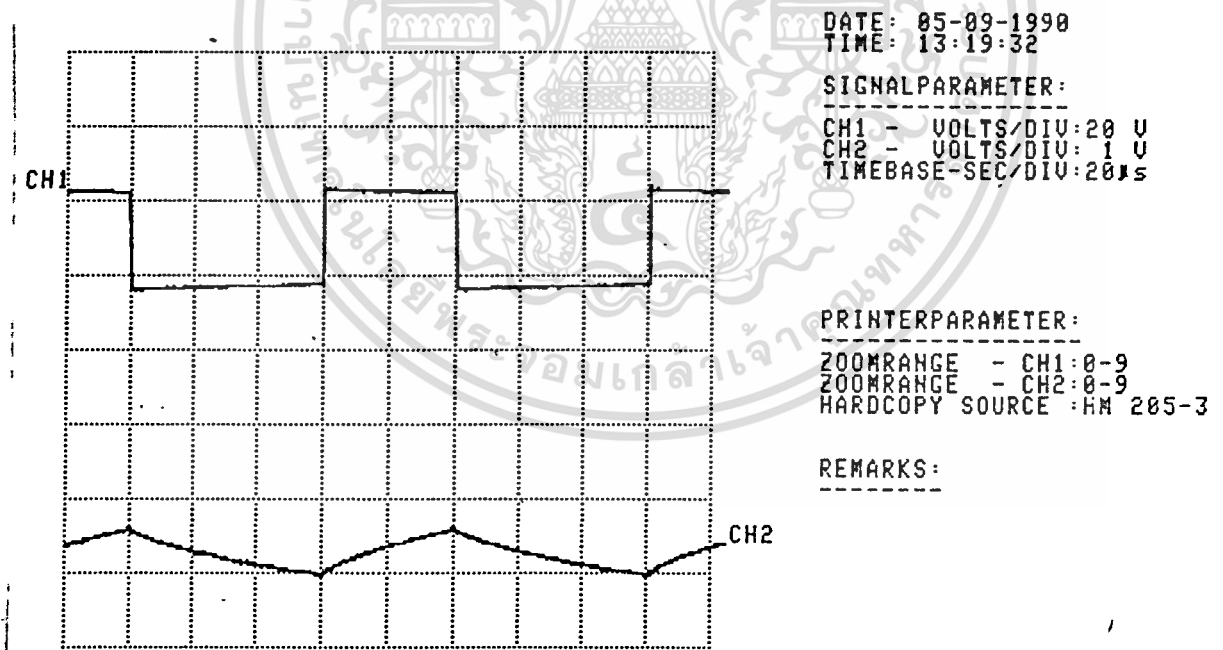


(ข) ขั้วด้วยสวิทชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบลิมิตยูนิโพลาร์

รูปที่ 5.9 รูปโวลต์ได้จ (CH1) และกระแส (CH2 สเกล 1 แอมป์ต่อช่อง) ที่ตกคร่อมมอเตอร์ของ
สวิทชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบธรรมดา เปรียบเทียบกับแบบลิมิตยูนิโพลาร์ ที่ความถี่ 2 kHz

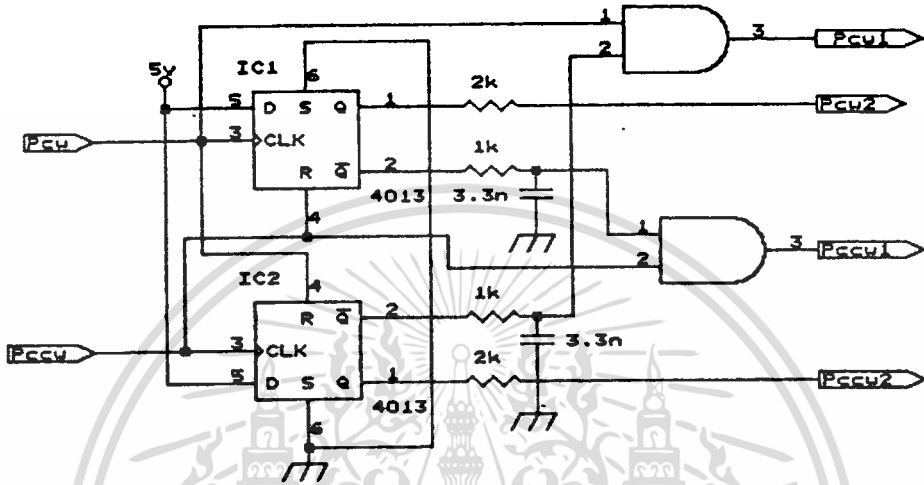
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมามีเห็นได้ว่าสวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบลิมิตยูนิโพลาร์มีกระแสไฟไหลผ่านมอเตอร์ที่ต่อเนื่องดีกว่า ดังแสดงให้เห็นในรูปจากผลการทดลองรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบโวลต์เตจและกระแสที่ตกคร่อมมอเตอร์ ระหว่างการขับด้วย สวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบธรรมดา กับสวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบลิมิตยูนิโพลาร์ ในรูปเป็นการสวิตชิงที่ความถี่ 2 kHz ความกว้างพัลส์เท่ากับ 0.185 ms รูป 5.9(ก) เป็นสวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบธรรมดามีค่า T เท่ากับ 0.04 ms รูป 5.9(ข) เป็นสวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบลิมิตยูนิโพลาร์มีค่า T เท่ากับ 0.09 ms ซึ่งเป็นเวลาที่นานกว่าการสวิตชิงแบบธรรมดา และในรูปนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าโวลต์เตจย้อนกลับของมอเตอร์ของรูป ข.มากกว่ารูป ก. ซึ่งแสดงว่าความเร็วของมอเตอร์ที่ขับด้วยสวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบลิมิตยูนิโพลาร์ สูงกว่าที่ขับด้วยสวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบธรรมดา ในขนาดของความกว้างพัลส์ที่เท่ากัน ในรูปที่ 5.10 เป็นการขับด้วยสวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบลิมิตยูนิโพลาร์ที่ความถี่ 10 kHz ความกว้างพัลส์เท่ากับ 40 μ s จะให้กระแสที่ไหลในมอเตอร์อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5.10 รูปโวลต์เตจและกระแสที่ตกคร่อมมอเตอร์ ที่ขับด้วยสวิตชิงเซอร์โวแอมพลิไฟแบบลิมิตยูนิโพลาร์ ที่ความถี่ 10 kHz

ตั้งโปรแกรมออกแบบจึงได้ออกแบบวงจร SSA แบบลิมิตยูนีโพลาร์ซึ่งประกอบด้วย วงจร PWM แบบลิมิตยูนีโพลาร์ กับวงจร SSA



รูปที่ 5.11 วงจร PWM แบบลิมิตยูนีโพลาร์

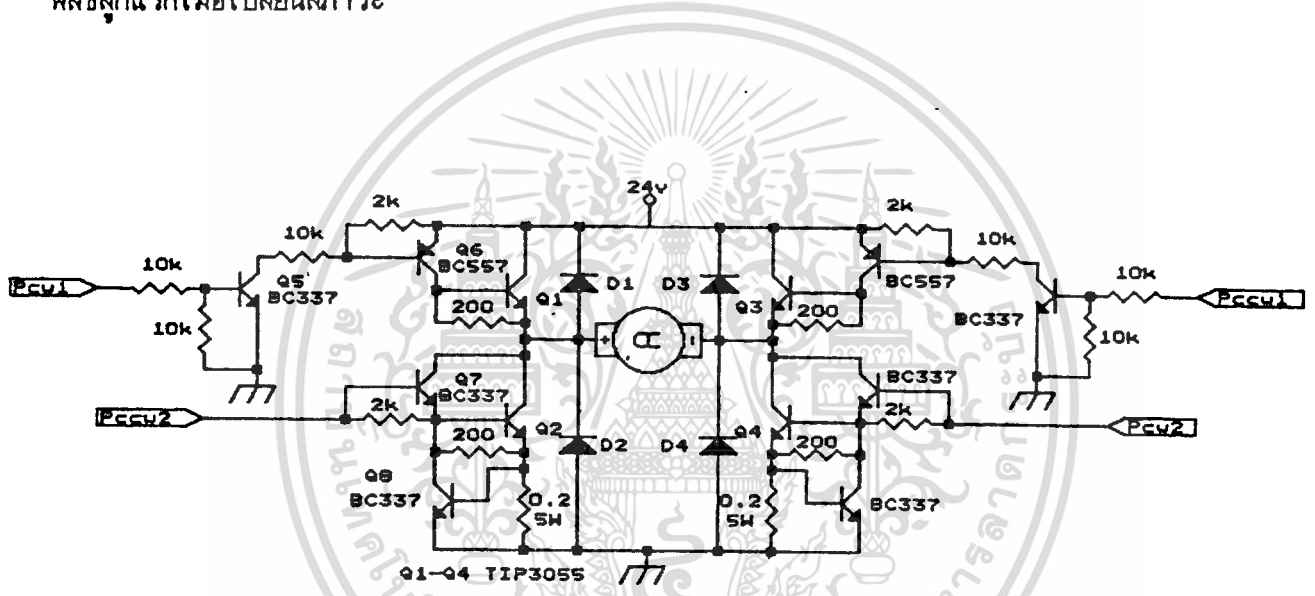
สภาวะการควบคุม	สัญญาณอินพุต		สัญญาณเอาต์พุต			
	P _{cw}	P _{ccw}	P _{cw1}	P _{cw2}	P _{ccw1}	P _{ccw2}
CW	1	0	1	1	0	0
	0	0	0	1	0	0
CCW	0	1	0	0	1	1
	0	0	0	0	0	1
Dynamic Brak	1	1	1	0	1	0

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงการทำงานของวงจร PWM แบบลิมิตยูนีโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 วงจร PWM แบบลิมิตยูนิโพลาร์

วงจร PWM แบบลิมิตยูนิโพลาร์ มีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ PWM แบบธรรมดาให้เป็น PWM แบบลิมิตยูนิโพลาร์ รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.11 การทำงานของวงจรแสดงในตารางที่ 5.1 ในตารางได้ออกแบบวงจรให้มีการป้องกันในกรณีที่สัญญาณอินพุตมีค่าเป็นหนึ่งทั้งคู่ โดยจัดให้เป็นสภาวะ Dynamic Brak นอกจากนี้ในวงจรยังได้ออกแบบให้มีการหน่วงเวลา ในช่วงเปลี่ยนสภาวะการควบคุมจาก CW เป็น CCW หรือจาก CCW เป็น CW โดยให้หน่วงเวลาประมาณ $10\mu s$ สำหรับพัลส์ล็กแรกเมื่อเปลี่ยนสภาวะ



รูปที่ 5.12 วงจรสวิตชิงเซอร์โวแอมป์

5.4.2 วงจรสวิตชิงเซอร์โวแอมป์ (SSA)

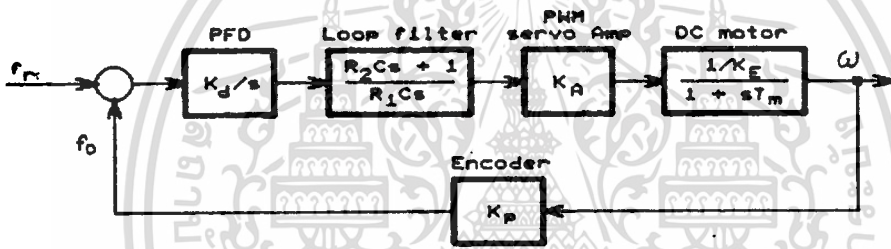
วงจรสวิตชิงเซอร์โวแอมป์ มีหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุตเพื่อไปขับมอเตอร์ไฟตรง รายละเอียดของวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.12 Q1 ถึง Q4 ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ทั้งสี่ตัวของวงจร Q5 และ Q6 มีหน้าที่ขยายกระแสให้กับ Q1 โดยการออกแบบต้องการให้สามารถขับด้วยโวลเตจ 5V ได้ Q7 ต่อแบบคาลิงตันกับ Q2 เพื่อเพิ่มแกนขยายกระแส Q8 มีหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน ในวงจรได้ออกแบบกระแสเกินประมาณ 4 แอมป์ ถ้ากระแสเกิน 4 แอมป์ Q8 จะนำกระแสส่วนที่ทำให้กระแสเกินออกจากขาเบสของ Q2

5.5 การออกแบบและวิเคราะห์เสถียรภาพของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง

5.5.1 การออกแบบหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง

จากวงจรของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) [9] ได้ดังแสดงในรูปที่ 5.13

ในการออกแบบระบบนี้ใช้วิธี Bode plot [10] โดยพล็อตกราฟระหว่างแกนกับความถี่ และเฟสกับความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ แล้วปรับเกนของระบบให้ได้เฟสแมจิ้น (phase margin) มากกว่า 50 องศา



รูปที่ 5.13 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันถ่ายโอนของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง

เมื่อ K_d เป็นค่าคงที่ของ Phase-Frequency Detector (PFD) เท่ากับ 0.6 volt/rad

K_A เป็นค่าคงที่ของ PWM Servo Amp เท่ากับ 6

K_e เป็น Voltage Constant ของมอเตอร์เท่ากับ 0.048 volt/rad/sec

T_m เป็น Time Constant ของมอเตอร์เท่ากับ 0.065 sec

K_p เป็นค่าคงที่ของ Encoder เท่ากับ 8 pulses/rad

Open-loop Transfer Function ของระบบคือ

$$\begin{aligned} G(s)H(s) &= (K_d/s) * [(R_2Cs + 1)/(R_1Cs)] * K_A * [(1/K_e)/(1 + sT_m)] * K_p \\ &= (K_d/s) * (R_2/R_1) * [(s + 1/R_2C)/s] * K_A * (1/T_m) * (1/K_e) * \\ &\quad [1/[(1/T_m) + s]] * K_p \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\text{ให้ } K = K_d \cdot K_A \cdot K_P \cdot (R_2/R_1) \cdot (1/K_u) \cdot (1/T_m) \quad (5.11)$$

แทน K ลงในสมการ (5.10)

$$G(s)H(s) = K \cdot \{(s+1/R_2C)/[s^2[(1/T_m)+s]]\} \quad (5.12)$$

$$\text{ให้ } R_2 = 30 \text{ k}\Omega$$

$$C = 47 \mu\text{F}$$

แทนค่า R_2, C และ T_m ลงในสมการ (5.12)

$$G(s)H(s) = K \cdot [(s+0.7)/(15.4s^2+s^3)] \quad (5.13)$$

นำค่า $G(s)H(s)$ ในสมการ (5.13) มาพล็อตลงใน Bode Diagram โดยให้ K มีค่าเท่ากับ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.14

จากกราฟที่ได้สามารถหาค่า K ที่เหมาะสม โดยการปรับเส้นกราฟของเกนกับความถี่ในรูป ก. ให้ผ่านตำแหน่งที่เกน 0 dB กับความถี่ที่ทำให้เฟสมาจันมากกว่า 50 องศา ในกราฟรูปนี้จะปรับให้เส้นกราฟผ่านจุดเกน 0 dB กับความถี่ 10 rad/sec ซึ่งจะต้องเพิ่มเกนของระบบเท่ากับ 45 dB

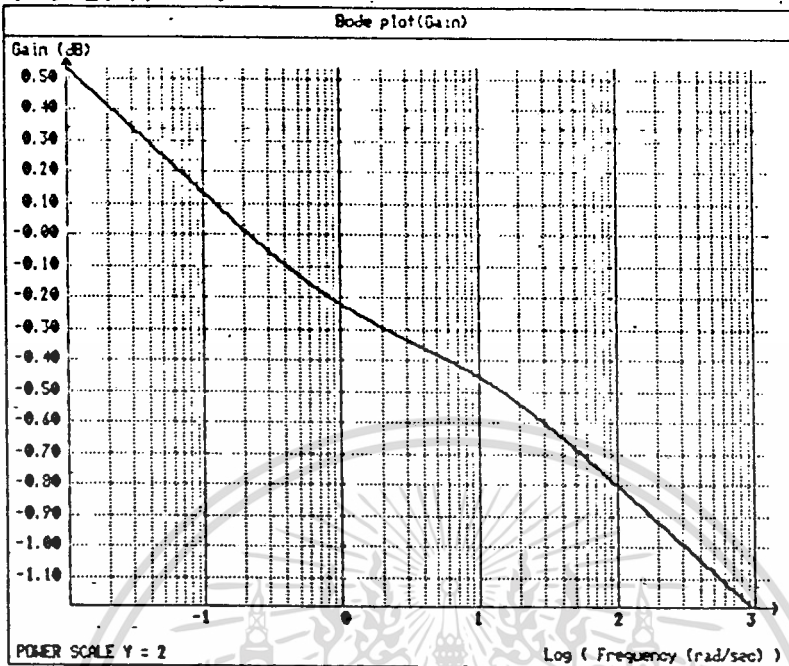
$$45 \text{ dB} = 20 \log K$$

$$K = 178$$

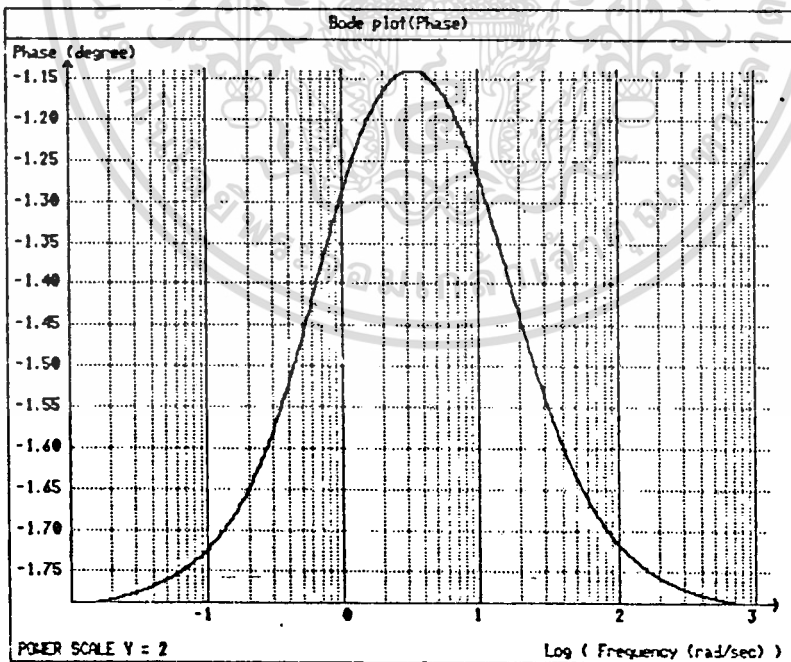
แทนค่า K ลงในสมการ (5.13)

$$\begin{aligned} G(s)H(s) &= 178 \cdot [(s+0.7)/(15.4s^2+s^3)] \\ &= (178s+124)/(15.4s^2+s^3) \end{aligned} \quad (5.14)$$

นำค่า $G(s)H(s)$ ในสมการ (5.14) มาพล็อตใน Bode Diagram ได้ดังในรูปที่ 5.15



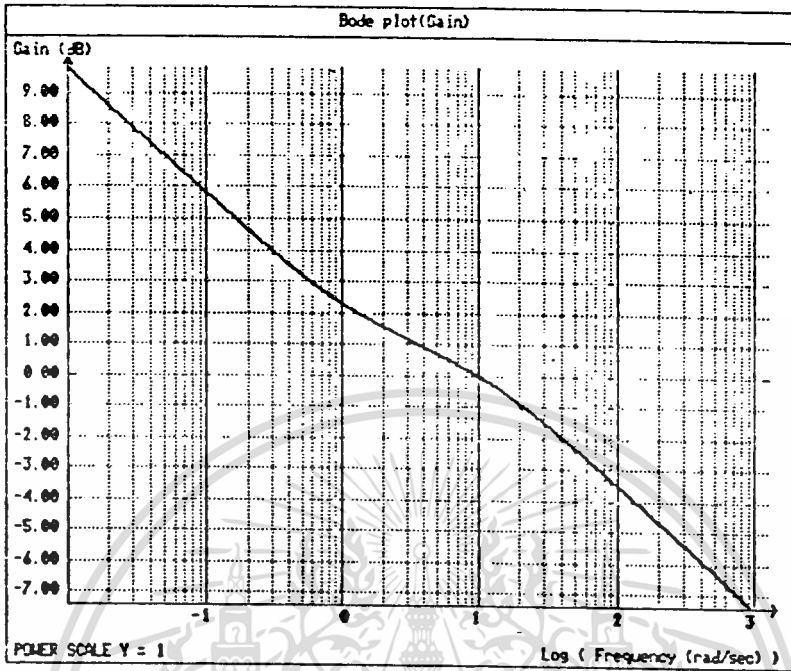
ก. กราฟระหว่าง เกน(คูณ100) กับความถี่



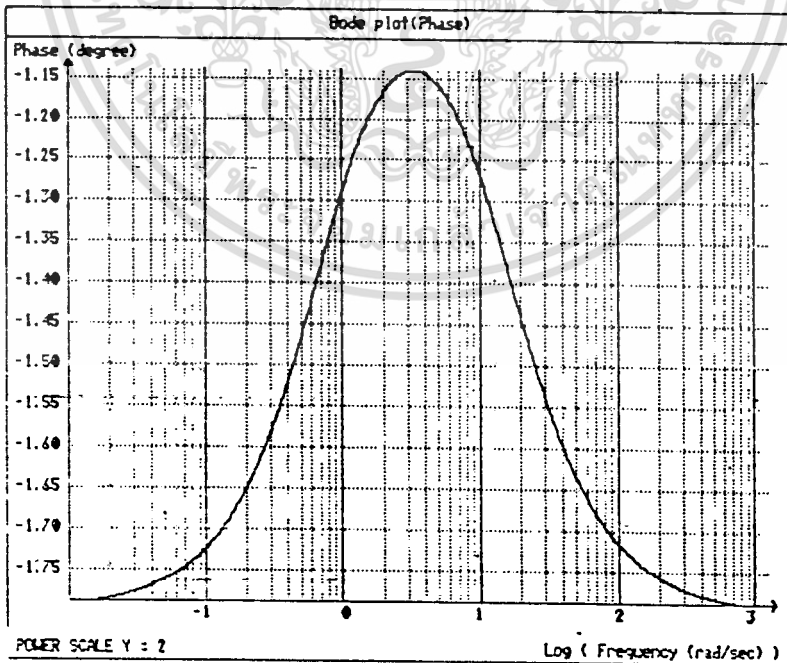
ข. กราฟระหว่าง เฟส(คูณ100) กับความถี่

รูปที่ 5.14 กราฟ Bode Diagram ของระบบเมื่อ K เท่ากับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. กราฟระหว่าง เกน(คูณ10) กับความถี่



ข. กราฟระหว่าง เฟส(คูณ100) กับความถี่

รูปที่ 5.15 กราฟ Bode Diagram ของระบบเมื่อ K เท่ากับ 316

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 5.15 ได้ลักษณะกราฟของระบบเป็น positive phase margin โดยดูจากที่แกน 0.00 dB ตัดเส้นกราฟ ณ ความถี่ 10 rad/sec ซึ่งตรงกับเฟส -127 องศา ซึ่งได้ค่า positive phase margin เท่ากับ 53 องศา

จากสมการ (5.11) สามารถหาค่า R_1 โดยการแทนค่า $K, K_{\omega}, K_{\alpha}, K_{\beta}, K_{\gamma}, T_{\omega}$ และ R_2 ลงในสมการ (5.11)

$$178 = 0.6 \cdot (30k/R_1) \cdot 6 \cdot (1/0.048) \cdot 8 \cdot (1/0.065)$$

$$R_1 = 1555 \text{ k}\Omega$$

5.5.1 การทดสอบการตอบสนองของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรงต่อ Unit Step Input

ในการทดสอบการตอบสนองของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง จะทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่างความถี่เออร์พู (f_o) กับความถี่อ้างอิง (f_r)

