การออกแบบและสร้างตัวคอนโทรลเลอร์ uP 8085 สำหรับระบบควบคุมตำแหน่ง

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROLLER BY Up 8085 FOR POSITION CONTROL SYSTEM

นาย อธิชาติ มุจนะมลทิล

MR. ATICHARD MUJANAMONTIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2535

การออกแบบและสร้างตัวคอนโทรลเลอร์ด้วย uP 8085 สำหรับระบบควบคุมตำแหน่ง

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROLLER BY uP 8085 FOR POSITION CONTROL SYSTEM

นาย อธิชาติ มุจนะมลทิล

MR. ATICHARD MUJANAMONTIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROLLER BY uP 8085 FOR POSITION CONTROL SYSTEM

MR. ATICHARD MUJANAMONTIN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF ENGINEER IN ELECTRICAL ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างตัวคอนโทรลเลอร์ด้วย μP 8085 สำหรับระบบควบคุมตำแหน่ง
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROLLER BY μP 8085 FOR POSITION CONTROL SYSTEM

ชื่อนักศึกษา นายอธิชาติ มุจนะมลทิล **รหัสประจำตัว** 32620034
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์	
ผศ.ดร. จงกล งามวิวิทย์	
รศ.ดร. วิริยะ พิเชษฐจำเริญ	
ดร. บุญธีร์ เครือตราชู	
ผศ. พิพัฒน์ เลาหสงคราม	

ค่าระดับคะแนนที่เป็นเอกฉันท์จากคณะกรรมการสอบ GOOD
วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 26 เมษายน 2536 **เวลา** 10.00 น. ถึงเวลา 11.00 น.
สถานที่สอบ ห้อง (A-307) คณะวิศวกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(นายนิส สังวรศิลป์)
คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ 31 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2536

<u>หมายเหตุ</u> การวัดผลวิทยานิพนธ์ให้ใช้ค่าระดับคะแนนดังนี้

ค่าระดับคะแนน	ผลการศึกษา
O	Outstanding (ดีเยี่ยม)
G	Good (ดี)
P	Pass (ผ่าน)
F	Fail (ไม่ผ่าน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างตัวคอนโทรลเลอร์ด้วย uP 8085 สำหรับระบบควบคุมตำแหน่ง DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROLLER BY uP 8085 FOR POSITION CONTROL SYSTEM
นักศึกษา	นาย อธิชาติ มุจนะมลทิล
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2536

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างตัวควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 เพื่อใช้ควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง การออกแบบตัวควบคุมกระทำด้วยเทคนิคของผลตอบสนองทางความถี่โบดไดอะแกรมเพื่อใช้เป็นพื้นฐาน สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบ PID และ PD แล้วนำค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นมาใช้ในการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของตัวควบคุมแบบ PID และ PD และเพื่อยืนยันเสถียรภาพของระบบ จากนั้นจึงสร้างตัวควบคุมดังกล่าวด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 และพัฒนาซอฟแวร์ด้วยภาษาแอสแซมบลี้ที่สามารถเลือกโหมดตัวควบคุมเป็น PID หรือ PD ได้ จากนั้นเราทำการปรับแต่งตัวควบคุมด้วยวิธีของไซเกอร์-นิโคลอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ระบบทำงานได้ดีทั้งในสถาวะมีโหลดและไม่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THESIS TITLE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROLLER BY uP 8085 FOR POSITION CONTROL SYSTEM

STUDY MR. ATICHARD MUJANAMONTIN

THESIS ADVISOR ASSOC. PROF. DR. YOTHIN PREMPRANEERACH

LEVEL OF STUDY MASTER OF ENGINEER IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT ENGINEER KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC 1993

Abstract

This thesis is to study of the design and implementation of controller by microprocessor 8085 for position control of dc motors. The controller is designed with based on the frequency response techniques. Bode diagram for primarinary finding the appropiated parameters of the PID and PD controller. Then the detained parameters were used for computer simulation of position control of DC motors. By using computer simulation the performance of PID and PD controller can be compared and can be comfirmed the stability of their system. Then the controller is implemented by microprocessor 8085 and the software assembly is developed for PID and PD control mode which can be optionally selected. For good operation of the position control system with load or no load,the controller is find turned by Ziegler-Nichols techniques.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย (III)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (IV)

สารบัญ (V)

สารบัญรูป (VII)

สารบัญตาราง (IX)

บทที่ 1 บทนำ (1)

1.1 คำนำ (1)

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย (1)

1.3 ขอบเขตรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ (2)

บทที่ 2 คุณสมบัติของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (4)

2.1 บทนำ (4)

2.2 การคำนวณคุณสมบัติสแตติค (5)

2.3 การแปลงค่าฟังก์ชั่นดีซีมอเตอร์จากวงจรทางไดนามิกส์ (12)

บทที่ 3 การวิเคราะห์ทฤษฎีการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ (19)

3.1 บทนำ (19)

3.2 การวิเคราะห์หาตำแหน่งหยุดดีซีมอเตอร์ (19)

3.3 การวิเคราะห์หาตัวควบคุม (23)

3.3.1 โหมดควบคุมปร็อปพอร์ชั่นนัล (24)

3.3.2 โหมดควบคุมอินติกรัล (25)

3.3.3 โหมดควบคุมดิริเวทีฟ (27)

3.3.4 โหมดในส่วนการควบคุมความเร็วมอเตอร์ (29)

3.3.5 โหมดในส่วนการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ (30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์หาส่วนเพาเวอร์แอมป์ปลิไฟล์ (32)

3.5 การวิเคราะห์ในส่วนของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (33)

3.6 การวิเคราะห์ตัววัดความเร็วรอบ (35)

3.7 การวิเคราะห์วงจรการป้อนกลับกระแส (35)

3.8 การวิเคราะห์ระบบการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ที่สมบูรณ์ (37)

3.8.1 การวิเคราะห์ระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ (37)

3.9 การจำลองรูปแบบระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ (40)

3.9.1 การจำลองแบบข้อมูลที่ใช้ในระบบตัวควบคุม (42)

3.9.2 การจำลองแบบข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ (46)

3.9.3 การจำลองแบบข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ (50)

3.9.3.1 ตัวควบคุมปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ (PID) (50)

3.9.3.2 ตัวควบคุมปรื๊อปพอร์ชั่นนัลดิริเวทีฟ (PD) (54)

บทที่ 4 ระบบชุดควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ (59)

4.1 บทนำ (59)

4.2 ส่วนประกอบของชุดควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ (59)

4.3 การออกแบบวงจรการแปลงดิจิตอลเป็นอานาลอก (60)

4.4 การออกแบบวงจรระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ (61)

4.5 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณความถี่ (62)

4.6 การออกแบบวงจรชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ (65)

4.7 การออกแบบวงจรสวิทช์ชิ่งเซอร์โวแอมป์ปลิไฟล์ (67)

4.8 การออกแบบวงจรควบคุมทิศทางการป้อนกลับ (67)

4.8.1 ทิศทางการป้อนกลับกระแสเซอร์โวมอเตอร์ (68)

4.8.2 ทิศทางการป้อนกลับทาโคเจนเนอเรเตอร์ (68)

4.8.3 ทิศทางการป้อนกลับพัลส์เจนเนอเรเตอร์ (70)

4.9 การออกแบบวงจรการวัดตำแหน่งมอเตอร์ (70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 โปรแกรมชุดควบคุมการทำงาน (73)

5.1 บทนำ (73)

5.2 การออกแบบชุดควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ในส่วนของไมโครโปรเซสเซอร์ (76)

5.3 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ (76)

5.4 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมทิศทางมอเตอร์ (77)

5.5 โปรแกรมการควบคุมภายในระบบปรือปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ (79)

5.5.1 โหมดปรือปพอร์ชั่นนัล (79)

5.5.2 โหมดอินติกรัล (82)

5.5.3 โหมดปรือปพอร์ชั่นนัลอินติกรัล (83)

5.5.4 โหมดดิริเวทีฟ (83)

5.5.5 โหมดปรือปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ (84)

บทที่ 6 ผลการทดลอง (86)

6.1 บทนำ (86)

6.2 ผลการทดลองที่ได้จากการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PID และ PD (87)

6.2.1 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PID แบบที่ 1 (89)

6.2.2 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PID แบบที่ 2 (95)

6.2.3 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PD (101)

6.5 บทสรุป (108)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลย์ของดีซีมอเตอร์ในลักษณะสแตติค (5)

รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลย์สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไดนามิกส์ (13)

รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับการแปลงฟังก์ชั่นมอเตอร์และวงจรไฟฟ้า (16)

รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองต่อแรงดันสเตปที่อัตราการแด้มพ์ที่ค่าต่างๆ (18)

รูปที่ 3.1 โปรไฟล์ความเร็วในการควบคุมตำแหน่ง (20)

รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ω อัตราการลดความเร็ว β ตำแหน่งค่าผิดพลาดq (21)

รูปที่ 3.3 ตัวควบคุมโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัล (24)

รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบปรื๊อปพอร์ชั่นนัล (25)

รูปที่ 3.5 ตัวควบคุมโหมดอินติกรัล (26)

รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบอินติกรัล (27)

รูปที่ 3.7 ตัวควบคุมโหมดดิริเวทีฟ (28)

รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบดิริเวทีฟ (28)

รูปที่ 3.9 ตัวควบคุมโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัล (29)

รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วเมื่อตัวควบคุมเป็น PI (30)

รูปที่ 3.11 ตัวควบคุมโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ (31)

รูปที่ 3.12 ผลตอบสนองของระบบควบคุมตำแหน่งเมื่อตัวควบคุมเป็น PID (31)

รูปที่ 3.13 สัญญาณการควบคุมรูปคลื่นพัลส์วิดมอดส์ในช่วงการสวิทช์ (32)

รูปที่ 3.14 วงจรสมบูรณ์ของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (33)

รูปที่ 3.15 บล็อคไดอะแกรมของลูปการป้อนกลับกระแส (36)

รูปที่ 3.16 บล็อคไดอะแกรมของระบบเซอร์โวเพื่อการควบคุมตำแหน่งหมุนมอเตอร์ (38)

รูปที่ 3.17 บล็อคไดอะแกรมของระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยลูปการป้อนกลับของตำแหน่ง ลูปการป้อนกลับของความเร็วและลูปการป้อนกลับของกระแส (41)

รูปที่ 3.18 โบดพล็อต (เกน) ของระบบจากสมการที่ 3.40 (44)

รูปที่ 3.19 โบดพล็อต (เฟส) ของระบบจากสมการที่ 3.40 (44)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20 ผลตอบสนองการจำลองระบบภายในส่วนของมอเตอร์ จากสมการที่ 3.41 (45)
รูปที่ 3.21 โบดพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.43 (48)
รูปที่ 3.22 โบดพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.43 (48)
รูปที่ 3.23 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์
ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.44 (49)
รูปที่ 3.24 โบดพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.46 (52)
รูปที่ 3.25 โบดพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.46 (52)
รูปที่ 3.26 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์
ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.47 (54)
รูปที่ 3.27 โบดพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.49 (56)
รูปที่ 3.28 โบดพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.49 (56)
รูปที่ 3.29 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์
ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.50 (58)

รูปที่ 4.1 บล็อคไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งของดีซีมอเตอร์ซึ่งมี uP เป็นตัวควบคุม (60)
รูปที่ 4.2 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอานาลอกที่ให้เอาท์พุทเป็นได้ทั้งโวลต์เตจบวกและลบ (61)
รูปที่ 4.3 วงจรตัวควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์แบบ PI (63)
รูปที่ 4.4 วงจรสร้างลูกคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อใช้สร้างสัญญาณ PWM (64)
รูปที่ 4.5 วงจรชุดขับดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (66)
รูปที่ 4.6 วงจรสวิทช์ชิ่งเซอร์โวแอมป์ปลิไฟล์ (67)
รูปที่ 4.7 วงจรแรงดันการป้อนกลับทาโคเจนเนอเรเตอร์ (68)
รูปที่ 4.8 วงจรการป้อนกลับทิศทางของกระแสดีซีมอเตอร์ (69)
รูปที่ 4.9 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ (70)
รูปที่ 4.10 วงจรวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทเป็นความถี่มาจาก
สัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ (72)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PID และ PD (74)
รูปที่ 5.2 โฟร์ชาร์ต์โปรแกรมการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ (77)
รูปที่ 5.3 โฟร์ชาร์ต์โปรแกรมการควบคุมทิศทางมอเตอร์ (78)
รูปที่ 5.4 โฟร์ชาร์ต์โปรแกรมการควบคุมตำแหน่งแบบปรีอปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ (81)

รูปที่ 6.1 วงจรสร้างสัญญาณการนับข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งมอเตอร์ (87)
รูปที่ 6.2 การควบคุมตำแหน่ง θ_1=240° ไม่ต่อโหลด K_p=32.5 K_i=99 K_d=1 (90)
รูปที่ 6.3 การควบคุมตำแหน่ง θ_1=240° ต่อโหลด Open K_p=32.5 K_i=99 K_d=1 (90)
รูปที่ 6.4 การควบคุมตำแหน่ง θ_1=240° ต่อโหลด Close K_p=32.5 K_i=99 K_d=1 (91)
รูปที่ 6.5 การควบคุมตำแหน่ง θ_2=360° ไม่ต่อโหลด K_p=32.5 K_i=99 K_d=1 (92)
รูปที่ 6.6 การควบคุมตำแหน่ง θ_2=360° ต่อโหลด Open K_p=32.5 K_i=99 K_d=1 (92)
รูปที่ 6.7 การควบคุมตำแหน่ง θ_2=360° ต่อโหลด Close K_p=32.5 K_i=99 K_d=1 (93)
รูปที่ 6.8 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=450° ไม่ต่อโหลด K_p=32.5 K_i=99 K_d=1 (94)
รูปที่ 6.9 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=450° ต่อโหลด Open K_p=32.5 K_i=99 K_d=1 (94)
รูปที่ 6.10 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=450° ต่อโหลด Close K_p=32.5 K_i=99 K_d=1 (95)
รูปที่ 6.11 การควบคุมตำแหน่ง θ_1=210° ไม่ต่อโหลด K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5 (96)
รูปที่ 6.12 การควบคุมตำแหน่ง θ_1=210° ต่อโหลด Open K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5 (96)
รูปที่ 6.13 การควบคุมตำแหน่ง θ_1=210° ต่อโหลด Close K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5 (97)
รูปที่ 6.14 การควบคุมตำแหน่ง θ_2=320° ไม่ต่อโหลด K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5 (98)
รูปที่ 6.15 การควบคุมตำแหน่ง θ_2=320° ต่อโหลด Open K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5 (98)
รูปที่ 6.16 การควบคุมตำแหน่ง θ_2=320° ต่อโหลด Close K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5 (99)
รูปที่ 6.17 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=460° ไม่ต่อโหลด K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5 (100)
รูปที่ 6.18 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=460° ต่อโหลด Open K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5 (100)
รูปที่ 6.19 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=460° ต่อโหลด Close K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5 (101)
รูปที่ 6.20 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=410° ไม่ต่อโหลด K_p=125 K_d=2.5 (102)
รูปที่ 6.21 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=410° ต่อโหลดแบบ Open K_p=125 K_d=2.5 (102)
รูปที่ 6.22 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=410° ต่อโหลด Close K_p=125 K_d=2.5 (103)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สรุปผลลัพธ์ทางเพาเวอร์อินพุทและเอาท์พุท (12)

ตารางที่ 2.2 ตารางตัวตานทานคอยล์และคาพาซิเตอร์ (15)

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 1 (105)

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 2 (106)

ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 1 และ PD ที่มุม θ_s (107)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ (115)

เอกสารอ้างอิง (116)

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเกนปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ (118)

ภาคผนวก ข วิธีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งแบบ PID และ PD โดยวิธีการของ Zigler-Nichols (139)

ภาคผนวก ค โปรแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ (147)

ภาคผนวก ง ขนาดพิกัดมอเตอร์ (212)

ภาคผนวก จ ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาปริญญาโท ที่ได้รับการเผยแพร่ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน ครั้งที่ 12 พ.ศ. 2533 ณ.มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ (215)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำนำ

ปัจจุบันมอเตอร์กระแสตรงเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งในระบบขับเคลื่อนต่างๆ ในวงการอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างกว้างขวาง ส่วนมากดีซีมอเตอร์เป็นพลังงานกลที่สำคัญในระบบการควบคุมเกลือบทุกชนิดในปัจจุบันจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ภายในรถยนต์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ หุ่นยนต์ เครื่องวัดคุมต่างๆ ตลอดจนถึงเครื่องจักรกลที่ทำงานโดยอัตโนมัติแทบทุกชนิด มากกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ไฟฟ้าที่ผลิตได้ในประเทศอุตสาหกรรมถูกนำไปใช้ให้กับระบบการขับเคลื่อนทางไฟฟ้า (Electrical drive) เพื่อแปลงเป็นพลังงานกล และเป็นที่นิยมในการใช้ระบบการขับเคลื่อนที่สามารถควบคุมได้กับโหลดทางกลที่แปรเปลี่ยนได้ ที่มีทั้งระบบการขับเคลื่อนที่เป็นทั้งดีซี และ เอซี อย่างไรก็ตามการพัฒนาเพื่อศึกษาค้นคว้าและวิจัยทางด้านเทคโนโลยีระบบการขับเคลื่อนทางไฟฟ้า ในประเทศไทยยังมีอยู่น้อยไม่ว่าทั้งทางด้านเอซี หรือ ดีซีสำหรับระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบทำงานได้สี่ควอดแรนท์ โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้เลือกวิธีศึกษาวิจัยและทดลองสร้างระบบควบคุมตำแหน่งที่ใช้กับดีซีมอเตอร์ขนาด 20 V : 3.4 A : 68 W ที่ความเร็ว 3000 รอบ โดยเราจะกล่าวถึงระบบที่ส่วนควบคุมการทำงานทั้งเป็นแบบดีจิตอลและแบบอนาลอก และรวมทั้งโครงสร้างวงจรอิเล็กทรอนิคส์กำลังของระบบที่ใช้ในการวิจัยทดลองนี้ให้สมรรถนะความคล่องตัวที่ดี อีกทั้งระบบที่ยังมีความเหมาะสมพร้อมที่จะได้รับการพัฒนาใช้กับระบบควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ชนิดอื่นต่อไปได้โดยง่าย เช่น ระบบเซอร์โวทั่ว ๆ ไป

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการอธิบายถึงวิธีการควบคุมดีซีมอเตอร์แบบต่างๆ ที่ใช้ในระบบควบคุมความเร็ว,ตำแหน่ง,แรงบิดของโหลด และการนำมาประยุกต์ใช้งานต่างๆ ที่ได้รวบรวมขึ้นทั้งในระบบควบคุมความเร็วและการควบคุมตำแหน่ง โดยการควบคุมแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีด้วยกันหลายแบบ คือ การควบคุมแบบ PI,PD หรือ PID ก็เป็นอีกแบบหนึ่งที่มีการนิยมใช้กันอยู่อย่างกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขวางในงานอุตสาหกรรมในวิทยานิพนธ์เล่มนี้เรามีการนำเสนอวิธีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ พร้อมทั้งในส่วนที่มีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่จะใช้ตัวควบคุมอนาลอกแบบ PI ร่วมกับส่วนขับเคลื่อนเป็นแบบ PWM เพื่อศึกษา

1) ศึกษาวิธีการออกแบบตัวควบคุมระบบการควบคุมความเร็วและตำแหน่งด้วยวิธีโบดไดอะแกรม
2) ศึกษาระบบการควบคุมความเร็วโดยวิธีการจำลองระบบเปรียบเทียบกับระบบจริง
3) ศึกษาระบบการควบคุมตำแหน่งโดยวิธีการจำลองระบบเปรียบเทียบกับระบบจริง
4) ศึกษาตัวดิจิตอลตัวควบคุมแบบ PD และ PID
5) เปรียบเทียบการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งเป็นตัวควบคุมเป็น PD และ PID
6) ศึกษาตัวอนาลอกตัวควบคุมแบบ PI

1.3 ขอบเขตรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในบทที่ 1 เป็นบทนำจะอธิบายถึงวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้และเนื้อหาคร่าว ๆ ของแต่ละบทในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ในบทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงคุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์ในเทอมลักษณะทางสแตติคและไดนามิกส์ โดยที่ลักษณะในทางสแตติคได้แสดงค่าในเทอมของทอร์ค ประสิทธิภาพ กระแส ฯลฯ ส่วนในลักษณะทางไดนามิกส์เป็นความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านี้ในทางปฏิบัติ พร้อมทั้งนำค่าเหล่านี้ที่ได้มาแปลงค่าฟังก์ชั่นจากการประมาณค่าของตัวแปรที่รวมเอาคุณสมบัติไดนามิกส์ และสุดท้ายเราจะดูปัญหาที่เกี่ยวข้องกับโหลดของมอเตอร์

ในบทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงระบบที่ใช้ในสมการดิฟเฟอร์เรลเชียล ในส่วนที่เป็นพื้นฐานภายในระบบการควบคุมทางคณิตศาสตร์ ทั้งในระบบควบคุมตำแหน่งและระบบ PID โดยในแต่ละระบบนั้นๆ จะถูกแยกนำมาพิจารณาทั้งในส่วนประกอบของปรอปอร์ชั่นนัลอินติกรัล และในส่วนประกอบดิริเวทีฟโดยตอบสนองกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด จากนั้นเราจะนำเข้าไปสู่ในส่วนของ สมการของการคำนวณหาค่าทางสัญญาณ PWM อัตราการขยายเกนพร้อมทั้งค่าตัวแปรทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ที่เราจะนำค่าเหล่านี้เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ มาทำการจำลองทางซ๊อฟแวร์จากโปรแกรมการซีมูเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทที่ 4 บทนี้เราจะขอกล่าวถึงส่วนผลการทดลองในส่วนการควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ ที่มีการพัฒนาการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PI ที่ใช้วงจรสัญญาณการควบคุมแบบ PWM คอนเวอร์เตอร์ (Pulse Width Modulation Converter) รวมทั้งในส่วนของที่ใช้สร้างวงจรคอมพาเรอร์เตอร์ที่จะนำเข้าไปสู่วงจรชุดขับเบสที่ใช้ในการสร้างชุดเซอร์โวแอมป์แบบ full-bridge ที่ใช้ควบคุมได้ทั้งตำแหน่งและทิศทางแบบสี่ควอดแรนท์ รวมทั้งในวงจรที่มีการป้อนกลับทั้ง 3 ส่วน ทั้งในวงจรการป้อนกลับกระแส วงจรการป้อนกลับความเร็ว วงจรการป้อนกลับในส่วนของตำแหน่ง และในส่วนสุดท้ายจะเป็นการสร้างวงจรหาตำแหน่งมอเตอร์ โดยเรานำสัญญาณที่ได้จากส่วนของพัลส์เจนเนอเรเตอร์ผ่านวงจรการนับเข้าสู่วงจร D/A ขนาด 16 บิทที่สร้างขึ้นมาเอง เป็นการวัดค่าที่ได้จากจากตำแหน่งต่างๆที่มดเตอร์หยุดในช่วงตำแหน่งต่างๆ ซึ่งความสำเร็จในการพัฒนาการควบคุมตำแหน่งนี้ขึ้นอยู่ที่การออกแบบซ็อฟแวร์ระบบ PID ที่เราใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการตั้งค่าเกน จะให้ตำแหน่งหยุดได้อย่างเที่ยงตรงและทิศทางของดีซีมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น (รายละเอียดจะขอกล่าวไว้ในบทที่ 5)

ในบทที่ 5 เป็นการกล่าวถึงการออกแบบระบบไมโครโปรเซสเซอร์ มีประโยชน์มากในการพัฒนาระบบต่างๆ ในบทนี้เราจะขอกล่าวถึงคุณสมบัติของไมโครโปรเซสเซอร์ เรานำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ภายในระบบ PID ที่มีความอ่อนตัวง่ายต่อการแก้ไขระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์โดยที่เราไม่ต้องไปยุ่งเกี่ยวกับระบบโครงสร้างภายในฮาร์ดแวร์แต่อย่างใด