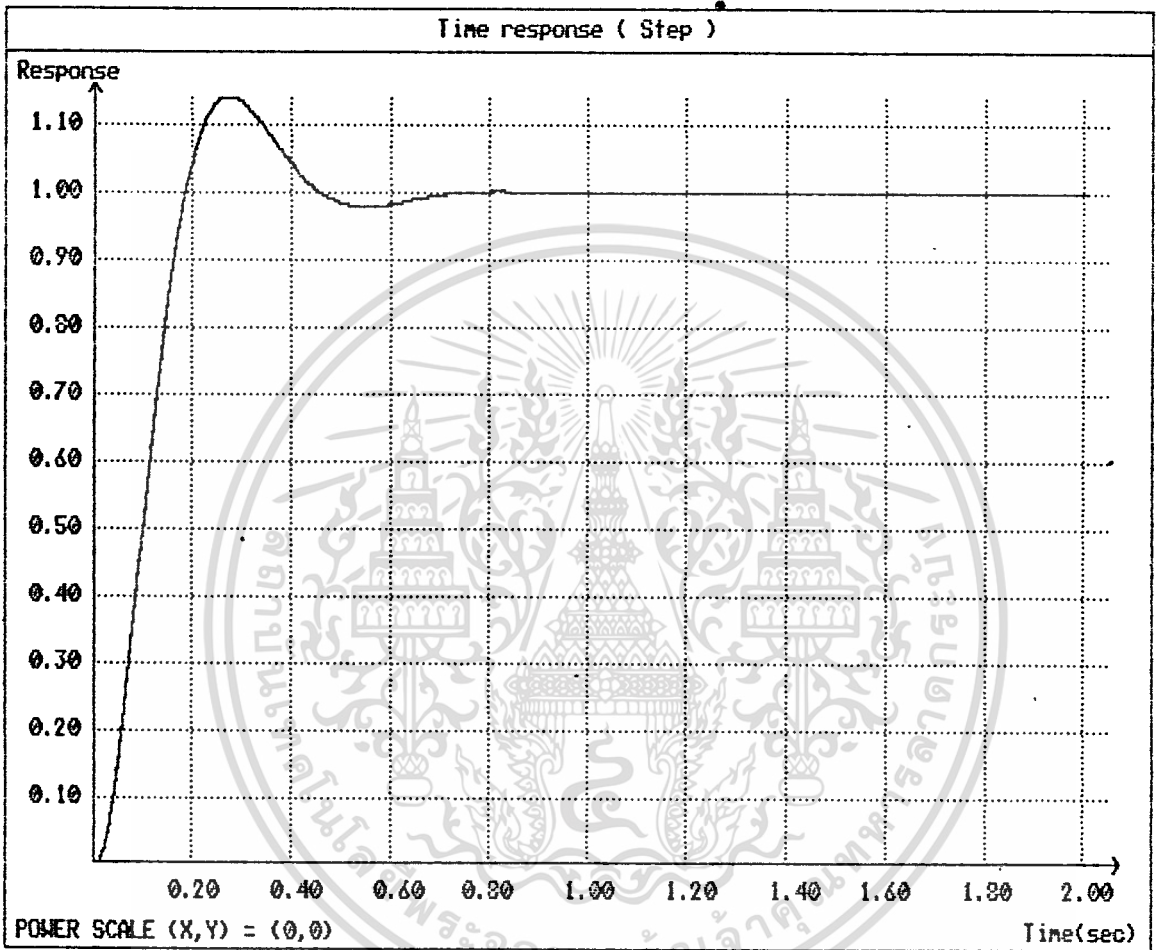
Closed-loop Transfer Function ของ f_o/f_r คือ

$$f_o/f_r = G(s)H(s)/[1+G(s)H(s)] \quad (5.15)$$

จากสมการ (5.14) แทนค่า $G(s)H(s)$ ลงในสมการ (5.15)

$$f_o/f_r = (178s+124)/(s^3+15.4s^2+178s+124) \quad (5.16)$$

นำสมการ (5.16) มาทดสอบการตอบสนองด้วย Unit Step Input ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5.16



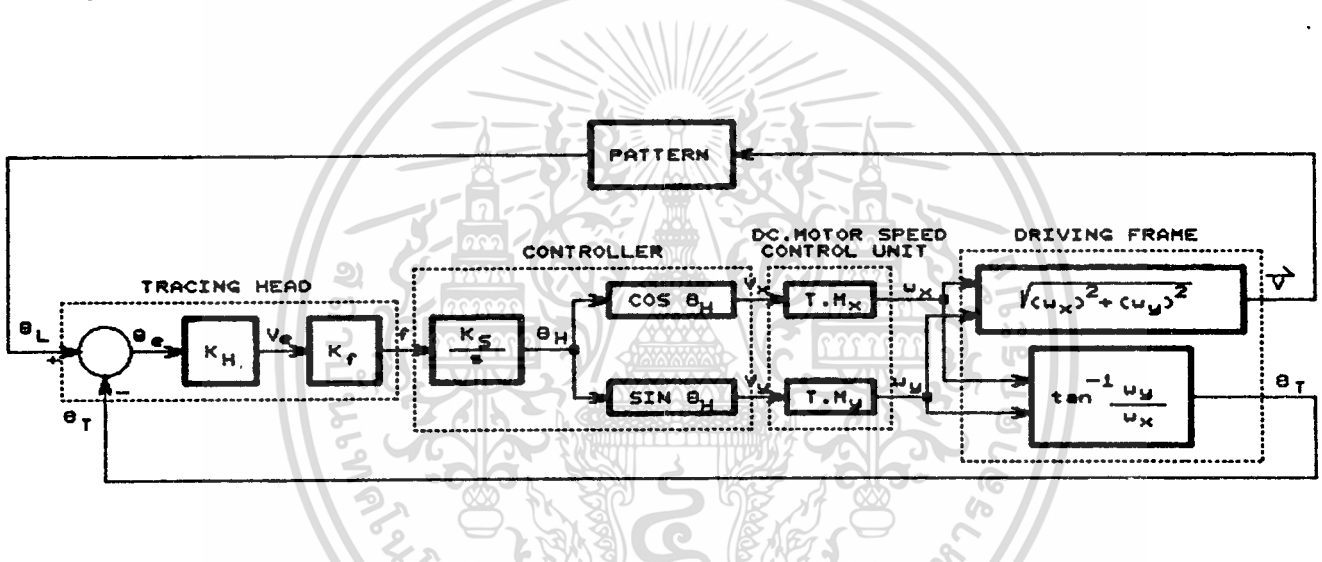
รูปที่ 5.16 การตอบสนองของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง
ความถี่ f_0 ต่อ ความถี่ f_c แบบ Unit Step

บทที่ 6

การวิเคราะห์เสถียรภาพของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ

6.1 ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ของระบบ

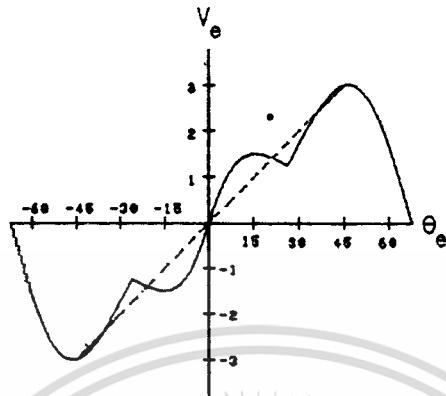
เมื่อพิจารณาการทำงานของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติตั้งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในขณะที่หัวอ่านติดตามลายเส้น ความเร็วในการติดตามลายเส้น จะเป็นตัวควบคุมความเร็วทิศทางลายเส้น (θ_L) ที่เข้ามาที่หัวอ่าน ดังนั้นเราจึงสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ในบล็อกไดอะแกรมได้แยกสับออกเป็นสองสับคือ สับความเร็วในการติดตามลายเส้น (v) กับสับมุมในการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน (θ_T) สับความเร็วเป็นสับอินพุทใช้ควบคุม θ_L ของอินพุท



รูปที่ 6.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติ

เมื่อพิจารณาบล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันถ่ายโอนในรูปที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าสับที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องมากที่สุดคือสับป้อนกลับ θ_T ส่วนสับความเร็วนั้นเป็นสับที่ใช้ควบคุมอินพุท θ_L ซึ่งเป็นสับที่เรากำหนดขึ้นในการตรวจสอบการตอบสนองของระบบ ดังนั้นในการวิเคราะห์ระบบเราจึงวิเคราะห์เฉพาะสับ θ_T

K_H เป็นค่าคงที่ของหัวเซนเซอร์ที่ใช้เปลี่ยนทิศทางเออร์เรอ (θ_L) ให้เป็นโวลต์เต็มเออร์เรอ (v_L) มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อองศา การหาค่า K_H ทำได้โดยการทดสอบการตอบสนองของหัวอ่านต่อลายเส้นในตำแหน่งต่างๆ แล้วนำมาพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 6.2 ในการทดสอบใช้ลายเส้นที่เขียนด้วยหมึกดำขนาด 0.5 มม. ได้กราฟที่เป็นลูกคลื่นเป็นผลเนื่องมาจากรอยต่อของตัวเซนเซอร์ทั้งสองตัว ดังนั้นในการหาค่า K_H จึงใช้ค่าโดยประมาณด้วยกราฟเส้นตรง (ในกราฟที่เขียนด้วยเส้นประ) ในกราฟแกนนอนเป็น θ_L และแกนตั้งเป็น v_L



รูปที่ 6.2 กราฟผลการตอบสนองของหัวอ่านต่อสายเส้น

ในบล็อกไดอะแกรมหาความสัมพันธ์ของ V_e กับ θ_e

$$V_e = K_n \cdot \theta_e \quad (6.1)$$

จากกราฟ $V_e = 3$ โวลต์ เมื่อ $\theta_e = 45$ องศา แทนค่าในสมการ (6.1)

$$3 = K_n \cdot 45$$

$$K_n = 1/15 \text{ โวลต์ต่อองศา} \quad (6.2)$$

K_r เป็นค่าคงที่ของวงจรเปลี่ยนโวลต์เต็จ V_e ให้เป็นความถี่ f_s สำหรับหมุนสแตปป์มิ่งมอเตอร์ จากการออกแบบวงจรได้กำหนดให้ความถี่ f_s มีค่าเท่ากับ 130 Hz เมื่อโวลต์เต็จ V_e มีค่าเท่ากับ 3 โวลต์

จากบล็อกไดอะแกรม ความสัมพันธ์ของความถี่ f_s กับโวลต์เต็จ V_e เท่ากับ

$$f_s = K_r \cdot V_e \quad (6.3)$$

แทนค่า f_s กับ V_e ลงในสมการ (6.3)

$$200 = K_r \cdot 3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_r = 43.33 \text{ Hzต่อโวลต์} \quad (6.4)$$

K_y เป็นค่าคงที่ของเสตปป์มอเตอร์ที่ใช้หมุนหัวอ่าน

$$K_y = 1.8 \text{ องศาต่อสเตป} \quad (6.5)$$

$T.M_x$ และ $T.M_y$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของหน่วยควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรง X และ Y ตามลำดับ เพื่อความง่ายในการวิเคราะห์ระบบจึงสมมติให้ $T.M_x$ เท่ากับ $T.M_y$ จากบล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันถ่ายโอนหาความสัมพันธ์ของ θ_r กับ θ_h ได้ดังนี้

$$\theta_r = \tan^{-1}(\omega_y/\omega_x) \quad (6.6)$$

$$\omega_y = V_y \cdot T.M_y \quad (6.7)$$

$$\omega_x = V_x \cdot T.M_x \quad (6.8)$$

จากสมการ (6.7) และ (6.8) แทนค่า ω_y และ ω_x ลงในสมการ (6.6)

$$\theta_r = \tan^{-1}[(V_y \cdot T.M_y)/(V_x \cdot T.M_x)] \quad (6.9)$$

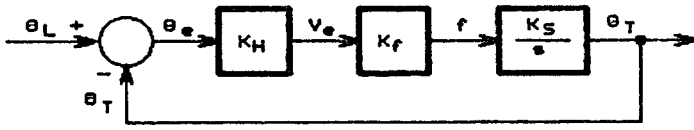
ให้ $T.M_y$ เท่ากับ $T.M_x$ แทนลงในสมการ (6.9)

$$\begin{aligned} \theta_r &= \tan^{-1}[(V_y \cdot T.M_y)/(V_x \cdot T.M_y)] \\ \theta_r &= \tan^{-1}(V_y/V_x) \end{aligned} \quad (6.10)$$

แทนค่า $V_y = \sin \theta_h$ และ $V_x = \cos \theta_h$ ลงในสมการ (6.10)

$$\begin{aligned} \theta_r &= \tan^{-1}(\sin \theta_h/\cos \theta_h) \\ \theta_r &= \theta_h \end{aligned} \quad (6.11)$$

จากสมการ (6.11) สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 บล็อกไดอะแกรมฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่เขียนใหม่

Open-loop Transfer Function ของระบบคือ

$$G(s) = K_H \cdot K_f \cdot K_s / s \quad (6.12)$$

แทนค่า K_H , K_f และ K_s ลงในสมการ (6.12)

$$\begin{aligned} G(s) &= (1/15) \cdot 43.33 \cdot (1.8/s) \\ G(s) &= 5.2/s \end{aligned} \quad (6.13)$$

Closed-loop Transfer Function ของระบบคือ

$$\theta_T(s)/\theta_L(s) = G(s)/[1+G(s)] \quad (6.14)$$

จากสมการ (6.13) แทนค่า $G(s)$ ลงในสมการ (6.14)

$$\begin{aligned} \theta_T(s)/\theta_L(s) &= (5.2/s)/[1+(5.2/s)] \\ &= 1/(1+s/5.2) \end{aligned} \quad (6.15)$$

6.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ

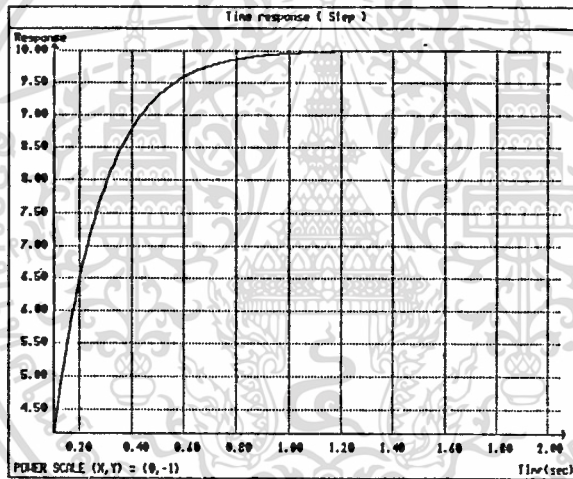
6.2.1 การตอบสนองของระบบต่อ Unit Step Input

แทนค่า $\theta_1(s) = 1/s$ ลงในสมการ (6.15)

$$\begin{aligned}\theta_T(s) &= [1/(1+s/5.2)] \cdot (1/s) \\ &= (1/s) - [(1/5.2)/(1+s/5.2)]\end{aligned}$$

Inverse Laplace's Transform

$$\theta_T(t) = 1 - e^{-5.2t} \quad (6.16)$$



รูปที่ 6.4 การตอบสนองของระบบ θ_T ต่อ θ_1 แบบ Unit Step

การตอบสนองของระบบในสมการ(6.16)เป็น Exponential ดังแสดงในรูปที่ 6.4 แสดงให้เห็นว่าทิศการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน(θ_T)เป็นมุมเมน เมื่อทิศของสายเส้น(θ_1)เป็นมุมแหลม

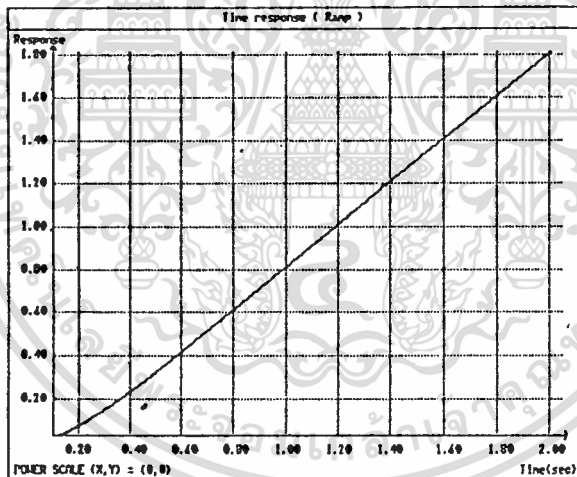
6.2.2 การตอบสนองของระบบต่อ Unit Ramp Input

แทนค่า $\theta_L(s) = 1/s^2$ ลงในสมการ (6.15)

$$\begin{aligned}\theta_T(s) &= [1/(1+s/5.2)] \cdot (1/s^2) \\ &= (1/s^2) - (1/5.2s) + [(1/5.2^2)/(1+s/5.2)]\end{aligned}$$

Inverse Laplace's Transform

$$\theta_T(t) = t - 1/5.2 + (e^{-5.2t})/5.2 \quad (6.17)$$



รูปที่ 6.5 การตอบสนองของระบบ θ_T ต่อ θ_L แบบ Unit Ramp

การตอบสนองของระบบในสมการ(6.17)เป็นแรมดังแสดงในรูปที่ 6.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทิศของสายเส้น(θ_L)มีการเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่เช่นสายเส้นวงกลม ทำให้ทิศการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน(θ_T)ในช่วงเริ่มต้นค่าผิดพลาดมีน้อย และมากขึ้นจนเข้าสู่ค่าผิดพลาดคงที่ (Steady-state Error) ดังนั้นในการอ่านสายเส้นที่เป็นวงกลม ผลการเคลื่อนที่ของหัวอ่านจะมีค่าผิดพลาดคงที่ตลอดเวลา

บทที่ 7

ชิ้นงานของวิทยานิพนธ์

เครื่องอ่านลวดลายตัดแผ่นเหล็กอัตโนมัติที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น แสดงให้เห็นในรูปแบบต่างๆ

ดังต่อไปนี้

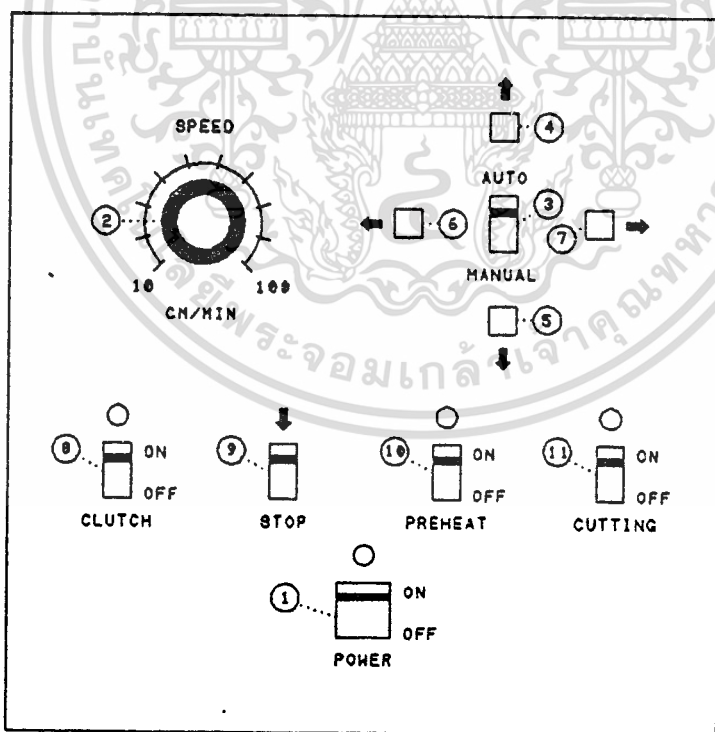
รูปที่ 7.2 เป็นภาพภายนอกของหัวอ่าน ที่ด้านหน้าของหัวอ่านจะมีสวิทช์กด ใช้สำหรับตั้งทิศทางของหัวอ่าน และลูกบิดปรับความไวของหัวอ่าน

รูปที่ 7.3 เป็นภาพภายในของหัวอ่าน ซึ่งแสดงให้เห็นวงจรเช่น เซอร์ยิตอยู่บนชุดหน้าสัมผัส

รูปที่ 7.4 เป็นภาพภายในของหัวอ่าน ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนประกอบของสเตปปีงมอเตอร์, ชุดหน้าสัมผัสและหัวเซนเซอร์

รูปที่ 7.5 เป็นภาพหน้าปัดของหน่วยควบคุมระบบ ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ

เครื่องมีรายละเอียดดังแสดงในรูป 7.1 ซึ่งประกอบด้วยสวิทช์ต่างๆดังต่อไปนี้



รูปที่ 7.1 รูปแสดงรายละเอียดของสวิทช์หน่วยควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (1) Power เป็นสวิตช์เปิดเปิดเครื่อง
- (2) Speed เป็นลูกบิดปรับความเร็วของหัวอ่านสามารถปรับได้ตั้งแต่ 10 ถึง 100 cm/min
- (3) Auto เป็นสวิตช์สองทางสำหรับเลือกการทำงานของเครื่อง
 - โยกสวิตช์ไปที่ Auto หัวอ่านจะเคลื่อนที่ตามทิศของหัวอ่าน
 - โยกสวิตช์ไปที่ Manual หัวอ่านจะเคลื่อนที่ตามการกดสวิตช์(4)ถึง(7)
- (4) ↑ เป็นสวิตช์กดให้หัวอ่านเคลื่อนที่ไปทางด้านหลัง
- (5) ↓ เป็นสวิตช์กดให้หัวอ่านเคลื่อนที่มาจากด้านหน้า
- (6) ← เป็นสวิตช์กดให้หัวอ่านเคลื่อนที่ไปทางซ้าย
- (7) → เป็นสวิตช์กดให้หัวอ่านเคลื่อนที่ไปทางขวา
- (8) Clutch เป็นสวิตช์เปิดปิดครัช ใช้สำหรับตัดต่อการส่งกำลังของมอเตอร์กับหน่วย

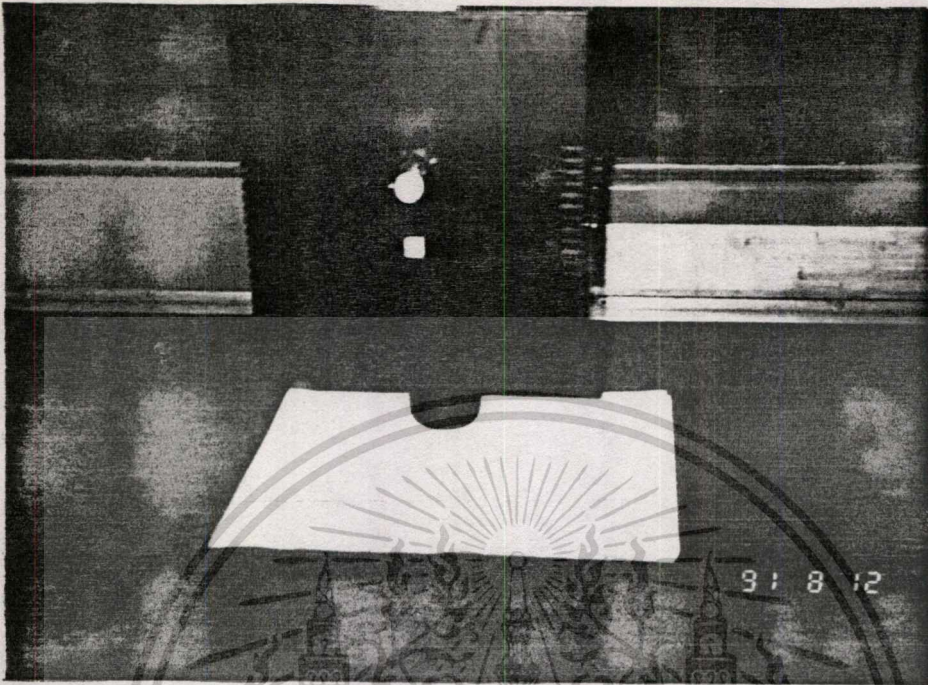
ขับเคลื่อนหัวอ่าน

- (9) Stop เป็นสวิตช์กดสำหรับยกหัวตัดขึ้น เมื่อตัดแผ่นเหล็กเสร็จแล้ว
- (10) Preheat เป็นสวิตช์เปิดเปิดแก๊สที่ใช้สำหรับเผาแผ่นเหล็กให้ร้อนก่อนตัด
- (11) Cutting เป็นสวิตช์เปิดเปิดแก๊สที่ใช้สำหรับตัดเหล็ก

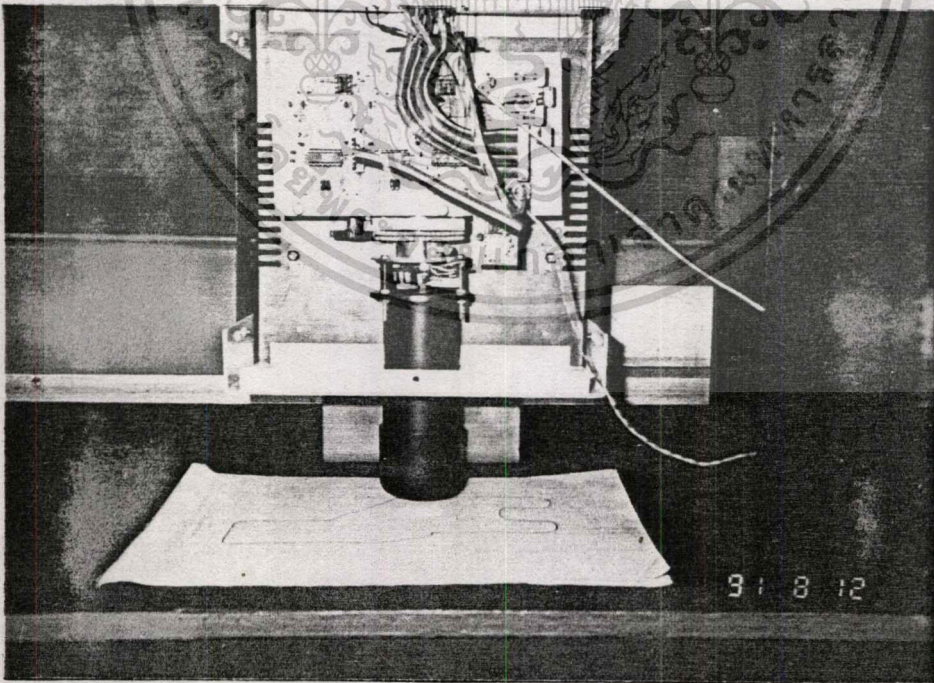
รูปที่ 7.6 เป็นภาพแสดงส่วนประกอบภายในกล่องหน่วยควบคุมระบบ ซึ่งประกอบด้วย

วงจรหน่วยควบคุมระบบ, วงจร SSA และวงจร PFQSC

- รูปที่ 7.7 เป็นภาพแสดงการติดตั้งมอเตอร์แกน X และแกน Y กับหน่วยขับเคลื่อน
- รูปที่ 7.8 เป็นภาพของการประกอบติดตั้งหัวตัดแก๊ส
- รูปที่ 7.9 เป็นภาพของเครื่องอ่านลวดลายตัดแผ่นเหล็กอัตโนมัติที่ประกอบแล้ว

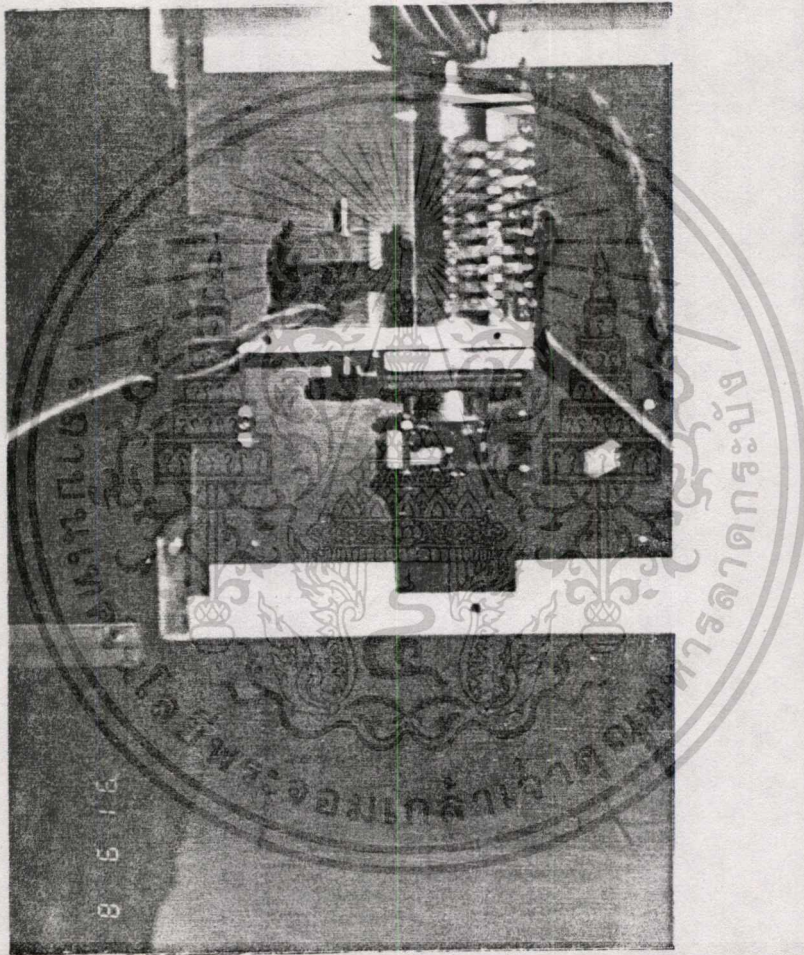


รูปที่ 7.2 ภาพหัวอ่าน



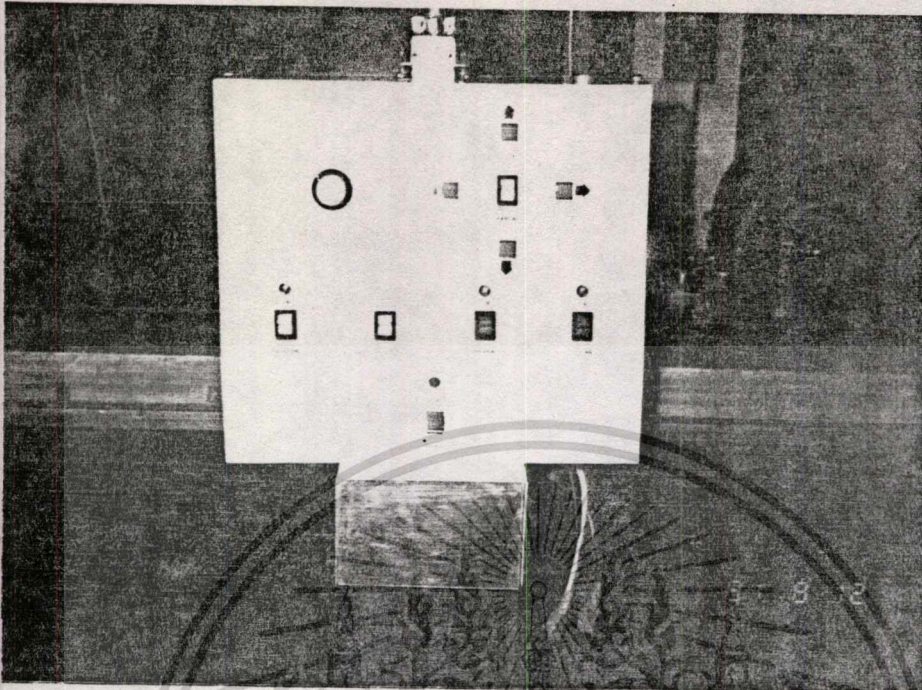
รูปที่ 7.3 ภาพวงจรเซนเซอร์ของหัวอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

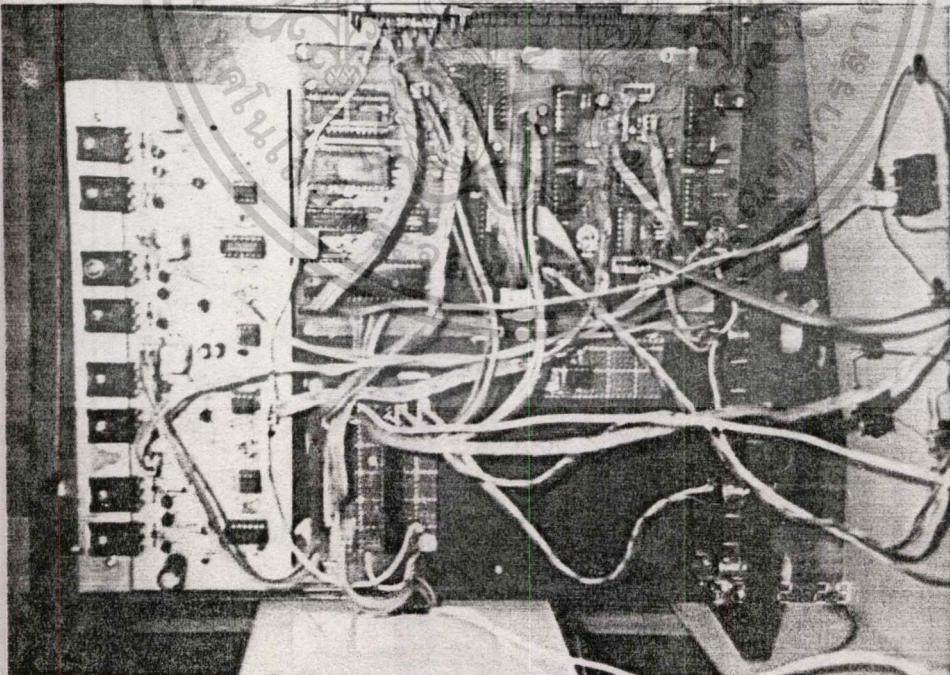


รูปที่ 7.4 ภาพแสดงการติดตั้ง สเตปมิ่งมอเตอร์, ชุดหน้าสัมผัส และหัวเซนเซอร์ของหัวอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

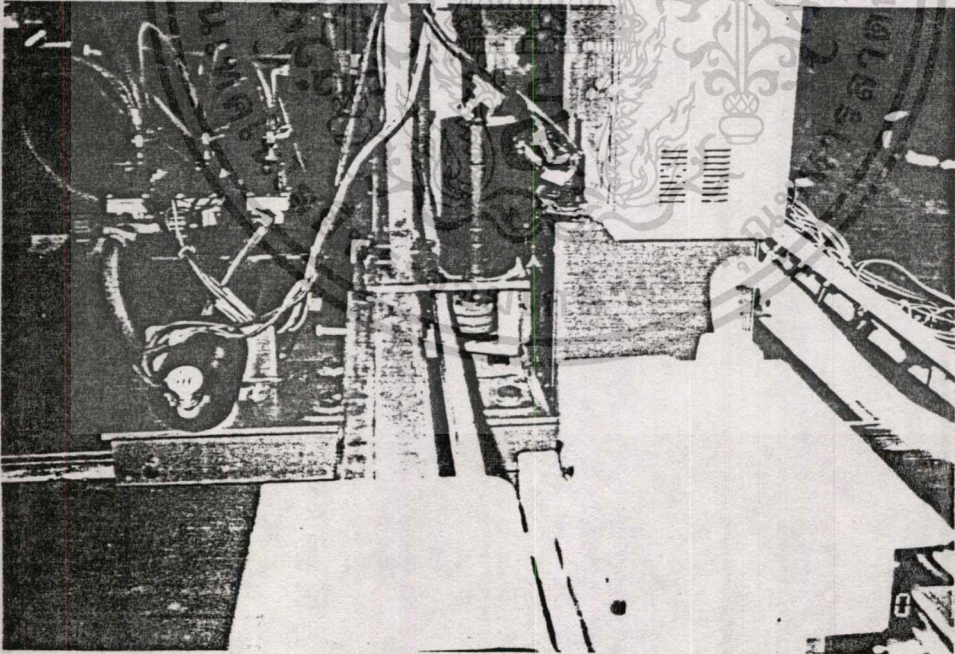
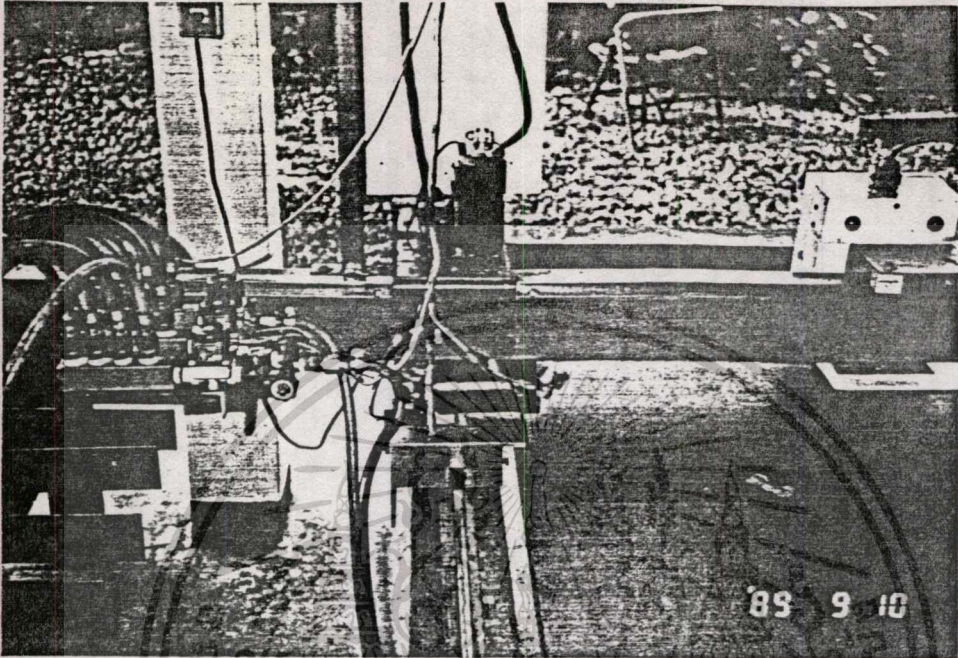


รูปที่ 7.5 ภาพหน้าปัดของหน่วยควบคุมระบบ



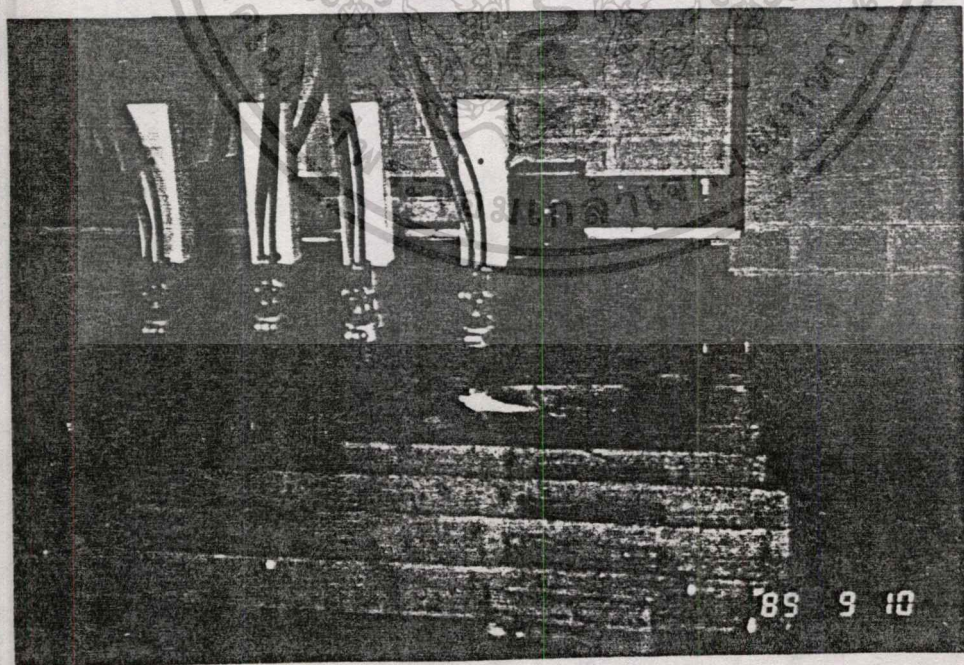
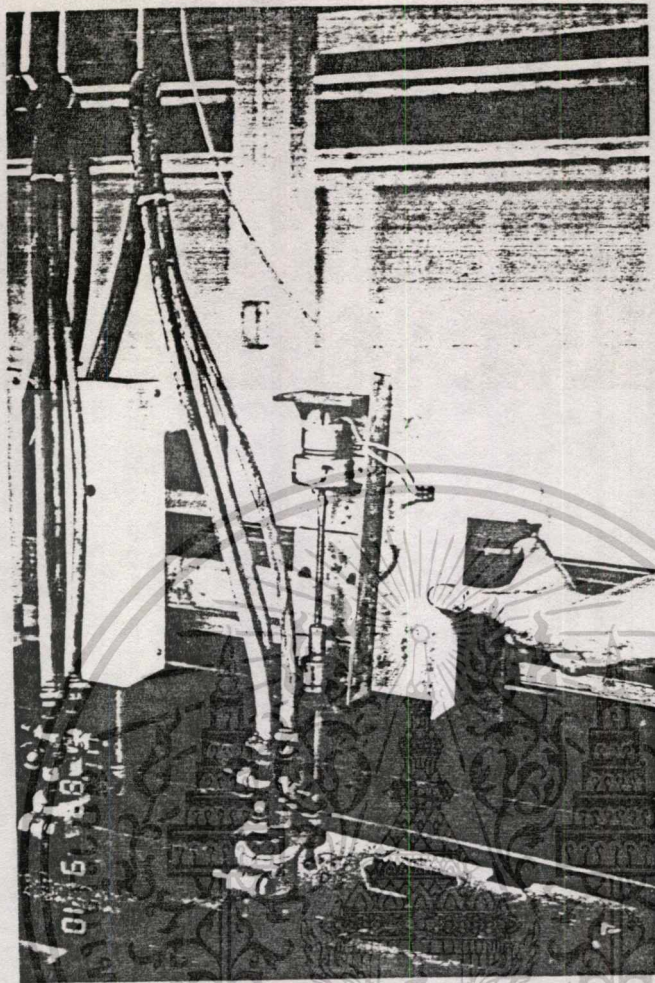
รูปที่ 7.6 ภาพแสดงส่วนประกอบภายในกล่องหน่วยควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



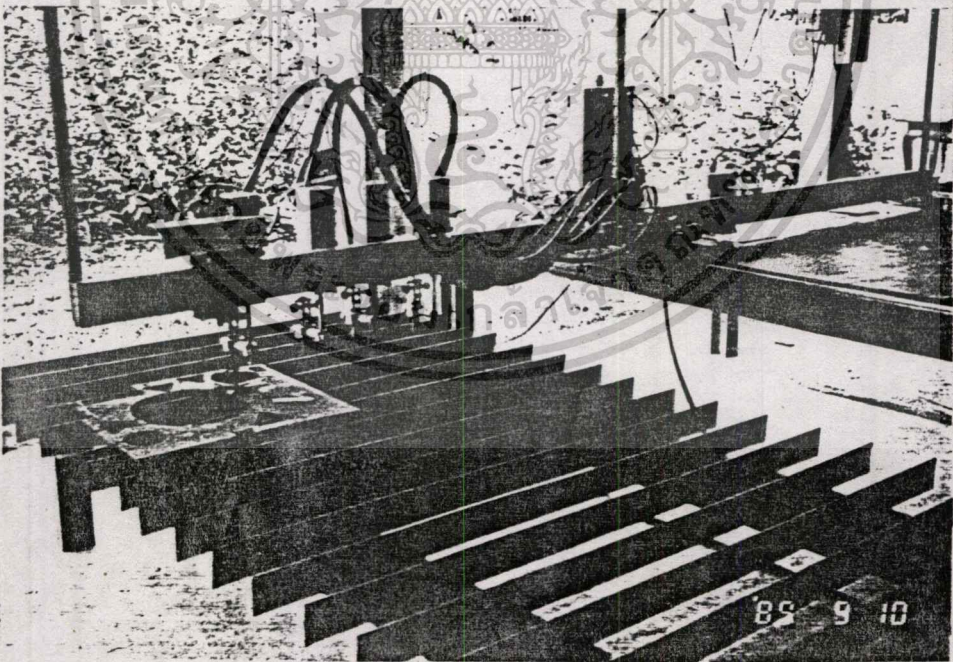
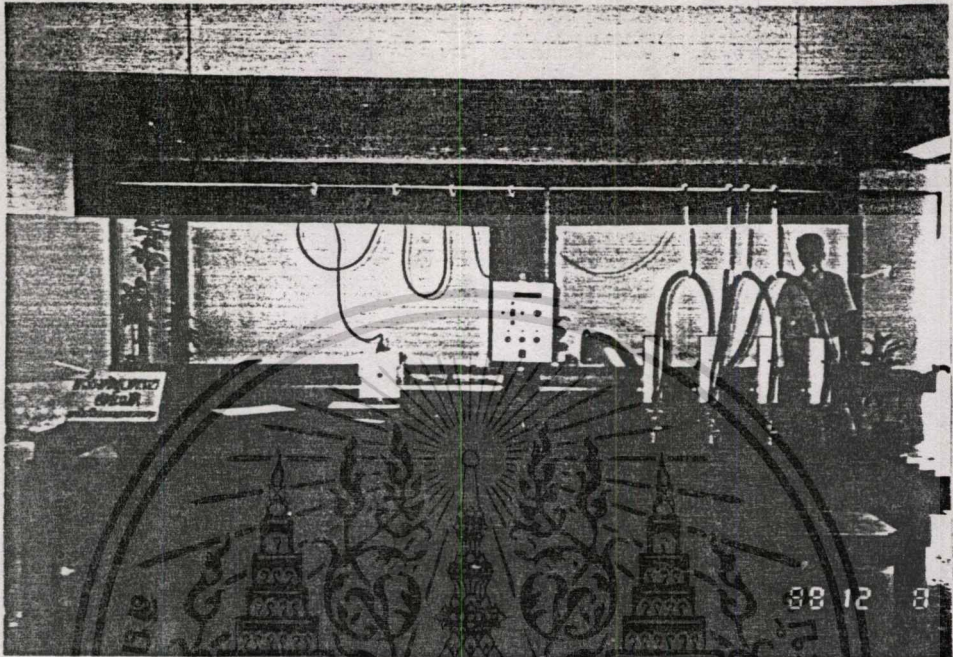
รูปที่ 7.7 หน่วยขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.8 หัวตัดแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.9 เครื่องต้นแบบของเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติเพื่ออุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

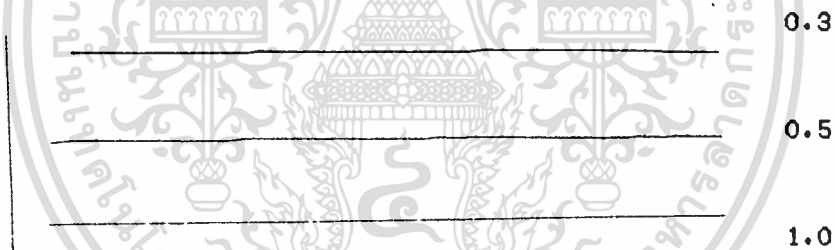
ผลการทดลอง

ในการทดลองการทำงานของหัวอ่าน เราใช้ปากกาลูกลื่นแทนหัวตัดจริง เพื่อให้สามารถตรวจสอบความแม่นยำที่หัวตัดเคลื่อนที่ตามหัวอ่าน เพราะถ้าใช้หัวตัดแก๊สจริงเปลวไฟจะทำให้เส้นตัดไม่ราบเรียบ ยากสำหรับการตรวจวัด

การทดลองประกอบด้วย การทดลองความแม่นยำในการอ่านลายเส้นที่เขียนด้วยหมึกสีต่างๆที่มีความหนาขนาดต่างๆ และลายเส้นโค้งต่างๆดังนี้

8.1 ผลของความหนาของเส้นลวดลายที่เขียนด้วยหมึกสีต่างๆ

(ก) ได้ทำการทดลองอ่านเส้นตรงที่เขียนด้วยหมึกสีดำ ที่มีความหนา 0.3 , 0.5 และ 1.0 มม. ปรากฏผลดังแสดงในรูปที่ 8.1 ซึ่งสรุปผลของการทำงานได้ดังแสดงในตารางที่ 8.1



รูปที่ 8.1 ผลการอ่านลายเส้นตรงหมึกสีดำหนา 0.3, 0.5 และ 1.0 มม. ตามลำดับ

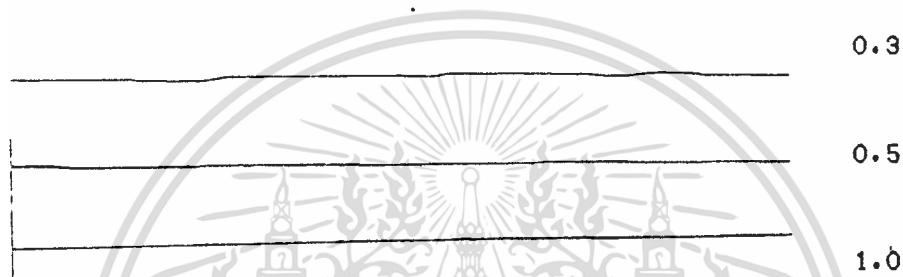
ความหนาของเส้นตรง (มม.)	ผลการทำงาน
0.3	ดี
0.5	ดี
1.0	ดีมาก

ตารางที่ 8.1 ผลของความหนาของเส้นตรงหมึกสีดำต่อการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของหัวอ่านสามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงได้ราบเรียบดีทุกความหนา โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความหนา 1.0 มม.

(ช) ได้ทำการทดลองอ่านเส้นตรงที่เขียนด้วยปากกาลูกลื่นสีน้ำเงิน ที่มีความหนา 0.3 , 0.5 และ 1.0 มม. ปรากฏผลดังแสดงในรูปที่ 8.2 ซึ่งสรุปผลของการทำงานได้ดังแสดงในตารางที่ 8.2



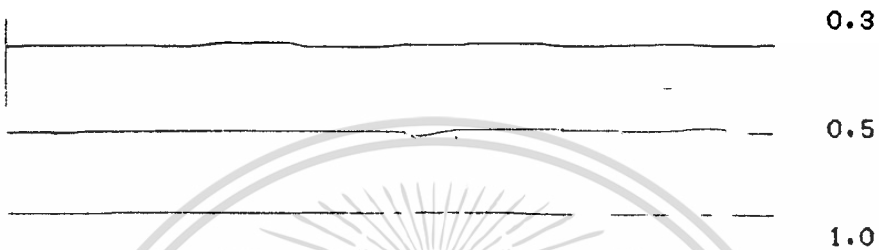
รูปที่ 8.2 ผลการอ่านลายเส้นตรงปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินหนา 0.3, 0.5 และ 1.0 มม. ตามลำดับ

ความหนาของเส้นตรง (มม.)	ผลการทำงาน
0.3	พอใช้ได้
0.5	ดี
1.0	ดีมาก

ตารางที่ 8.2 ผลของความหนาของเส้นตรงปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินต่อการทำงาน

การทำงานของหัวอ่านสามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ได้ราบเรียบดีที่ความหนามากกว่า 0.5 มม.