บทที่ 6 เป็นการกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองจริง โดยเราจะมีการปรับค่าเกนต่างๆ ภายในระบบที่ได้จากการทดลองจริง โดยเรานำสัญญาณที่ได้จากส่วนของพัลส์เจนเนอเรเตอร์ผ่านวงจรการนับเข้าสู่วงจร D/A ขนาด 16 บิทที่สร้างขึ้นมาเอง เป็นการวัดค่าที่ได้จากจากตำแหน่งต่างๆที่มอเตอร์หยุดในช่วงตำแหน่งต่างๆ

ส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นภาคผนวกอันประกอบด้วยขนาดพิกัดของมอเตอร์ที่ใช้ จากนั้นก็เป็นทฤษฎีของการออกแบบซอฟแวร์ PID ที่ใช้ในการออกแบบนี้ และแสดงผลของซอฟแวร์ที่ใช้ทั้งการควบคุมตำแหน่งแบบ PID และทิศทางของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
คุณสมบัติของดีซีเซอร์โวมอเตอร์

2.1 บทนำ

ปกติเซอร์โวมอเตอร์สามารถนำคุณสมบัตินำมาแสดงในเทอมลักษณะสแตติคและไดนามิกส์ ลักษณะในทางสแตติคได้แสดงค่าในเทอมของทอร์ค ประสิทธิภาพ กระแสฯลฯ ส่วนในลักษณะทางไดนามิกส์เป็นความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเหล่านี้ในทางปฏิบัติ ในบทนี้ได้อธิบายวิธีสำหรับแก้ปัญหาลักษณะสแตติคโดยใช้วงจรสมมูลย์สำหรับดีซีเซอร์โวมอเตอร์ การประมาณค่าตามคุณสมบัติทางไดนามิกส์ของมอเตอร์ที่จะตอบสนองเพื่อที่ให้เกิดค่าตามที่ต้องการ พิจารณาคุณสมบัติทางไดนามิกส์ที่มีผลต่อการแทนค่ามอเตอร์ที่ได้มาจากสมการวงจรดีซีมอเตอร์ จากนั้นนำค่าเหล่านี้ที่ได้นำมาแปลงค่าฟังก์ชั่นพร้อมทั้งการประมาณค่าของตัวแปรที่รวมเอาคุณสมบัติไดนามิกส์ที่จะนำมาอธิบาย และสุดท้ายเราจะดูปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสมการโหลดของมอเตอร์ การแปลงฟังก์ชั่นที่นำมาใช้ตามค่าคุณลักษณะของมอเตอร์เป็นการประยุกต์ ในส่วนของผลลัพธ์ที่มีเงื่อนไขต่อการแปลงอย่างรวดเร็วในส่วนนี้จะเริ่มอธิบายแง่คิดของการแปลงฟังก์ชั่นและเมื่ออธิบายในรายละเอียดการแปลงฟังก์ชั่นของมอเตอร์

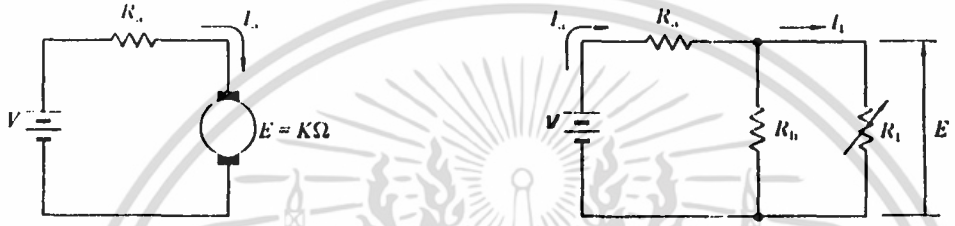
ระบบเซอร์โวที่ใช้งานสำหรับการควบคุมตำแหน่งหมุนของเพลาดีซีมอเตอร์ ซึ่งอาจนำไปใช้งานสำหรับการควบคุมตำแหน่งแขนของหุ่นยนต์ก็ได้ ระบบเซอร์โวที่ได้อธิบายต่อไปนี้มีไดอะแกรมเป็นระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยลูปการควบคุมตำแหน่งลูปการควบคุมความเร็วรอบและลูปการควบคุมทอร์ค รวมถึงการวิเคราะห์ระบบเซอร์โวที่ใช้ในการควบคุมเครื่องจักรกลที่นำไปขับโหลดให้มีการเคลื่อนไหว ในลักษณะทางไดนามิกส์ของตำแหน่งความเร็วรอบและแรงบิด(ทอร์ค) ระบบเซอร์โวจะต้องตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอินพุท $r(t)$ ต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดมอเตอร์ ดังนั้นการวิเคราห์ระบบเซอร์โวโดยทั่วๆ ไป จะต้องพิจารณาคุณสมบัติการทำงานของระบบอยู่ 2 ประการ คือ คุณสมบัติทางไดนามิกส์และคุณสมบัติสแตติค (คงที่) ของระบบ

2.2 การคำนวณคุณสมบัติทางสแตติค [2]

คุณสมบัติของระบบเมื่อผลตอบสนองของระบบเข้าสู่สถานะคงที่ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของค่าผิดพลาดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะคงที่หรือความแตกต่างระหว่างตัวแปรอินพุท r(t) และตัวแปรเอาท์พุท c(t) เมื่อเวลาเข้าใกล้อินฟินิตี้หมายถึงความเที่ยงตรงของระบบ โดยที่แฟคเตอร์ที่เป็นตัวกำหนดค่าผิดพลาดที่สถานะคงที่ได้แก่อัตราขยายของลูปเมื่อมีค่าสูงค่าผิดพลาดมีค่าน้อย (ระบบมีความเที่ยงตรงที่ดี) ค่าปานกลางค่าผิดพลาดมีค่าปานกลาง (ระบบมีความเที่ยงตรงพอใช้ได้) แต่ถ้าค่าค่าผิดพลาดมีค่ามาก (ระบบมีความเที่ยงตรงไม่ดี)



(a) (b)

เพาเวอร์อินพุท = VI_a เพาเวอร์อินพุท = VI_a

เพาเวอร์เอาท์พุท = I_aE เพาเวอร์เอาท์พุท = $I_L^2R_L = I_LE$

การสูญเสียเพาเวอร์ในแผ่นทองแดง = $I_a^2R_a$ การสูญเสียเพาเวอร์ในแผ่นทองแดง = $I_a^2R_a$

การสูญเสียเพาเวอร์ในส่วนอื่น = ตัดทิ้ง การสูญเสียเพาเวอร์ในส่วนอื่น = E^2/R_h

รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลย์ของดีซีมอเตอร์ในลักษณะสแตติค

ในลักษณะสแตติคของดีซีมอเตอร์สามารถนำมาคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลย์ และตัวแปรที่ได้รับโดยการประมาณค่าที่นำมาแสดงเป็นพื้นฐานการกำหนดค่าคงที่ M

$$M = \sqrt{\frac{(R_a + R_h)}{R_a}} \qquad (2.1)$$

เราควรจะพิสูจน์สมการ (2.1) เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เมื่อนำโหลดมาประยุกต์ใช้กับความเร็วกระแสที่ได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_a = \frac{(V - E)}{R_a} = \frac{(V - K\Omega)}{R_a} \qquad (2.2)$$

K เป็นค่าคงที่มอเตอร์ที่แตกต่างกันในมอเตอร์แต่ละตัว

ดังนั้นกระแสที่ไม่มีโหลดเป็น

$$I_o = \frac{(V - K\Omega_o)}{R_a} \qquad (2.3)$$

จากสมการ (2.2) และ (2.3) นำมาลบกันเราจะได้รับ

$$I_a - I_o = K * \left[\frac{(\Omega_o - \Omega)}{R_a}\right] \qquad (2.4)$$

ดังนั้นเรานำมาจัดสมการเสียใหม่

$$\frac{\Delta I}{\Delta \Omega} = \frac{I_a - I_o}{\Omega_o - \Omega} = \frac{K}{R_a} \qquad (2.5)$$

ดังนั้น K $=\infty$ ที่กระแสที่ไม่มีโหลดตามความสัมพันธ์

$$\text{(กระแสที่ไม่มีโหลด)}\ I_o = \frac{V}{(R_a + R_h)} \qquad (2.6)$$

แรงดัน E_o นั้นปรากฏว่าบน R_h เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_o = R_h I_o = V * \left[\frac{R_h}{(R_a + R_h)} \right] \qquad (2.7)$$

ดังนั้นความเร็วไม่มีโหลด Ω_o เป็น

$$\Omega_o = \frac{E_o}{K} = \frac{V}{K} * \left[\frac{R_h}{(R_a + R_h)} \right] \qquad (2.8)$$

ดังนั้น

$$\frac{\Omega_o}{I_o} = \frac{R_h}{K} \qquad (2.9)$$

นำสมการ (2.5) และ (2.9) แทนที่เข้าไปในสมการ (2.1) เพื่อนำมาพิสูจน์สมการ (2.10) เป็นทฤษฎีตามสมการได้รับค่าของ M จากประมาณค่า

$$M = \sqrt{\left[\left[\frac{\Omega_o}{I_o} \right] \left[\frac{\Delta I}{\Delta \Omega} \right] + 1 \right]} \qquad (2.10)$$

สำหรับประสิทธิภาพสูงสุด โดยแสดงตามสมการวงจรทั่วไปเราสามารถได้รับตามสมการ

$$(\text{การสูญเสีย}) = \frac{(V - E)^2}{R_a} + \frac{E^2}{R_h} \qquad (2.11)$$

(เพาเวอร์เอาท์พุท) = (back e.m.f.x กระแสอินพุท - การสูญเสียเพาเวอร์ใน R_h)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= E * \left[\frac{(V - E)}{R_a}\right] - \frac{E^2}{R_h} \qquad (2.12)$$

(เพาเวอร์อินพุท) = (การสูญเสีย + เพาเวอร์เอาท์พุท)

= (แรงดันที่ปลายแรงดันมอเตอร์ x กระแสอินพุท)

$$= V * \left[\frac{V - E}{R_a}\right] \qquad (2.13)$$

ดังนั้นผลลัพธ์ η เป็นเพาเวอร์เอาท์พุทต่อเพาเวอร์อินพุท

$$\eta = \frac{\text{เพาเวอร์เอาท์พุท}}{\text{เพาเวอร์อินพุท}} = \frac{E(V - E)}{R_a} - \left[\frac{E^2}{R_h}\right] * \left[\frac{R_a}{V(V - E)}\right]$$

$$= \frac{E}{V} - \left[\frac{R_a}{R_h}\right] * \left[\frac{E^2}{V(V - E)}\right] \qquad (2.14)$$

พบว่าค่าสูงสุดเราดิฟเฟอร์เรทเชียล η กับส่วนของ E มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\frac{\delta\eta}{\delta E} = \frac{1}{V} * \left[\left[1 - \frac{R_a}{R_h}\right] * \left[\frac{2EV - E^2}{(V - E)^2}\right]\right] = 0 \qquad (2.15)$$

จากสมการ (2.15) จัดเข้าสู่สมการควอดดราติกส์ในเทอมของ E เราได้รับตามค่า

$$\left[1 + \frac{R_h}{R_a}\right] * E^2 - 2V\left[1 + \frac{R_h}{R_a}\right] * E + \left[\frac{R_h}{R_a}\right] * V^2 = 0 \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ (2.1) ค่านี้นำมาแปลงกับสมการ E ตามค่า

$$M^2E^2 - 2VM^2E + (M^2 - 1)V^2 = 0 \qquad (2.17)$$

ดังนั้น back e.m.f. E ค่าสูงสุด E^* ค่าสูงสุด η_{max} เป็น

$$E^* = \frac{VM^2 \pm \sqrt{[M^4V^2 - M^2(M^2 - 1)V^2]}}{M^2}$$

$$= \left[\frac{M^2 + M}{M^2}\right] * V = \left[\frac{M + 1}{M}\right] * V \qquad (2.18)$$

ดังนั้นแรงดัน V เป็นค่าที่มากกว่า E^* เป็นเครื่องจักรกลกระแสตรงเป็นประสิทธิภาพสูงสุดมอเตอร์

$$E^* = \left[\frac{(M - 1)}{M}\right] * V \qquad (2.19)$$

เข้าแทนที่สมการ (2.19) เข้าไปในสมการ (2.14) เราจะได้รับ

$$\eta_{max} = \left[\frac{M - 1}{M}\right] - \left[\frac{R_a}{R_h}\right] * \left[\frac{(M - 1)^2}{M}\right] \qquad (2.20)$$

แต่จากสมการ(2.1)

$$\frac{R_h}{R_a} = M^2 - 1 = (M - 1)(M + 1) \qquad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่านี้เข้าไปในสมการที่ (2.20) สังเกตุค่านั้นทั้งหมดของตัวแปร ด้านบนที่ได้แสดงการประมาณค่าประสิทธิภาพสูงสุดหรืออัตตราส่วนของเพาเวอร์เอาท์พุทแมคคานิกส์กับเพาเวอร์ทางไฟฟ้าอินพุทในเทอมของ M ค่านี้ได้โดย

$$(\text{ประสิทธิภาพสูงสุด})\ \eta_{max} = \frac{(M - 1)}{(M + 1)} \qquad (2.22)$$

กระแสที่จุดนี้นำมาคำนวณโดยใช้ $I_a = \frac{(V - E)}{R_a}$ ของสมการ (2.2)

$$\frac{I^*}{I_o} = \frac{(V - E^*)/R_a}{(V - E_o)/R_o} = \frac{V - E^*}{V - E_o} \qquad (2.23)$$

จากสมการ (2.1) และ (2.7)

$$E_o = \frac{V(R_h/R_a)}{(R_h/R_a) + 1} = \frac{(M^2 - 1) * V}{M^2} \qquad (2.24)$$

นำสมการ (2.19) และ (2.24) แทนค่าเข้าไปในสมการ (2.23)

$$\frac{I^*}{I_o} = \frac{1 - (M - 1)/M}{1 - (M^2 - 1)/M^2} = M \qquad (2.25)$$

ดังนั้นสมการ (2.26) นำค่าที่ได้เมื่อมอเตอร์จัดการกับผลลัพธ์กระแสสูงสุดและความเร็วที่ได้โดยตามลำดับ

$$(\text{กระแสที่ประสิทธิภาพสูงสุด})\ I^* = MI_o \qquad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหมุนความเร็วที่ประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้รับตามค่าตามสมการ เมื่อเราเริ่มต้นจากตามค่าความสัมพันธ์

$$\frac{\Omega^*}{\Omega_o} = \frac{E^*}{E_o} \qquad (2.27)$$

นำสมการ (2.24) และ (2.19) แทนที่เข้าไปในสมการ (2.27)

$$\text{(ความเร็วที่จุดนี้)}\ \Omega^* = \left[\frac{V(M-1)/M}{V(M^2-1)/M}\right] * \Omega_o = \left[\frac{M}{M+1}\right] * \Omega_o \qquad (2.28)$$

สุดท้ายทอรค์ T ที่ประสิทธิภาพสูงสุดโดยนำสมการ (2.22),(2.26)และ (2.28) แทนค่าเข้าไปในสมการ (2.29) สามารถนำค่าได้มาจากเช่นตามค่า

$$T = (\text{เพาเวอร์อินพุท} \times \eta_{max}/\Omega^*)$$

$$T = (VI^*\eta_{max}/\Omega^*)$$

$$T = \left[\frac{VMI_o}{\Omega_o}\ \frac{(M-1)}{(M+1)} * \frac{(M+1)}{M}\right]$$

$$T = \frac{(M-1)VI_o}{\Omega_o} \qquad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 สรุปผลลัพธ์ทางเพาเวอร์อินพุทและเอาท์พุท

สัมประสิทธิ์ M	$\sqrt{(\Omega_o/I_o)(\Delta I/\Delta\Omega)+1}$
ประสิทธิภาพสูงสุด η_{max}	$(M-1)/(M+1)$
ค่าต่อไปนี้คำนวณได้ที่ประสิทธิภาพสูงสุด	
กระแส I^*	MI_o
อัตราความเร็วในการหมุน Ω^*	$\{M/(M+1)\}$
เพาเวอร์อินพุท P^*_{in}	MVI_o
เพาเวอร์เอาท์พุท P^*_{out}	$\{M(M-1)/(M+1)\}*VI$
ทอร์ค T^*	$(M-1)VI_o/\Omega_o$ (Nm)

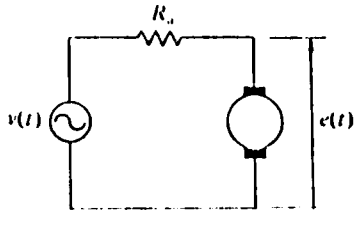
Ω_o = ความเร็วไม่มีโหลดปกติจะแสดงใน r.p.m.(รอบต่อวินาที) แต่ค่าใน rad^{-1}ควรจะนำมาใช้สำหรับคำนวณ

I_o = กระแสไม่มีโหลด

2.3 การแปลงค่าฟังก์ชั่นดีซีมอเตอร์จากวงจรทางไดนามิกส์ [23]

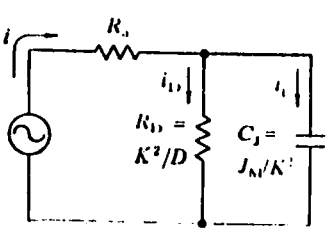
แฟคเตอร์ที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติไดนามิกส์ของระบบดีซีเซอร์โวมอเตอร์ ได้แก่อัตราขยายลูปจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบไซเกิลลดลง ค่าปานกลางจะเป็นผลให้ตอบสนองของระบบลดลงเป็นวิกฤตต่ำจะเป็นผลให้ตอบสนองของระบบลดลงอย่างช้าๆ ในส่วนของอัตราขยายของลูปป้อนกลับค่าสูงจะเป็นผลให้ตอบสนองของระบบลดลงอย่างช้าๆ ความเร็วค่าปานกลางจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นวิกฤต และถ้าค่าต่ำมากๆ จะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นไซเกิลในส่วนของฟริคชั่นและแรงเฉื่อย ค่าที่สูงๆ จะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงอย่างช้าๆ ค่าปานกลางจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นวิกฤต ส่วนในค่าที่ต่ำๆจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นไซเกิล ในส่วนสุดท้ายเราจะมากล่าวถึงผลการป้อนกลับทอร์คจะทำให้ผลตอบสนองของระบบเป็นอิสระต่อโหลดทอร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

สมการสมมูลย์สแตติคที่นำมาต่ออนุกรมของตัวต้านทานอาร์เมเจอร์ R_a และค่า back emf จากอาร์เมเจอร์

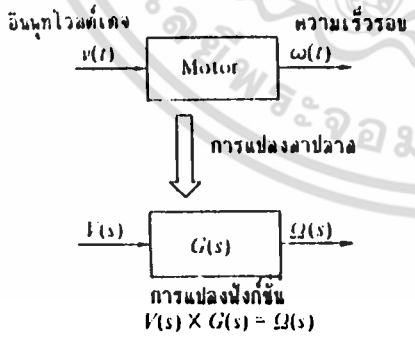


(b)

วงจรสมมูลย์ไดนามิกส์ที่นำเอาความเฉื่อยโรเตอร์เข้ามาพิจารณา

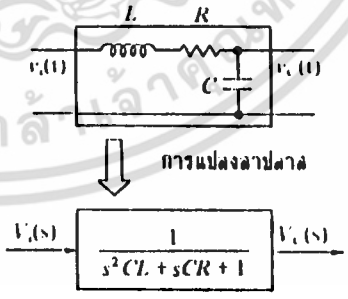
รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลย์สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไดนามิกส์

การแปลงฟังก์ชั่นนำมากำหนดอัตตราส่วนของการเปลี่ยนรูปลาปลาซของสัญญาณเอาท์พุทของสัญญาณอินพุทกับค่าที่นำมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมตัวแปร จากนี้การควบคุมตัวแปรที่แสดงกับมอเตอร์โดยมากกำหนดให้ได้เหมาะสมกับแสดงค่ามอเตอร์ไฟฟ้าโดยสมการวงจรในรูป 2.3(b) มอเตอร์นำมาเปรียบเทียบกับวงจร R-L-C จากมอเตอร์สัญญาณอินพุทเป็น $v_i(t)$ และสัญญาณเอาท์พุทเป็นส่วนคล่อมแรงดันคาพาซิเตอร์ $v_o(t)$



(a)

มอเตอร์



(b)

วงจรทางไฟฟ้า

รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับการแปลงฟังก์ชั่นมอเตอร์และวงจรไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราต้องรู้ว่าสัญญาณเอาท์พุทการเปลี่ยนแปลงเวลาตามเงื่อนไขสัญญาณอินพุท อย่างไรก็ตามมีหลายวิธีที่นำมาคำนวณในเทอมของเวลา t ที่ซับซ้อน และดังนั้นฟังก์ชั่นของ t โดยทั่วไปจะแปลงรูปเข้าไปในฟังก์ชั่นของตัวแปรเชิงซ้อน s การแปลงลาปลาซจากสมการแรงดันสำหรับวงจรในรูป 2.3(b) จะได้รับตามวงจร

$$v(t) = L\frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{(C_M+C_L)}\int i\,dt \qquad (2.30)$$

จะรู้ได้ตามค่าสมการที่ได้รับหลังจากขนาดทั้งสองของด้านบนที่นำมาแปลงลาปลาซ

$$v(t) = sLI(s) + RI(s) + \frac{1}{s(C_M+C_L)}I(s)$$

$$= \left[sL + R + \frac{1}{s(C_M+C_L)}\right] * I(s) \qquad (2.31)$$

$V_t(s)$ เป็นการแปลงลาปลาซของ $v(t)$

$I(s)$ เป็นการเปลี่ยนรูปลาปลาซของกระแส $i(t)$

จากสมการ (2.31) อัตราส่วนของ $V_t(s)$ กับ $I(s)$ กลายเป็น

$$Z(s) = \frac{V_t(s)}{I(s)} = sL + R + \frac{1}{s(C_M+C_L)} \qquad (2.32)$$

ค่าของอิมพีแด็นซ์ดังนั้นในค่าโดยทั่วไปอิมพีแด็นซ์ที่แสดงในเทอมของการเปลี่ยนรูปลาปลาซ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท v_i และแรงดันคาพาซิเตอร์ v_c โดยการเปลี่ยนรูปลาปลาซ $v_c(s)$ ต้องเริ่มต้นนำมาคำนวณตามค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_c(s) = \frac{\text{อิมพีแด็นซ์คาพาซิเตอร์}}{\text{อิมพีแด็นซ์ทั้งหมด}} \times \text{แรงดันอินพุท} \qquad (2.33)$$

ค่านั้นเป็น

$$V(s) = \frac{\dfrac{1}{s(C_M + C_L)}}{sL + R + \dfrac{1}{s(C_M + C_L)}} V_i(s) \qquad (2.34)$$

ตาราง 2.2 ตารางของตัวต้านทานคอยล์และคาพาซิเตอร์

(1) อิมพีแด็นซ์ในเทอมของการเปลี่ยนรูปลาปลาซ (2) อิมพีแด็นซ์ AC และ (3) อิมพีแด็นซ์ DC

	สัญญาลักษณะ	ความหมาย	หน่วยระบบ SI
ตัวแปร	i(t),I(s),I	กระแส	A
	m(t),T(s),T	ทอร์ค	Nm
	ω(t), (s),	ความเร็วในการหมุน	$rads^{-1}$
	t	เวลา	s
	v(t),V(s),V	แรงดันขั่วไฟฟ้า	V
	e(t),E(s),E	back e.m.f. จากขดลวดไดนาโม หรือความเร็วคูณด้วย K	V
ผลลัพธ์	s	d/dt	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.34) นำมาแปลงฟังก์ชั่นจะกลายเป็น

$$G(s) = \frac{V_c(s)}{V_t(s)} = \frac{1}{s^2(C_M + C_L)L + s(C_M + C_L)R + 1} \qquad (2.35)$$

ในส่วนบนนำมาแสดงเป็นอันดับที่สองกับส่วนของ s และจำนวนเต็มที่เรียกว่าการแปลงฟังก์ชั่นอันดับที่สอง วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์จะรู้ได้ที่จะง่ายต่อการคำนวณการแปลงฟังก์ชั่นของมอเตอร์ ในวงจรสมมูลย์รูป 2.3 (b) การหมุนความเร็วของมอเตอร์เป็นแรงดันคาพาซิเตอร์ ถูกแยกออกโดยค่าคงที่มอเตอร์ K ดังนั้นการแปลงฟังก์ชั่นของมอเตอร์ G(s) ที่ได้โดยการคำนวณตามรูปแบบที่ใช้การแปลงลาปลาซอิมพีแด็นซ์

$$G(s) = \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุน}}{\text{การเปลี่ยนแปลงในส่วนขั้วของแรงดัน}}$$

$$= \frac{\text{แรงดันคาพาซิเตอร์/K}}{\text{แรงดันที่ขั้ว}} \qquad (2.36)$$

เมื่อเราได้รายละเอียดกับการแปลงฟังก์ชั่นมีการนำส่วนเริ่มต้นของความเร็วมอเตอร์เข้าไปคำนวณค่าที่ได้จริงของความเร็วไม่นำมาพิจารณา เฉพาะการเปลี่ยนแปลงในส่วนที่นำมาพิจารณาในการแปลงฟังก์ชั่นเมื่ออินดัคแด็นซ์ของอาร์เมอร์เจอร์ถูกนำเข้าไปคำนวณ วงจรสมมูลย์แสดงในรูปที่ 2.3 (b) ดังนั้นจากสมการ (2.33) และ (2.36) เราสามารถนำเข้าไปในกรณีนี้การแปลงฟังก์ชั่นของอันดับที่สอง

$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{\left[\frac{K^2}{s(J_M + J_L)}\right]\left[\frac{1}{K}\right]}{R_a + sL_a + \frac{K^2}{s(J_M + J_L)}} \qquad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่านี้สามารถนำมาเขียนได้ใหม่เช่น

$$G(s) = \frac{\omega_n^2/K}{s^2+2\delta\omega_n s+\omega_n^2} \qquad (2.38)$$

ω_n (ความถี่เชิงมุม) $= \frac{1}{\sqrt{(\tau_E \tau_M)}}$ (2.39)

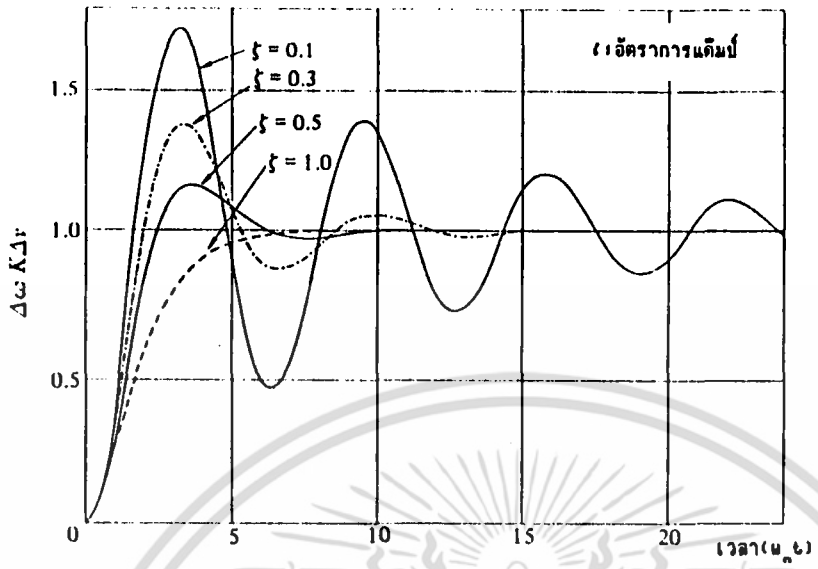
δ (อัตราการแต้มพ์) $= \sqrt{(\tau_M/\tau_E)}$ (2.40)

τ_E (ค่าเวลาคงที่ทางไฟฟ้า) $= \frac{L_a}{R_a}$ (2.41)

τ_M (ค่าเวลาคงที่ทางแมคคานิคส์) $= \frac{(J_M + J_L) R_a}{K^2}$ (2.42)

รูปที่ 2.4 แสดงค่าอัตราส่วนแต้มพ์ π มีผลต่อคุณสมบัติที่มีผลต่อความเร็วสำหรับสเตปแรงดันมาประยุกต์ใช้กับค่าแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองต่อแรงดันสเตปที่อัตราการแดมพ์ที่ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิเคราะห์ทฤษฎีการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์

3.1 บทนำ

ในส่วนของการควบคุมที่นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรม มีในส่วนที่เป็นพื้นฐานที่ทำให้เกิดความเข้าใจในระบบการควบคุม ในระบบของส่วนประกอบนั้นๆซึ่งในแต่ละส่วนถูกแยกนำมาพิจารณาในแต่ละส่วนที่ประกอบด้วย ส่วนแรกเราจะนำเสนอการวิเคราะห์หาตัวคอนโทรลเลอร์ที่ประกอบด้วยส่วนของปรอปพอร์ชั่นนัลตรงกันกับในส่วนของค่าผิดพลาด ซึ่งมีไว้สำหรับลดลงในระบบที่เกิดขึ้นตามคาบเวลา ในส่วนของอินติกรัลที่ตรงกันกับในส่วนของค่าผิดพลาดโดยมีการเพิ่มขึ้นในส่วนที่ต่ำกว่าพื้นที่ส่วนโค้งค่าผิดพลาดอินติกรัล ในส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงจนค่าผิดพลาดเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นศูนย์มักจะมีระบบโอเวอร์ชูทและเวลาสภาวะคงที่ ในส่วนประกอบดิริเวทีฟจะมีการเพิ่มขึ้นที่ค่าผิดพลาดโดยตอบสนองกับอัตราการเปลี่ยนแปลง ค่าผิดพลาดในส่วนนี้ค่าโอเวอร์ชูทและเวลาสภาวะคงที่ลดลงที่เวลาเดียวกัน ต่อไปเราจะนำมากล่าวถึงในส่วนของการวิเคราะห์ส่วนของเพาเวอร์แอมป์ปลิไฟล์ซึ่งในส่วนนี้เราจะใช้ในลักษณะของวงจรพัลส์วิดมอดส์ รวมถึงการวิเคราะห์ส่วนของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ทั้งวงจรที่ใช้ในการวัดความเร็วรอบ การป้อนกลับกระแส เพื่อที่จะนำระบบที่ดังได้กล่าวมาแล้วนำมาวิเคราะห์หาการควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ที่สมบูรณ์ในส่วนของการจำลองต่อไป

3.2 การวิเคราะห์หาตำแหน่งหยุดดีซีมอเตอร์ [1]

ถ้าที่มีการป้อนกลับของเซอร์โวมอเตอร์ภายในระบบดีซีมอเตอร์ กำลังบิดที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับกระแส i_m และแสดงได้โดยสมการที่ (3.1)

$$T = K_t i_m \qquad (3.1)$$

K_t = ค่าแรงบิดคงที่ของมอเตอร์

i_m = กระแสของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

i_m = กระแสของมอเตอร์

มอเตอร์ป้อนกลับให้โรเตอร์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังบิด T มาใช้กับโรเตอร์และความเร็วในการหมุน ω ที่ได้จากสมการไดนามิกส์

$$(J_M + J_L)\frac{d\omega}{dt} + D\omega = T_m \qquad (3.2)$$

J_M = เป็นโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์

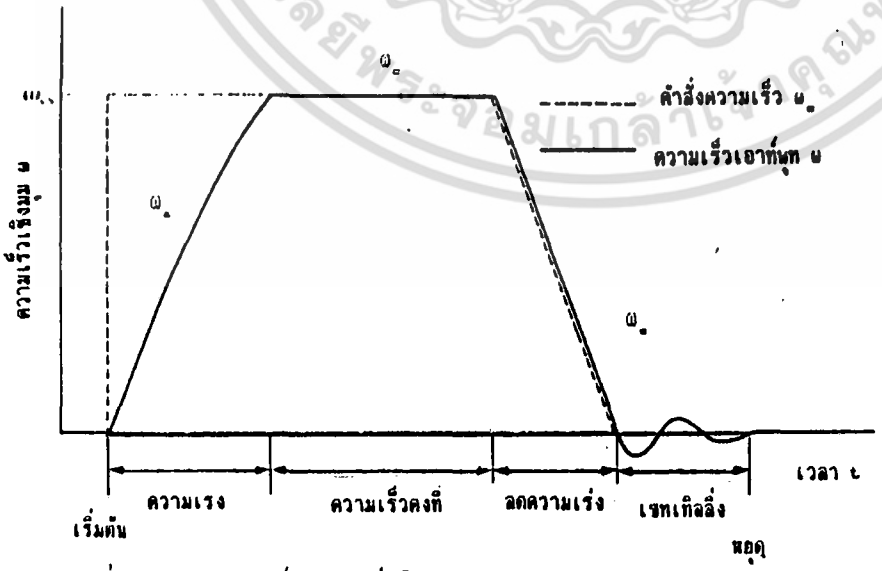
J_L = เป็นโมเมนต์แรงเฉื่อยของโหลด

D = เป็นค่าสัมประสิทธิ์การแด้มพ์ของแรงผิดวิสคอส

T_m = เป็นกำลังบิดที่เกิดขึ้นโดยมอเตอร์

จากสมการที่ (3.2) การควบคุมความเร็ว ω ในการออกตัวหรือหยุดมอเตอร์เราต้องควบคุมกำลังบิด T และเราพิจารณาในรายละเอียดดังต่อไปนี้

การออกตัว โดยการเพิ่มความเร่งของมอเตอร์จะออกตัวด้วยกำลังบิดคงที่ T ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ได้รับกระแสสูงสุด เราจะหาค่าอัตราเร่งของความเร็วได้จากสมการที่ (3.2)



รูปที่ 3.1 โปรไฟล์ความเร็วในการควบคุมตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

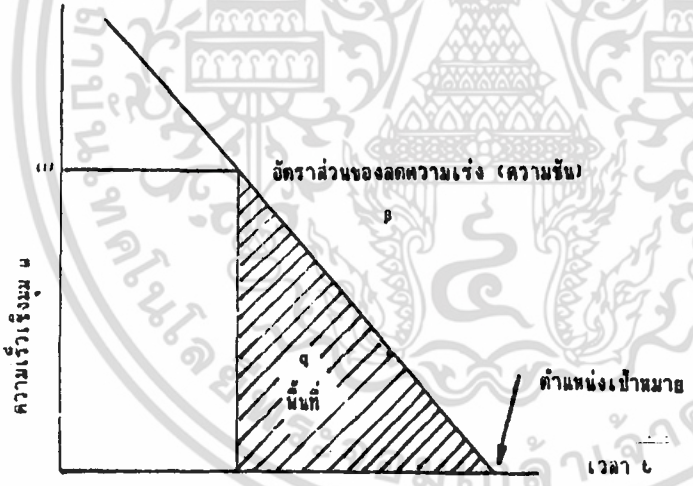
$$\omega_s = \frac{T}{D}\left[1 - \exp\left[\frac{-D_c}{J_m + J_L}\right]\right] \qquad (3.3)$$

ความเร็วคงที่ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วคงที่เทอมของไทม์ดิริเวทีฟจะเป็นศูนย์ ดังนั้นเราจะหาค่าของความเร็วคงที่จากสมการที่ (3.2) ในที่เทอม $d\omega/dt$ เป็นศูนย์เนื่องจาก D มีค่าน้อยมาก

$$\omega_c = \frac{T}{D} \qquad (3.4)$$

ในการประยุกต์ใช้งานทั่วๆไป แรงบิดในช่วงที่ความเร็วคงที่จะมีค่าน้อยมาก

การหยุด ในการหยุดมอเตอร์โดยการลดความเร่งของมอเตอร์ด้วยการกลับกระแสตรงกันข้ามกับค่ากำลังบิด ที่เป็นค่าลบสูงสุดมอเตอร์ก็จะลดความเร็วลงจากสมการไดนามิกส์ เราสามารถแสดงผล



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ω อัตราการลดความเร็ว β ตำแหน่งค่าผิดพลาด q

ในส่วนที่สัมพันธ์กัน เราน้ำมาใช้ค่าที่เหมาะสมจากสมการที่ (3.2) เราสามารถหาอัตราการลดความเร่งที่ได้มาจากการหยุดตามตำแหน่งตามช่วงของเวลา

$$\beta = \frac{K_c \; i}{(J_m + J_L)} \qquad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกระแสไฟฟ้าตามอัตราการลดความเร่ง เราสามารถนำมาประมาณค่าสำหรับเก็บไว้เป็นตัวเพาเวอร์ไดร์ที่ใช้ในเซอร์โวแอมป์ปลิไฟล์จะไม่มีผลทำให้แม่เหล็กที่ใช้ในมอเตอร์ลดลง ดังนั้นเมื่อโรเตอร์ถูกนำมาลดความเร่ง อัตราการหมุนความเร็ว ω ในช่วงระยะเวลาในการหยุด $(t - t_0)$

$$\omega_m = (t - t_0)\beta \qquad (3.6)$$

t = เวลาในการกำหนดตำแหน่งหยุด

t_0 = เวลาในช่วงเริ่มต้น

จากสมการด้านบนถ้าเราลดความเร่ง ตามอัตราการหมุนความเร็ว ω เพื่อที่จะหาระยะการกำหนดตำแหน่งตามสมการ

$$q = \frac{1}{2}(t - t_0)\beta(t - t_0) \qquad (3.7)$$

จากสมการที่ (3.7) เราจะได้ระยะการกำหนดตำแหน่งในช่วงเวลาระหว่าง $(t-t_0)$ ที่มีการลดความเร่ง β จนกระทั่งมอเตอร์หยุดนิ่ง เราสามารถหาค่าความเร็วคงที่ของมอเตอร์ในเทอมของการการลดความเร่งและระยะเวลาในการกำหนดตำแหน่ง $(t-t_0)$ ได้ตามสมการ

$$\omega_m = (2q\beta)^{1/2} \qquad (3.8)$$

q = ค่าผิดพลาด (ระยะทางกับตำแหน่งที่กำหนดกับตำแหน่งกระแสในจำนวนสเตปโดยการนับพัลส์จากพัลส์เจนเนอเรเตอร์)

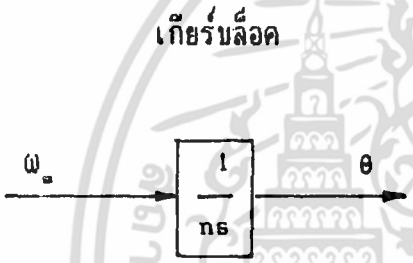
β อัตราการลดความเร่ง

ในส่วนของการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ เราใช้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตำแหน่งโรเตอร์ θ และในส่วนของความเร็วคงที่ ω_m ที่ได้จากสมการที่ (3.8) เราจะหาตำแหน่งของมอเตอร์ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta = \frac{1}{n}\int \omega_m \, dt \qquad (3.9)$$

จากสมการที่ (3.9) สามารถเขียนบล็อคไดอะแกรมของเกียร์บล็อคที่ทำหน้าลดความเร็วเพลามอเตอร์ด้วยอัตราส่วนคงที่ ดังนั้นเกียร์บล็อคทำหน้าที่เหมือนกับการอินติกรัลความเร็วรอบทำการอินติกรัลโดยการควบคุมความเร็ว ω_m กับเวลาของมุมในการหมุนมอเตอร์



สำหรับการควบคุมตำแหน่งโรเตอร์ θ โดยการควบคุมความเร็วคงที่ ω_m และจากสมการที่ (3.9) เราสามารถนำมาหาเส้นทางที่กำหนดการเคลื่อนที่ตำแหน่งมอเตอร์ในส่วนที่กำหนดขึ้น กับแนวเส้นทางตำแหน่งที่มอเตอร์เคลื่อนที่ได้จริงโดยมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

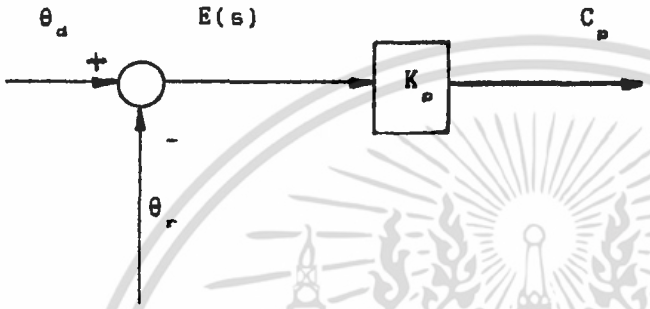
$$E(s) = \theta_d - \theta_r \qquad (3.10)$$

3.3 การวิเคราะห์หาตัวควบคุม

ตัวควบคุมที่ใช้ในระบบเซอร์โวนี้เป็นตัวควบคุมที่ใช้ทั้งในระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ ที่ถูกออกแบบจากวงจรอนาลอกแบบปรอปอร์ชั่นนัลอินติกรัล และตัวควบคุมที่ใช้ในระบบที่ควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ถูกออกแบบโดยวงจรดิจิตอลที่ สร้างขึ้นจากซ็อฟแวร์แบบปรอปอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ โดยเราจะให้สัญญาแอาท์พุท E(s) เป็นสัดส่วนสัญญาแค่าผิดพลาดแสดงได้สมการที่ (3.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 โหมดควบคุมปร็อปพอร์ชั่นนัล [3] เป็นระบบควบคุมที่ทำงานในโหมดเอาท์พุทของตัวควบคุมปร็อปพอร์ชั่นนัล ตามค่าผิดพลาดของมันเองถ้าค่าผิดพลาดมากค่าการป้อนกลับในโหมดเอาท์พุทจะมีค่ามาก แต่ถ้าค่าผิดพลาดมีค่าน้อยมากค่าการป้อนกลับในโหมดเอาท์พุทจะมีค่าน้อยในความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่เรียกว่าเกนปร็อปพอร์ชั่นนัลในระบบสมการ



รูปที่ 3.3 ตัวควบคุมโหมดปร็อปพอร์ชั่นนัล

จากสมการที่ (3.10) เราสามารถนำสัญญาณค่าผิดพลาดที่ได้นำมาแทนค่าลงไปเพื่อที่นำมาหาโหมดการควบคุมปร็อปพอร์ชั่นนัลดังรูปที่ 3.3 ได้ตามสมการ

$$C_p = K_p E(s) \qquad (3.11)$$

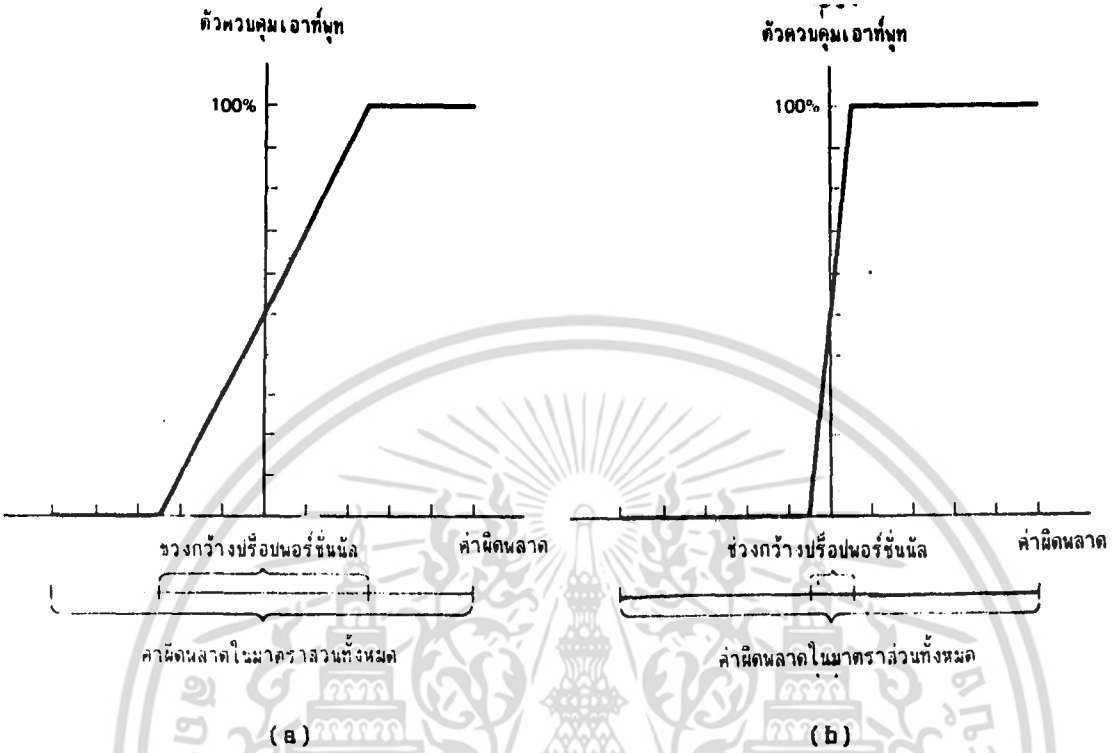
C_p = เอาท์พุทตัวควบคุมของปร็อปพอร์ชั่นนัล

K_p = เกนของตัวควบคุมแบบปร็อปพอร์ชั่นนัล

$E(s)$ = ค่าผิดพลาดในตำแหน่งมอเตอร์

ค่าออปเซ็ตผิดพลาดตามค่าตัวแปรทรานเซี้ยน กรณีการควบคุมตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงตามค่า c ตามค่าสมการโหมดปร็อปพอร์ชั่นนัลในรูปแบบปร็อปพอร์ชั่นนัล ตัวควบคุมระบบของการตอบสนองง่าย ๆ โดยการคูณค่าผิดพลาดของระบบกับค่าคงที่ K_p ของระบบการแปลงฟังก์ชั่นที่ได้โดยระบบความถี่ธรรมชาติที่ไม่แด้มพ์ (ω) มีค่าเพิ่มขึ้นขณะเดียวกันอัตราส่วนระบบการแด้มพ์ (δ) จะมีค่าลดลงพร้อมกับการเพิ่มขึ้นในเกนปร็อปพอร์ชั่นนัลระบบความเร็วที่เพิ่มขึ้นมักจะเกิดการโอเวอร์ชูท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบปรื๊อปพอร์ชั่นนัล

3.3.2 โหมดควบคุมอินติกรัล [33] เป็นการใช้ในระบบควบคุมบนสัญญาณของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการควบคุมตัวแปรที่เรียกว่าการรีเซ็ต ภายในโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลนั้นนำค่าผิดพลาดมากำหนดการป้อนกลับ พร้อมทั้งนำส่วนค่าคงที่ภายในโหมดอินติกรัลกำหนดการป้อนกลับในส่วนการอินติกรัลค่าผิดพลาด ดังนั้นเป็นไปได้ค่าผิดพลาดอาจจะเป็นศูนย์ที่ค่าคงที่บางค่า เป็นผลให้ตัวควบคุมการป้อนกลับไปเลือกค่าผิดพลาดในการดำเนินการจากสมการที่ (3.10)

$$C_t = K_t \int E(s)dt + C(o) \qquad (3.12)$$

C_t = เอาท์พุทตัวควบคุมของอินติกรัล

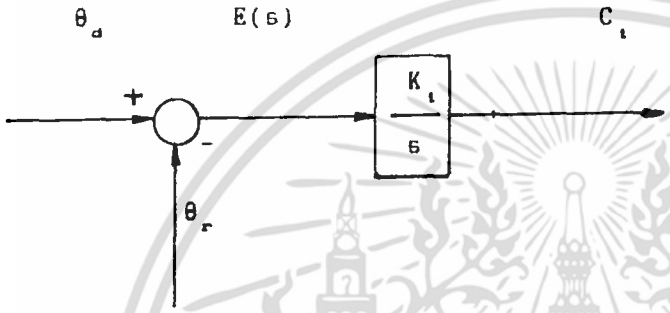
K_t = เกนของตัวควบคุมแบบเกนอินติกรัล

$E(s)$ = ค่าผิดพลาดในตำแหน่งมอเตอร์

$C(0)$ = ค่าเอาท์พุทผิดพลาดศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