(ค) ได้ทำการทดลองอ่านเส้นตรงที่เขียนด้วยดินสอดำ HB ที่มีความหนา 0.3 ,0.5 และ 1.0 มม. ปรากฏผลดังแสดงในรูปที่ 8.3 ซึ่งสรุปผลของการทำงานได้ดังแสดงในตารางที่ 8.3



รูปที่ 8.3 ผลการอ่านเส้นตรงดินสอดำ HB หนา 0.3,0.5 และ 1.0 มม.ตามลำดับ

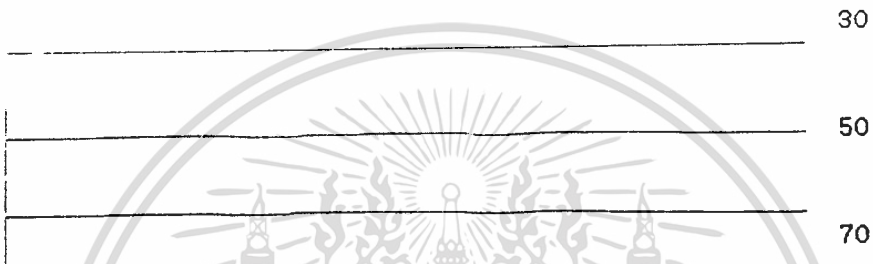
ความหนาของเส้นตรง (มม.)	ผลการทำงาน
0.3	พอใช้ได้
0.5	พอใช้ได้
1.0	ดี

ตารางที่ 8.3 ผลของความหนาของเส้นตรงดินสอดำ HB ต่อการทำงาน

การทำงานของหัวอ่านสามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ได้ราบเรียบดีที่ความหนามากกว่า 1.0 มม.

8.2 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อเส้นตรง

ความเร็วของหัวอ่านสามารถตั้งความเร็วที่ค่าต่างๆได้ ผลของการทดลองการอ่านเส้นตรงที่เขียนด้วยดินสอดำ HB ที่มีความหนา 1.0 มม. และหัวอ่านเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 ซม.ต่อนาที, 40 ซม.ต่อนาที และ 70 ซม.ต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 8.4 และสรุปผลการทำงานได้ในตารางที่ 8.4



รูปที่ 8.4 ผลของการอ่านเส้นตรงด้วยความเร็ว 30, 50 และ 70 ซม.ต่อนาที ตามลำดับ

ความเร็ว (ซม.ต่อนาที)	ผลการทำงาน
30	ดีมาก
50	ดี
70	พอใช้ได้

ตารางที่ 8.4 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน (เส้นตรง)

การเคลื่อนที่ของหัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ด้วยความแม่นยำ และราบเรียบดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็ว 20 ซม.ต่อนาที

8.3 ผลการเคลื่อนที่ตามมุมฉากด้วยความเร็วต่างๆ

(ก) ผลของการทดลองการอ่านลายเส้นมุมฉากแหลม ที่เขียนด้วยหมึกดำหนา 1.0 มม. และหัวอ่านเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30, 50 และ 70 ซม. ต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 8.5 และสรุปผลการทำงานได้ในตารางที่ 8.5

ความเร็ว (ซม. ต่อ นาที)	ผลการทำงาน
30	ดีมาก
50	ดี
70	มีโอเวอร์ชูตมาก

ตารางที่ 8.5 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน (ลายเส้นมุมฉากแหลม)

ผลการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน หัวอ่านเริ่มมีโอเวอร์ชูตเมื่อมีความเร็วมากกว่า 50 ซม. ต่อ นาที และหัวอ่านจะหลุดออกจากลายเส้นเมื่อหัวอ่านมีความเร็วมากกว่า 70 ซม. ต่อ นาที ในการใช้งานจริงสำหรับคัดเหล็กใช้ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 65 ซม. ต่อ นาที และเพื่อลดโอเวอร์ชูตของผลการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน เมื่อหัวอ่านมีความเร็วมากกว่า 50 ซม. ต่อ นาที ลายเส้นมุมฉากที่เป็นต้นแบบควร วาดให้เป็นมุมมนรัศมีความโค้งประมาณ 3 มม.

ลายเส้นที่อ่าน

(ก) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 30 ซม. ต่อนาที

(ข) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 50 ซม. ต่อนาที

(ค) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 70 ซม. ต่อนาที

รูปที่ 8.5 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามมุมฉากแหลม

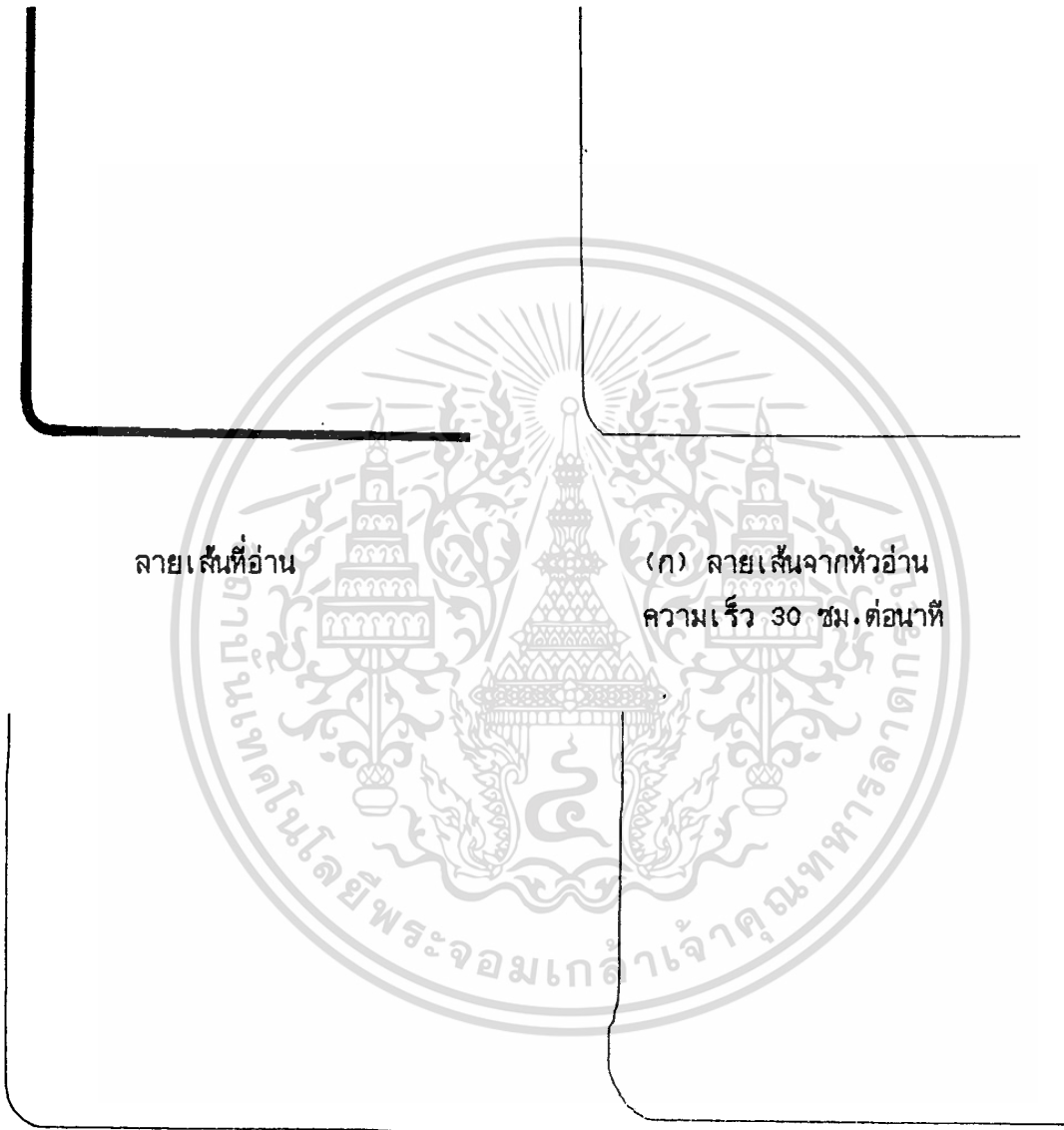
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ผลของการทดลองการอ่านลายเส้นมุมฉากมน รัศมีความโค้งประมาณ 3 มม. ที่เขียนด้วยหมึกดำหนา 1.0 มม. และหัวอ่านเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30, 50 และ 70 ซม. ต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 8.6 และสรุปผลการทำงานได้ในตารางที่ 8.6

ความเร็ว (ซม. ต่อ นาที)	ผลการทำงาน
30	ดีมาก
50	ดี
70	พอใช้ได้

ตารางที่ 8.6 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน (ลายเส้นมุมฉากมน)

ผลการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน หัวอ่านสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ที่ความเร็ว 30 และ 50 ซม. ต่อ นาที และหัวอ่านเริ่มมีโอเวอร์ชูทเมื่อมีความเร็วมากกว่า 70 ซม. ต่อ นาที



(ข) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 50 ซม. ต่อ นาที

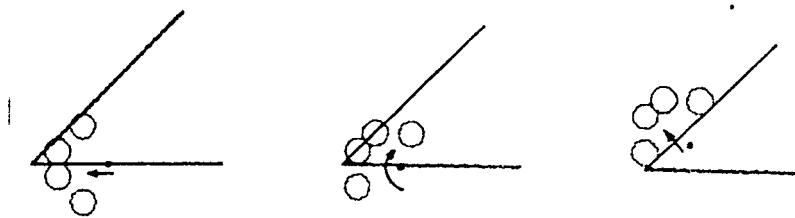
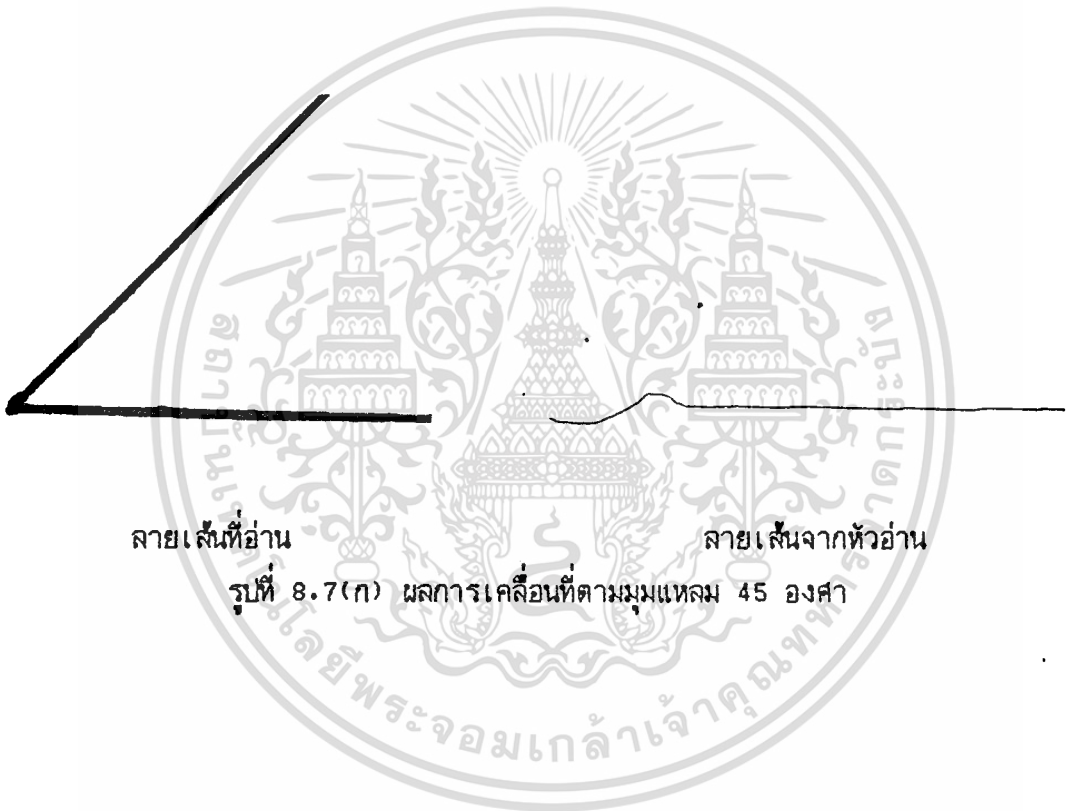
(ค) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 70 ซม. ต่อ นาที

รูปที่ 8.6 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามมุมฉากมน
(รัศมีความโค้งของมุมฉากประมาณ 3 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 ผลการเคลื่อนที่ตามมุม 45 องศาด้วยความเร็วต่างๆ

(ก) ผลของการทดลองการอ่านลายเส้นมุมแหลม 45 องศา ที่เขียนด้วยหมึกดำหนา 1.0 มม. และหัวอ่านเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 40 ซม. ต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 8.7(ก) ซึ่งไม่สามารถติดตามลายเส้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่หัวอ่านกำลังเลี้ยวไปตามมุมแหลม ตัวเซนเซอร์ชุดด้านซ้ายได้รับสัญญาณลายเส้น ทำให้หัวอ่านหยุดหมุนและเคลื่อนที่ออกนอกลายเส้นดังแสดงในรูป 8.7(ข) ดังนั้นเมื่อต้องการให้หัวอ่านเคลื่อนที่ตามลายเส้นที่เป็นมุม 45 องศาได้ ลายเส้นต้นแบบต้องวาดให้เป็นมุมมน รัศมีมีความโค้งประมาณ 3 มม.



รูปที่ 8.7(ข) แสดงการทำงานของหัวอ่านในขณะที่ตามมุมแหลม 45 องศา

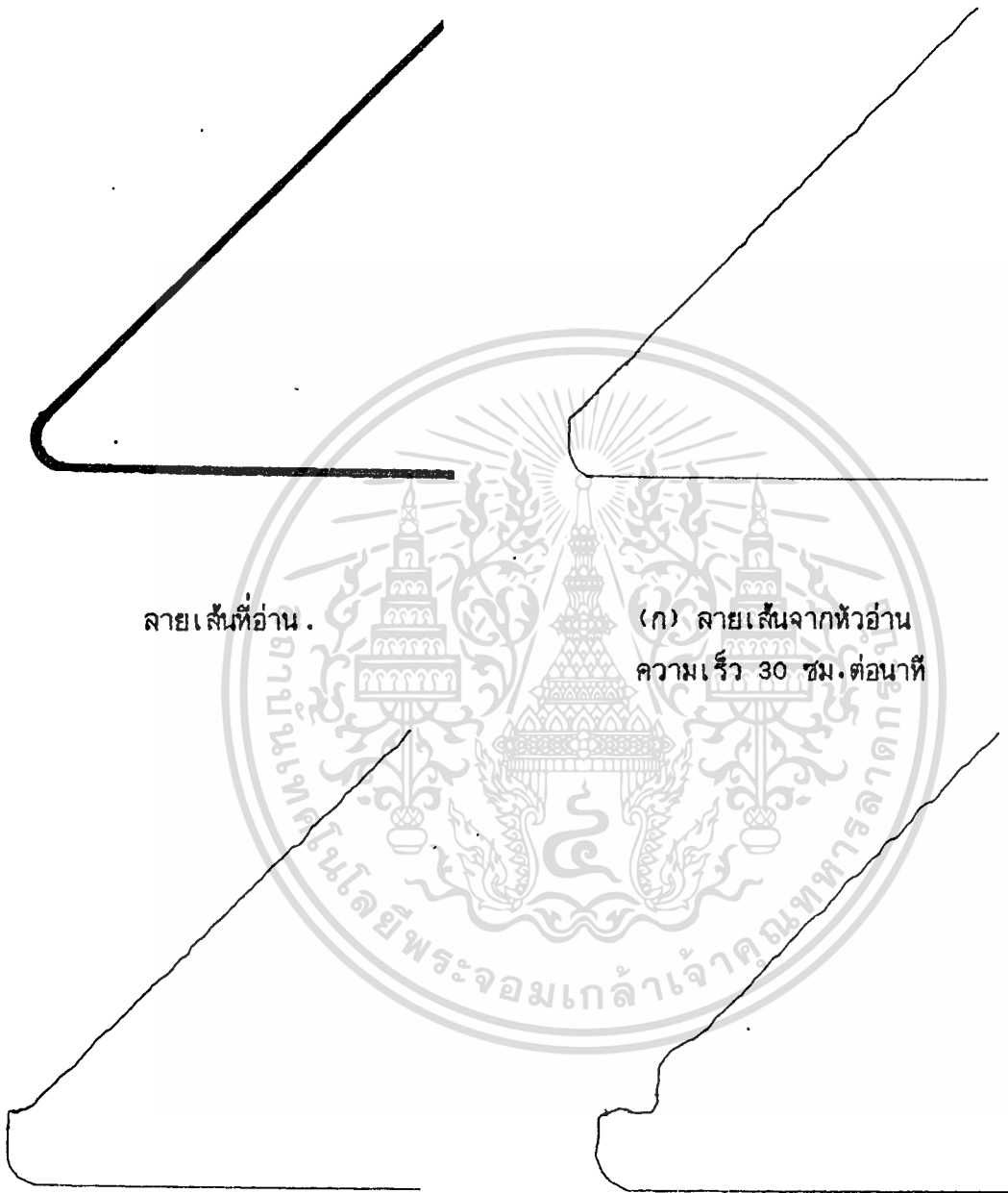
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ผลของการทดลองการอ่านลายเส้นแฉก 45 องศา รัศมีความโค้งประมาณ 3 มม. ที่เขียนด้วยหมึกดำหนา 1.0 มม. หัวอ่านเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30, 50 และ 70 ซม. ต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 8.8 และสรุปผลการทำงานได้ในตารางที่ 8.7

ความเร็ว (ซม. ต่อนาที)	ผลการทำงาน
30	ดี
50	พอใช้ได้
70	มีโอเวอร์ชูทมาก

ตารางที่ 8.7 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน (ลายเส้นแฉก 45 องศา)

ผลการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน หัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อความเร็วต่ำกว่า 50 ซม. ต่อนาที และมีโอเวอร์ชูทมากเมื่อมีความเร็ว 70 ซม. ต่อนาที



ลายเส้นที่อ่าน .

(ก) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 30 ซม.ต่อนาที

(ข) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 50 ซม.ต่อนาที

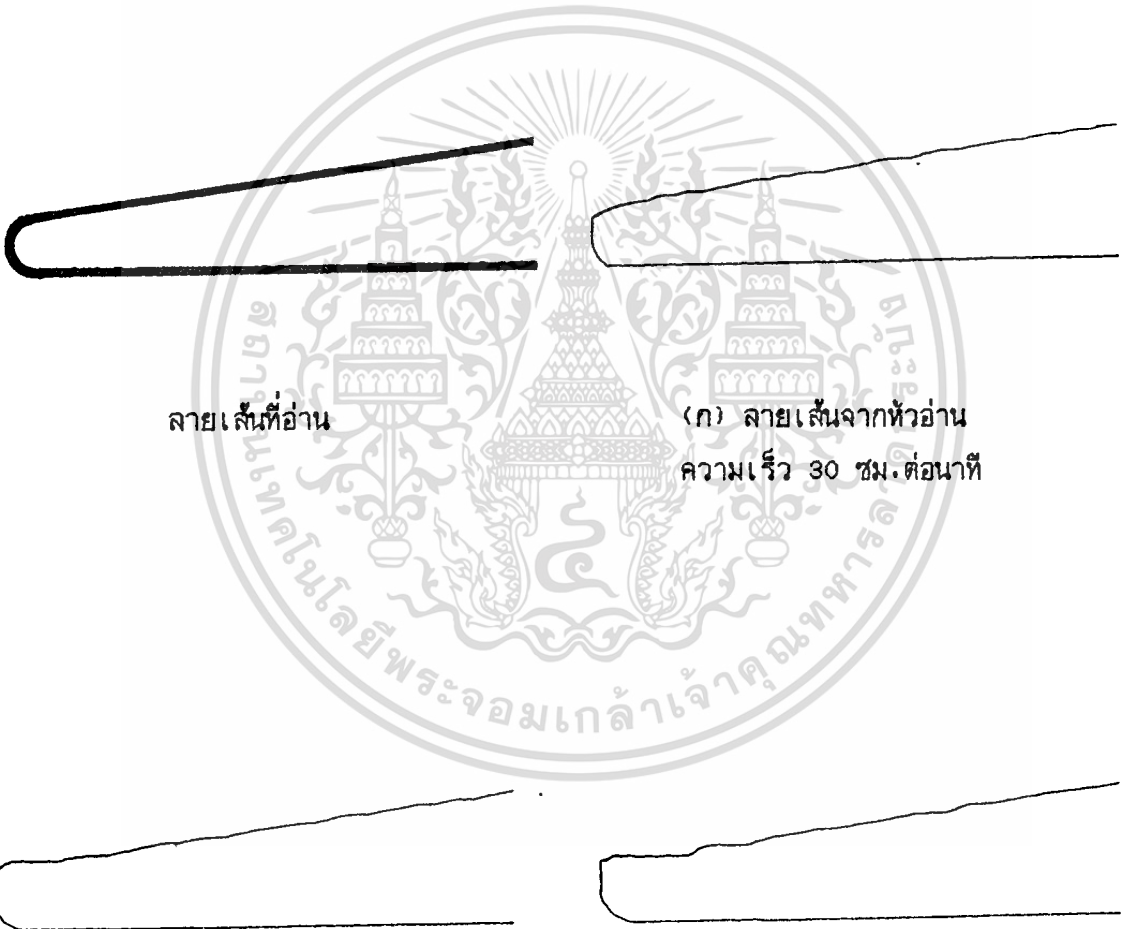
(ค) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 70 ซม.ต่อนาที

รูปที่ 8.8 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามมุม 45 องศา
(รัศมีความโค้งของมุมประมาณ 3 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 ผลการเคลื่อนที่ตามมุมมวน 15 องศาด้วยความเร็วต่างๆ

ผลของการทดลองการอ่านลายเส้นมุมมวน 15 องศา รัศมีความโค้งของมุมมวนประมาณ 3 มม. ที่เขียนด้วยหมึกดำหนา 1.0 มม. และหัวอ่านเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30, 50 และ 70 ซม. ต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 8.9 และสรุปผลการทำงานได้ในตารางที่ 8.8



(ข) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 50 ซม.ต่อนาที

(ค) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 70 ซม.ต่อนาที

รูปที่ 8.9 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามมุมมวน 15 องศา

(รัศมีความโค้งของมุมมวนประมาณ 3 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็ว (ชม.ต่อนาที)	ผลการทำงาน
30	ดี
50	พอใช้ได้
70	มีโอเวอร์ชูท

ตารางที่ 8.8 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน(ลายเส้นมุมมน 15 องศา)

ผลการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน หัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อความเร็วต่ำกว่า 50 ชม.ต่อนาที และมีโอเวอร์ชูทเมื่อความเร็วของหัวอ่านเท่ากับ 70 ชม.ต่อนาที

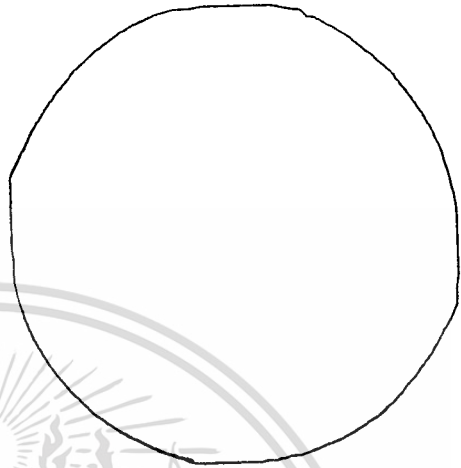
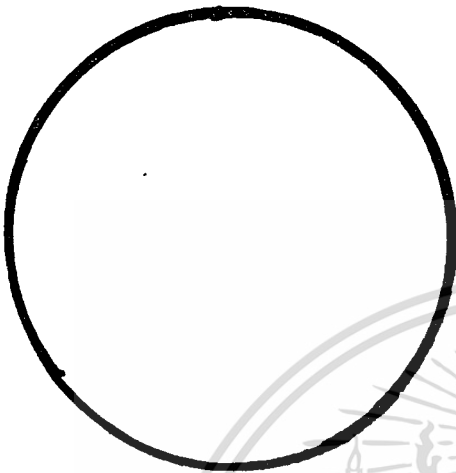
8.6 ผลการเคลื่อนที่ตามเส้นลวดลายรูปวงกลมด้วยความเร็วต่างๆ

ผลของการทดลองการอ่านลายเส้นรูปวงกลมที่มีรัศมี 3 ซม. ที่เขียนด้วยหมึกดำหนา 1.0 มม. และหัวอ่านเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30, 50 และ 70 ชม.ต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 8.10 และสรุปผลการทำงานได้ในตารางที่ 8.9