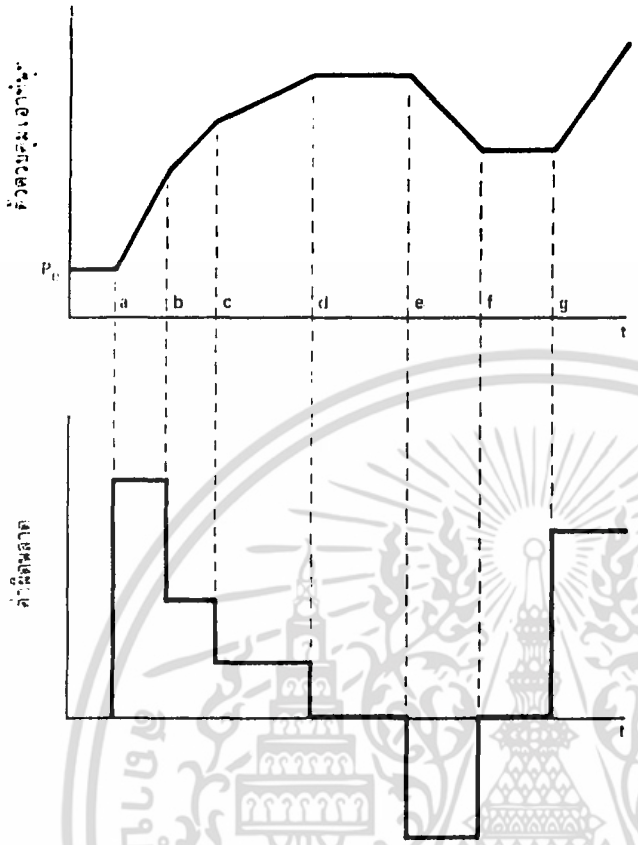
การทำการรีเซ็ทในส่วนที่การทำการอินติกรัลมาจัดการกับตัวควบคุมเอาท์พุทเป็นค่าฟังก์ชั่นในช่วงของค่าผิดพลาด ดังนั้นค่าของตัวควบคุมเอาท์พุทกับค่าผิดพลาดศูนย์ขึ้นอยู่กับบนเนื้อหาของค่าผิดพลาดในความหมายนี้ โหมดอินติกรัลสามารถจัดการสำหรับการรีเซ็ทแบบอัตโนมัติของตัวควบคุมเอาท์พุทค่าผิดพลาดศูนย์ คำนวนการเปลี่ยนแปลงดำเนินการเปลี่ยนแปลงโหลดการรีเซ็ทที่เลือกมาปัญหาของออปเซ็ทค่าผิดพลาดเมื่อใช้เฉพาะโหมดปีรอปพอร์ชั่นนัล



รูปที่ 3.5 ตัวควบคุมโหมดอินติกรัล

ระบบการตอบสนองอินติกรัลที่ได้รับในรูปที่ 3.5 รูปแบบนี้ของการตอบสนองที่มีการเพิ่มขึ้นในพื้นที่ส่วนโค้งค่าผิดพลาด สำหรับรูปแบบการควบคุมต่อไปวงจรนำมาคูณได้อีกโดยค่าคงที่เกน K_t การแปลงระบบฟังก์ชั่นที่ได้โดยปรากฏว่าระบบของเรามีการเพิ่มค่าขึ้นหนึ่งอันดับโดยการกำหนดตามการตอบสนองกับระบบของเราถ้าเรากำหนดให้ระบบแสดงได้ว่าเป็นจำนวนเดียวกัน ถ้าในส่วนกรณีการเพิ่มค่า K_t ค่าของ s ต้องนำมาเพิ่มขึ้นได้อีกถ้าเราดูที่ระบบเราจะแสดงการแด้มพ์ต่ำๆ และจะเกิดกรณีที่เสถียรภาพเราสามารถลดการควบคุมอินติกรัลจากการเลื่อนตำแหน่งโอเวอร์ชูท เช่น การควบคุมดิริเวทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบอินติกรัล

3.3.3 โหมดควบคุมดิริเวทีฟ [3] การพิจารณาในตัวควบคุมผลบนพื้นฐานอัตราการเปลี่ยนแปลงเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของค่าผิดพลาด ตามสมการที่ (3.10)

$$C_d = K_d * \frac{dE(s)}{dt} \qquad (3.13)$$

C_d = เอาท์พุทตัวควบคุมของดิริเวทีฟ

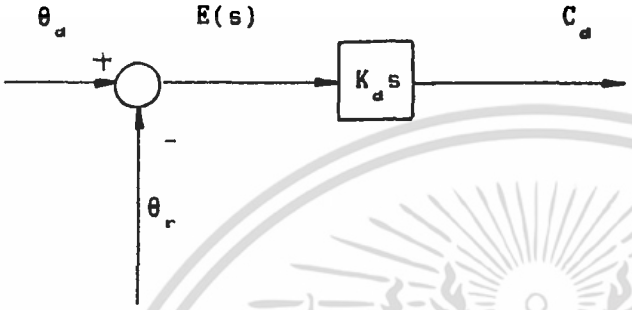
K_d = เกนของตัวควบคุมแบบเกนดิริเวทีฟ

$E(s)$ = ค่าผิดพลาดในตำแหน่งมอเตอร์

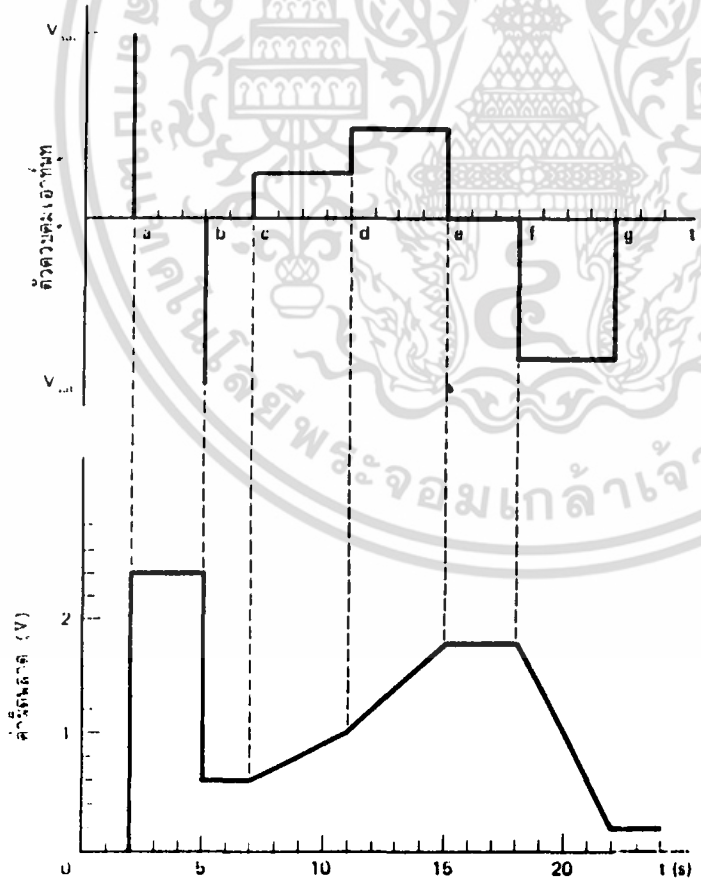
ในกรณีการรวบรวมโครงสร้างการควบคุมที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดนำมาคูณค่าเกน K_d ที่มีผลต่อไปในการควบคุมระบบการแปลงฟังก์ชั่นที่ได้โดย การควบคุมระบบการแปลงฟังก์ชั่นเราสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบระบบความถี่ธรรมชาติที่ไม่แด้มพ์ (ω_n) เช่นเดียวกับระบบความถี่ธรรมชาติที่ไม่แด้มพ์ (ω_n) ที่มีการเพิ่มอัตราการแด้มพ์ (ω_n) โดยการเพิ่มเกนดิริเวทีฟ (K_d) แสดงว่ามีเรามีการควบคุมระบบโอเวอร์ชูทต่อการควบคุมดิริเวทีฟ โดยที่การควบคุมในส่วนนี้มีผลต่อการรบกวนได้เร็วมาก



รูปที่ 3.7 ตัวควบคุมโหมดดิริเวทีฟ



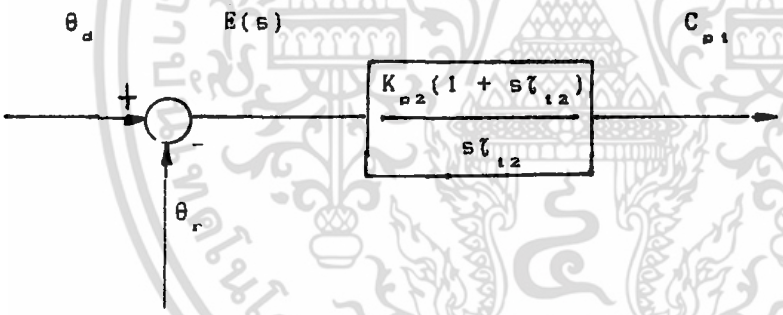
รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบดิริเวทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 โหมดในส่วนการควบคุมความเร็วมอเตอร์ ในส่วนการควบคุมความเร็วที่เราใช้ในการวิทยานิพนธ์นี้เราสร้างขึ้นจากวงจรอนาลอกแบบปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลที่ทำหน้าที่เป็นตัวคอนโทรลเลอร์ โดยนำรวมระหว่างระบบควบคุมแบบตัวควบคุมปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัล ที่เราสามารถดูได้

$$C_{p1} = \frac{K_{p2}(1 + \tau_{i2})}{s\tau_{i2}} \qquad (3.14)$$

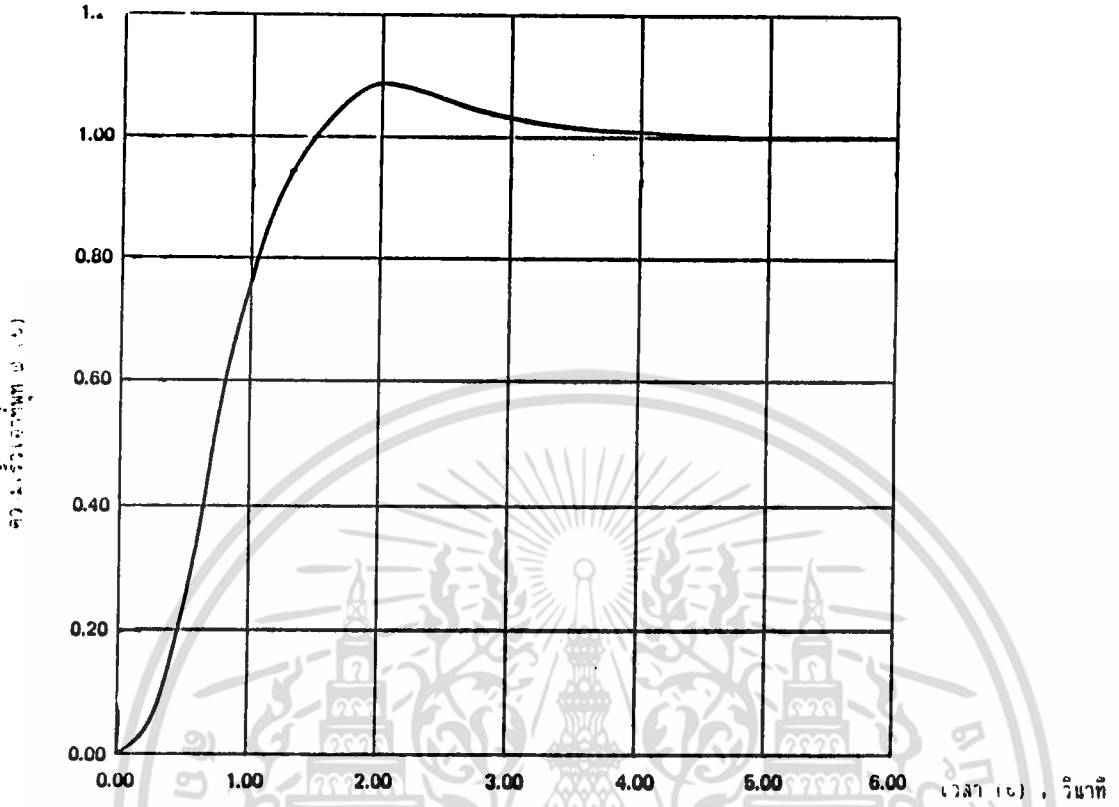
จากสมการที่ (3.14) เราสามารถเขียนบล็อคไดอะแกรมของตัวควบคุมได้ดังนี้เมื่อ K_{p2} คือปรื๊อปพอร์ชั่นนัลและ $K_{p2}/s\tau_{i2}$ คือส่วนของอินติกรัลหรืออัตราขยายของตัวควบคุมและจากส่วนของสัญญาณค่าผิดพลาดที่มีการป้อนกลับจากส่วนสัญญาณทาโคเจนเนอเรเตอร์ ที่เราสามารถสร้างขึ้นได้จากบล็อคไดอะแกรมด้านล่างเราเขียนทำให้ง่ายขึ้นอีกดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตัวควบคุมโหมดปรื๊อบพอร์ชั่นนัลอินติกรัล

ภายในระบบเกนปรื๊อบพอร์ชั่นนัลอินติกรัล เป็นการตอบสนองต่อรูปแบบที่นำมาแสดงในรูปแบบที่นำมาเตียมไว้ก่อนหน้านี้ ในการควบคุมจากองค์ประกอบในแต่ละโหมดการตอบสนองต่อตัวควบคุมที่นำค่าเกนแต่ละส่วนของปรื๊อบพอร์ชั่นนัลอินติกรัลนำมารวมกันภายในระบบควบคุมความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



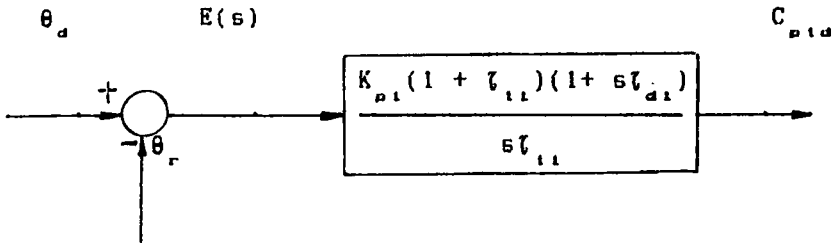
รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วเมื่อตัวควบคุมเป็น PI

3.3.5 โหมดในส่วนการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ ในส่วนนี้เราจะใช้ส่วนดิจิตอลเป็นตัวออกแบบตำแหน่งที่มอเตอร์ได้หยุดลงตามส่วนตัวควบคุม สร้างขึ้นจากการควบคุมปร็อปพอร์ชันนัลอินทริเกรเตอร์ดิริเวทีฟ โดยการรวมกันระหว่างระบบควบคุมแบบการควบคุมปร็อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลและดิริเวทีฟเข้าด้วยกัน โดยดูได้จากสมการที่ (3.15)

$$C_{pid} = \frac{K_{pi}(1 + s\tau_{ii})(1 + s\tau_{di})}{s\tau_{ii}} \qquad (3.15)$$

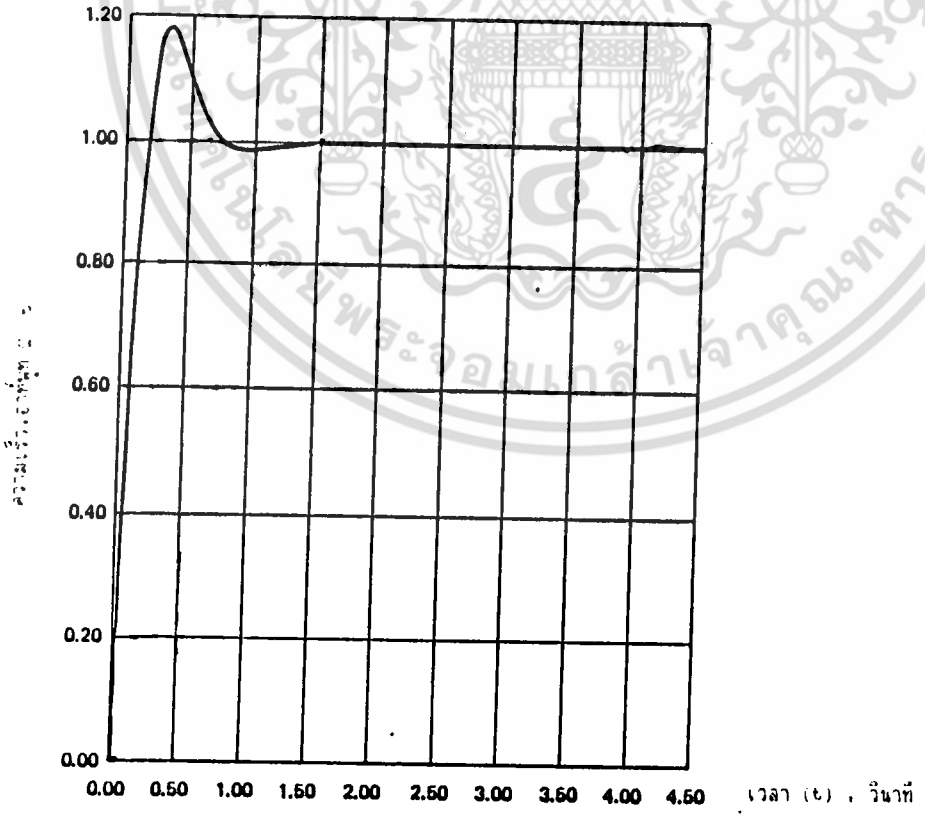
จากสมการที่ (3.15) เราสามารถเขียนบล็อคไดอะแกรมของตัวควบคุมได้ดังนี้เมื่อ K_{pi} คือปร็อปพอร์ชั่นนัล K_{ii} คือส่วนของอินติกรัล K_{di} คือส่วนของดิริเวทีฟหรืออัตราขยายของตัวควบคุมและจากส่วนของสัญญาณค่าผิดพลาดที่มีการป้อนกลับ จากส่วนสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ดังสมการที่ (3.10) เราสามารถสร้างขึ้นได้จากบล็อคไดอะแกรมด้านล่างเราเขียนทำให้ง่ายขึ้นอีกดังแสดงในรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ตัวควบคุมโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ

การควบคุมปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ เราสามารถแก้อ๊อฟเซ็ทของการควบคุมปรื๊อปพอร์ชั่นนัล และลดโอเวอร์ชูทที่จะทำให้เกิดการออสซิเลท เนื่องจากการควบคุมแบบอินติกรัลจะทำให้ผลตอบสนองได้รวดเร็วตามคุณสมบัติของการควบคุมดิริเวทีฟ ภายในระบบเกนปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟเป็นการตอบสนองต่อรูปแบบที่นำมาแสดงในรูปแบบที่นำมาเตียมไว้ก่อนหน้านี้ ในการควบคุมจากองค์ประกอบในแต่ละโหมดการตอบสนองต่อตัวควบคุม นำค่าเกนแต่ละส่วนของปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟนำมารวมกัน



รูปที่ 3.12 ผลตอบสนองของระบบควบคุมตำแหน่งเมื่อตัวควบคุมเป็น PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์หาส่วนของเพาเวอร์แอมป์ปลิไฟล์ [13]

เพาเวอร์แอมป์ปลิไฟล์หรือเซอร์โวแอมป์ปลิไฟล์ในบทนี้เป็นแอมป์ปลิไฟล์เออร์แบบไบโพล่า หมายถึงแอมป์ปลิไฟล์เออร์ที่ต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งขั้วบวกและขั้วลบ โดยที่เราสามารถหาค่าในส่วนของอัตราการขยายเกน K_a ได้จากอัตราส่วนของรูปคลื่นพัลส์วิดมอดส์ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เราสามารถคิดค่าอัตราการขยายเกน K_a ได้จากอัตราส่วนค่า T_{on} ต่ออัตราส่วน T_{off} เราสามารถกำหนดค่า T_{on} เป็นส่วนของแรงดันที่สัญญาณพัลส์วิดมอดส์ทำงานสำหรับในส่วนของ T_{off} เป็นส่วนของแรงดันที่สัญญาณพัลส์วิดมอดส์ไม่ทำงาน

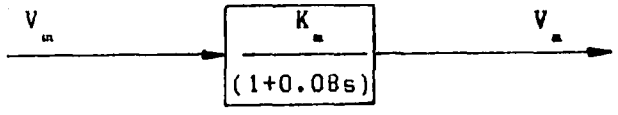
รูปที่ 3.13 สัญญาณการควบคุมรูปคลื่นพัลส์วิดมอดส์ในช่วงการสวิทช์

สมการเรานำมาสร้างอัตราการขยายเกนได้ดังนี้

$$V_o = V_m * \left(\frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \right) \qquad (3.16)$$

จากสมการที่ (3.16) เราสามารถนำมาเขียนเป็นบล็อคไดอะแกรมของชุดเซอร์โวแอมป์ได้ดังนี้

เซอร์โวแอมป์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรากำหนดให้ส่วนเซอร์โวแอมป์นี้ มีอัตราขยายเท่ากับ K_a ดังนั้นเราสามารถเขียนบล็อคไดอะแกรมของเซอร์โวแอมป์นี้ได้ดังนี้

$$V_a = \frac{K_a}{(1+0.08s)} * V_m \qquad (3.17)$$

K_a เป็นโวลต์เตจเกนของเซอร์โวแอมป์มีหน่วยเป็น V/V

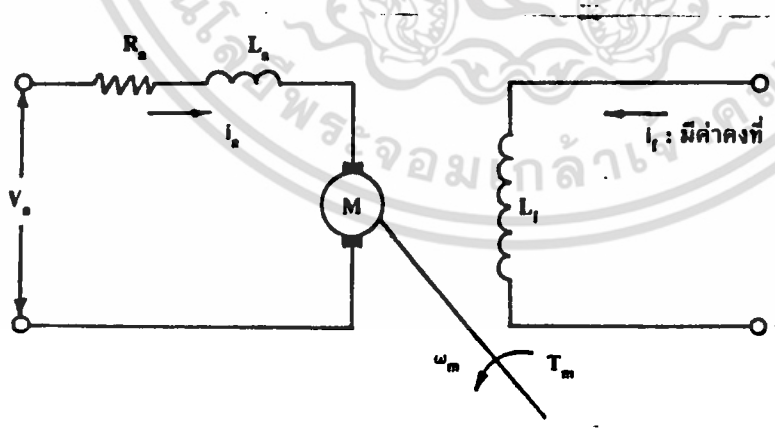
V_a แรงดันในส่วนเอาท์พุทของชุดขับในส่วนแรงดัน

V_m แรงดันในส่วนอินพุทของชุดขับในส่วนแรงดัน

โดยที่เราสามารถหาค่าในส่วนของอัตราการขยายเกน K_a ได้จากอัตราส่วนของรูปคลื่นพัลส์วิดมอดส์

3.5 การวิเคราะห์ในส่วนของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ [8]

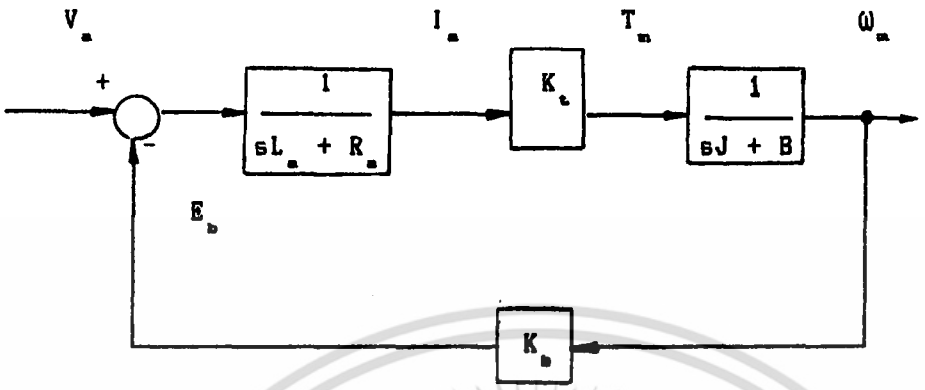
ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในระบบนี้เป็นแบบการควบคุมอาร์มาเจอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรสมมูลย์ของดีซีเซอร์โวมอเตอร์

จากรูปที่ 3.14 เราสามารถเขียนบล็อคไดอะแกรมของดีซีเซอร์โวแบบการควบคุมอาร์มาเจอร์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากบล็อคไดอะแกรมเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ω_m/V_a ได้ดังนี้

$$G = \frac{\omega_m}{V_a} = \frac{K_t/(BR_a + K_tK_b)}{1 + s[R_aJ/(BR_a + K_tK_b)]} \qquad (3.18)$$

$$G = \frac{\omega_m}{V_a} = \frac{K_m}{(1 + s\tau_m)} \qquad (3.19)$$

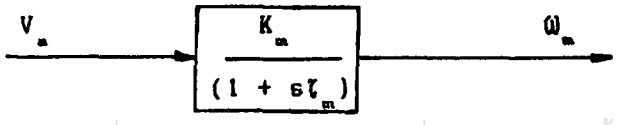
$K_m = K_t/(BR_a + K_tK_b)$

$\tau_m = R_aJ/(BR_a + K_tK_b)$

K_b = ค่าคงที่ของ back emf มอเตอร์

จากสมการที่ (3.19) เราสามารถเขียนเป็นบล็อคไดอะแกรมของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ได้ดังนี้

ดีซีเซอร์โวมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์ตัววัดความเร็วรอบ

ภายในตัววัดความเร็วรอบที่เราได้พิจารณาการทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่นของส่วนประกอบเหล่านี้ ในตอนการวิเคราะห์ความเร็วรอบเราสามารถพิจารณาทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่น ได้จากส่วนของการป้อนกลับของทาโคเจนเนอเรเตอร์โดยที่เราจะหาค่าเกน K_g ได้จากวงจรที่ได้จากการทดลองจริงๆ โดยเราจะเริ่มต้นจากการวัดแรงดันการป้อนกลับในส่วนของทาโคเจนเนอเรเตอร์ นำมาผ่านเข้าไปในส่วนของออปแอมป์พร้อมทั้งตั้งค่าอัตราขยายเกน K_g ให้อยู่ในรูปของโวลท์ ซึ่งเราสามารถหาค่าได้จาก

เกนทาโคเจนเนอเรเตอร์ = 0.067 V/rad/sec

$$V_o = K_g \omega_m \qquad (3.20)$$

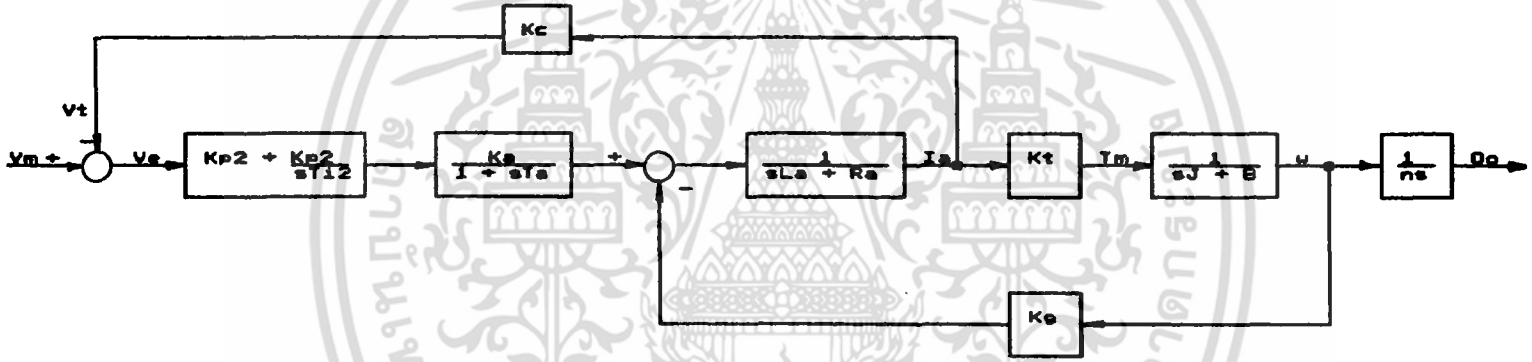
ดังนั้นจากสมการที่ (3.20) เราสามารถเขียนบล็อคไดอะแกรมของตัววัดความเร็วรอบได้ดังนี้

ตัววัดความเร็วรอบ

3.7 การวิเคราะห์วงจรการป้อนกลับกระแส

เราสามมารถแยกเขียนบล็อคไดอะแกรมของลูปการป้อนกลับกระแสได้ดังรูปที่ 3.15 โดยที่เราพิจารณาจากการโดยที่เราจะหาค่าเกน K_c ได้จากวงจรที่ได้จากการทดลองจริงๆ โดยเราจะเริ่มต้นจากการนำส่วนของตัวต้านทานของวงจร R_{sense} 0.2 Ω/5ω ที่เป็นตัวการป้อนกลับของค่ากระแสมอเตอร์ที่ถูกต่อมาจากในส่วนของวงจรเซอร์โวแอมป์ปลิไฟล์ พร้อมทั้งตั้งค่าอัตราการขยายเกน K_c ให้อยู่ในรูปของตัวต้านทานบล็อคไดอะแกรมของตัวประกอบการป้อนกลับกระแส จากรูปที่ 3.15 เราหาทอร์คของมอเตอร์ T_m ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 บล็อคไดอะแกรมของลูปการป้อนกลับกระแส

$$T_m = K_t I_a \qquad (3.21)$$

$$\omega = \frac{T}{sJ} \qquad (3.22)$$

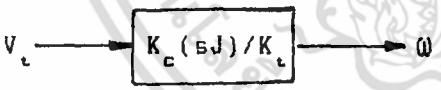
$$\omega = \frac{K_t I_a}{sJ} \qquad (3.23)$$

$$V_t = K_c I_a \qquad (3.24)$$

$$V_t = K_c(sJ)/K_t \qquad (3.25)$$

จากสมการที่ (3.25) เราสามารถเขียนบล็อคไดอะแกรม

ตัววัดกระแส

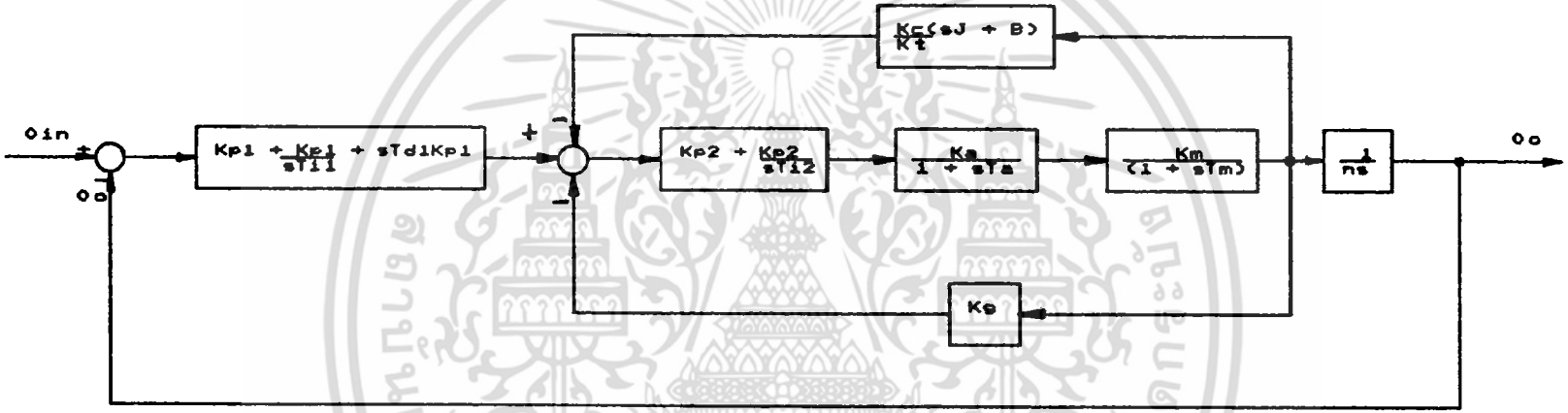


3.8 การวิเคราะห์ระบบการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ที่สมบูรณ์

3.8.1 การวิเคราะห์ระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

ระบบเซอร์โวที่ได้รับการออกแบบเป็นระบบการควบคุมตำแหน่งหมุน ที่ประกอบด้วยลูปการควบคุมความเร็วรอบ และลูปการควบคุมทอร์ค เราสามารถที่จะหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่นของระบบจากสมการที่ (3.10),(3.14),(3.15),(3.17),(3.19),(3.20) และ(3.25) ได้เป็นดังแสดงในรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 บล็อคไดอะแกรมของระบบเซอร์โวเพื่อการควบคุมตำแหน่งหมุนมอเตอร์

$$\theta_E = \theta_{in} - \theta_o \quad (3.26)$$

$$V_m = K_{x1}\theta_E \quad (3.27)$$

$$V_t = K_c\omega \quad (3.28)$$

$$V_o = Kg\omega \quad (3.29)$$

$$V_E = V_m - V_t - V_o \quad (3.30)$$

$$V_E = V_m - \left[\frac{K_c(sJ+B)+Kg}{K_t}\right] * \omega \quad (3.31)$$

$$V_E = V_m - s * \left[\frac{K_c(sJ+B)+Kg}{K_t}\right]\theta_o \quad (3.32)$$

$$\theta_o = \left[\frac{K_{x2}K_aK_m}{s(1+s\tau_m)}\right] * V_E \quad (3.33)$$

$$\frac{K_{x2}K_aK_m}{s(1+s\tau_m)} * \left[V_m - s*\left[\frac{K_c(sJ+B)+Kg}{K_t}\right]\theta_o\right] \quad (3.34)$$

$$\theta_o = \frac{K_{x2}K_aK_m}{s(1+s\tau_m)} * \left[K_{x1}(\theta_{in}-\theta_o) - s\left[\frac{K_c(sJ+B)+Kg}{K_t}\right]\theta_o\right] \quad (3.35)$$

$$\theta_o = \frac{K_{x1}K_{x2}K_aK_m\theta_{in}}{s(1+s\tau_m)} - \frac{K_{x1}K_{x2}K_aK_m\theta_o}{s(1+s\tau_m)} - \frac{K_{x2}K_aK_m}{(1+s\tau_m)}*\left[\frac{K_c(sJ+B)+Kg}{K_t}\right]\theta_o \quad (3.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left[\frac{1+K_{x1}K_{x2}K_aK_m}{s(1+s\tau_m)}+\frac{K_{x2}K_aK_m}{s(1+s\tau_m)}\left[\frac{K_c}{K_t}(sJ+B)+Kg\right]\right]\theta_o = \frac{K_{x1}K_{x2}K_aK_m\theta_{in}}{s(1+s\tau_m)} \quad (3.37)$$

$$\frac{\theta_o}{\theta_{in}} = \frac{K_{x1}K_{x2}K_aK_m}{s(1+s\tau_m)+K_{x1}K_{x2}K_aK_m+sK_{x2}K_aK_m\left[\frac{K_c}{K_t}(sJ+B)+Kg\right]} \quad (3.38)$$

$$\frac{\theta_o}{\theta_{in}} = \frac{K_{x1}K_{x2}K_aK_m}{s^2*(JK_{x2}K_aK_m\frac{K_c}{K_t}(sJ+B)+\tau_m)+s(K_{x2}K_aK_mKg+1)+K_{x1}K_{x2}K_aK_m} \quad (3.39)$$

จากสมการที่ (3.39) เราสามารถหาพารามิเตอร์ K_{x1} และ K_{x2} ได้ดังนี้

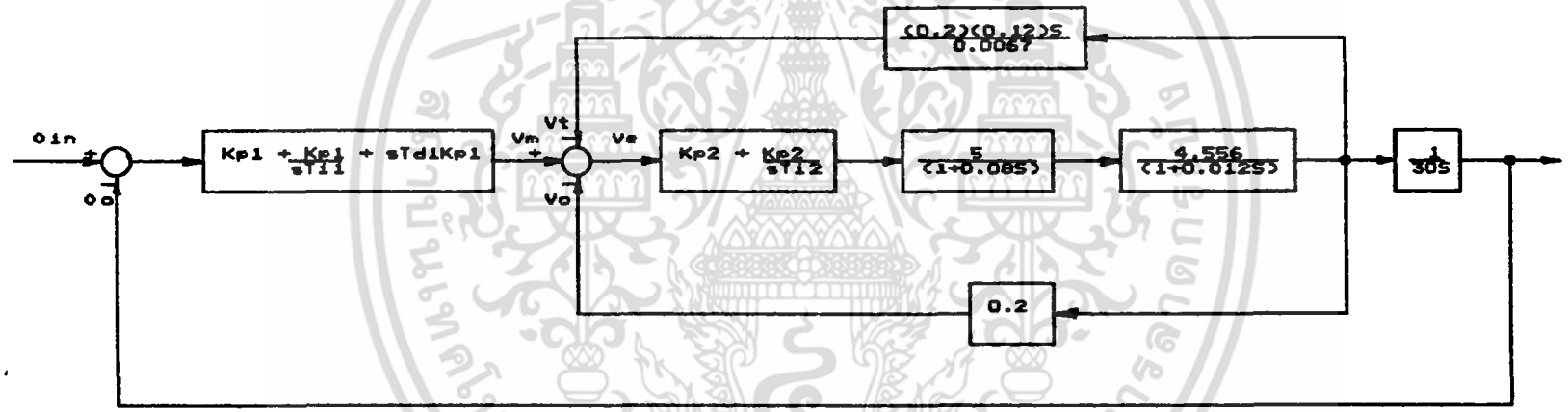
$$K_{x1} = \left[\frac{K_{p1}(1+s\tau_1)(1+s\tau_{d1})}{s\tau_{t1}}\right]$$

$$K_{x2} = \left[\frac{K_{p2}(1+s\tau_{t2})}{s\tau_{t2}}\right]$$

3.9 การจำลองรูปแบบระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

ในตอนท้ายนี้เราจะนำมาเสนอข้อมูลที่ได้จากการจำลองระบบที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยที่เราได้นำข้อมูลที่ได้จากค่าเกนต่างๆ ที่สามารถหาค่าได้จากสเปคภายในมอเตอร์ในแต่ละตัวนำเข้าไปแทนค่าโดยการจำลองภายทั้งภายในระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์ และระบบระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ ที่สามารถนำค่ามาจำลองดูได้จากรูปที่ 3.17 ที่ใช้เป็นการจำลองส่วนการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ใช้ระบบปรือปพอร์ชั่นนัลอินติกรัล ที่นำมาใช้เป็นตัวควบคุมและจากส่วนภาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 บล็อคไดอะแกรมของระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยลูปการป้อนกลับของตำแหน่งลูปการป้อนกลับของความเร็ว และลูปการป้อนกลับของกระแส

ในระบบที่ใช้ในการจำลองส่วนการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ เราจะใช้ระบบปรีอปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟที่มาใช้เป็นตัวควบคุม นำมาควบคุมตัวแปรเอาท์พุทให้เข้าสู่ค่าระบบนำกำหนดไว้เพื่อที่จะรักษาระบบให้มีค่าที่เป็นไปได้ในวิถีทางที่เหมาะสมด้วยการควบคุมระบบให้ได้ตามข้อกำหนด สัญญาณความแตกต่างจะต้องมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้และเพื่อให้มีคุณสมบัติของทรานเซียนที่ดี ระบบควบคุมตำแหน่งซึ่งมีคุณสมบัติตามต้องการวิธีหนึ่งสามารถทำได้ โดยทำการวิเคราะห์ที่จะให้คุณสมบัติของระบบตามต้องการได้แล้ว ก็จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมชนิดต่างๆ ได้ก็จะสามารถเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดกับระบบนั้นๆได้ โดยในการออกแบบตัวควบคุมที่มีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมกับระบบที่ต้องการจะควบคุมนั้นเอง โดยเราจะทำการหาตัวควบคุมที่จะกล่าวถึงของระบบดังนี้

3.9.1 การจำลองแบบข้อมูลที่ใช้ในระบบตัวควบคุม

ในส่วนนี้เป็นการเสนอการจำลองระบบตัวควบคุมภายในส่วนของมอเตอร์ โดยเราจะนำค่าของพารามิเตอร์ที่ได้มาจากรูปที่ 3.17 ที่มีการนำมาคำนวณค่าต่างๆ ที่ได้มาจากในส่วนตัวแปรของสเปคมอเตอร์ที่เราสามารถหาได้ภายในมอเตอร์ในแต่ละตัว จากนั้นเราจะได้ทำการจำลองข้อมูลภายในซ็อฟแวร์โดยวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากภายในระบบ

K_a = เกนของไดร์เวอร์ = 5

K_b = การป้อนกลับกระแส = 0.067 V/A

K_t = เกนของทาโคเจนเนอเรเตอร์ = 7V/Krpm = 2.24×10^{3} V/rad/sec.

K_e = ค่าคงที่ back emf ของมอเตอร์ = 12 msec = 0.012 sec

K_c = โหลดตัวต้านทานการป้อนกลับกระแส = 0.2 Ω/5W

τ_m = ค่าเวลาคงที่ในส่วนมอเตอร์ = 12 msec = 0.012 sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

τ_a = ค่าคงที่เวลาการป้อนกลับกระแส = 0.08 sec

J = ค่าความเฉื่อยโรเตอร์ = 0.12 g/cm/sec^2

B = โหลดความผิด = 0

n = ค่าทดรอบของเกียร์บล็อค = 30

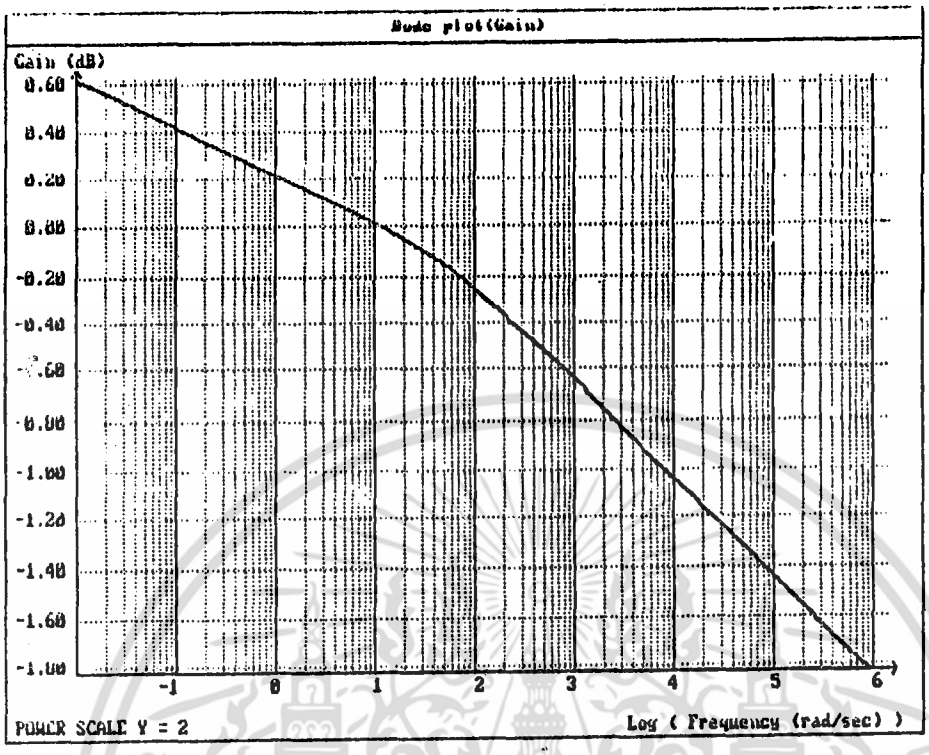
จากรูปที่ 3.17 เราสามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการจำลองระบบที่มีการนำมาคำนวณค่าต่างๆ ที่ได้ มาจากในส่วนตัวแปรของสเปคมอเตอร์ที่เราสามารถหาได้ภายในมอเตอร์ดังนี้

$$G(s)H(s) = \left[\frac{(0.2)(0.12)S+0.2}{0.0067}\right]\left[\frac{(5)(4.556)}{(1+0.08S)(1+0.012S)}\right]$$

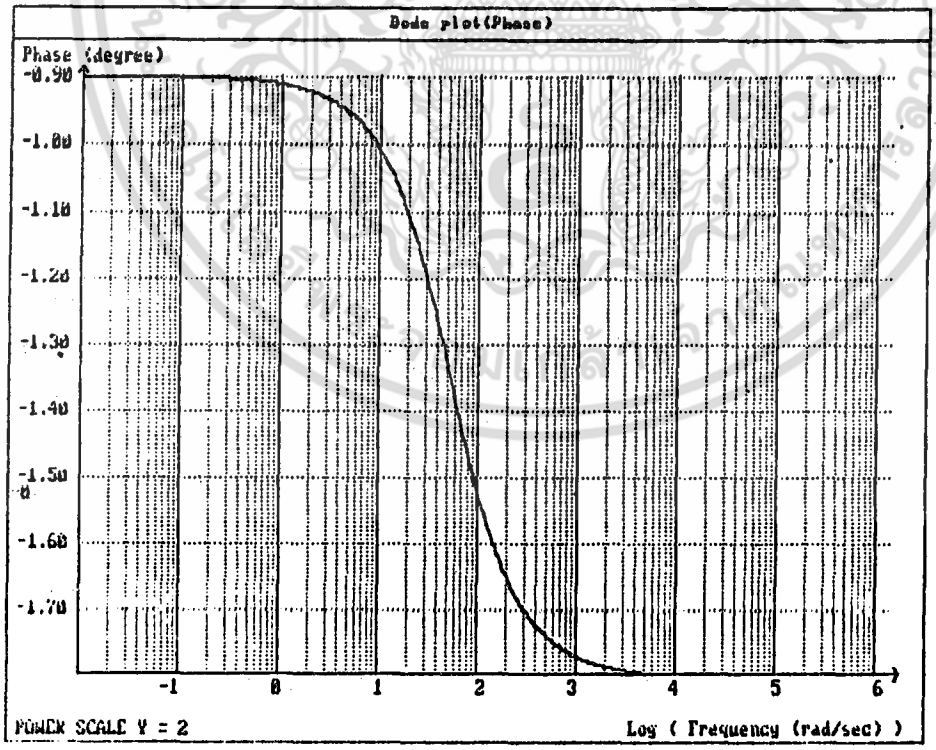
$$= \frac{8499.689S+47.45}{S^2+9.583S+104.166} \qquad (3.40)$$

จากสมการที่ (3.40) ที่เราสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในระบบการควบคุมความเร็วจากวิธีการของโบดพล็อต (เกน) และโบดพล็อต (เฟส) ของระบบได้ดังรูปที่ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าเกนต่างๆ เพื่อที่จะนำมาใช้เซ็ตค่าภายในระบบการควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ เพื่อที่เราสามารถนำมาใช้ในการตั้งค่าตัวควบคุมแบบปร็อปพอร์ชันนัลอินติกรัล (PI) ในการควบคุมความเร็วและแบบปร็อปพอร์ชันนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ (PID) ที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 โบดพล็อต (เกน) ของระบบจากสมการที่ 3.40