ความเร็ว (ชม.ต่อนาที)	ผลการทำงาน
30	ดี
50	พอใช้ได้
70	มีโอเวอร์ชูท

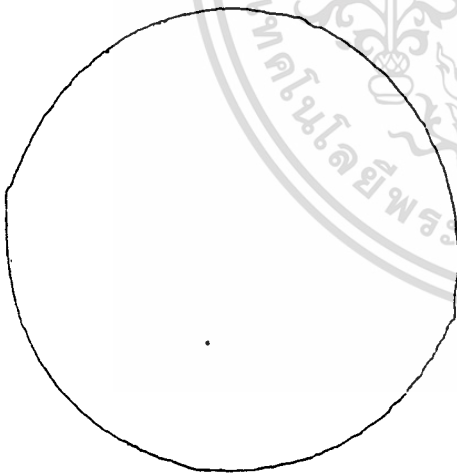
ตารางที่ 8.9 ผลของความเร็วของหัวอ่านต่อการทำงาน(ลายเส้นวงกลม)

ผลการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน หัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อความเร็วต่ำกว่า 50 ชม.ต่อนาที และมีโอเวอร์ชูทเมื่อความเร็วของหัวอ่านเท่ากับ 70 ชม.ต่อนาที



ลายเส้นที่อ่าน

(ก) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 30 ซม. ต่อนาที



(ข) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 50 ซม. ต่อนาที

(ค) ลายเส้นจากหัวอ่าน
ความเร็ว 70 ซม. ต่อนาที

รูปที่ 8.10 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ตามรูปวงกลมรัศมี 3 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.7 ผลการเคลื่อนที่ตามเส้นลวดลายรูปลักษณะต่างๆ

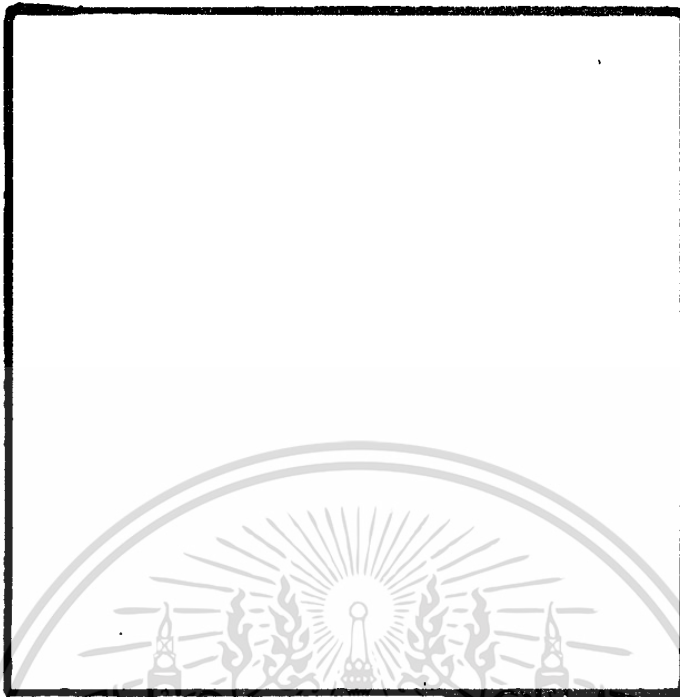
ผลของการทดลองการอ่านลายเส้นรูปลักษณะต่างๆ ที่เขียนด้วยหมึกดำหนา 1.0 มม. และหัวอ่านเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 40 ซม. ต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 8.11 ดังนี้

- (ก) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปสี่เหลี่ยม
- (ข) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปสามเหลี่ยม
- (ค) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปโค้งต่างๆ
- (ง) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปโค้งต่างๆ ที่เขียนด้วยดินสอ HB ขนาด 0.5 มม. ความเร็ว 30 ซม. ต่อนาที

ลักษณะของลายเส้น	ผลการทำงาน
รูปสี่เหลี่ยม	ดี
รูปสามเหลี่ยม	ดี
รูปโค้งต่างๆ	ดีมาก
รูปโค้งต่างๆ (เขียนด้วยดินสอ HB)	ดี

ตารางที่ 8.10 ผลของลักษณะของลายเส้นต่อการทำงาน

ผลการทำงานของหัวอ่าน หัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นโค้งรูปลักษณะต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่รูปโค้งต่างๆ สามารถทำได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ในการทดลอง ได้ทดลองให้หัวอ่านเคลื่อนที่ตามลายเส้น ที่เขียนด้วยดินสอดำ HB ขนาด 0.5 มม. ด้วยความเร็ว 30 ซม. ต่อนาที ผลปรากฏว่าหัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ได้ดี



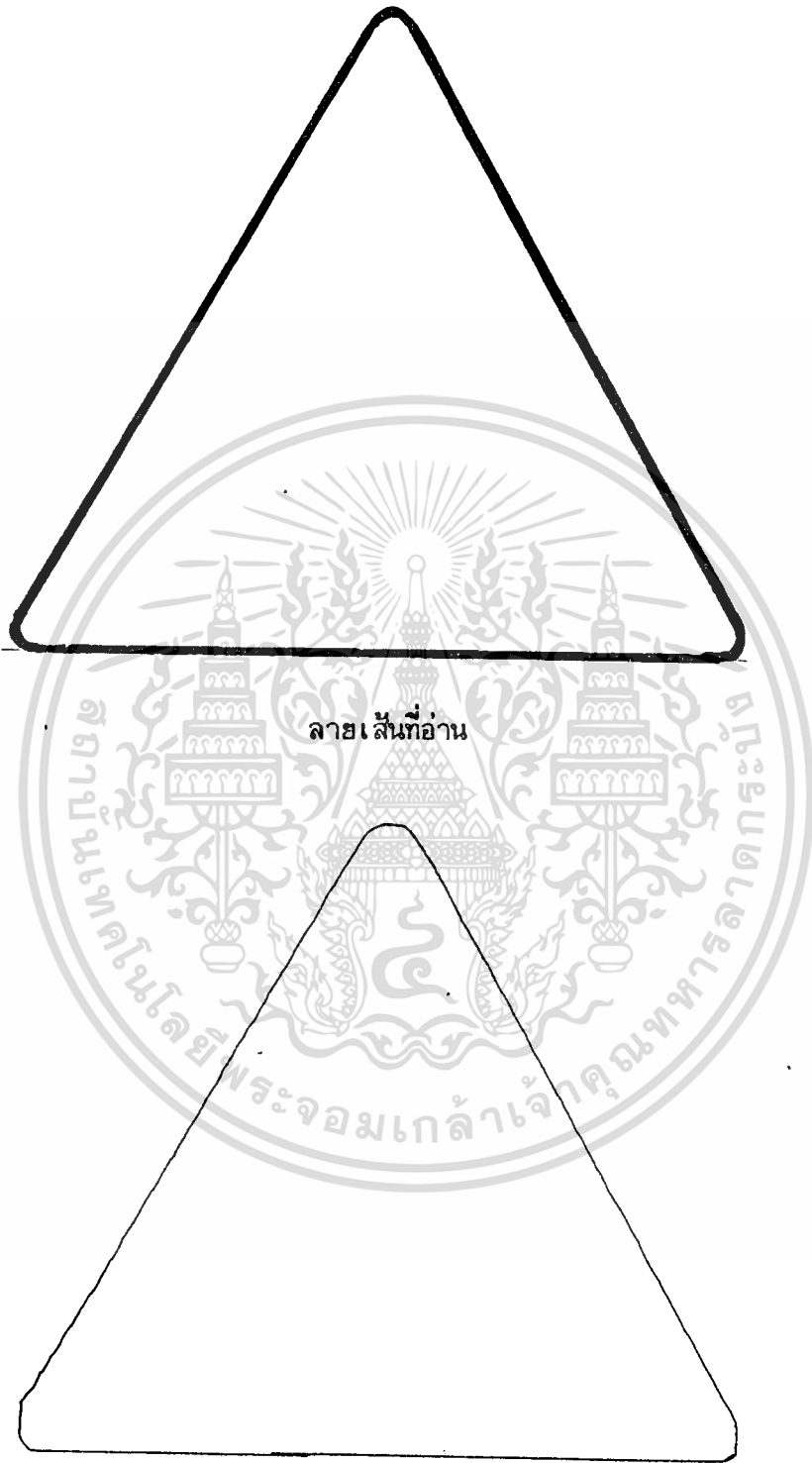
ลายเส้นที่อ่าน



ลายเส้นจากหัวอ่าน

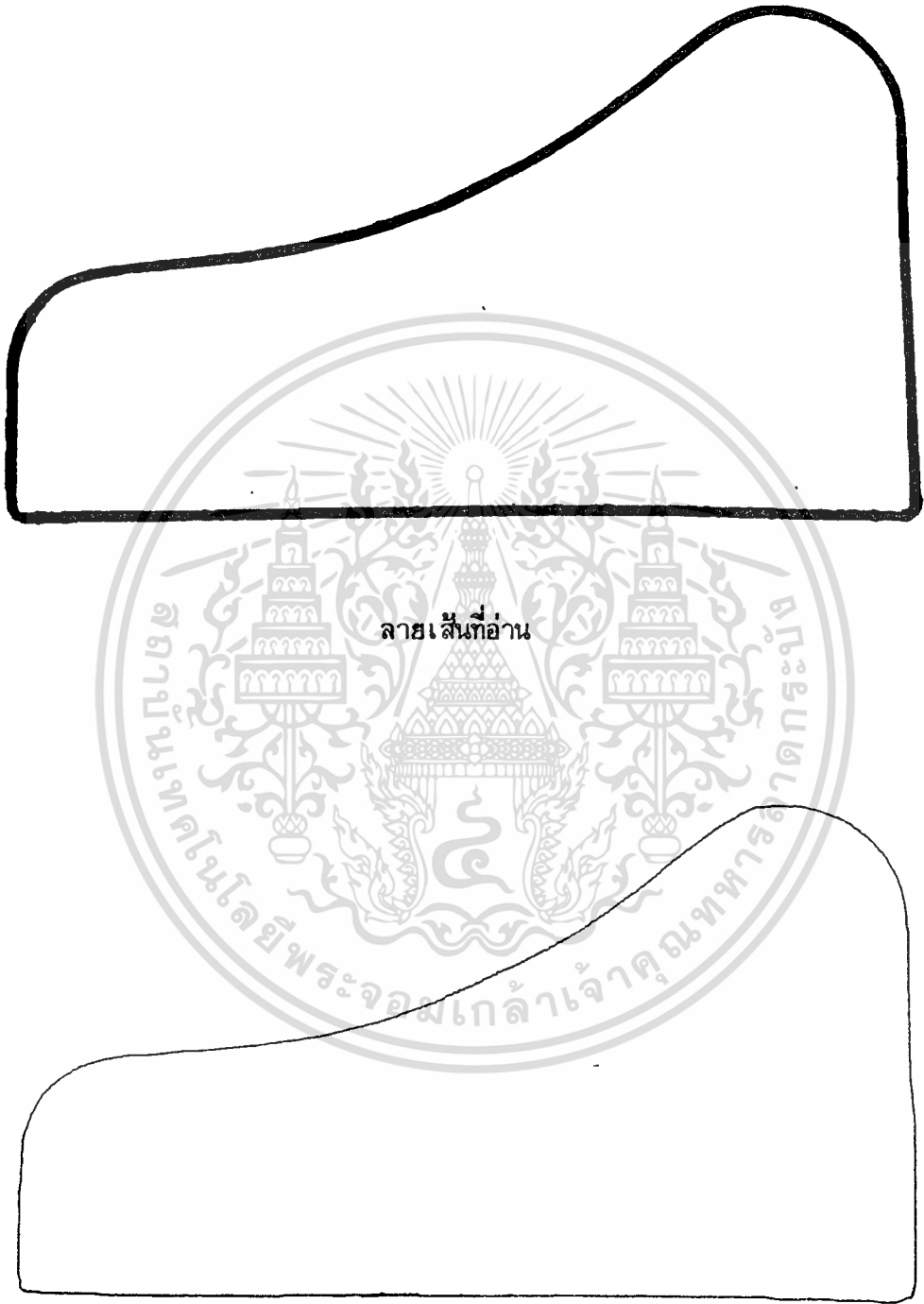
รูปที่ 8.11(ก) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



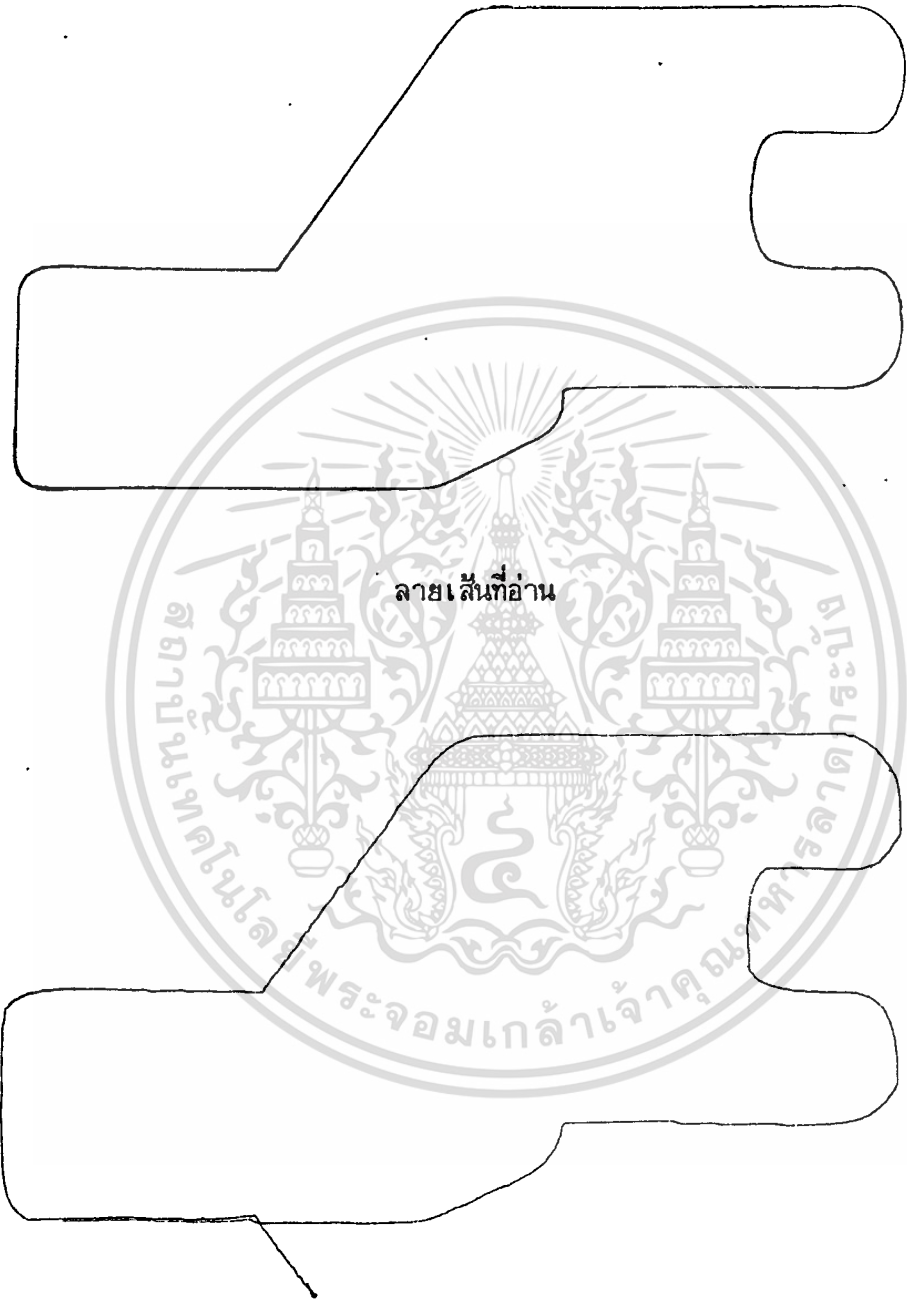
รูปที่ 8.11(ข) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลายเส้นจากหัวอ่าน
รูปที่ 8.11(ค) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปโค้งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลายเส้นที่อ่าน

ลายเส้นจากหัวอ่าน

รูปที่ 8.11(ง) ผลการเคลื่อนที่ตามรูปโค้งต่างๆ

ที่เขียนด้วยดินสอ HB หนา 0.5 มม. ความเร็ว 30 ซม.ต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.8 สรุปผลการทดลอง

จากตารางผลการทำงานของการทดลอง สามารถหาความเร็วสูงสุดที่ใช้งานได้ดีของสายเส้นแต่ละลักษณะ ดังแสดงในตารางที่ 8.11

ลักษณะของสายเส้น	ความเร็วสูงสุดที่ใช้งานได้ดี (ชม. ต่อนาที)
เส้นตรง	50
มุ่มฉากแหลม	50
มุ่มฉากมน	50
มุ่มแหลม 45 องศา	อ่านไม่ได้
มุ่มมน 45 องศา	50
มุ่มแหลม 15 องศา	อ่านไม่ได้
มุ่มมน 15 องศา	50
วงกลม	50

ตารางที่ 8.11 ความเร็วสูงสุดที่เหมาะสมของสายเส้นแต่ละลักษณะ
(รัศมีความโค้งของมุ่มมนประมาณ 3 มม.)

ดังนั้นในการอ่านสายเส้นแต่ละลักษณะ จำเป็นต้องคำนึงถึงความเร็วสูงสุดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลการทำงานที่ดี และในการวาดแบบลวดลายควรระวังหลีกเลี่ยงลักษณะลวดลาย ที่จะทำให้ผลการทำงาน เช่นมุ่มฉากเมื่อต้องการใช้ความเร็วมากกว่า 50 ชม. ต่อนาที ควรจะวาดให้เป็นมุ่มฉากมนแทน

บทที่ 9

บทสรุป

9.1 ผลสรุปงานวิจัย

เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติที่ได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องจักรกลึงอัตโนมัติ สำหรับการตัดวัสดุที่มีลวดลายต่างๆในงานอุตสาหกรรม ข้อมูลที่ใช้ควบคุมเครื่องตัดได้จากการอ่านลายเส้นต้นแบบ เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ได้แก่ ส่วนหัวอ่านกับส่วนหัวตัด หัวอ่านทำหน้าที่อ่านลายเส้นต้นแบบ ซึ่งทำงานด้วยระบบเซนเซอร์แสง โดยมีระบบขับเคลื่อนแกน X และแกน Y เป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านให้เคลื่อนที่ไปตามลายเส้น และในขณะเดียวกันก็จะขับหัวตัดให้เคลื่อนที่ไปในลักษณะเช่นเดียวกัน ดังนั้นการตัดวัสดุที่ได้จะมีขนาดเท่ากับต้นแบบลวดลาย การทำงานของเครื่องถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมระบบซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ทำให้เครื่องสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปิดตารางข้อมูลคำสั่งแกน X และแกน Y ที่ใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุน ของมอเตอร์ไฟตรงแกน X และ Y ซึ่งทำได้อย่างละเอียดและแม่นยำ การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ขับเคลื่อนแกน X และ Y ได้ใช้การควบคุมความเร็วแบบเฟสล็คคัลป์ ที่ได้ออกแบบให้สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้ทั้งสี่ควอดแรนต์ จึงทำให้การควบคุมความเร็วมอเตอร์ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นความเร็วในการติดตามลายเส้นจึงสามารถควบคุมได้อย่างคงที่ หัวอ่านได้ออกแบบให้ใช้เลนส์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพหัวเซนเซอร์ให้มีความไวต่อขนาดของลายเส้นมากขึ้น

เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติที่สร้างขึ้นมีข้อดีหลายประการดังนี้

(1) จากการทดลอง หัวอ่านสามารถอ่านลายเส้นรูปโค้งต่างๆ ด้วยความเร็วต่างๆได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วต่ำกว่า 50 ซม.ต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วที่เหมาะสมในการตัดแผ่นเหล็กด้วยแก๊ส

(2) การใช้เลนส์ช่วยขยายขนาดของลายเส้น ทำให้หัวอ่านสามารถอ่านลายเส้นที่มีขนาดเล็กๆได้เช่น ลายเส้นที่เขียนด้วยปากกาหมึกดำขนาด 0.3 มม. สามารถอ่านลายเส้นที่เขียนด้วยดินสอขนาด 0.5 มม. ได้ ดังแสดงให้เห็นในผลการทดลองรูปที่ 8.10(ง)

(3) หัวอ่านสามารถอ่านลายเส้นที่เขียนด้วยหมึกสีต่างๆ ที่มีขนาดเล็กสุดดังนี้ ปากกาหมึกดำขนาด 0.3 มม. ,ปากกาหมึกสีน้ำเงินขนาด 0.5 มม. ,ดินสอ HB ขนาด 0.5 มม.

(4) เป็นเครื่องที่ใช้งานได้ง่าย ผู้ใช้เครื่องไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญงานด้านการตัดเหล็กเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ใช้เครื่องไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมสั่งงาน

(5) เครื่องตัดลวดลายอัตโนมัตินี้ สามารถปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน ได้ตั้งแต่ 10 ถึง 100 ซม.ต่อนาที ซึ่งจะช่วยให้หัวตัดสามารถตัดแผ่นเหล็กได้หนาตั้งแต่ 5 ถึง 200 มม. ตามตารางข้อมูลในตารางที่

(6) ในหน่วยควบคุมระบบได้ออกแบบให้เป็นระบบดิจิทัล ซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน ซึ่งทำให้ระบบสามารถพัฒนาได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาทำให้สามารถติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์

(7) ได้ออกแบบระบบให้สามารถเคลื่อนที่จากภายนอก เข้าไปยังสายเส้นเพื่อติดตามสายเส้นได้โดยอัตโนมัติ ดังแสดงในผลการทดลองรูปที่ 8.11(ง)

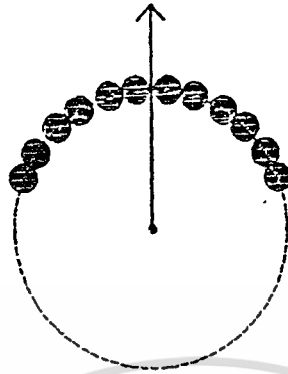
(8) หัวอ่านได้ออกแบบให้มีการป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอก เช่น แสงแดด , แสงจากหลอดไฟ เป็นต้น

9.2 งานที่ควรศึกษาต่อ

ถึงแม้ว่าผลการศึกษาและวิจัยจะสามารถนำไปผลิตสร้างเครื่องตัดลวดลายอัตโนมัติไปใช้ในงานต่างๆ ซึ่งพาณิชย์ได้แล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีจุดที่ต้องศึกษาและวิจัยเพิ่มเติม เพื่อให้การทำงานของเครื่องมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

9.2.1 การปรับปรุงหัวเซนเซอร์

เครื่องตัดแผ่นเหล็กอัตโนมัติที่ศึกษาวิจัย และพัฒนาขึ้นตามโครงการนี้ การทำงานของหัวเซนเซอร์เป็นแบบอนาลอก ทำให้เกิดปัญหาขึ้นในตัวรับแสง เสถียรภาพไม่ค่อยดีเท่าที่ควรเพราะว่ายังมีสัญญาณรบกวนอยู่บ้าง ถึงแม้ว่าจากผลการทดลอง หัวเซนเซอร์จะสามารถทำงานได้ดีแล้ว แต่ถ้าได้ปรับปรุงให้หัวเซนเซอร์มีคุณภาพสูงขึ้น โดยเปลี่ยนให้เป็นระบบดิจิทัล ก็จะทำให้หัวอ่านติดตามสายเส้นได้ดีขึ้นด้วย แนวทางที่จะปรับปรุงหัวอ่านมีสองวิธีคือ



รูปที่ 9.1 การวางตำแหน่งตัวรับแสงวิธีที่หนึ่ง

(1) เปลี่ยนเฉพาะวิธีการเซนเซอร์ใหม่ให้เป็นระบบดิจิทัล แต่ยังคงสเตปป์มอเตอร์ที่ใช้หมุนหัวอ่านไว้ วิธีการนี้เป็นวิธีที่ไม่แตกต่างจากวิธีเดิมมากนัก แต่ตัวรับแสงจะต้องมีขนาดเล็ก และใช้จำนวนมาก เพื่อความละเอียดในการติดตามลายเส้น รายละเอียดของการจัดตำแหน่งตัวรับแสงดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 9.1



รูปที่ 9.2 การวางตำแหน่งตัวรับแสงวิธีที่สอง

(2) พัฒนาหัวเซนเซอร์ให้เป็นระบบดิจิทัล โดยไม่ต้องมีสเตปป์มอเตอร์หมุนหัวเซนเซอร์ วิธีนี้จะใช้ตัวรับแสงที่มีขนาดเล็กวางรอบจุดหมุน ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 9.2 จำนวนตัวรับแสงทั้งหมดที่ใช้เท่ากับครึ่งหนึ่งของความละเอียดของตำแหน่งทิศทางหัวเซนเซอร์ เช่นถ้าต้องการให้หัวเซนเซอร์มีความละเอียดของตำแหน่งเท่ากับ 7.5 องศาต่อตำแหน่ง จำนวนตัวรับแสงเท่ากับ $360 / (7.5 \cdot 2)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 24 ตัว ซึ่งจำนวนตัวรับแสงต้องใช้มากกว่าวิธีแรกมาก แต่ข้อมูลที่ได้จากการอ่านด้วยวิธีนี้ใช้เป็นทิศทางของลายเส้นได้เลย จึงอาจจะทำให้หัวอ่านสามารถเคลื่อนที่ตามมุมแหลมต่างๆได้