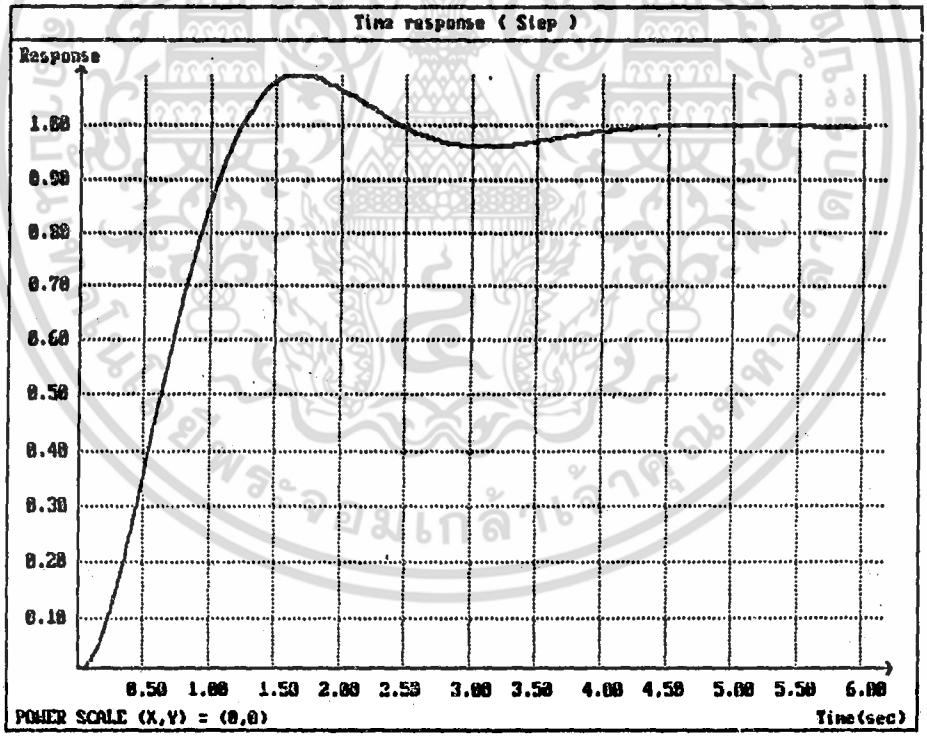
รูปที่ 3.19 โบดพล็อต (เฟส) ของระบบจากสมการที่ 3.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเริ่มต้นด้วยการกำหนดเฟสมาร์จินของระบบที่ต้องการให้ค่าเท่ากับ 60 องศา แล้วใช้โบดพล็อตของระบบพิจาราณาหาความถี่ที่เหมาะสม (ω_g) ของระบบจากนั้นหาค่าพารามิเตอร์ปรือปพอร์ชั่นนัล (K_p) รีเซทไทม์ (τ_i) และค่าดิริเวทีฟคอนสแตนท์ (τ_d) ที่เหมาะสมต่อไป

ต่อไปเราจะนำสมการที่ (3.40) ของระบบที่อยู่ภายในรูปแบบ G(s)H(s) ที่ใช้ในการสร้างโบดพล็อต(เกน) และโบดพล็อต(เฟส) ที่นำมาใช้ในส่วนของระบบมอเตอร์ พร้อมทั้งนำระบบมาแปลงให้อยู่ภายในรูปแบบตามสมการที่ (3.41) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.20 เป็นการแสดงค่ากราฟภายในระบบที่ยังไม่มีการเซ็ตค่าตัวแปรภายในการควบคุมที่อยู่ภายในระบบ

$$\frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} = \frac{8499.689S+47.450}{S^2+8509.272S+151.617} \qquad (3.41)$$



รูปที่ 3.20 ผลตอบสนองการจำลองระบบภายในส่วนของดีซีมอเตอร์ จากสมการที่ 3.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 การจำลองแบบข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

เราสามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจากสมการที่ (3.41) ที่นำมาใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากวิธีการของโบดพล็อตตัวควบคุมที่ออกแบบเป็นชนิดปรีอปพอร์ชันนัลอินติกรัล (PI) ที่ใช้ในส่วนการควบคุมความเร็วมอเตอร์ในส่วนของการจำลองข้อมูลต่างๆ ที่เราจะนำมาทำการจำลองในส่วนที่มีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ของการออกแบบตัวควบคุมความเร็ว เราต้องการที่จะนำวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมความเร็ว โดยอาศัยวิธีการของโบด(พล็อต) ตัวควบคุมที่ออกแบบเป็นชนิดปรีอปพอร์ชันนัลอินติกรัล (PI) ในการควบคุมความเร็วการออกแบบเริ่มต้นด้วยการกำหนดเฟสมาร์จิน ของระบบถ้าเรากำหนดให้เฟสมาร์จินของระบบที่ต้องการเท่ากับ 60 องศา แล้วใช้โบดพล็อตของระบบพิจาราณาหาความถี่ที่เหมาะสม (ω_g) ของระบบโดยทำการเพิ่มหรือลดค่าอัตราขยายสูงสุดได้ โดยค่าความแตกต่างของเกนของระบบ K_g ที่ต่างไปจากเดิม 0 dB จะเป็นค่าอัตราขยายสูงสุดของระบบ $K_p = -K_g$ ต่อไปเลือกความถี่ของการอินทริเกรเตอร์ ω_i ให้ค่าประมาณ 10% ของ ω_g เพื่อไม่ให้ผลไปเพิ่มที่เฟสแล็คความถี่ ω_g จากค่า ω_i จะหาค่าพารามิเตอร์รีเซทไทม์ (τ_{i2}) ได้เท่ากับ $1/\omega_i$ ดังนั้นอัตราการขยายตัวควบคุมแบบ PI จะได้เป็น $K_{p2}(1+1/s\tau_{i2})$ ในส่วนที่มีการควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยจะทำการเลือกค่า ω_g จากโบดพล็อต(เฟส) ของระบบที่มีค่าการเลื่อนเฟส -120 องศา จะได้ค่า ω_g ประมาณ 30.524 rad/sec ที่ความถี่นี้เกนของระบบมีค่า 9.1338 dB หรือจะได้ $K_{p2} = 2.862$ ต่อไปให้ $\omega_i = 10\ \% \omega_g$ ดังนั้นเราสามารถหาค่า $\omega_i = 3.0524$ rad/sec เพื่อที่เรานำเอาไปหา $\tau_{i2} = 1/\omega_i$ ที่เรานำมาใช้ในการหา $\tau_{i2} = 0.3276$ เพื่อที่นำมาใช้หาค่า $K_{i2} = K_{p2}/\tau_{i2}$ จะได้เป็น $K_{i2} = 8.736$ ตามลำดับ

$$\text{ตัวควบคุม PI} = \frac{2.862S+8.736}{S} \qquad (3.42)$$

นำสมการที่ (3.41) เป็นส่วนที่เรานำมาใช้ภายในระบบของมอเตอร์ เพื่อที่จะนำส่วนนี้มาวิเคราะห์หาค่าเกนระบบที่ใช้ในส่วนของการควบคุมความเร็วมอเตอร์ดังสมการที่ (3.43)

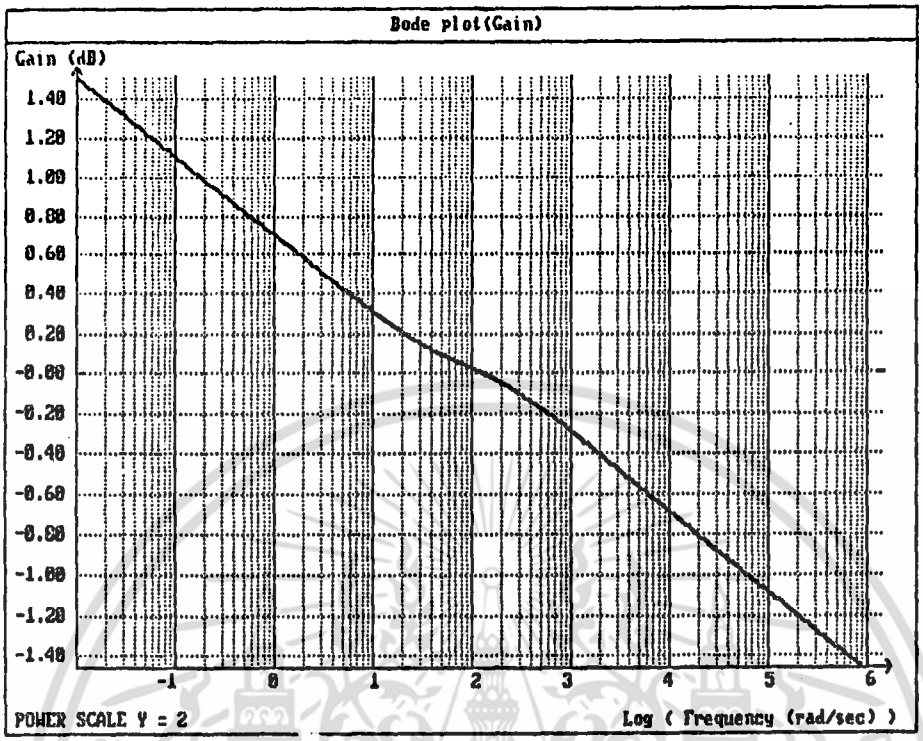
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(S)H(s)(\text{ตัวควบคุม PI}) = \left[\frac{2.862S+8.736}{S}\right]\left[\frac{8499.689S+47.450}{S^2+8509.272S+151.617}\right]$$

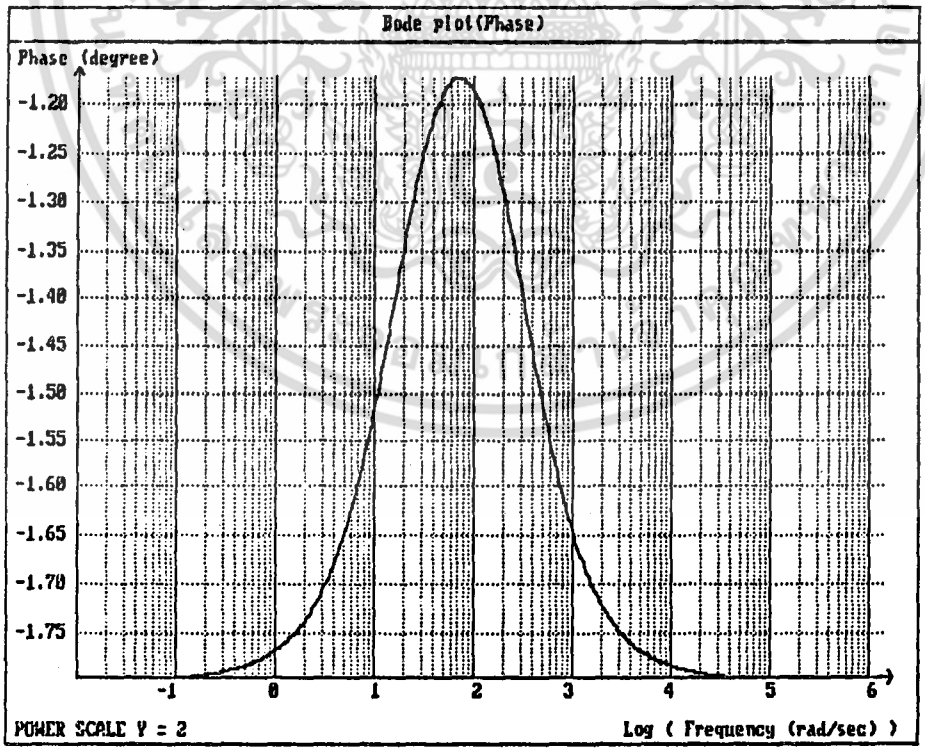
$$= \frac{24326.110S^2+74389.087S+414.5249}{S(S^2+8509.272S+151.617)} \quad (3.43)$$

ระบบจากสมการที่ (3.43) เราสามารถนำมาสร้างโบดพล็อต (เกน) และโบดพล็อต (เฟส) ที่จะนำมาแสดงได้ดังรูปที่ 3.21 และ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 โบดพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.43

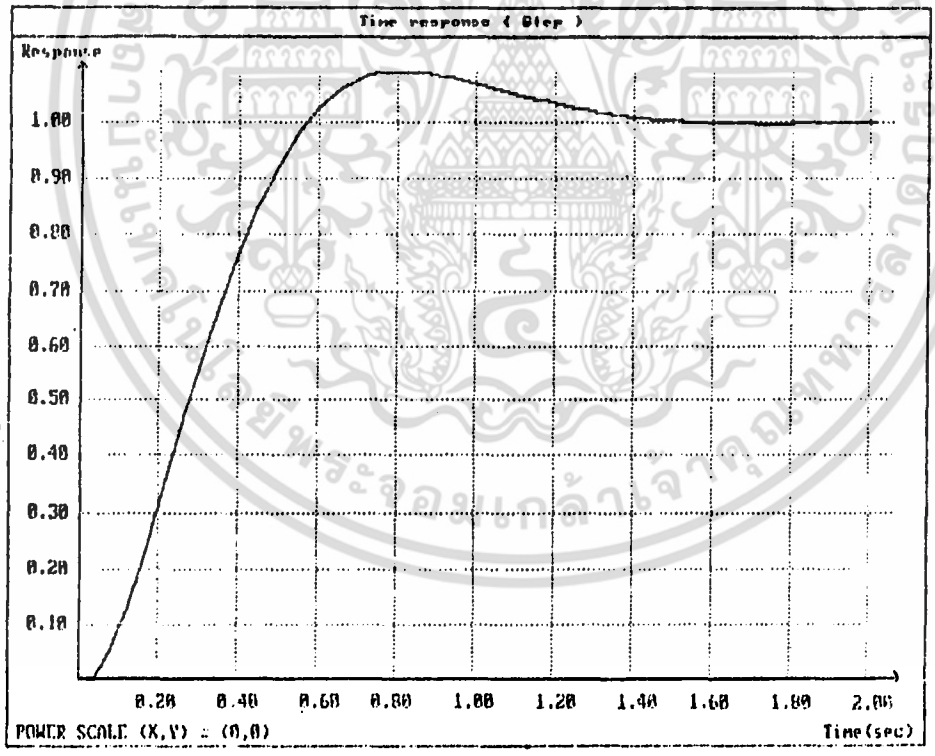


รูปที่ 3.22 โบดพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.43) เราสามารถนำระบบในส่วนของการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PI ที่อยู่ภายในรูป G(s)H(s) ที่ใช้ในการสร้างโบดพล็อต (เกน) และโบดพล็อต (เฟส) นำมาใช้ในการสร้างระบบที่ใช้ในส่วนที่มีการควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยเรานำระบบมาแปลงให้อยู่ภายในรูปแบบตามสมการที่ (3.44) เพื่อที่เราสามารถนำมาใช้ในการแปลงระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PI ดังที่เราสามารถแปลงค่าได้ดังสมการที่ (3.44) ที่ความถี่ 170 rad/sec ของระบบจะมีเกน 0 dB และเฟส -120 องศา ตามต้องการซึ่งเราสามารถนำไปสร้างผลตอบสนองของระบบ PI ที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 3.23

$$\frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} = \frac{24326.1105s^2+74386.086s+414.525}{s^3+32835.383s^2+74540.703s+414.525} \qquad (3.44)$$



รูปที่ 3.23 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.3 การจำลองแบบข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ [๑๖]

ในส่วนของการจำลองข้อมูลในส่วนนี้เราจะนำมาทำการจำลอง ในส่วนที่มีการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ ในส่วนของการออกแบบตัวควบคุมให้ดีที่สุด เราต้องคำนึงถึงวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ของตัวควบคุมตำแหน่งโดยอาศัยวิธีการของโบดพล็อตตัวควบคุมที่ออกแบบได้ 2 ชนิด

3.9.3.1 ตัวควบคุมปรื๊อบพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ (PID)

ขั้นตอนของการออกแบบตัวควบคุม PID ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเราจะพิจารณาจากระบบจะหาค่าความถี่ที่ค่าเกนเป็นหนึ่ง (ω_g) ได้จากค่าความถี่ที่เฟสเดิมมีค่าเท่ากับ -120 องศา แต่สำหรับในส่วนการควบคุม PID ที่มีค่าของเฟสลีด ω_g อยู่ 45 องศา ดังนั้นจากโบดพลอตของระบบถ้าเรากำหนดให้เฟสมาร์จินของระบบที่ต้องการเท่ากับ 15 องศา แล้วใช้โบดพล็อตของระบบพิจารณาหาความถี่ที่เหมาะสม ω_g ของระบบโดยทำการเพิ่มหรือลดค่าอัตราขยายสูงสุดได้โดยค่าความแตกต่างของเกนของระบบ K_g ที่ต่างไปจากเดิม 0 dB จะเป็นค่าอัตราขยายสูงสุดของระบบ $K_{p1} = -K_g$ โดยเรากำหนดค่าความถี่การอินติกรัลเตอร์ ω_i ให้ค่าประมาณ 10% ของ ω_g เพื่อไม่ให้ผลไปเพิ่มที่เฟสแล็คความถี่ ω_g จากค่า ω_i จะหาค่าพารามิเตอร์รีเซทไทม์ (τ_{i1}) ได้เท่ากับ $1/\omega_i$ พร้อมทั้งกำหนดในส่วนของ $\omega_i = \omega_g$ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์เดอริเวทีฟไทม์คอนสแตนท์ (τ_{d1}) เท่ากับ τ_{i1} ดังนั้นอัตราการขยายตัวควบคุมแบบ PID จะได้เป็น $K_{p1}(1+s\tau_{i1})(1+s\tau_{d1})/s\tau_{i1}$ ในส่วนที่มีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์โดยมีการกำหนดค่าเฟสลีดของระบบอยู่ 42.372 องศา จะทำการเลือกค่า ω_g จากโบดพล็อตเฟสของระบบที่มีค่าการเลื่อนเฟส -162.372 องศา จะได้ค่า ω_g ประมาณ 34.262 rad/sec ที่ความถี่นี้เกนของระบบมีค่า -30.285 dB หรือจะได้ $K_{p1} = 32.677$ ต่อไปให้ $\omega_i = -3.028$ ($\omega_i = 10\% \omega_g$) และเราจะกำหนดให้ $\omega_g = \omega_g$ จะได้ $\omega_g = 30.285$ เพื่อที่จะนำมาหาค่าพารามิเตอร์ปรื๊อปพอร์ชั่นนัลรีเซทไทม์ (τ_{i1}) จะได้เป็น $\tau_{i1} = 0.33$ rad/sec ($\tau_{i1} = 1/\omega_i$) และหาค่าพารามิเตอร์เดอริเวทีฟคอนสแตนท์(τ_{d1}) จะได้เป็น $\tau_{d1} = 0.033$ rad /sec ($\tau_{d1} = 1/\omega d$) เพื่อที่จะนำมาใช้ในการออกแบบ $K_{i1} = 99.021$ ($K_{i1} = K_{p1}/\tau_{i1}$) และ $K_{d1} = 1.078$ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ตัวควบคุม PID} = \frac{32.677S+99.021+1.078S^2}{S} \qquad (3.45)$$

นำสมการที่ (3.45) ภายในระบบการควบคุมในส่วนของการควบคุมความเร็วมอเตอร์เราสามารถนำมาใช้ในการสร้างค่าในส่วนของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์จากสมการที่ (3.46) เพื่อที่เราจะนำมาวิเคราะห์ระบบการควบคุมตั้งค่าเกนตัวควบคุมแบบ PID ดังนั้นระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PID จะเป็นดังต่อไปนี้

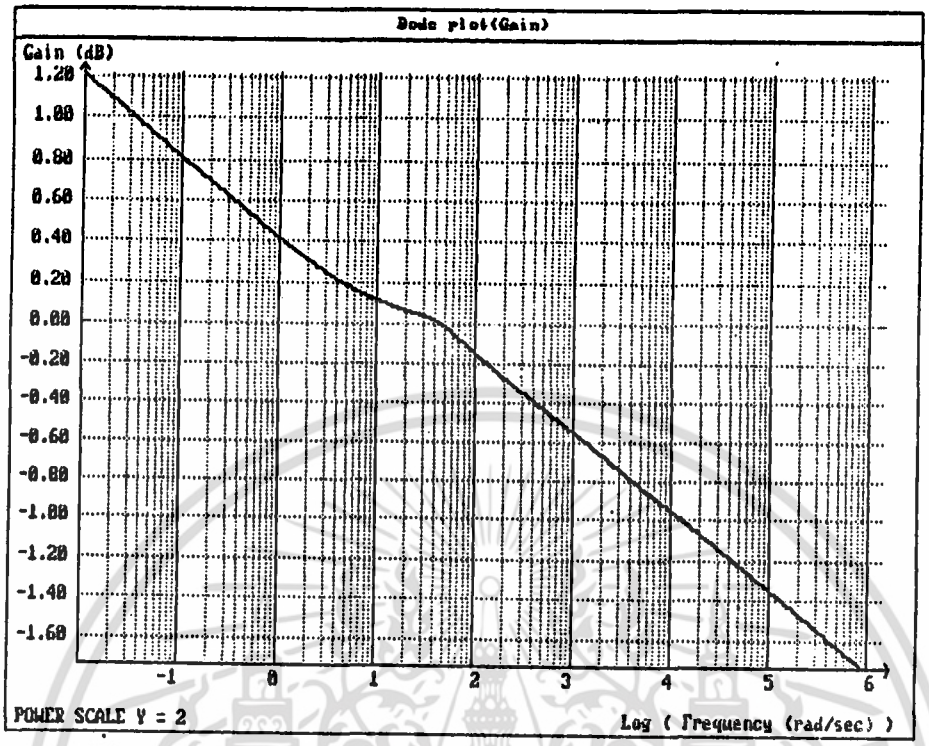
$$G(s)H(s)(\text{ตัวควบคุม PID})$$

$$= \frac{(1.078S^2+32.677S+99.021)}{30S^2} \frac{(24326.110S^2+74389.086S+414.525)}{S^3+32835.383S^2+74540.703S+414.525}$$

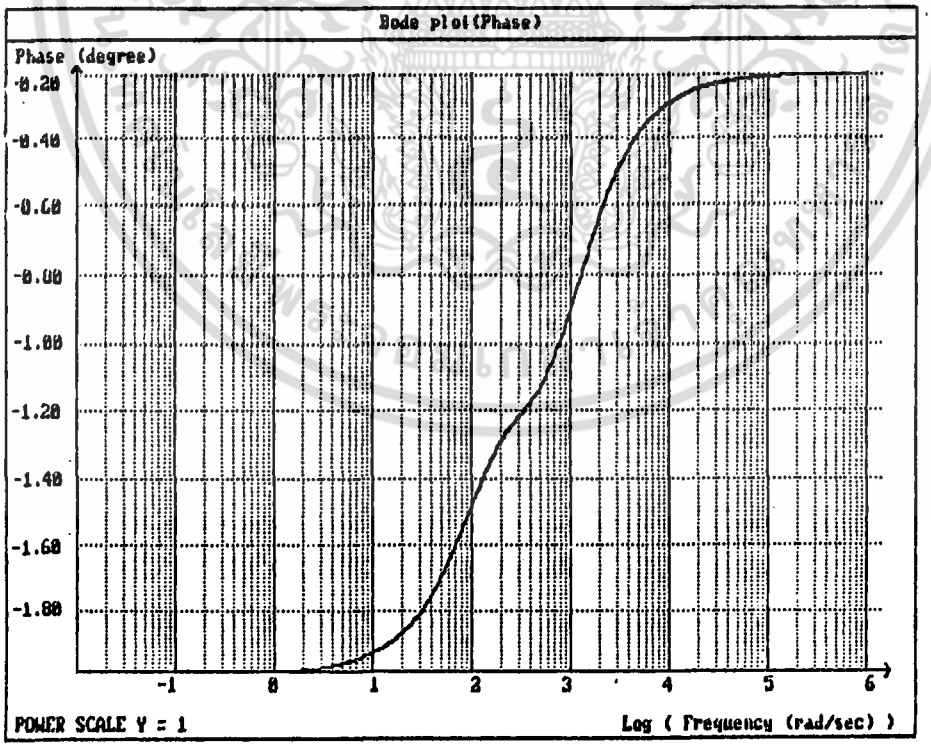
$$= \frac{874.118S^4+29169.857S^3+161335.159S^2+245987.572S+1368.223}{S^2(S^3+32835.383S^2+74540.703S+414.525)} \qquad (3.46)$$

จากสมการที่ (3.46) เราสามารถนำมาสร้างโบดพล็อต (เกน) และโบดพล็อต (เฟส) ที่จะได้ดังรูปที่ 3.24 และ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 โบดพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.46



รูปที่ 3.25 โบดพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.46

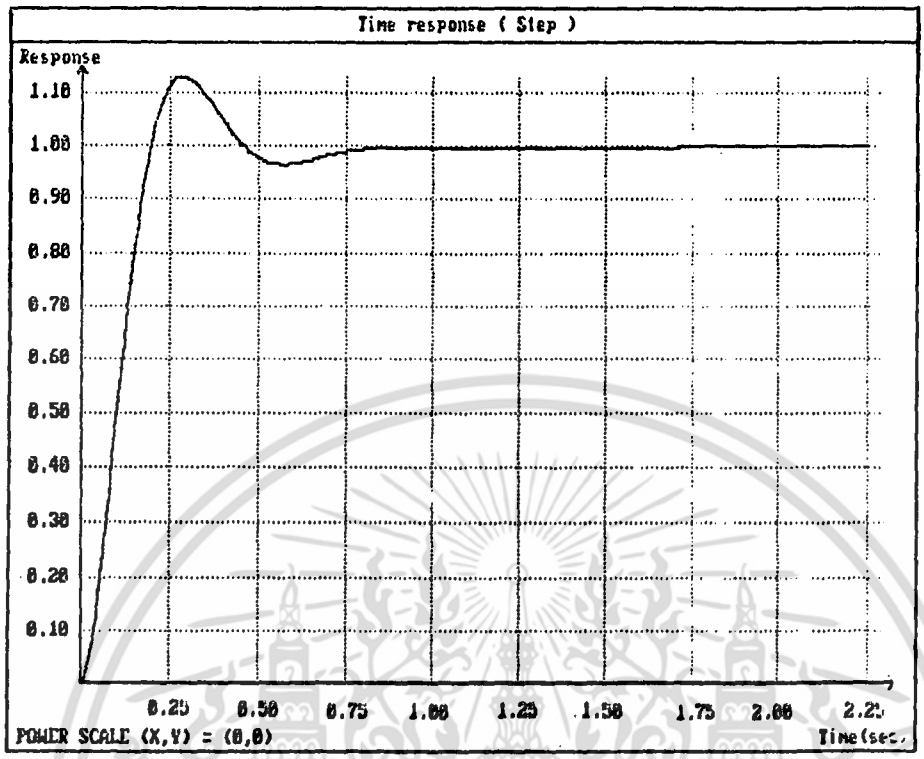
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองข้อมูลเราจะมีการปรับค่าเกน PID ค่าใหม่เพื่อให้ระบบที่ได้ออกมาเหมาะสมยิ่งขึ้นโดยเราจะทำการจำลองปรับค่าตัวเลข ที่เราสามารถแยกการจำลองข้อมูลได้จากค่าสมการที่ (3.46) นำมาเซ็ทค่าหาค่าความถี่ 170 rad/sec ของระบบจะมีเกน 0 dB และเฟส -162.372 องศา ตามต้องการจากรูปที่ 3.24 และ 3.25 ซึ่งเราสามารถนำไปสร้างผลตอบสนองของระบบ PID ได้ดังรูปที่ 3.26 โดยจะมีการเซ็ตค่าเกน PID ในช่วงที่ใช้การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ จะเป็นส่วนของการจำลองค่าเกน K_{p1} = 32.677 K_{i1} = 99.021 และ K_{d1} = 1.078 โดยการนำสมการที่ (3.45) เราสามารถนำระบบที่ใช้ในส่วนของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PID ที่อยู่ภายในรูปสมการ G(s)H(s) ที่ใช้ในการสร้างโบดพล็อต (เกน) และโบดพล็อต (เฟส) นำมาใช้ในการสร้างระบบที่ใช้ในส่วนที่มีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเรานำระบบมาแปลงให้อยู่ภายในรูปแบบตามสมการที่ (3.47) เพื่อที่เราสามารถนำมาใช้ในการแปลงระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PID ดังที่เราสามารถแปลงค่าได้ดังสมการที่ (3.47) ความถี่ 170 rad/sec ของระบบจะมีเกน 0 dB และเฟส -120 องศา ตามต้องการซึ่งเราสามารถนำไปสร้างผลตอบสนองของระบบ PID ที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 3.26

$$\frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$$

$$= \frac{874.118S^4+29169.857S^3+161335.159S^2+245987.572S+1368.223.(3.47)}{S^5+33709.501S^4+103710.56S^3+161749.684S^2+245987.572S+1368.223} \quad (3.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.47

3.9.3.2 ตัวควบคุมปรีอปพอร์ชั่นนัลดิริเวทีฟ (PD)

ขั้นตอนของการออกแบบตัวควบคุม PD ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเราจะพิจารณาจากระบบจะหาค่าความถี่ที่ค่าเกนเป็นหนึ่ง ω_g ได้จากค่าความถี่ที่เฟสเดิมมีค่าเท่ากับ -120 องศา สำหรับในส่วนการควบคุม PD ที่มีค่าของเฟสลีด ω_d อยู่ 45 องศา เราควรกำหนดเฟสมาร์จินของระบบที่ต้องการเท่ากับ 15 องศา แล้วใช้โบดพล็อตของระบบพิจาราณาความถี่ที่เหมาะสม (ω_g) ของระบบ โดยทำการเพิ่มหรือลดค่าอัตราขยายสูงสุดได้โดยค่าความแตกต่างของเกนของระบบ K_g ที่ต่างไปจากเดิม 0 dB จะเป็นค่าอัตราขยายสูงสุดของระบบ $K_{p1} = -K_g$ โดยเรากำหนดค่าความถี่ในส่วนของ $\omega_d = \omega_g$ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์เดอริเวทีฟไทม์คอนสแตนท์ (τ_{d1}) ดังนั้นอัตราการขยายตัวควบคุมแบบ PD จะได้เป็น $K_{p1}(1+s\tau_{d1})$ ในส่วนที่มีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์โดยมีการกำหนดค่าเฟสลีดของระบบอยู่ 42.372 องศา จะทำการเลือกค่า ω_g จากโบดพล็อตเฟสของระบบที่มีค่าการเลื่อนเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-162.372 องศา จะได้ค่า ω_g ประมาณ 34.262 rad/sec ที่ความถี่นี้เกนของระบบมีค่า -30.285 dB หรือจะได้ K_{g1} = 32.677 ต่อไปให้ $\omega_g = \omega_g$ จะได้ ω_g = 30.285 เพื่อที่จะนำมาหาค่าพารามิเตอร์เดอริเวทีฟคอนสแตนท์ (τ_{d1}) จะได้เป็น τ_{d1} = 0.033 rad/sec ($\tau_{d1} = 1/\omega_g$) เพื่อที่จะนำมาใช้ในการออกแบบ และ K_{d1} = 1.078 ตามลำดับ

ตัวควบคุม PD = 32.677+1.078S (3.48)

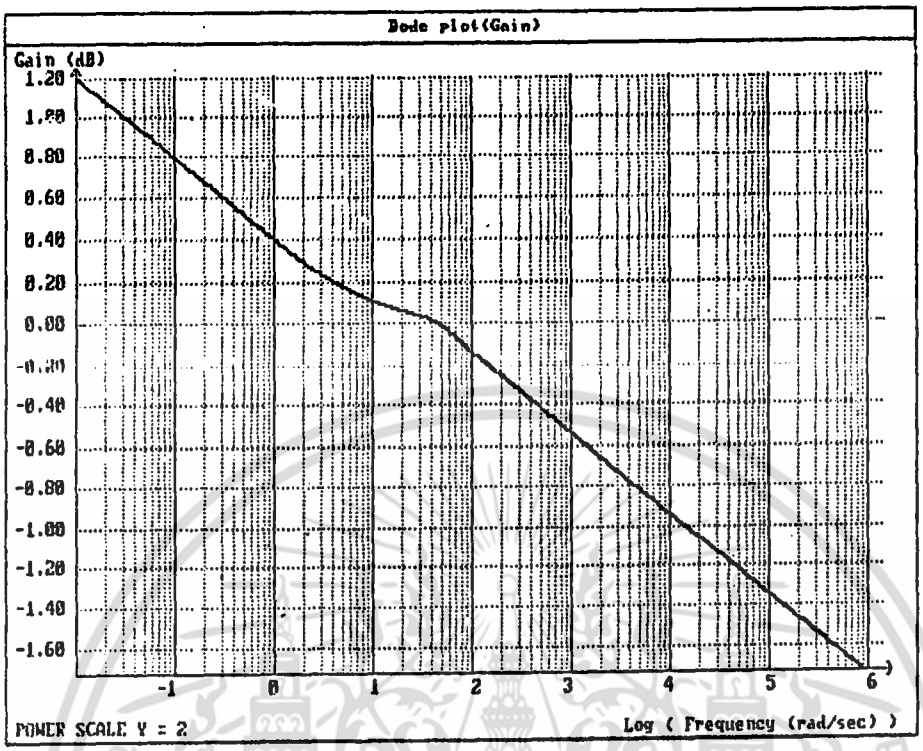
นำสมการที่ (3.48) ภายในระบบการควบคุมในส่วนของการควบคุมความเร็วมอเตอร์เราสามารถนำมาใช้ในการสร้างค่าในส่วนของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์จากสมการที่ (3.49) เพื่อที่เราจะนำมาวิเคราะห์ระบบการควบคุมตั้งค่าเกนตัวควบคุมแบบ PD ดังนั้นระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PD จะเป็นดังต่อไปนี้

$$G(s)H(s)(\text{ตัวควบคุมPD}) = \frac{(1.078S+32.677)}{30S}\,\frac{(24326.110S^2+74389.086S+414.525)}{S^3+32835.383S^2+74540.703S+414.525}$$

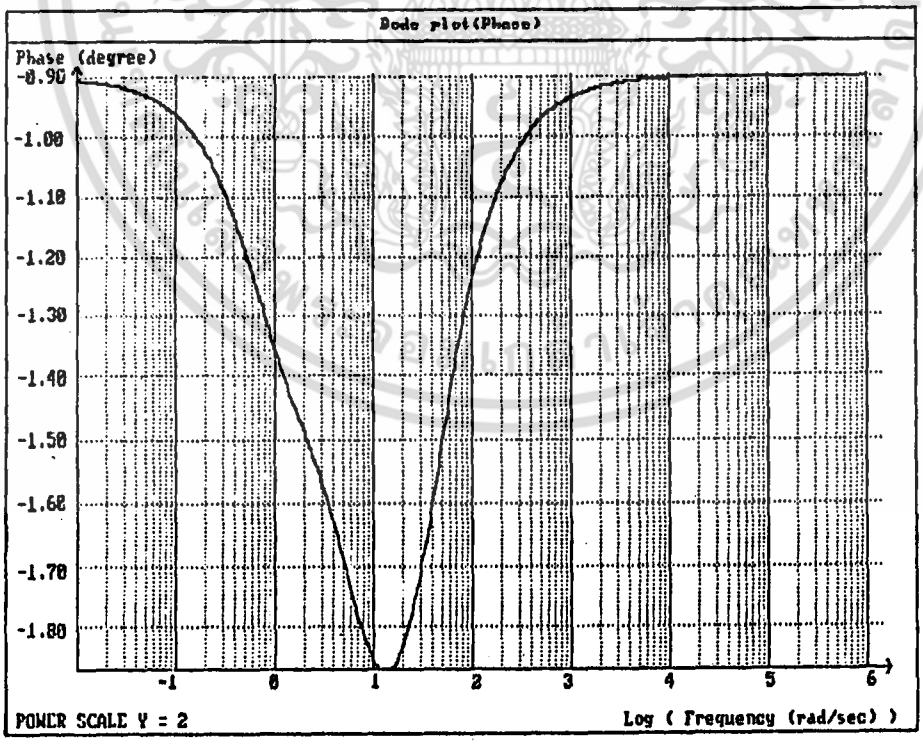
$$= \frac{874.118S^3+29169.857S^2+81041.967S+451.514}{S(S^3+32835.383S^2+74540.703S+414.525)} \quad (3.49)$$

จากสมการที่ (3.49) เราสามารถนำมาสร้างโบดพล็อต (เกน) และโบดพล็อต (เฟส) ที่จะได้ดังรูปที่ 3.27 และ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 โบดพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.49



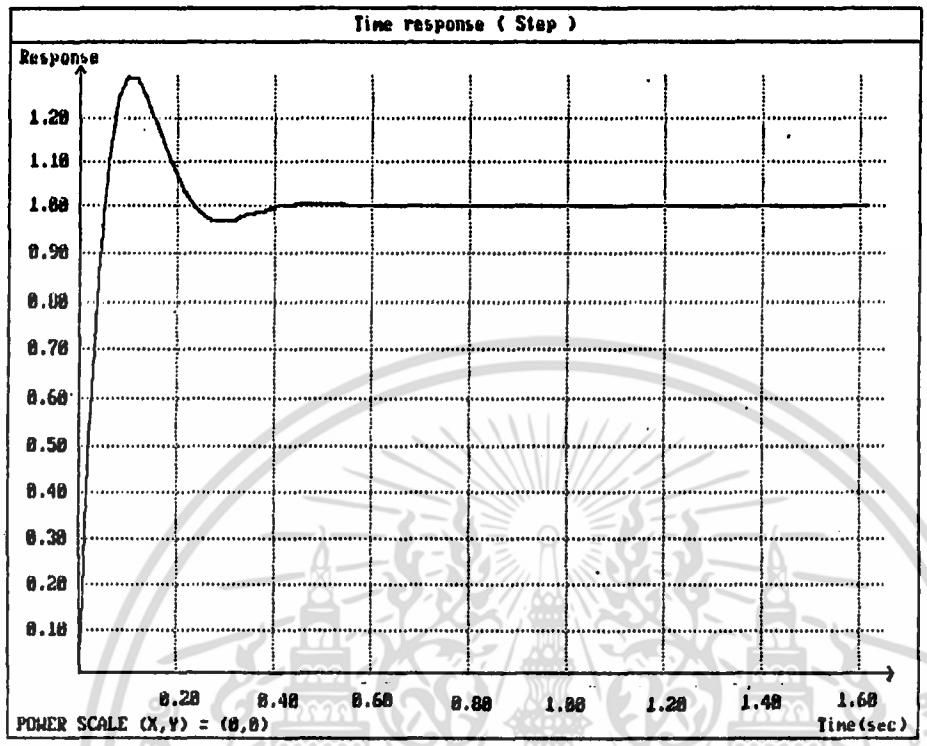
รูปที่ 3.28 โบดพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองข้อมูลเราจะมีการปรับค่าเกน PD ค่าใหม่เพื่อให้ระบบที่ได้ออกมาเหมาะสมยิ่งขึ้นโดยเราจะทำการจำลองปรับค่าตัวเลข ที่เราสามารถแยกการจำลองข้อมูลได้จากค่าสมการที่ (3.49) นำมาเซ็ทค่าหาค่าความถี่ 170 rad/sec ของระบบจะมีเกน 0 dB และเฟส -162.372 องศา ตามต้องการจากรูปที่ 3.27 และ 3.28 ซึ่งเราสามารถนำไปสร้างผลตอบสนองของระบบ PD ได้ดังรูปที่ 3.29 โดยจะมีการเซ็ตค่าเกน PD ในช่วงที่ใช้การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ จะเป็นส่วนของการจำลองค่าเกน K_{pi} = 32.677 K_{di} = 1.078 โดยการนำสมการที่ (3.49) เราสามารถนำระบบที่ใช้ในส่วนของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PD ที่อยู่ภายในรูปสมการ G(s)H(s) ที่ใช้ในการสร้างโบดพล็อต (เกน) และโบดพล็อต (เฟส) นำมาใช้ในการสร้างระบบที่ใช้ในส่วนที่มีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเรานำระบบมาแปลงให้อยู่ภายในรูปแบบตามสมการที่ (3.50) เพื่อที่เราสามารถนำมาใช้ในการแปลงระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PD ดังที่เราสามารถแปลงค่าได้ดังสมการที่ (3.50) ความถี่ 170 rad/sec ของระบบจะมีเกน 0 dB และเฟส -120 องศา ตามต้องการซึ่งเราสามารถนำไปสร้างผลตอบสนองของระบบ PD ที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 3.29

$$\frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} = \frac{874.118S^3+29169.857S^2+81041.967S+451.514}{S^4+33709.501S^3+103710.56S^2+81456.492S+451.514} \quad (3.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.50

จากการวิเคราะห์ของระบบเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้สำหรับการควบคุมตำแหน่ง เราพอที่จะสรุปได้ว่าระบบที่มีการป้อนกลับความเร็วรอบ และทอร์คจะมีผลทำให้ความเร็วในการตอบสนองของระบบจะดีขึ้น รวมทั้งเสถียรภาพของระบบจะดีขึ้นอย่างมาก โดยในการทำวิทยานิพนธ์เราได้ใช้ตัวควบคุมที่เป็นการควบคุมความเร็วแบบ PI และควบคุมตำแหน่งแบบ PID และ PD ที่ช่วยในการแก้ปัญหาค่าออฟเซ็ทของระบบลงได้ ในบทนี้เราจะมีการจำลองระบบต่างๆที่ได้จากระบบของมอเตอร์ ทั้งส่วนที่มีการจำลองระบบการควบคุมความเร็ว และระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ระบบชุดควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์

4.1 บทนำ

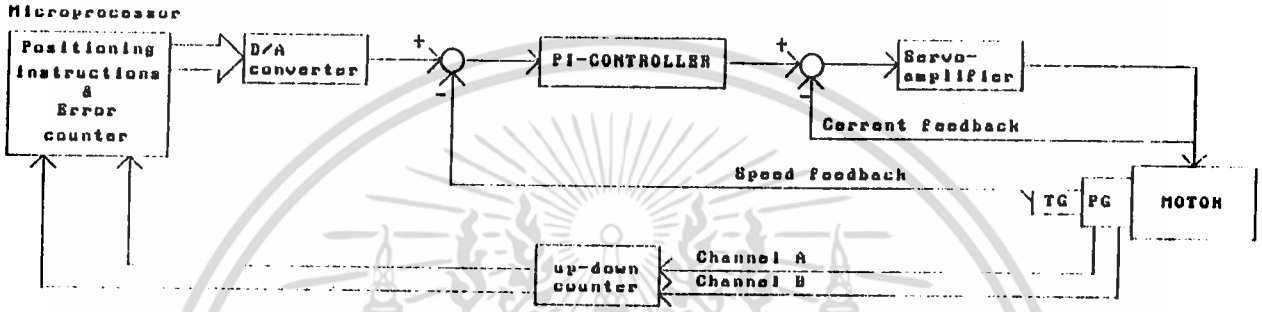
ในบทนี้เราจะกล่าวถึงการออกแบบประยุกต์ใช้กับการควบคุมความเร็วดีซีเซอร์โวมอเตอร์แบบกระแสตรงที่ใช้ในขณะนี้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่จะนำมากล่าวในการทำวิทยานิพนธ์บทนี้เราจะขอกล่าวถึงการพัฒนาหน่วยระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PI โดยในส่วนนี้เราจะแสดงการสร้างและการวิเคราะห์วงจรที่ใช้ทางเทคนิคทางอานาลอก ที่แสดงผลจากสมการตัวควบคุมที่นำมาใช้ในระบบควบคุมโรงงาน พร้อมทั้งแสดงถึงการออกแบบระบบควบคุมตัวแปรโดยที่ตัวควบคุมมีอยู่ 2 อินพุทที่เรียกว่าจุดตั้ง (SP) และตัวแปรสัญญาณอินพุทอีกตัวเรียกว่าค่าที่ได้จริงจากการออกแบบซีอพแวร์ของตัวแปรที่เรียกว่าตัวแปรกระบวนการ (PV) เพื่อที่นำมาสร้างสัญญาณค่าผิดพลาด (E) เพื่อที่ใช้ในการควบคุมตัวแปรแบบ PI ต่อไปถ้าเรามีการเปลี่ยนแปลงตัวควบคุมในจุดตั้ง (SP) ตัวแปรตัวแปรกระบวนการ (PV) หรือค่าโหลดก็จะมีการเปลี่ยนแปลงในเอาท์พุทของตัวควบคุมที่ใช้วงจรขับแบบพัลซ์วิดท์โมดูเลชั่น (PWM) คอนเวอร์เตอร์ ที่ถูกสร้างขึ้นจากออปแอมป์ที่ทำหน้าสร้างสัญญาณพัลส์ขึ้นมาที่ควบคุมได้ทั้งตำแหน่งและทิศทางแบบสี่ควอดแรนท์ ในส่วนของวงจรกำลังในที่นี้เราจะขอกล่าวถึงการออกแบบในวงจรสวิทซ์แบบบริดจ์สมบูรณ์ ที่ทำงานด้วยทรานซิสเตอร์จะใช้ในระบบการควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงภายในระบบเซอร์โว ที่มีลักษณะการทำงานแบบไบโพล่าร์โหมดพร้อมทั้งมีการออกแบบวงจรการป้อนกลับในลักษณะต่างๆ ทั้งแบบการป้อนกลับกระแส ทาโคเจนเนอเรเตอร์ที่นำมาใช้ในการสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดที่ใช้ในการควบคุมความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นภายในวงจรอานาลอกและพัลส์เจนเนอเรเตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้งานในส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งภายในไมโครโปรเซสเซอร์ในแต่ละลักษณะต่อไป

4.2 ส่วนประกอบของชุดควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์

จากรูปที่ 4.1 เราจะแสดงส่วนของบล็อคไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งที่ใช้ดีซีมอเตอร์ที่นำมาใช้สำหรับศึกษาทางปฏิบัตินำมาประยุกต์ใช้ทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ ที่นำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่ง PID ในส่วนของวงจรชุดควบคุมความเร็วที่เรานำมาประยุกต์แบบวงจรอานาลอกที่ใช้แบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุม นำมาควบคุมแบบใช้สัญญาณแบบ PWM เป็นตัวควบคุมชุดขับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อที่จะนำไปเข้าสู่วงจรสวิทชิ่งเซอร์โวแอมป์ที่นำไปใช้ในการควบคุมทั้งทิศทางและความเร็วดีซีมอเตอร์ จากนั้นจะนำสัญญาแการป้อนกลับจากพัลส์เจนเนอเรเตอร์ ที่ถูกป้อนกลับเข้ามายังส่วนไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อที่นำมาสร้างสัญญาณค่าผิดพลาด ที่นำมาใช้เข้าสู่ระบบควบคุมตำแหน่ง PID และนำสัญญาณที่ได้นำ.