๑.2.2 การปรับปรุงวิธีการรับรู้ข้อมูล

เพิ่มวิธีการรับรู้ข้อมูลให้สามารถรับรู้ข้อมูล ที่วาดด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปต่างๆได้ เช่น Auto CAD ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายในการรับข้อมูลภาพ ข้อมูลของภาพที่วาดด้วยวิธีนี้จะอยู่ในหน่วยความจำสามารถนำออกมาใช้ได้เลย จึงไม่ต้องผ่านขบวนการทางฮาร์ดแวร์ การพัฒนาระบบต้องปรับปรุงให้ ระบบควบคุมสามารถติดต่อกับ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่สามารถใช้โปรแกรม Auto CAD เช่น IBM PC และในการพัฒนา ต้องติดตั้ง เอนโคเดอร์แบบลิเนียร์ ที่วางเลื่อนแกน X และ Y เพื่อใช้เป็นตำแหน่งของแกน X และ Y



เอกสารอ้างอิง

- [1] Carl Helmers, Robotics age, Hayden book co. 1983.
- [2] Optoelectronic Device Data, Motorola Inc, 1989, pp. 9.14-9.27 .
- [3] Linear Databook, National Semiconductor, 1978, pp. 3.109 .
- [4] Bryan Norris, Digital Integrated Circuits and Operational-Amplifier and Optoelectronic Circuit Design, Mcgraw-Hill Book Company Inc, 1976, pp. 140-141.
- [5] Kenneth J. Ayala, The 8051 Microcontroller, West Publishing Company, 1991.
- [6] Howard M. Berlin, Design of Op-Amp Circuits With Experiments, Haward W. Sams Co., Inc, 1980.
- [7] Electro Craft Corpn, DC Motor Speed Control and Servo System, Engineering Handbook, 3rd edn., 1975.
- [8] Jacob, T., Design and Analysis of Pulse width-Modulated Amplifiers for DC Servo System, IEEE Transactions on industrial electronics and control instrumentation, Vol IECI-23 No.1 February 1976.
- [9] A.M., Moore Phase-locked loop for motor-speed control, IEEE Spectrum, 1973, Vol. 10, pp. 61-67.
- [10] Neol M. Morris, Control Engineering, Mcgraw-Hill Book Company (UK) Limited, 3 rd edn., 1983, pp. 82-84.
- [11] มนต์รี พรรณรัตน์, รศ.ดร.โยธิน เปรมปราชญ์รัชต์ และ รศ.ดร.โกศล เพ็ชรสุวรรณ, การพัฒนาหัวอ่านติดตามลายเส้น, การประชุมวิชาการ วิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน ครั้งที่ 10, มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์, 2530.
- [12] มนต์รี พรรณรัตน์ และ รศ.ดร.โยธิน เปรมปราชญ์รัชต์, ระบบควบคุมความเร็วแบบลิควอตแธนท์ด้วยเฟสล็อกคัลป, การประชุมวิชาการ วิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน ครั้งที่ 12, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พฤศจิกายน 2532.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0001	0000		.ORG	0000H
0002	0000	78 FF	MOV	R0,#\$FF
0003	0002	00	DEL:	NOP
0004	0003	D8 FD	DJNZ	R0,DEL
0005	0005	D2 97	SETB	97H ;(P1.7)Set D
0006	0007	7D 00	MOV	R5,#00H
0007	0009	90 80 03	MOV	DPTR,#8003H
0008	000C	74 85	MOV	A,#85H
0009	000E	F0	MOVX	@DPTR,A
0010	000F	90 80 07	MOV	DPTR,#8007H
0011	0012	74 88	MOV	A,#88H
0012	0014	F0	MOVX	@DPTR,A
0013	0015	90 80 06	MOV	DPTR,#8006H
0014	0018	74 0C	MOV	A,#0CH
0015	001A	F0	MOVX	@DPTR,A
0016	001B	7F 01	MOV	R7,#01H
0017	001D	74 00	MOV	A,#00H
0018	001F	90 80 04	MOV	DPTR,#8004H
0019	0022	F0	MOVX	@DPTR,A ;Stop Mx
0020	0023	90 80 05	MOV	DPTR,#8005H
0021	0026	F0	MOVX	@DPTR,A ;Stop My
0022	0027	30 93 06	L1:	JNB 93H,L2 ;(P1.3) Test SP
0023	002A	11 DA	ACALL	RCW
0024	002C	11 FA	ACALL	DELAY
0025	002E	01 27	AJMP	L1
0026	0030	20 93 02	L2:	JB 93H,L3 ;(P1.3)
0027	0033	7E 00	MOV	R6,#00H ;Clear 0
0028	0035	20 90 0E	L3:	JB 90H,L4 ;(P1.0) Test DS
0029	0038	11 DA	ACALL	RCW
0030	003A	0E	INC	R6
0031	003B	BE C8 02	CJNE	R6,#200,L12
0032	003E	7E 00	MOV	R6,#000
0033	0040	7D 0F	L12:	MOV R5,#0FH ;SET I
0034	0042	11 FA	ACALL	DELAY
0035	0044	01 72	AJMP	L6
0036	0046	BD 00 1E	L4:	CJNE R5,#00H,L5;Test I
0037	0049	20 96 26	L14:	JB 96H,L6 ;(P1.6) Test HS
0038	004C	C2 97	CLR	97H ;(P1.7) Clear D
0039	004E	D2 97	SETB	97H ;(P1.7) Set D
0040	0050	20 92 0A	JB	92H,L8 ;ATR (P1.2) Test RD
0041	0053	11 EA	ACALL	RCCW

0042	0055 BE 00 02		CJNE R6,#000,L10
0043	0058 7E C8		MOV R6,#200
0044	005A 1E	L10:	DEC R6 ;0
0045	005B 01 72		AJMP L6
0046	005D 11 DA	L8:	ACALL RCW
0047	005F 0E		INC R6 ;0
0048	0060 BE C8 02		CJNE R6,#200,L11
0049	0063 7E 00		MOV R6,#000
0050	0065 01 72	L11:	AJMP L6 ;ATR
0051	0067 20 91 08	L5:	JB 91H,L6 ;(P1.1) Test SC
0052	006A 00	L15:	NOP
0053	006B 30 91 FC		JNB 91H,L15
0054	006E 7D 00		MOV R5,#00H ;Clear I
0055	0070 01 49		AJMP L14
0056	0072 30 95 51	L6:	JNB 95H,L7 ;(P1.5) Test AUTO Sw.
0057	0075 74 00		MOV A,#00H
0058	0077 90 80 04		MOV DPTR,#8004H
0059	007A F0		MOVX @DPTR,A ;Stop Mx
0060	007B 90 80 05		MOV DPTR,#8005H
0061	007E F0		MOVX @DPTR,A ;Stop My
0062	007F 90 80 06	MANUAL:	MOV DPTR,#8006H
0063	0082 E0		MOVX A,@DPTR ;Read X,Y Sw.
0064	0083 FC		MOV R4,A
0065	0084 C3		CLR C
0066	0085 20 E7 09		JB 0E7H,XD ;(A.7) Test X+
0067	0088 D3		SETB C
0068	0089 90 80 04		MOV DPTR,#8004H
0069	008C 74 7F		MOV A,#7FH
0070	008E F0		MOVX @DPTR,A
0071	008F 01 A3		AJMP YI
0072	0091 EC	XD:	MOV A,R4
0073	0092 20 E6 09		JB 0E6H,X0 ;(A.6) Test X-
0074	0095 D3		SETB C
0075	0096 90 80 04		MOV DPTR,#8004H
0076	0099 74 FF		MOV A,\$FF
0077	009B F0		MOVX @DPTR,A
0078	009C 01 A3		AJMP YI
0079	009E 90 80 04	X0:	MOV DPTR,#8004H
0080	00A1 E4		CLR A
0081	00A2 F0		MOVX @DPTR,A
0082	00A3 EC	YI:	MOV A,R4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0083	00A4 20 E5 09		JB	0E5H, YD	; (A.5) Test Y+
0084	00A7 D3		SETB	C	
0085	00A8 90 80 05		MOV	DPTR, #8005H	
0086	00AB 74 7F		MOV	A, #7FH	
0087	00AD F0		MOVX	@DPTR, A	
0088	00AE 01 C2		AJMP	L9	
0089	00B0 EC	YD:	MOV	A, R4	
0090	00B1 20 E4 09		JB	0E4H, Y0	; (A.4) Test Y-
0091	00B4 D3		SETB	C	
0092	00B5 90 80 05		MOV	DPTR, #8005H	
0093	00B8 74 FF		MOV	A, #FF	
0094	00BA F0		MOVX	@DPTR, A	
0095	00BB 01 C2		AJMP	L9	
0096	00BD 90 80 05	Y0:	MOV	DPTR, #8005H	
0097	00C0 E4		CLR	A	
0098	00C1 F0		MOVX	@DPTR, A	
0099	00C2 40 BB	L9:	JC	MANUAL	
0100	00C4 01 30		AJMP	L2	; MANUAL
0101	00C6 90 02 00	L7:	MOV	DPTR, #0200H	
0102	00C9 EE		MOV	A, R6	
0103	00CA 93		MOVC	A, @A+DPTR	; Read sin 0
0104	00CB 90 80 04		MOV	DPTR, #8004H	
0105	00CE F0		MOVX	@DPTR, A	; sin 0 to Mx
0106	00CF 90 03 00		MOV	DPTR, #0300H	
0107	00D2 EE		MOV	A, R6	
0108	00D3 93		MOVC	A, @A+DPTR	; Read cos 0
0109	00D4 90 80 05		MOV	DPTR, #8005H	
0110	00D7 F0		MOVX	@DPTR, A	; cos 0 to My
0111	00D8 01 30		AJMP	L2	
0112	00DA 0F	RCW:	INC	R7	
0113	00DB BF 04 02		CJNE	R7, #04H, LA	
0114	00DE 7F 00		MOV	R7, #00H	
0115	00E0 90 01 50	LA:	MOV	DPTR, #0150H	
0116	00E3 EF		MOV	A, R7	
0117	00E4 93		MOVC	A, @A+DPTR	
0118	00E5 90 80 06		MOV	DPTR, #8006H	
0119	00E8 F0		MOVX	@DPTR, A	
0120	00E9 22		RET		
0121	00EA BF 00 02	RCCW:	CJNE	R7, #00H, LB	
0122	00ED 7F 04		MOV	R7, #04H	
0123	00EF 1F	LB:	DEC	R7	

0124	00F0 90 01 50		MOV	DPTR,#0150H
0125	00F3 EF		MOV	A,R7
0126	00F4 93		MOVC	A,@A+DPTR
0127	00F5 90 80 06		MOV	DPTR,#8006H
0128	00F8 F0		MOVX	@DPTR,A
0129	00F9 22		RET	
0130	00FA 78 FF	DELAY:	MOV	R0,#FF
0131	00FC 79 FF	DEL1:	MOV	R1,#FF
0132	00FE 00	DEL2:	NOP	
0133	00FF D9 FD		DJNZ	R1,DEL2
0134	0101 D8 F9		DJNZ	R0,DEL1
0135	0103 22		RET	
0136	0104		.END	

ADDR 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F

0000	78 FF 00 D8 FD D2 97 7D 00 90 80 03 74 85 F0 90
0010	80 07 74 88 F0 90 80 06 74 0C F0 7F 01 74 00 90
0020	80 04 F0 90 80 05 F0 30 93 06 11 DA 11 FA 01 27
0030	20 93 02 7E 00 20 90 0E 11 DA 0E BE C8 02 7E 00
0040	7D 0F 11 FA 01 72 BD 00 1E 20 96 26 C2 97 D2 97
0050	20 92 0A 11 EA BE 00 02 7E C8 1E 01 72 11 DA 0E
0060	BE C8 02 7E 00 01 72 20 91 08 00 30 91 FC 7D 00
0070	01 49 30 95 51 74 00 90 80 04 F0 90 80 05 F0 90
0080	80 06 E0 FC C3 20 E7 09 D3 90 80 04 74 7F F0 01
0090	A3 EC 20 E6 09 D3 90 80 04 74 FF F0 01 A3 90 80
00A0	04 E4 F0 EC 20 E5 09 D3 90 80 05 74 7F F0 01 C2
00B0	EC 20 E4 09 D3 90 80 05 74 FF F0 01 C2 90 80 05
00C0	E4 F0 40 BB 01 30 90 02 00 EE 93 90 80 04 F0 90
00D0	03 00 EE 93 90 80 05 F0 01 30 0F BF 04 02 7F 00
00E0	90 01 50 EF 93 90 80 06 F0 22 BF 00 02 7F 04 1F
00F0	90 01 50 EF 93 90 80 06 F0 22 78 FF 79 FF 00 D9
0100	FD D8 F9 22 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0110	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0120	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0130	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

```

;*****
      .ORG 0150H
;***** Data for Stepping Motor *****
;*****
0150  03 09 0C 06 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0160  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0170  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0180  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0190  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01A0  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01B0  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01C0  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01D0  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01E0  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
01F0  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
;*****
      .ORG 0200H
;***** Data for sin O *****
;*****
0200  00 84 88 8C 90 94 98 9C A0 A3 A7 AB AF B2 B6 BA
0210  BD C1 C4 C7 CB CE D1 D4 D7 DA DD DF E2 E4 E7 E9
0220  EB ED EF F1 F3 F5 F6 F7 F9 FA FB FC FD FE FE FF
0230  FF FF FF FF FF FE FE FD FD FC FB FA F9 F7 F6 F5
0240  F3 F1 EF ED EB E9 E7 E4 E2 DF DD DA D7 D4 D1 CE
0250  CB C7 C4 C1 BD BA B6 B2 AF AB A7 A3 A0 9C 98 94
0260  90 8C 88 84 80 04 08 0C 10 14 18 1C 20 23 27 2B
0270  2F 32 36 3A 3D 41 44 47 4B 4E 51 54 57 5A 5D 5F
0280  62 64 67 69 6B 6D 6F 71 73 75 76 77 79 7A 7B 7C
0290  7D 7D 7E 7E 7F 7F 7F 7F 7E 7E 7D 7D 7C 7B 7A
02A0  79 77 76 75 73 71 6F 6D 6B 69 67 64 62 5F 5D 5A
02B0  57 54 51 4E 4B 47 44 41 3D 3A 36 32 2F 2B 27 23
02C0  20 1C 18 14 10 0C 08 04 00 00 00 00 00 00 00 00
02D0  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
02E0  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
02F0  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
;*****
      .ORG 0300H
;***** Data for cos O *****
;*****
0300  FF FF FF FE FE FD FD FC FB FA F9 F7 F6 F5 F3 F1
0310  EF ED EB E9 E7 E4 E2 DF DD DA D7 D4 D1 CE CB C7

```

0320 C4 C1 BD BA B6 B2 AF AB A7 A3 A0 9C 98 94 90 8C
 0330 88 84 80 04 08 0C 10 14 18 1C 20 23 27 2B 2F 32
 0340 36 3A 3D 41 44 47 4B 4E 51 54 57 5A 5D 5F 62 64
 0350 67 69 6B 6D 6F 71 73 75 76 77 79 7A 7B 7C 7D 7D
 0360 7E 7E 7F 7F 7F 7F 7F 7E 7E 7D 7D 7C 7B 7A 79 77
 0370 76 75 73 71 6F 6D 6B 69 67 64 62 5F 5D 5A 57 54
 0380 51 4E 4B 47 44 41 3D 3A 36 32 2F 2B 27 23 20 1C
 0390 18 14 10 0C 08 04 00 84 88 8C 90 94 98 9C A0 A3
 03A0 A7 AB AF B2 B6 BA BD C1 C4 C7 CB CE D1 D4 D7 DA
 03B0 DD DF E2 E4 E7 E9 EB ED EF F1 F3 F5 F6 F7 F9 FA
 03C0 FB FC FD 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช.

ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาปริญญาโท ที่ได้รับการเผยแพร่

- (1) ในประชุมวิชาการทาง วิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน ครั้งที่ 10 พ.ศ. 2530
ณ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ เรื่อง การพัฒนาหัวอ่านติดตามสายเส้น
- (2) ในประชุมวิชาการทาง วิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน ครั้งที่ 12 พ.ศ. 2532
ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เรื่อง ระบบควบคุมความเร็วแบบสี่ควอดแรนต์
ด้วยเฟสล็อกคัลป์

การพัฒนาระบบหัวอ่านตามลายเส้น

มนตรี พรรณรัตน์	*
ดร. โกศล เพ็ชร์สุวรรณ	**
ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์	**

บทคัดย่อ

ผลงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบหัวอ่านตามลายเส้นที่สามารถติดตามลายเส้นที่มีรูปลักษณะต่าง ๆ ตามแนวแกน X และ Y ได้ทั้ง 4 ควอดแดรนต์ ระบบหัวอ่านตามลายเส้นนี้ประกอบด้วยออปติคอนเซ็นเซอร์ 2 ชุด ดีซีมอเตอร์ รีโซลเวอร์ วงจรขับและควบคุมความเร็วของสเตปมอเตอร์ การติดตามลายเส้นใช้เทคนิคการแบ่งลายเส้นออกเป็นส่วนย่อย ๆ ในรูปของเส้นตรง ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของรีโซลเวอร์คือ ลายเส้นตามแกน X จะถูกสแกนด้วยความเร็วที่เป็นกำลังสองของฟังก์ชัน $\cos \theta_0$ และตามแกน Y จะถูกสแกนด้วยความเร็วที่เป็นกำลังสองของฟังก์ชัน $\sin \theta_0$ ผลของการทดลองหัวอ่านสามารถตอบสนองการติดตามลายเส้นที่เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ได้ดีและถูกต้อง แต่มีข้อจำกัดกับลายเส้นที่มีการหักมุมอย่างรวดเร็ว เช่น มุมฉากหรือมุมแหลม

ABSTRACT

This research presents the development of a reading head for a pattern tracking system which can track various patterns in the form of coordinates X and Y in all quadrants. The reading head for the pattern tracking system is consisted of 2 optical sensors, dc. motor, resolver driver and velocity control circuit of a stepping motor. In the pattern tracking technique the trajectory is divided into straight line segments

- * นักศึกษาทดลองวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
 ** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

by using the resolver. This means that the trajectory on the X axis will be scanned with a velocity which is a function of $\cos^2\theta_0$ and the trajectory on the Y axis will be scanned with a velocity which is a function of $\sin^2\theta_0$. The experimental results of the reading head will give good responses to patterns which are straight lines or curves with high accuracy. However, it still has limitation on patterns which have sharp angles.

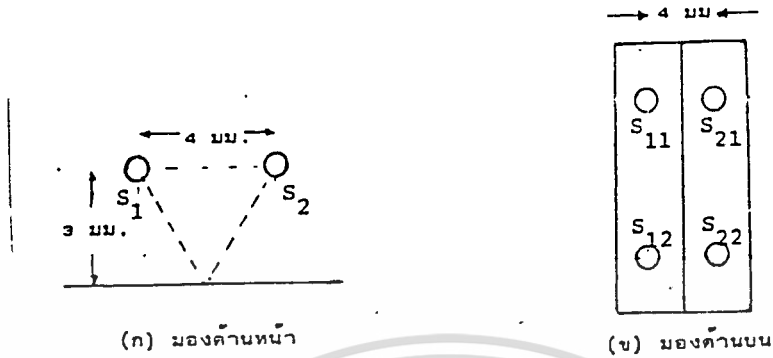
1. บทนำ

เครื่องตัดแผ่นเหล็กด้วยแก๊สแบบอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์เครื่องตัดแผ่นเหล็กที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งจะต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศด้วยราคาที่แพงมาก งานวิจัยและพัฒนาี้เป็นการสร้างหัวอ่านที่สามารถอ่านตามลายเส้นที่มีรูปลักษณะต่าง ๆ ตามแนวแกน X และ Y ได้ทั้ง 4 ควอดแดรนต์ เพื่อใช้เป็นหัวอ่านลายเส้นของเครื่องตัดแผ่นเหล็กด้วยแก๊สแบบอัตโนมัติ ระบบหัวอ่านตามลายเส้นนี้ประกอบด้วย ออปติคอลเซ็นเซอร์ 2 ชุด ทำหน้าที่เปรียบเทียบความเข้มของแสงระหว่างลายเส้นในช่วงเวลาที่หัวอ่านเคลื่อนที่ตามลายเส้น ถ้าหากออปติคอลเซ็นเซอร์ชุดใดมีความเข้มลดลงแสดงว่าเซ็นเซอร์นั้นเข้าไปใกล้ลายเส้นมากไปก็จะมีเออร์เรอร์โวลต์ที่เกิดเกิดขึ้นไปขับดีซีมอเตอร์ของหัวอ่านซึ่งต่อร่วมอยู่บนแกนเพลลาเดียวกันกับเพลลาของรีโซลเวอร์ (resolver) ซึ่งจะทำให้ได้เอาท์พุทจากรีโซลเวอร์ 2 ค่าคือ $v \cdot \sin\theta_0$ และ $v \cdot \cos\theta_0$ ซึ่งฟังก์ชันของ \sin และ \cos ของมุม θ_0 ใช้ไปขับสเตปมอเตอร์ X และสเตปมอเตอร์ Y ทำให้สเตปมอเตอร์ X เคลื่อนไปด้วยความเร็ว v_x และสเตปมอเตอร์ Y เคลื่อนไปด้วยความเร็ว v_y ในเวลาเดียวกันด้วยการร่วมกันของเพลลาของสเตปมอเตอร์ X และสเตปมอเตอร์ Y จะทำให้หัวอ่านเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่จะทำให้มุมเฟส θ_0 เป็นศูนย์

2. หลักการของระบบหัวอ่านลายเส้น

2.1 ออปติคอลเซ็นเซอร์

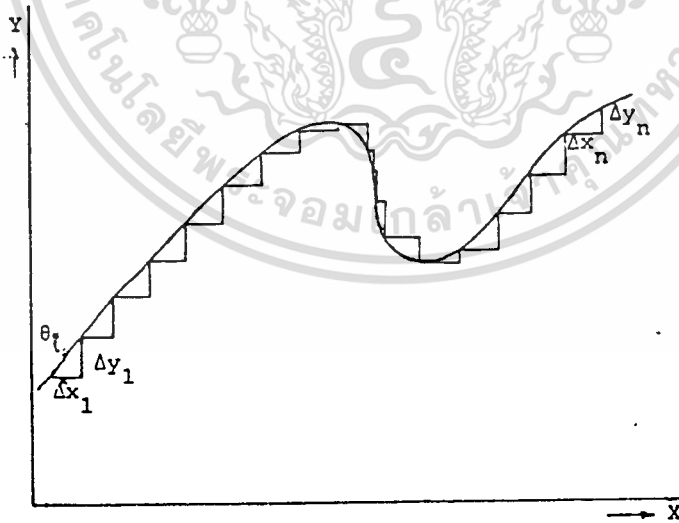
หัวอ่านลายเส้นจะประกอบด้วยออปติคอลเซ็นเซอร์แบบอินฟราเรด 2 ชุด วางห่างกัน 4 มิลลิเมตรและทำมุม 40 องศาจากผลการทดลองเซ็นเซอร์จะให้ผลตอบสนองดี ออปติคอลเซ็นเซอร์ทั้งสองชุดจะติดตั้งในแนวศูนย์เดียวกันดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งออฟติคอลเซนเซอร์

2.2 วิธีติดตามลายเส้น

วิธีติดตามลายเส้นของหัวอ่านออคัยวิธีการแซมปลิงลายเส้นออกเป็นส่วนย่อย ๆ ในรูปของเส้นตรงด้วยเทคนิคของรีโซลเวอร์ (resolver) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการแซมปลิงลายเส้นออกเป็นส่วนย่อย ๆ ในรูปของเส้นตรง

จากรูปที่ 2 เราจะหาค่า Δx_1 และ Δy_1 ได้

$$\Delta x_1 = \Delta l \cdot \cos \theta_1 \quad (1)$$

$$\Delta y_1 = \Delta l \cdot \sin \theta_1 \quad (2)$$

เมื่อ Δl เป็นขนาดของสายเส้นที่ถูกแบ่งออกเป็นเส้นตรงส่วนย่อย ๆ

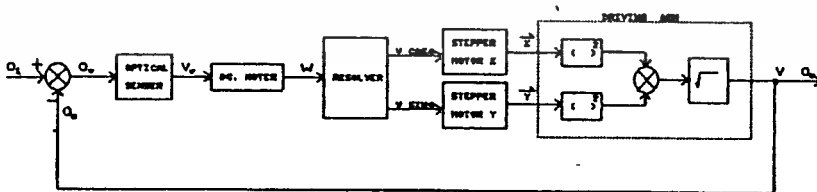
θ_1 เป็นทิศทางของสายเส้น

$$\Delta l = \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta y_1)^2} \quad (3)$$

$$\Delta l = \frac{\Delta x_1}{\cos \theta_1} \quad (4)$$

3. ระบบหัวอ่านลายเส้น

ระบบหัวอ่านลายเส้นสามารถแสดงได้ในรูปของบล็อกโคอะแกรมดังในรูปที่ 3



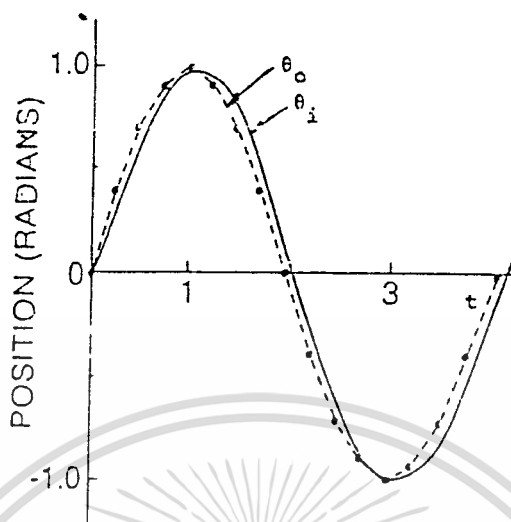
รูปที่ 3 บล็อกโคอะแกรมของระบบหัวอ่านลายเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานของระบบหัวอ่านลายเส้น กำหนดให้มุมเฟส θ_0 เป็นทิศทางของลายเส้น ออฟติคอลเซ็นเซอร์จะเป็นตัวเปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน (θ_0) กับทิศทางของลายเส้น (θ_1) ว่าอยู่ในทิศทางเดียวกันหรือไม่ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางเดียวกันก็จะเกิดมุมเฟสที่แตกต่างกัน (θ_0) ป้อนให้กับตัวมอเตอร์และรีโซลเวอร์ด้วยคุณสมบัติของรีโซลเวอร์จะให้สัญญาณเอาต์พุตที่เป็นฟังก์ชัน sine และ cosine ของมุมเฟส θ_0 ป้อนให้กับสเตปมอเตอร์ Y และสเตปมอเตอร์ X ตามลำดับ สเตปมอเตอร์ จะหมุนด้วยความเร็วสเตปต่อหน้าที่เท่ากับสัญญาณอินพุตไปยังระบบขับเคลื่อนเชิงกลของหัวอ่านให้หัวอ่าน เคลื่อนที่ตามลายเส้นในทิศทางที่จะทำให้มุมเฟสเออร์เรอร์ (θ_e) เป็นศูนย์ วงจรของหัวอ่านที่ใช้งาน ได้จริงของระบบหัวอ่านลายเส้นแสดงในรูปที่ 4 และวงจรขับและควบคุมความเร็วของสเตปมอเตอร์ทั้ง แกน X และแกน Y แสดงในรูปที่ 5

4. ผลการทดลองและสรุปวิจารณ์

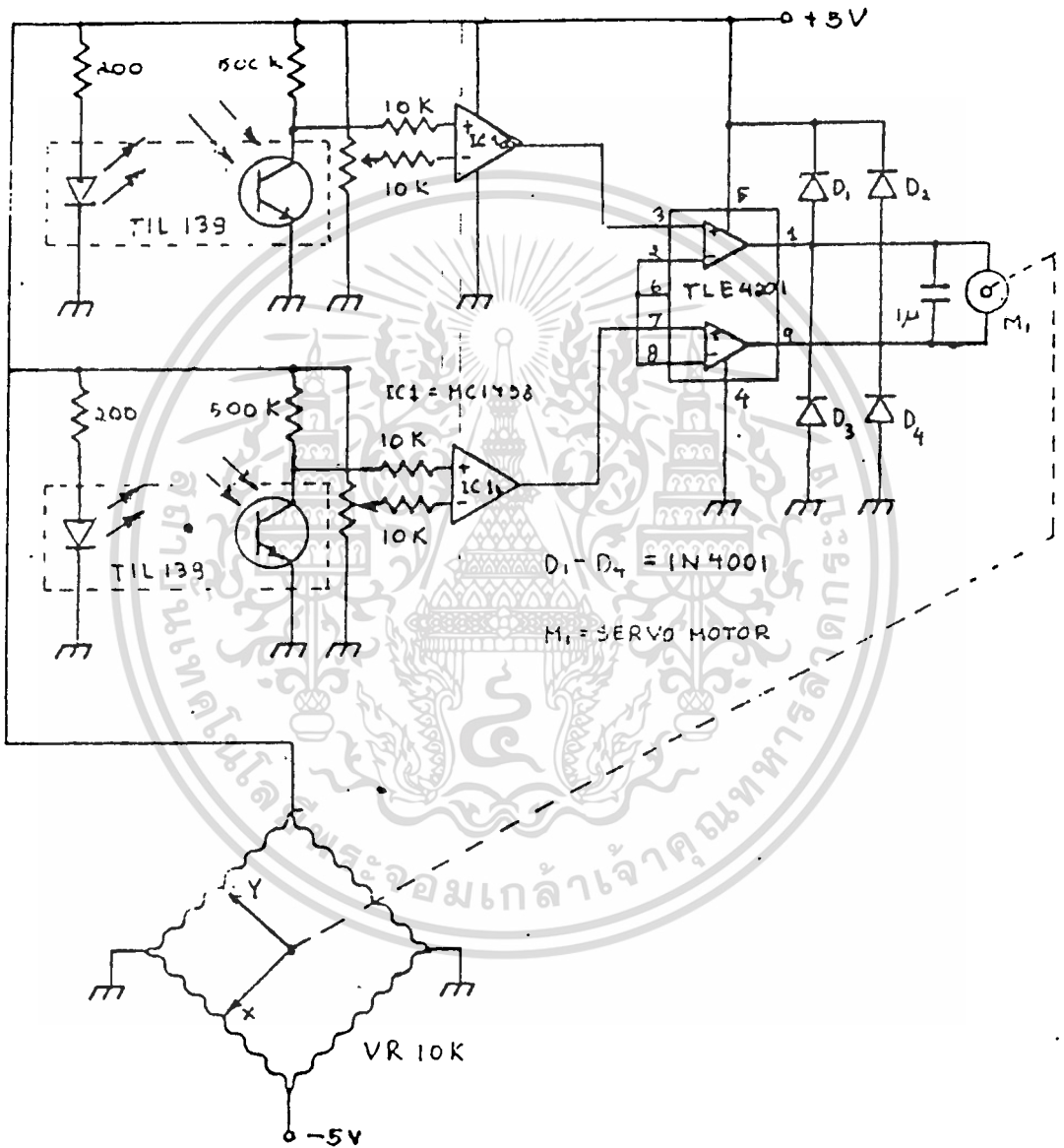
การทดลองให้หัวอ่านเคลื่อนตามลายเส้นที่มีรูปร่างเป็นลูกคลื่นไซน์ หัวอ่านสามารถเคลื่อน ติดตามลายเส้นได้ดีตามเส้นปะของรูปที่ 6 ผลการทดลองหัวอ่านสามารถตอบสนองติดตามลายเส้นที่มีรูป ลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งใด ๆ ได้ใกล้เคียง และถูกต้องดีมากภายใต้ความเร็วที่น้อยกว่า ไทม์คอน- สแตนต์ของระบบ แต่ถ้าหากให้หัวอ่านติดตามลายเส้นด้วยความเร็วมากกว่า ไทม์คอนสแตนต์ของระบบการ ติดตามลายเส้นจะหลุดออกกลายเป็นเส้นโค้งและเกิดการออสซิลเลตได้ นอกจากนั้นผลการทดลอง หัวอ่านนี้แบบมีออฟติคอลเซ็นเซอร์ 2 ชุดมีข้อจำกัดไม่สามารถติดตามลายเส้นที่เป็นมุมฉาก หรือมุมแหลม ได้ ปัญหาคือการใช้ออฟติคอลเซ็นเซอร์ 2 ชุดไม่สามารถจะดีเทคหรือรับรู้การหักมุมอย่างรวดเร็วของ ลายเส้นได้ เรากำลังพัฒนาเพิ่มออฟติคอลเซ็นเซอร์เป็น 4 ชุด จะทำให้การดีเทคการหักมุมอย่าง รวดเร็วของลายเส้นได้ดีขึ้น



รูปที่ 6 ผลตอบสนองของระบบหัวอ่านลายเส้นที่มีรูปร่างเป็นลูกคลื่นไซน์

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Berthold K.P. Horn, "Kinematics, Static and Dynamics of Two-Dimensional Manipulator" in Artificial Intelligence: An MIT Perspective, Winston and Brown, ed., MIT Press, Cambridge, MA (1979).
- [2] S.A. Davis and B.K. Ledgerwood, Electromechanical Components for Servomechanism, Prentic Hall 1970.
- [3] Carl Helmers, Robotics age, Hayden Book Co. 1983.



รูปที่ 4 วงจรสมบูรณระบบหัวบ้านหลายเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมความเร็วแบบสี่ควอดแรนท์ด้วยเฟสล็อกคูลูป

Phase-locked loop for Four Quadrants motor Speed Control systems(PFQSC)

นายมนตรี พรณรัตน์ *

รศ.ดร.โยธิน เปรมปราวน์รัชต์ **

บทคัดย่อ

ผลงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมความเร็วแบบเฟสล็อกคูลูปให้สามารถควบคุมความเร็วได้สี่ควอดแรนท์ ซึ่งเรียกว่าระบบควบคุมความเร็วสี่ควอดแรนท์ด้วยเฟสล็อกคูลูป(PFQSC) ความสำเร็จในการพัฒนาระบบควบคุมความเร็วนี้ อยู่ที่การออกแบบวงจรคอนโทรลลอจิกให้ทำงานร่วมกับดิจิทัลเฟส-ฟรีควเอนซีดีเท็คเตอร์(PFD) ได้อย่างเหมาะสม วงจรคอนโทรลลอจิกนี้เป็นส่วนทำให้ความสามารถในการคอนโทรลของPFDเพิ่มขึ้นอย่างมากและทำให้สามารถควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ได้ 4 ควอดแรนท์ การตอบสนองของความเร็วมอเตอร์ใน 4 ควอดแรนท์ของระบบควบคุมความเร็วแบบเฟสล็อกคูลูปนี้สามารถควบคุมได้โดยการแปรความถี่ของสัญญาณอินพุตอ้างอิง และคำสั่งควบคุมทิศทางหมุน ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองของความเร็วมอเตอร์ในควอดแรนท์ต่างๆของระบบควบคุมความเร็วนี้ ต่อคำสั่งอินพุตที่สถานะต่างๆด้วย

ABSTRACT

This research paper presents the developement of the phase-locked loop motor speed control systems having a four quadrants speed controlability which is called a phase-locked loop for four quadrant motor speed control systems(PFQSC). The successful attempt of this developed system is the control logic circuits which is designed to achieve good combination with the operating functional of the digital phase-frequency detector(PFD). This control logic circuit are greatly improved the controlability of PFD and to make it can controls the motor speed within a four quadrants. The dynamic behavior of the motor speed within a four quadrants of the PLL motor speed control can be controlled by varying the frequency of the reference signal input and the speed directional command. The experimental results of the dynamic response in difference quadrants of this speed control to the various condition of the input command are also presented.

* นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

วงจรเฟสล็อกคูลูป(PLL) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในระบบสื่อสารสำหรับการสังเคราะห์ความถี่และการดีโมดูเลทความถี่ [1][2]. การประยุกต์ใช้งานของPLLที่แพร่หลายมากอีกอย่างหนึ่งก็คือใช้ควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ ระบบควบคุมความเร็วด้วยเฟสล็อกคูลูป (PSC) เป็นระบบที่ประสบผลสำเร็จในการเรีคดูเลทความเร็วได้ดีและมีความเที่ยงตรงสูง[3] แม้ว่าระบบ psc มักจะได้รับการออกแบบให้ติดตามคำสั่งที่แปรไปตามเวลาได้

อย่างไรก็ตามระบบPSCทั่วไปก็ยังมีปัญหาบางประการอยู่ ปัญหาที่สำคัญอันหนึ่งของระบบPSCที่ใช้เฟสดีเท็คเตอร์ทั่วๆไปก็คือขีดจำกัดของช่วงควบคุมความเร็ว ในช่วงการสตาร์ททเมื่อความถี่เอาท์พุทของเอนโคดเดอร์มีค่าต่ำกว่าความถี่อ้างอิงมากๆ ความแตกต่างของทั้งสองความถี่มีมากทำให้ระบบไม่สามารถจะตอบสนองได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้มอเตอร์มีความเร็วตามที่ต้องการปัญหานี้แก้ไขได้โดยการเพิ่มวงจรช่วยสตาร์ททให้เข้าสู่ภาวะลือคอย่างถูกต้อง หรือด้วยการ ไปรแกรมให้สัญญาณคำสั่งค่อยๆเพิ่มความถี่อย่างช้าๆ

ปัญหาดังกล่าวถูกแก้ไขได้ด้วยดิจิตอลเฟส-ฟรี เควนซิติ์เท็คเตอร์(PFD)[4] ใช้เป็นตัวควบคุมความเร็วในระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยเฟสล็อกคูลูป ทำให้สามารถควบคุมความเร็วได้ในช่วงกว้างขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมความเร็วก็ถูกจำกัดอยู่เพียงควอดตแรนท์เดียวเท่านั้น

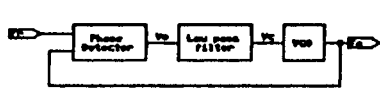
ความสำเร็จในการพัฒนาระบบควบคุมความเร็วนี้ อยู่ที่การออกแบบวงจรคอนโทรลลอจิกให้ทำงานร่วมกับดิจิตอลเฟส-ฟรี เควนซิติ์เท็คเตอร์(PFD) ได้อย่างเหมาะสม วงจรคอนโทรลลอจิกนี้เป็นส่วนทำให้ความสามารถในการคอนโทรลของPFDเพิ่มขึ้นอย่างมากและทำให้สามารถควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ได้ 4 ควอด-แรนท์ การตอบสนองของความเร็วมอเตอร์ใน 4 ควอดแรนท์ของระบบควบคุมความเร็วแบบเฟสล็อกคูลูปนี้สามารถควบคุมได้โดยการแปรความถี่ของสัญญาณอินพุทอ้างอิง และคำสั่งควบคุมทิศทางการหมุน ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองของความเร็วมอเตอร์ในควอดแรนท์ต่างๆของระบบควบคุมความเร็วนี้ต่อคำสั่งอินพุทที่สถานะต่างๆด้วย

2. ทฤษฎีเฟสล็อกคูลูป

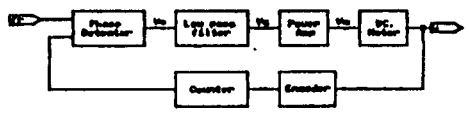
ระบบเฟสล็อกคูลูปมีวงจรตรวจสอบความต่างเฟสระหว่างสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณป้อนกลับ และให้เอาท์พุทโวลท์เดจที่เป็นฟังก์ชันกับความต่างเฟสและความถี่ แล้วนำเอาท์พุทโวลท์เดจป้อนเข้าวงจรผลิตความถี่(VCO) ความถี่ที่ได้นี้จะล็อกกับความถี่ของสัญญาณอ้างอิง

2.1 วงจรเฟสล็อกคูลูป(PLL) วงจรเฟสล็อกคูลูปแบบทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 1 มักจะใช้เป็น

วงจรสำหรับสังเคราะห์ความถี่หรือวงจรวิคคุมความถี่



รูปที่ 1. ระบบPLLแบบทั่วไป

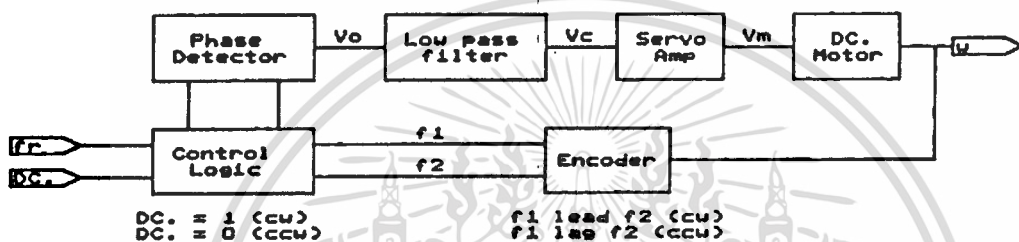


รูปที่ 2. PLLควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยเฟสล็อกแบบทั่วไป ระบบPLLที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์ตามรูปที่ 2. จะใช้มอเตอร์เป็นตัวผลิตความถี่ การควบคุมความเร็วด้วยระบบนี้ทำให้สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่มีความเที่ยงตรงสูงถึง $0.002\% [3]$ แต่ระบบยังไม่สามารถที่จะควบคุมความเร็วได้อย่างอิสระ ยังต้องมีวงจรช่วยในการ Start และ Stop และการควบคุมความเร็วยังสามารถควบคุมได้เพียง Quadrant เดียวเท่านั้น

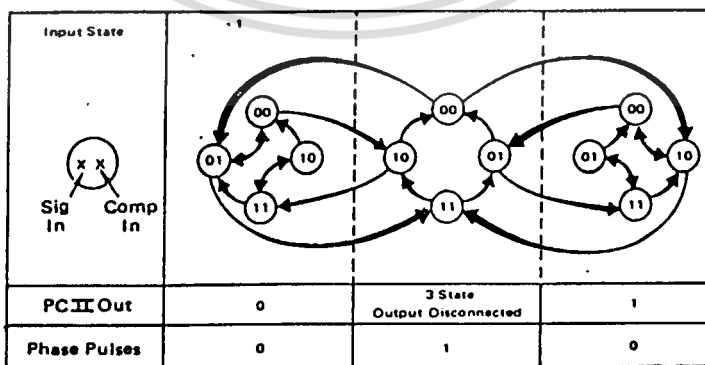
2.3 ระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ด้วยPLLที่สามารถควบคุมความเร็วได้ 4 Quadrant ระบบPLLที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ 4 Quadrant นี้ได้พัฒนามาเพื่อให้สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้อย่างอิสระไม่ต้องมีวงจรช่วยในการ Start และ Stop แล้วยังสามารถควบคุมความเร็วได้ทั้ง 4 Quadrant



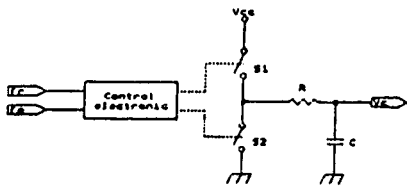
รูปที่ 3. PLL ควบคุมความเร็วDC.มอเตอร์ 4 Quadrant

2.3.1 การทำงานของเฟสล็อกแบบไอซี 4046 โหมดสอง

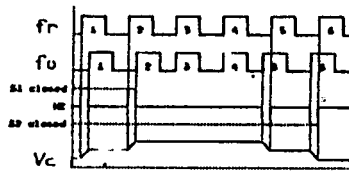
เฟสล็อกแบบ (PLL) ไอซี 4046 โหมดสอง เป็นไอซีที่ทำงานเฉพาะขอบขาขึ้น (rise edge) ของสัญญาณอินพุต ลำดับการทำงานจะเป็นไปตามรูปที่ 4. เอาท์พุทขา 13 ของไอซีจะเป็นแบบ 3 สถานะ (0, 1, HZ) สัญญาณอินพุทจะเข้ามาทางขา 14 และขา 3 ไอซีเฟสล็อกจะตรวจดูว่าขาไหนขึ้นก่อนจะทำงานเป็น Set และขาที่ขึ้นตามมาจะเป็น Reset เอาท์พุทขา 13 ของไอซีเฟสล็อกจะ Set ไปที่ 0 หรือ 1 ขึ้นอยู่กับขาที่ขึ้นก่อนคือ ถ้าขา 14 ขึ้นก่อนจะ Set ไปที่ 1 ถ้าขา 3 ขึ้นก่อนจะ Set ไปที่ 0 ขาที่ขึ้นตามมาจะเป็น Reset ไปที่สถานะอิมพีแดนซ์สูง (HZ) เสมอ



รูปที่ 4. ลำดับการทำงานเฟสล็อกแบบ (PLL) ไอซี 4046 โหมดสอง



รูปที่ 5. วงจรสมมุทธ์ของ PFD. ไอซี 4046 โหมดสอง



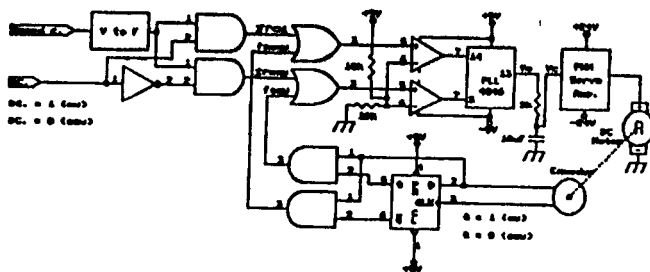
รูปที่ 6. ลुकคลื่นสัญญาณแสดงการทำงานทั้ง 3 สถานะของ PFD

รูปที่ 5. เป็นวงจรสมมุทธ์ของวงจรตรวจสอบความต่างเฟสและความถี่ (PFD) ไอซี 4046 ในวงจรจะมีสวิทช์อยู่สองตัวต่อกับ Vcc และกราวด์ มีหน้าที่ในการประจุและคายประจุไฟฟ้าของ Vc ลुकคลื่นสัญญาณในการทำงานของวงจรเป็นไปตามรูปที่ 6. f_r เป็นความถี่อ้างอิง f_o เป็นความถี่ที่ได้จาก Encoder ของมอเตอร์ ลुकคลื่นสัญญาณในรูปที่ 6. สองลुकคลื่นแรกเฟส f_o ล้าหลังเฟส f_r เท่ากับ θ_o สวิทช์ S_1 จะปิดวงจรเท่ากับ θ_o ทำให้ V_c สูงขึ้น ในลुकคลื่นที่ 3,4 เฟส f_o เท่ากับเฟส f_r สวิทช์ S_1 และ S_2 จะเปิดวงจร Output เป็นสถานะอิมพีแดนซ์สูง (HZ) ลुकคลื่น 5,6 เฟส f_o นำหน้าเฟส f_r สวิทช์ S_2 จะปิดวงจรเท่ากับ θ_o ทำให้ V_c ลดลง

ในการควบคุมความเร็ว DC MOTOR 4 quadrant ด้วยระบบ PLL จะต้องออกแบบระบบให้สามารถทำงานในสภาวะต่างๆดังต่อไปนี้คือ

1. ต้องสามารถหมุนจากสภาวะหยุดนิ่งจนถึงสภาวะ Frequency lock ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
2. ต้องสามารถหยุดหมุนจากสภาวะ Frequency lock (ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา)
3. ต้องสามารถกลับทิศทางการหมุนทันทีทันใดได้
4. Frequency lock range ไม่จำกัด แต่ไม่เกินความสามารถของมอเตอร์ (ในการออกแบบครั้งนี้สามารถทำได้ตั้งแต่ 7.5rpm ถึง 4500rpm)

เพื่อให้ระบบควบคุมความเร็วแบบ 4 ควอดแรนท์ด้วยเฟสล็อกสามารถทำงานได้ตามข้อกำหนดทั้ง 4 สภาวะดังกล่าวต้องออกแบบวงจร Control logic เพิ่มขึ้นมาให้เหมาะสมเพื่อช่วยให้ IC 4046 สามารถทำงานทั้ง 4 สภาวะได้ตามรูปที่ 7

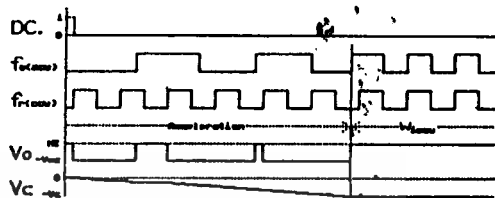
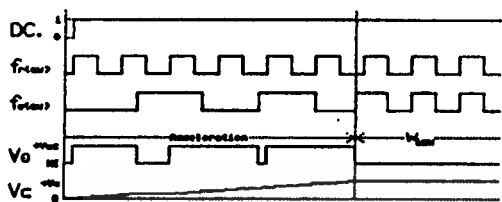


รูปที่ 7. วงจรเฟสล็อกสำหรับควบคุมความเร็ว DC MOTOR 4 quadrant

3. การทำงานของวงจรเฟสล็อกกลุ่มความถี่สี่ขั้วมอเตอร์ 4 Quadrant

การทำงานของวงจรในรูปที่ 7. ในสภาวะต่างๆดังต่อไปนี้

3.1 มอเตอร์สตาร์ทเข้าสู่ความเร็ว w_{icw} หรือ w_{iccw}



รูปที่ 8. แสดงลูกคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆของระบบ ในช่วงสตาร์ทความเร็ว w_{icw}

รูปที่ 9. แสดงลูกคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆของระบบ ในช่วงสตาร์ทความเร็ว w_{iccw}

3.1.1 มอเตอร์สตาร์ทเข้าสู่ความเร็ว w_{icw} สัญญาณควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

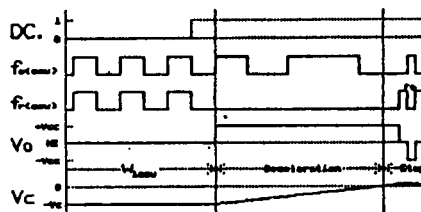
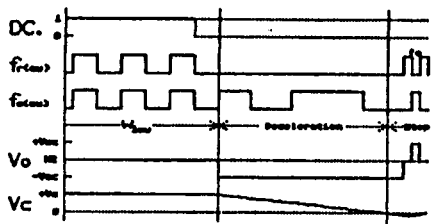
(DC.) จะมีสัญญาณเป็น 1 ทำให้ความถี่ f_r เข้าทางขา 14 และความถี่ f_o เข้าทางขา 3 การทำงานของวงจรจะเริ่มตั้งแต่สภาวะหยุดจนจนถึงความเร็ว w_{icw} แบ่งการทำงานเป็น 2 ช่วงคือ

1. ช่วงเพิ่มความเร็ว ช่วงนี้ $f_o < f_r$ V_c จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว
2. ช่วงความเร็ว w_{icw} ช่วงนี้ $f_o = f_r$ V_c จะมีค่าเป็นลบ

3.1.2 มอเตอร์สตาร์ทเข้าสู่ความเร็ว w_{iccw} DC. จะมีสัญญาณเป็น 0 ทำให้ความถี่ f_r

เข้าทางขา 3 และความถี่ f_o จะเข้าทางขา 14 การทำงานของวงจรจะคล้ายกับสตาร์ทความเร็ว w_{icw} แต่ V_c จะมีค่าเป็นลบ

3.2 มอเตอร์หยุดหมุนจากความเร็ว w_{icw} หรือ w_{iccw}



รูปที่ 10. แสดงลูกคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆของระบบ เมื่อมอเตอร์หยุดหมุนจากความเร็ว w_{icw}

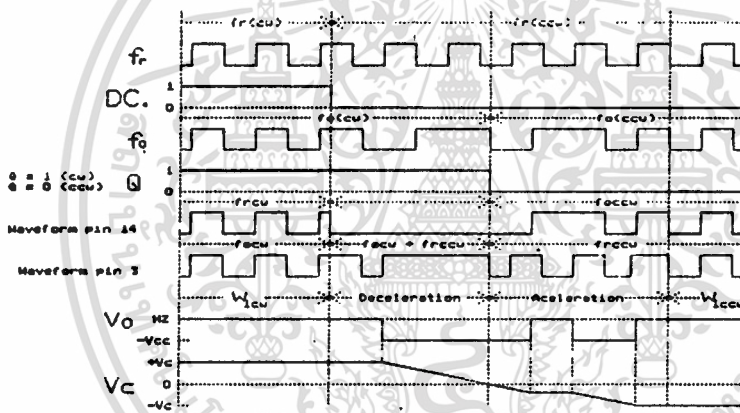
รูปที่ 11. แสดงลูกคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆของระบบ เมื่อมอเตอร์หยุดหมุนจากความเร็ว w_{iccw}

3.2.1 มอเตอร์หยุดหมุนจากความเร็ว w_{1cw} การทำงานของวงจรในสภาวะนี้สามารถแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ

1. ช่วงความเร็ว w_{1cw} เป็นช่วงก่อนที่มอเตอร์จะหยุดหมุน สัญญาณ DC.=1 f_r เข้าทางขา 14 และ f_o เข้าทางขา 3
2. ช่วงลดความเร็ว ความถี่ f_r ที่เข้าทางขา 14 จะลดลงเป็น 0 ทำให้ V_o มีค่าเป็น $-V_{cc}$ ระดับโวลเตจที่ V_c จะลดลงอย่างรวดเร็ว
3. ช่วงเข้าสู่สภาวะหยุดหมุน ในช่วงนี้ความถี่ f_o จะเข้าทางขา 14 และขา 3 โดยการสลับกันเข้าเนื่องจากการหยุดของมอเตอร์

3.2.2 มอเตอร์หยุดหมุนจากความเร็ว w_{1ccw} การทำงานคล้ายกับการหยุดหมุนจากความเร็ว w_{1cw}

3.3 มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนจากความเร็วเดิม w_{1cw} ไปเป็น w_{1ccw} หรือ w_{1ccw} ไปเป็น w_{1cw}



รูปที่ 12. แสดงลูกคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆของระบบจากความเร็ว w_{1cw} ถึงความเร็ว w_{1ccw}

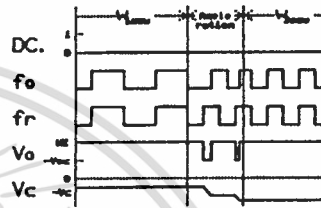
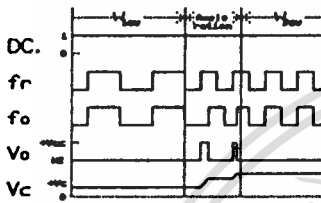
3.3.1 มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนจากความเร็ว w_{1cw} ไปเป็น w_{1ccw} แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 4 ช่วงคือ

1. ช่วงความเร็ว w_{1cw} เป็นช่วงเริ่มต้นของการทำงาน DC. เป็น 1 Q (เป็นทิศทางการหมุนของมอเตอร์เป็นสัญญาณขา Q ของ D ฟลิป-ฟลอป) มีสัญญาณเป็น 1 ความถี่ f_r จะเข้าขา 14 และความถี่ f_o จะเข้า 3
2. ช่วงลดความเร็ว DC. จะเป็น 0 แต่ Q ยังคงเป็น 1 เนื่องจากมอเตอร์ยังหมุนตามเข็มนาฬิกา ความถี่ที่ขา 14 จะเป็น 0 เพราะความถี่ f_r จะไม่เข้าขา 14 แต่จะมา OR กับความถี่ f_o เข้าขา 3 ช่วงนี้โวลเตจที่ V_c จะลดลงอย่างรวดเร็ว

3. ช่วงเพิ่มความเร็วหมุนทวนเข็มนาฬิกา ช่วงนี้ความถี่ f_r จะเข้าขา 3 และความถี่ f_o จะเข้าขา 14 (เมื่อ $Q=0$) ระดับโวลเตจที่ V_c จะมีค่าเป็นลบ
4. ช่วงความเร็ว w_{1ccw} $f_r=f_o$

3.3.2 มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนความเร็ว w_{1ccw} ไปเป็น w_{1cw} จะมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกัน

3.4 มอเตอร์เปลี่ยนความเร็วจาก w_{1cw} ไปเป็น w_{2cw} หรือจาก w_{1ccw} ไปเป็น w_{2ccw}



รูปที่ 13. แสดงลูกคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆเมื่อเปลี่ยนความเร็วจาก w_{1cw} ไปเป็น w_{2cw} รูปที่ 14. แสดงลูกคลื่นสัญญาณที่จุดต่างๆเมื่อเปลี่ยนความเร็วจาก w_{1ccw} ไปเป็น w_{2ccw}

3.4.1 เปลี่ยนความเร็วจาก w_{1cw} เป็น w_{2cw} สัญญาณ DC.=1 ความเร็วของมอเตอร์เดิมอยู่ที่ w_{1cw} , $f_r=f_o$ เมื่อเริ่มเปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์ $f_r > f_o$ ระดับโวลเตจ V_c จะเพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น w_{2cw} และ $f_r=f_o$

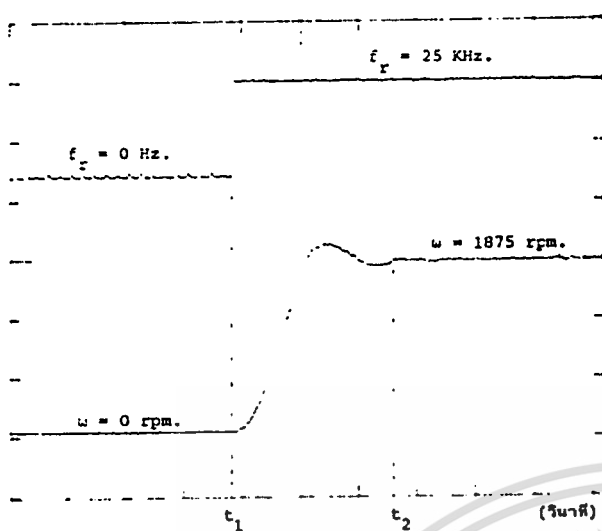
3.4.2 เปลี่ยนความเร็วจาก w_{1ccw} เป็น w_{2ccw} สัญญาณ DC.=0 ความเร็วของมอเตอร์เดิมอยู่ที่ w_{1ccw} , $f_r=f_o$ เมื่อเริ่มเปลี่ยนความเร็ว $f_r > f_o$ ระดับโวลเตจ V_c จะลดลง(ปกติ V_c จะมีค่าเป็นลบเมื่อหมุน ccw) ทำให้ความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น w_{2ccw} และ $f_r=f_o$

4. ผลการทดลอง

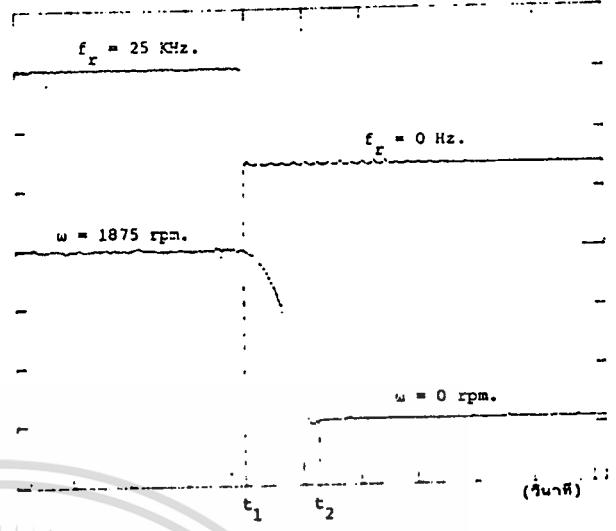
4.1 ผลตอบสนองของระบบ PFQSC ต่อสัญญาณคำสั่งอินพุตในควอดแรนท์ที่ 1 และ 3 การทดสอบผลตอบสนองของระบบ FQPSK ในควอดแรนท์ที่หนึ่งกระทำไดดังนี้ จากระบบ FQPSK ในรูปที่ 3 เราตั้งให้ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง f_r ไว้ที่ 25 kHz และตั้งให้สัญญาณคำสั่งควบคุมทิศทางหมุน (DC) เท่ากับ 1 เมื่อเวลา $t=t_1$ เราป้อน f_r และ DC ให้กับระบบ PFQSC ระบบจะให้ผลตอบสนองความเร็วของดีซีมอเตอร์เพิ่มขึ้นเข้าสู่ภาวะล็อคความเร็วคงที่ ($w_{cw}=1875$ rpm) ในควอดแรนท์ที่หนึ่งหรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 15 ในทำนองเดียวกันถ้าเราตั้งให้ $f_r=25$ kHz แต่ DC=0 และเมื่อเวลา $t=t_1$ เราป้อน f_r และ DC ให้กับระบบ FQPSK เราก็จะได้ผลตอบสนองความเร็วของดีซีมอเตอร์เพิ่มขึ้นเข้าสู่ภาวะล็อคด้วยความเร็วคงที่ ($w_{ccw}=1875$ rpm) ในควอดแรนท์ที่สามหรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการตอบสนองเหมือนนัทในรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงผลตอบสนองความเร็วของระบบ PFQSC ในควอตเทรนท์ที่หนึ่งและสามเมื่อ f_r สลับจากความถี่ 0Hz ไปเป็น 25kHz และ $\Delta t = t_2 - t_1 = 0.281$ วินาที (สเกลเวลาเท่ากับ 0.1วินาที/ช่อง)



รูปที่ 16 แสดงผลตอบสนองความเร็วของระบบ PFQSC ในควอตเทรนท์ที่สองและสี่ เมื่อ f_r สลับจากความถี่ 25kHz ไปเป็น 0Hz และ $\Delta t = t_2 - t_1 = 0.131$ วินาที (สเกลเวลาเท่ากับ 0.1วินาที/ช่อง)

4.2 ผลตอบสนองของระบบ PFQSC ต่อสัญญาณคำสั่งอินพุตในควอตเทรนท์ที่ 2 และ 4 การทดสอบผลตอบสนองของระบบ PFQSC ในควอตเทรนท์ที่สองกระทำได้นี้ จากระบบ PFQSC ในรูปที่ 3 ขณะที่ ดีซีมอเตอร์ลือคอยู่ที่ความเร็วคงที่ 1875rpm ($f_r = 25\text{kHz}$) ในควอตเทรนท์ที่หนึ่งหรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (DC=1) เมื่อเวลา $t = t_1$ เราสลับให้ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง f_r จากความถี่ 25kHz ไปเป็น 0Hz ความเร็วของดีซีมอเตอร์ (ω_{ccw}) จะลดลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 16 ในทำนองเดียวกัน ถ้าหากมอเตอร์ลือคอยู่ที่ความเร็วคงที่ 1875rpm ($f_r = 25\text{kHz}$) ในควอตเทรนท์ที่สามหรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (DC=0) เมื่อเวลา $t = t_1$ เราสลับความถี่ของสัญญาณอ้างอิง f_r จากความถี่ 25kHz ไปเป็น 0Hz ความเร็วของดีซีมอเตอร์ (ω_{ccw}) จะลดลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็วซึ่งจะมีลักษณะการตอบสนองเหมือนนัทในรูปที่ 16

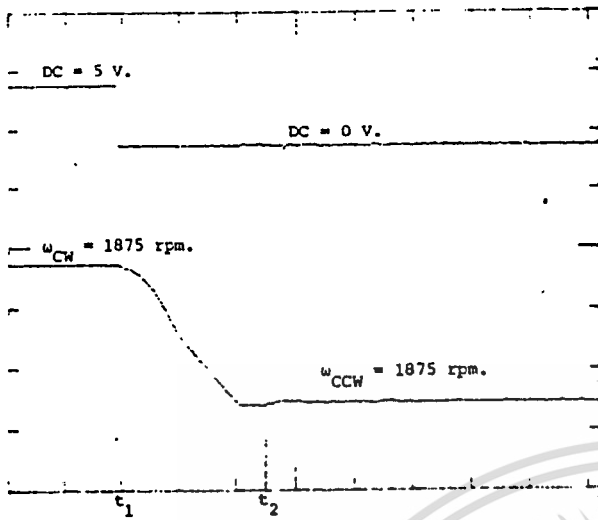
4.3 ผลตอบสนองของระบบ PFQSC ต่อคำสั่งควบคุมทิศทางการหมุน

ก. เมื่อเริ่มต้นมอเตอร์ลือคอยู่ที่ความเร็วคงที่ 1875rpm ($f_r = 25\text{kHz}$) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (ω_{ccw}) หรืออยู่ในควอตเทรนท์ที่หนึ่ง (DC=1) เมื่อเวลา $t = t_1$ เราสลับให้คำสั่งควบคุมทิศทางการหมุน DC=0 ความเร็วของดีซีมอเตอร์จะลดลงผ่านความเร็วศูนย์ ไปลือคในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ω_{ccw}) ที่ความเร็วเดิม 1875rpm และใช้เวลาในการกลับทิศทางการหมุนเท่ากับ 0.3 วินาทีดังแสดงในรูปที่ 17

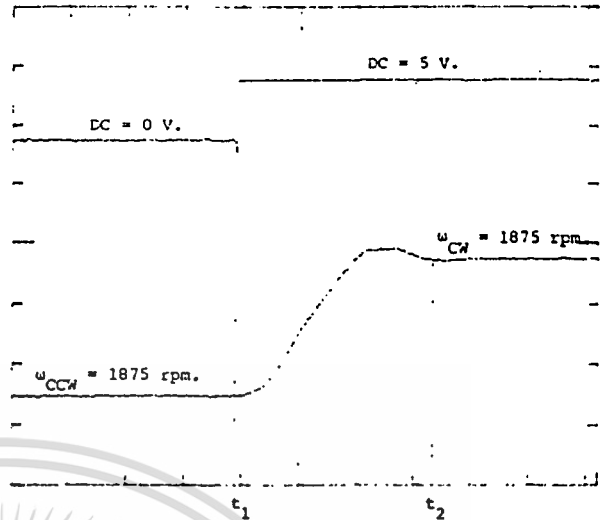
ข. เมื่อเริ่มต้นมอเตอร์ลือคอยู่ที่ความเร็วคงที่ 1875rpm ($f_r = 25\text{kHz}$) ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ω_{ccw}) หรืออยู่ในควอตเทรนท์ที่สาม (DC=0) เมื่อเวลา $t = t_1$ เราสลับให้คำสั่งควบคุมทิศทางการหมุน DC=1 ความเร็วของดีซีมอเตอร์จะลดลงผ่านความเร็วศูนย์ ไปลือคในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (ω_{ccw}) ที่ความเร็วเดิม 1875rpm และใช้เวลาในการกลับทิศทางการหมุนเท่ากับ 0.3 วินาทีดังแสดงในรูปที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เร็วเดิม 1875rpm และใช้เวลาในการกลับทิศทางการหมุนเท่ากับ 0.369 วินาทีดังแสดงในรูปที่ 18



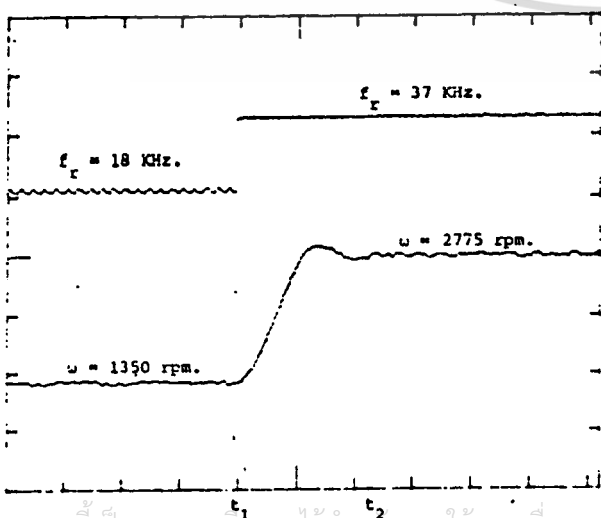
รูปที่ 17 แสดงผลตอบสนองความเร็วของระบบ PFQSC ต่อคำสั่งควบคุมทิศทางการหมุน(DC) ด้วยการสลับ DC จาก 1 ไปเป็น 0 และความเร็วของดีซีมอเตอร์จะตอบสนองจากความเร็วมอเตอร์เดิมเป็นทวนเข็มและ $\Delta t = t_2 - t_1 = 0.3$ วินาที (สเกลเวลา 0.1 วินาที/ช่อง)



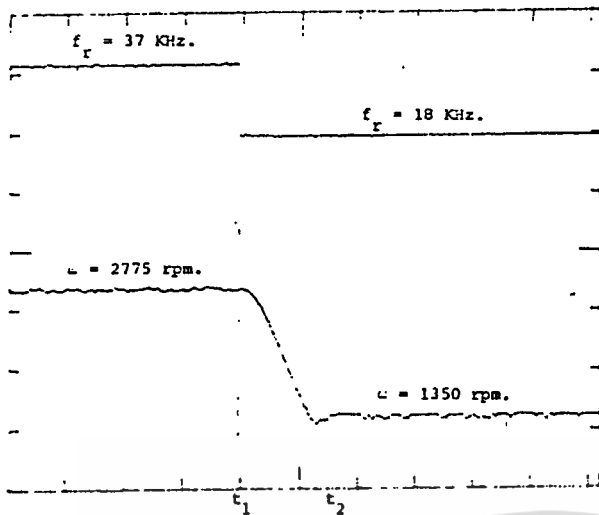
รูปที่ 18 แสดงผลตอบสนองความเร็วของระบบ PFQSC ต่อคำสั่งควบคุมทิศทางการหมุน(DC) ด้วยการสลับ DC จาก 0 ไปเป็น 1 และความเร็วของดีซีมอเตอร์จะตอบสนองจากความเร็วมอเตอร์เดิมเป็นตามเข็มและ $\Delta t = t_2 - t_1 = 0.369$ วินาที (สเกลเวลา 0.1 วินาที/ช่อง)

4.4 ผลตอบสนองของระบบ PFQSC ต่อสัญญาณคำสั่งเพิ่มหรือลดความเร็ว

ก. เมื่อเริ่มต้นมอเตอร์ล้อยู่ที่ความเร็วคงที่ 1350rpm ($f_r = 18\text{kHz}$) ส่วนสัญญาณ DC จะเป็น 1 หรือ 0 ก็ได้ เมื่อเวลา $t = t_1$ เราสลับให้ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง f_r จากความถี่ 18kHz ไปเป็น 37kHz ความเร็วของดีซีมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นและล้อยคงที่ที่ความเร็ว 2775rpm ดังแสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 19 แสดงผลตอบสนองความเร็วของระบบ PFQSC ต่อคำสั่งเพิ่มความเร็วและ $\Delta t = t_2 - t_1 = 0.24$ วินาที (สเกลเวลาเท่ากับ 0.1 วินาที/ช่อง)



รูปที่ 20 แสดงผลตอบสนองความเร็วของระบบ PFQSC ต่อคำสั่งลดความเร็วและ $\Delta t = t_2 - t_1 = 0.16$ วินาที (สเกลเวลาเท่ากับ 0.1 วินาที/ช่อง)

ข. เมื่อเริ่มต้นมอเตอร์ล้อยู่ที่ความเร็วคงที่ 2775rpm ($f_c = 37\text{kHz}$) ส่วนสัญญาณ DC จะเป็น 1 หรือ 0 ก็ได้ เมื่อเวลา $t = t_1$ เราสลับให้ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง f_c จากความถี่ 37kHz ไปเป็น 18kHz ความเร็วของมอเตอร์จะลดลงและล้อยู่ที่ความเร็ว 1350rpm ดังแสดงในรูปที่ 20

4.5 ผลตอบสนองของระบบ PFQSC ต่อการสลับไหลตอร์ค เริ่มต้นเราตั้งให้มอเตอร์ล้อยู่ที่ความเร็วคงที่ 1530rpm ด้วยการตั้งให้ $f_c = 20.4\text{kHz}$ ส่วนสัญญาณ DC จะเป็น 0 หรือ 1 ก็ได้ เมื่อเวลา $t = t_1$ เราสลับไหลตอร์คเข้าที่เฟลาของดีซีมอเตอร์ และเมื่อเวลา $t = t_2$ เราสลับไหลตอร์คออกเราจะได้ผลตอบสนองของระบบ PFQSC ดังแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 แสดงผลตอบสนองของระบบ PFQSC ต่อการสลับไหลตอร์ค รูปบนเป็นความเร็วของมอเตอร์ รูปล่างเป็นกระแสไหลตอร์ค (สเกลเวลา 0.1 วินาที/ช่อง)

5. บทสรุป

การที่เราสามารถพัฒนาระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้เฟสล็อกเป็นตัวแทนควบคุมให้สามารถควบคุมความเร็วได้ สักวอตแรนท์นับว่าเป็นผลสำเร็จที่น่าพอใจ เพราะระบบPFQSC สามารถควบคุม velocity tracking ของระบบต่อการแปรความถี่ไป ของสัญญาณอินพุท ได้ทั้งสัควอตแรนท์อย่างเที่ยงตรง และสามารถสเตรบความเร็วไปลือกที่ความเร็วใดๆ ในควอตแรนท์ที่ หนึ่งและที่ สามได้อย่างเที่ยงตรงเช่นกัน นอกจากนี้การควบคุมการ brake ความเร็วของมอเตอร์ในควอตแรนท์ที่ สอง และ สี่ กระทำได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] F.M Gardner, Phaselocked Techniques, New York:John Wiley & Sons,Inc,1966
- [2] A. Blanchard, Phase-locked loop :Application to coherent receiver design, John Wiley & Sons,Inc,1976
- [3] A.M.,Moore, Phase-locked loop for motor-speed control ", IEEE Spectrum, 1973,Vol. 10,pp.61-67
- [4] J.Tal and C.K.Rushforth,"Speed-Control Improvement by Phase-Locked Loops-Modeling Analysis and Design" Proceedings, Joint Automatic control Conference,1977

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายมนตรี พรหมรัตน์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ.2503
สถานที่เกิด	จังหวัดนครสวรรค์
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2529
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	(1) เรื่อง "การพัฒนาหัวอ่านติดตามลายเส้น" (2) เรื่อง "ระบบควบคุมความเร็วแบบสี่ควอดแรนต์ด้วยเฟสล็อกคัลป์"
รางวัลหรือทุนที่เคยได้รับ	ทุนอุดหนุนการวิจัยจาก ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2531 และ 2532