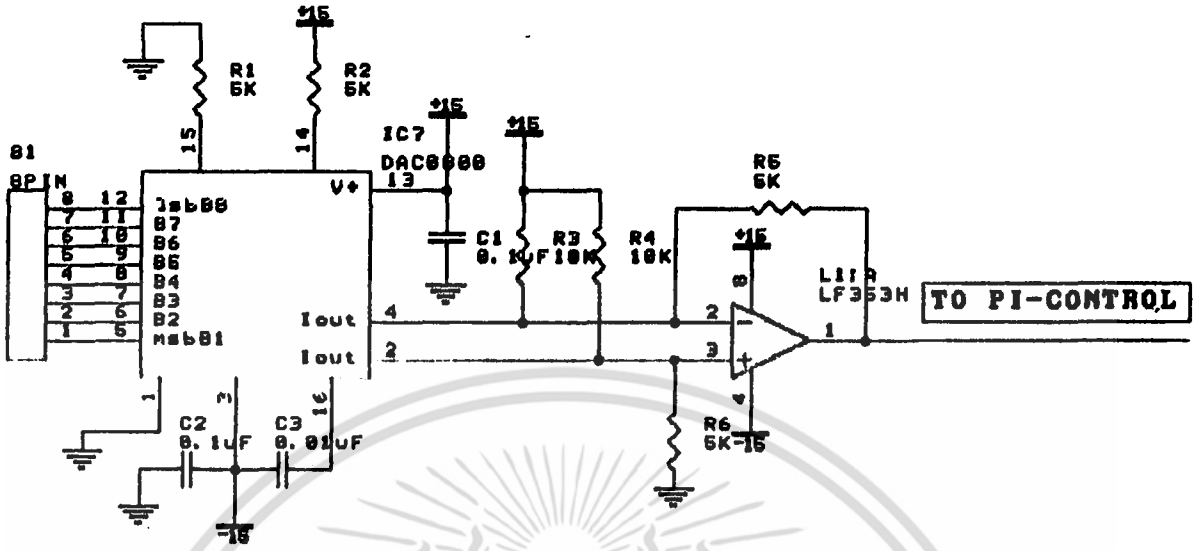
รูปที่ 4.1 บล็อคไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งของดีซีมอเตอร์ซึ่งมี uP เป็นตัวควบคุม

มาทำการอินเตอร์รัพท์ ที่ใช้ในการกำหนดทิศทางของมอเตอร์ที่ถูกเขียนขึ้นโดยไมโครโปรเซสเซอร์ พร้อมกันนั้นจะมีการนำสัญญาณการป้อนกลับมาจากสัญญาณทาโคเจนเนอเรเตอร์ นำมาสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดในส่วนของชุดควบคุมความเร็วแบบ PI พร้อมกับนำสัญญาณจากการป้อนกลับกระแสที่เข้าสู่ชุดควบคุมมอเตอร์ต้องการทำให้ระบบมีเสถียรภาพยิ่งขึ้น

4.3 การออกแบบวงจรการแปลงดิจิตอลเป็นอานาลอก

วงจรที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณอานาลอก พร้อมทั้งมีการนำมาข้อมูลแปลงเข้าสู่ออปแอมป์ที่ทำหน้าที่แปลงออกมาเป็นโวลท์เตจดังรูปที่ 4.2 โดยลักษณะการต่อดังรูปจะสามารถมีแรงดันออกมาได้ทั้งแรงดันบวก ($+V_{out}$) และแรงดันลบ ($-V_{out}$) โดยที่เราจะนำข้อมูลดิจิตอลผ่านมาทางเอาท์พุทพอร์ท A ของ 8255 ที่ให้สัญญาณเป็นอานาลอก ซึ่งขนาดของสัญญาณดิจิตอลเป็นตัวบอกระดับความเร็วของมอเตอร์ที่ได้ ซึ่งสัญญาณอานาลอกที่บิทบนสุด (MSB) เป็นตัวกำหนดทิศทางของมอเตอร์ นำแรงดันที่ได้จากส่วนของออปแอมป์ L1 ผ่านเข้าไปสู่ในชุดควบคุม PI ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอานาลอกที่ให้เอาท์พุทเป็นได้ทั้งโวลต์เตจบวกและลบ

4.4 การออกแบบวงจรระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์

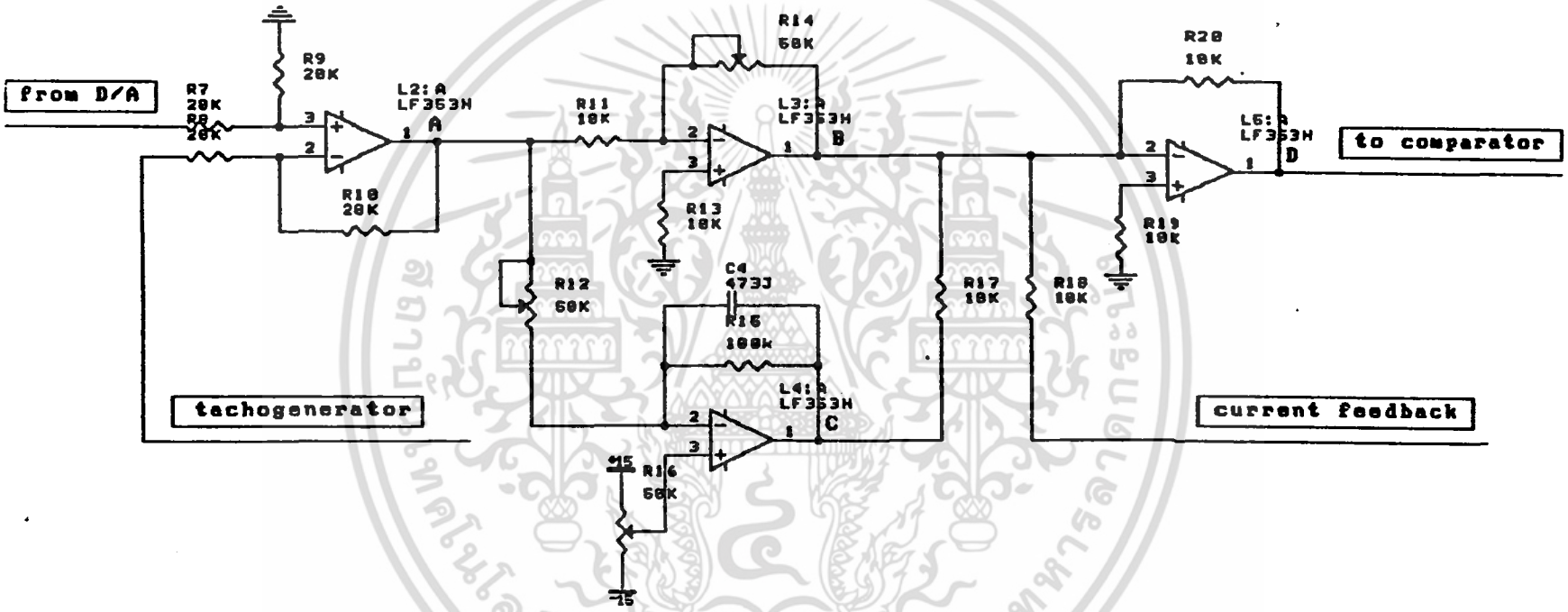
ในการออกแบบวงจรการควบคุมออปแอมป์แต่ละตัวจะมีจุดมุ่งหมายที่แตกต่างกัน โดยที่ออปแอมป์ตัวแรกจะทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอร์เรนท์แอมป์ปลิไฟล์ โดยจะได้รับสัญญาณมาจากแรงดันที่ได้จากการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอานาลอก (D/A) V_o พร้อมทั้งรับสัญญาณการป้อนกลับแรงดัน V_- มาจากทาโคเจนเนอเรเตอร์ผ่านเข้าสู่ออปแอมป์ L2 จะปรากฏว่าแรงดันที่จุด A เป็น (V_o-V_-) จากนั้นจะนำแรงดันที่จุด A นำผ่านเข้ายังออปแอมป์ L2 และ L3 โดยจะนำไปทำหน้าที่เป็นปรื๊อปพอร์ชั่นนัลและอินติกรัลตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3 แรงดันที่จุด B เป็น $K_p(V_o-V_-)$ และแรงดันที่จุด C เป็น $K_i\int(V_o-V_-)dt$ จากนั้นจะนำสัญญาณแรงดันที่ได้เข้าสู่ออปแอมป์ L5 ที่ทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอร์เรนท์แอมป์ปลิไฟล์ โดยทำหน้าที่รับแรงดันที่จุด B และ จุด C พร้อมทั้งรับแรงดันการป้อนกลับจากกระแสป้อนกลับ V_c ผ่านเข้าสู่ออปแอมป์ L5 ที่ทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอร์เรนท์แอมป์ปลิไฟล์ เราจะได้รับแรงดันที่จุด D เป็น $K_p(V_o-V_-) + K_i\int(V_o-V_-)+V_c$ โดยที่จะนำแรงดันที่จุดนี้นำไปใช้ในการควบคุมมอเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

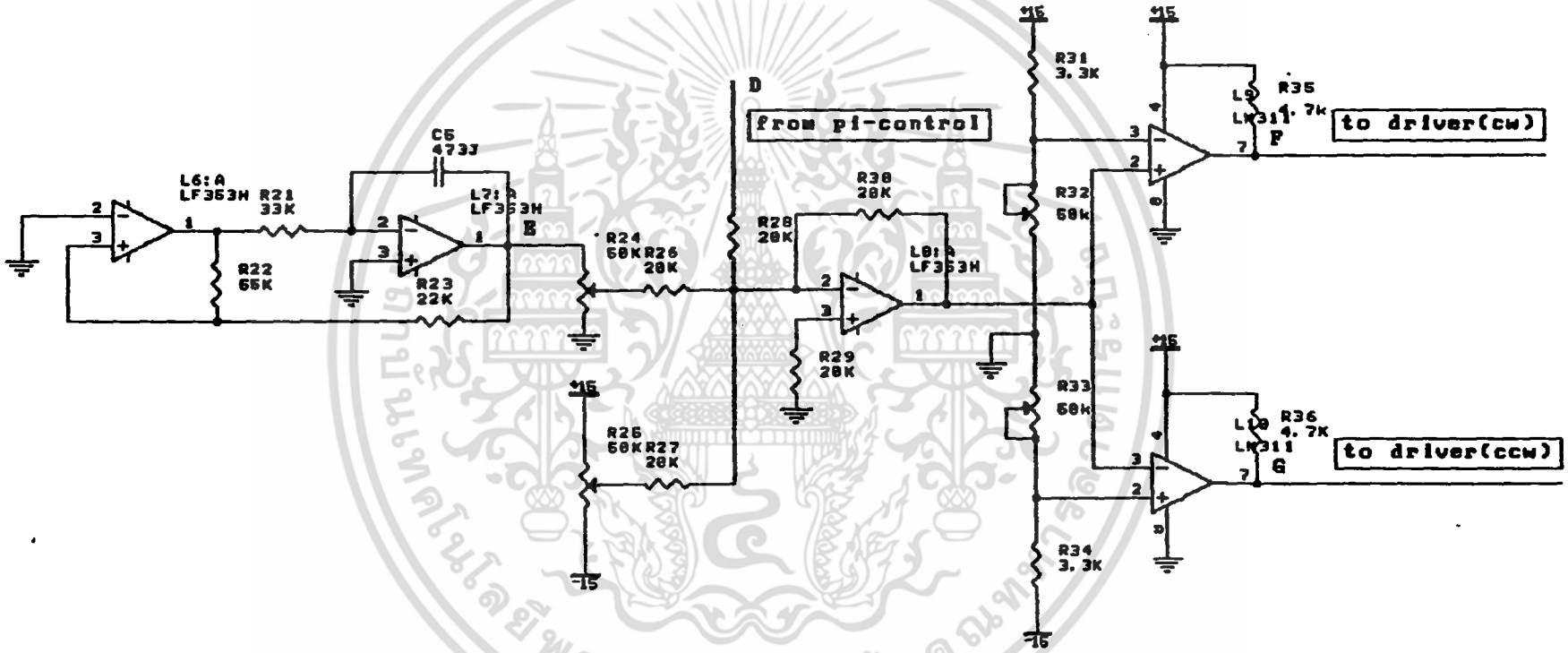
4.5 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณความถี่

ในส่วนของการออกแบบในวงจรสร้างสัญญาณความถี่ดังรูปที่ 4.4 จากในส่วนของวงจรนี้เราได้รับแรงดันที่จุด D จากรูปที่ 4.3 พร้อมทั้งรับแรงดันที่ได้จากโครงสร้างการสร้างสัญญาณ พัลส์-วิด-มอดดูเลต (PWM) เป็นวงจรสร้างสัญญาณความถี่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณสามเหลี่ยมที่สามารถเปลี่ยนแปลงความกว้างพัลส์ตามระดับแรงดันโวลย์เต็จที่จุด E โดยเราสามารถปรับแรงดันโดยจากการตัวต้านทาน R24 และ R25 เพื่อให้ได้แรงดันที่จุด E อย่างเหมาะสมเพื่อที่ใช้ควบคุมรวมกับสัญญาณควบคุมจากแรงดันที่จุด D เพื่อที่จะนำไปขับวงจรสวิทช์ชิ่งเซอร์โวแอมป์ที่ประกอบด้วยวงจรที่ใช้ในการออกแบบวงจรเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 4.4 เราสามารถดูได้ว่าออปแอมป์ L8 จะทำหน้าที่ดิฟเฟอร์เรนท์แอมป์ปลิไฟล์ โดยเราจะนำสัญญาณจากวงจรควบคุม PI และวงจรสร้างสัญญาณความถี่นำมารวมกันผ่านเข้าสู่ออปแอมป์ L8 ไปยังออปแอมป์ L9 และ L10 ที่ใช้ทำหน้าที่เป็นวงจรคอมพาเรเตอร์ที่มีหน้าที่สร้างพัลส์ โดยที่ตัวต้านทาน R32 และ R33 มีหน้าที่ในการปรับระดับแรงดันเพื่อทำหน้าที่สร้างขอบบนและขอบล่างของรูปคลื่น PWM เมื่อแรงดัน V_c มีค่าเป็นบวกจะทำให้แรงดันที่จุด F สร้างสัญญาณพัลส์ที่ได้ออกมาทาง P_{ccw} มีผลทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ในทางตรงกันข้ามเมื่อแรงดัน V_c มีค่าเป็นลบจะทำให้แรงดันที่จุด G สร้างสัญญาณพัลส์ออกมาทาง P_{cw} ทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางไปในทิศทางตามเข็มนาฬิการโดยความกว้างของพัลส์ทั้งสองเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสัมบูรณ์ของแรงดันที่จุด E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรตัวควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์แบบ PI



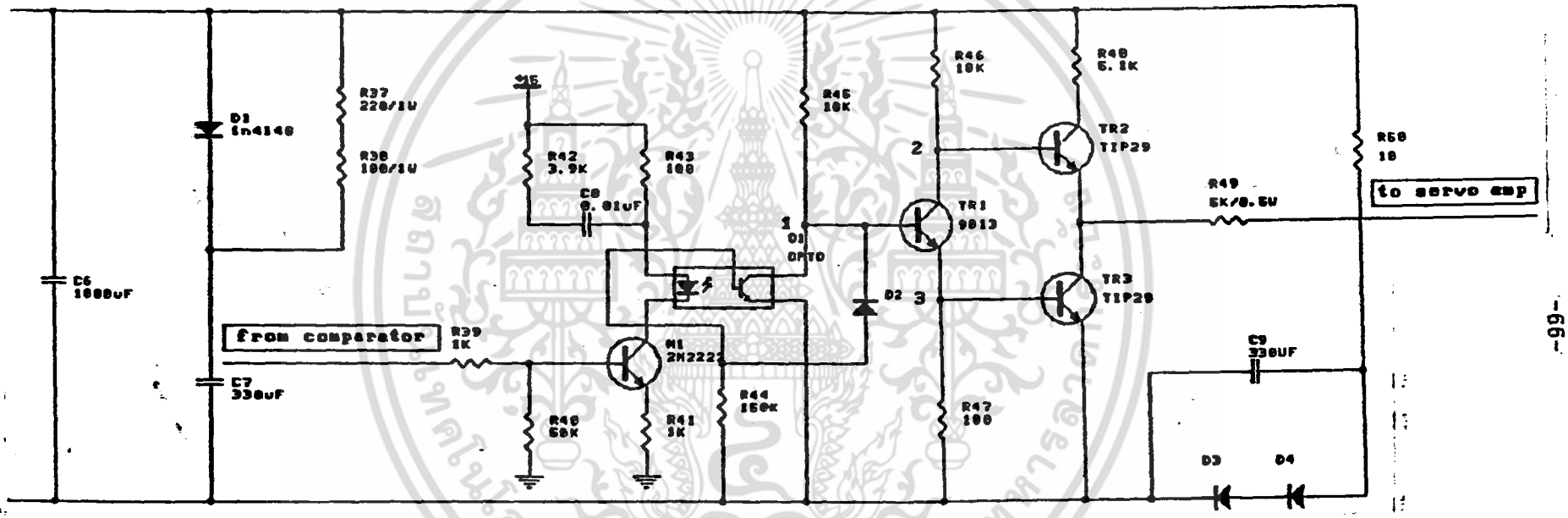
รูปที่ 4.4 วงจรสร้างลูกคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อใช้สร้างสัญญาณ PWM

4.6 การออกแบบวงจรชุดขับเซอร์โวมอเตอร์

การอินเตอร์เฟสสัญญาณการควบคุมสำหรับโครงสร้างความถี่สัญญาณ PWM ความถี่กับโครงสร้างที่ใช้กับทรานซิสเตอร์ NPN นี้จะใช้ออปโต้ไอโซเรสที่ทำหน้าที่เป็นตัวแยกแรงดันไฟฟ้าระหว่างวงจรควบคุมและวงจรชุดขับเซอร์โวออกจากกันดังแสดงในรูปที่ 4.5 สิ่งจำเป็นที่ทำให้เกิดแรงดันสำหรับสภาวะการอินเตอร์เฟสวงจรชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ จากการนำค่าสัญญาณที่ได้จากเอาท์พุทของแรงดันวงจรเปรียบเทียบ นำเข้ามาสู่ส่วนของชุดอ๊อปโต้ไอโซเรสที่ขา 1 ถ้าแรงดันที่เข้ามามีค่าเป็น 1 จะมีผลทำให้แรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ PT มีค่าเป็น 1 ซึ่งคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ NPN จะทำงานที่ลอจิก 1 จากรูปที่ 4.5 แรงดันที่จุด 1 จะมีแรงดันเป็น 0 มีผลทำให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr1 ไม่ทำงานที่ลอจิก 0 จะทำให้แรงดันที่จุด 2 มีค่าเป็น 1 มีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Tr2 ทำงานที่ลอจิก 1 และแรงดันที่จุด 3 มีค่าเป็น 0 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Tr3 ไม่ทำงานที่ลดจิก 0 แรงดันเอาท์พุทของชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ที่จุด 4 มีลอจิกเป็น 1 ที่จะนำไปใช้และในทางกลับกันถ้าเราให้สัญญาณที่ได้จากเอาท์พุทของแรงดันวงจรเปรียบเทียบเข้ามาสู่ส่วนของชุดออปโต้ไอโซเรสที่ขา 1 แรงดันที่เข้ามามีค่าลอจิกเป็น 0 จะมีผลทำให้แรงดันที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ PT มีค่าเป็น 0 ตามคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ NPN ที่ได้กล่าวมาแล้วว่าจะทำงานที่ลอจิก 1 แต่จะไม่ทำงานที่ลอจิก 0 ดังนั้นแรงดันที่จุด 1 จะมีแรงดันเป็น 1 มีผลทำให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Tr1 ทำงานที่ลอจิก 1 จะทำให้แรงดันที่จุด 2 มีค่าเป็น 0 มีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Tr2 ไม่ทำงานที่ลอจิก 0 และแรงดันที่จุด 3 มีค่าเป็น 1 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Tr3 ทำงานที่ลอจิก 1 แรงดันเอาท์พุทของชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ที่จุด 4 มีลอจิกเป็น 0 ที่จะนำไปใช้งานต่อไป

จากการสังเกตุวงจรมีการรวมกันของคาพาซิเตอร์ C และไดโอด ๒ ตัว ดูจากรูปที่ 4.5 สำหรับเตรียมไว้ที่อาจจะเกิดกรณี negative สำหรับการเปลี่ยนค่าอย่างรวดเร็วของประจุที่มากเกินไปจากขาเบสจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ทำให้ลดค่าเวลาในการ tmurning-off (ดังรูป) เมื่อ photo diode (ทรานซิสเตอร์) PT เป็น on Tr3 เป็น close มาส่งให้กระแสเบสส่งไปยัง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ที่เวลาเดียวกัน Tr1 เป็น on เมื่อนำมาสร้าง photo เป็น off ที่เวลาเดียวกันการทำงานของ Tr3 มีผลต่อการเคลื่อนที่ของประจุมากเกินไปจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพราะว่าแรงดันไฟฟ้าอิมิเตอร์ของ Tr3 ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด ๒ กับค่าอิมิเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำมาต่อกันกับวงจรสวิทซ์ชิ่งเซอร์โวแอมป์ฟลิไฟล์

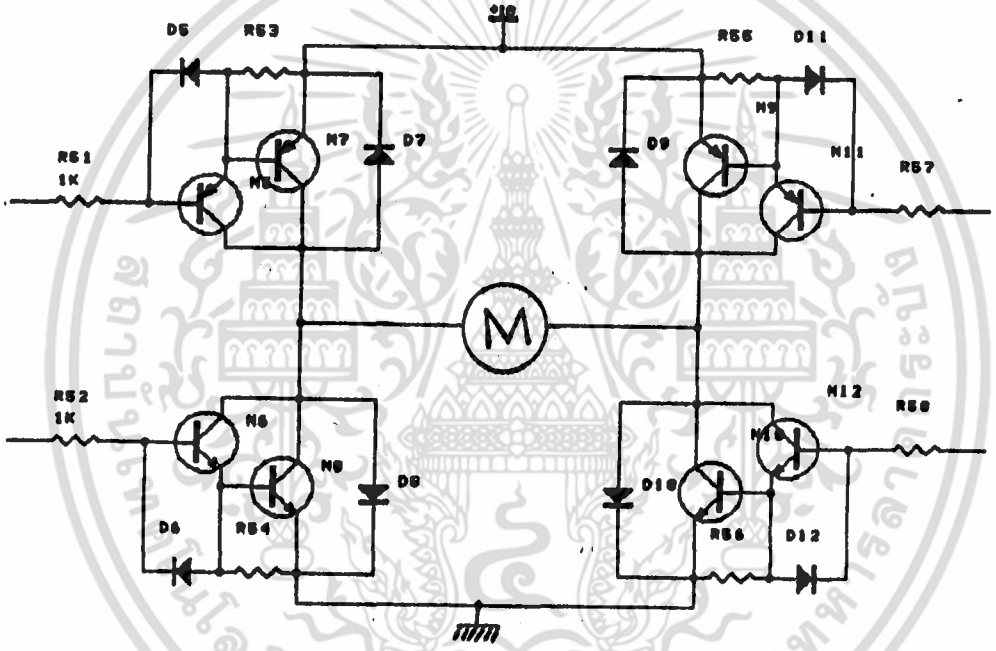
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 วงจรชุดขับดิซิเซอร์โวมอเตอร์

4.7 การออกแบบวงจรสวิทชิ่งเซอร์โวแอมปลิไฟล์

วงจรสวิทชิ่งเซอร์โวแอมปลิไฟล์มีหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุท สำหรับการสวิทช์ชิ่งที่มีกระแสสูงๆ แต่กลับใช้กระแสอินพุทน้อยๆจะเรียกการต่อกันแบบนี้ว่าวงจร Darlington ที่นำทรานซิสเตอร์ มาใช้ ดังรูปที่ 4.6 กระแสอีมิเตอร์ในทรานซิสเตอร์NPN ทั้ง ๒ ตัว จะสังเกตุได้ว่าโครงสร้าง Darlington จะมีการเพิ่มแรงดัน Saturation ใน Tr5 เพื่อที่จะนำใช้ในการควบคุมดิซิมอเตอร์รายละเอียดของวงจรดูได้จากรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วงจรสวิทช์ชิ่งเซอร์โวแอมป์ปลิไฟล์

4.8 การออกแบบวงจรควบคุมทิศทางการป้อนกลับ

การป้อนกลับของกระแสมอเตอร์ที่มีการใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ มีทั้งแบบการป้อนทิศทางการป้อนกลับของกระแสเซอร์โวมอเตอร์ การป้อนกลับของสัญญาณทาโคเจนเนอร์เตอร์และการป้อนกลับของสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือเราอาจจะใช้การป้อนกลับทั้ง 3 แบบก็ได้อย่างที่เราใช้ในการทำวิทยานิพนธ์อยู่ในตอนนี้ โดยที่มอเตอร์ที่ถูกใช้อยู่นี้จะมีโรเตอร์ทั้งในระบบทาโคเจนเนอร์เรเตอร์และพัลส์เจนเนอเรเตอร์โดยที่ทั้งคู่จะมีทิศทางไปในทาง shaft

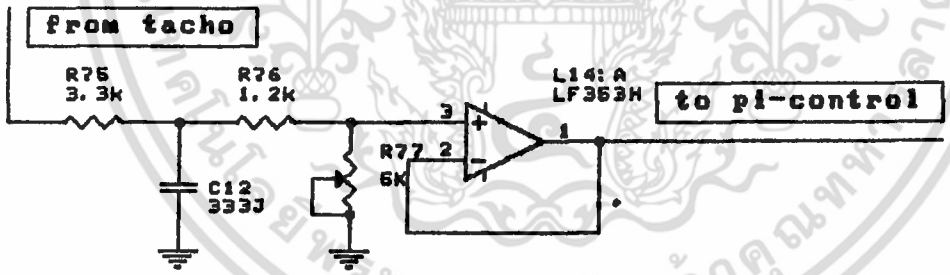
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.1 ทิศทางการป้อนกลับกระแสเซอร์โวมอเตอร์

มอเตอร์ที่ถูกใช้ภายในระบบการป้อนกลับกระแส จากรูปที่ 4.8 โดยเรานำกระแสการป้อนกลับจากมอเตอร์เข้ามาสู่ออปแอมป์ L11 ที่ทำหน้าที่เป็นบัปเฟอร์ จากนั้นเรานำกระแสที่ได้ผ่านเข้ามาสู่ optoisolate ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแยกแรงดันและกราวส์ออกจากกัน เพื่อนำแรงดันที่ได้จากการป้อนกลับกระแสนำเข้ามาสู่ชุดควบคุมภายในระบบ PI โดยที่เราพอจะทราบได้จากคุณสมบัติของ optoisolate ถ้ามีการป้อนกลับของกระแสมอเตอร์ optoisolate ก็จะทำงานที่ตอนนี้

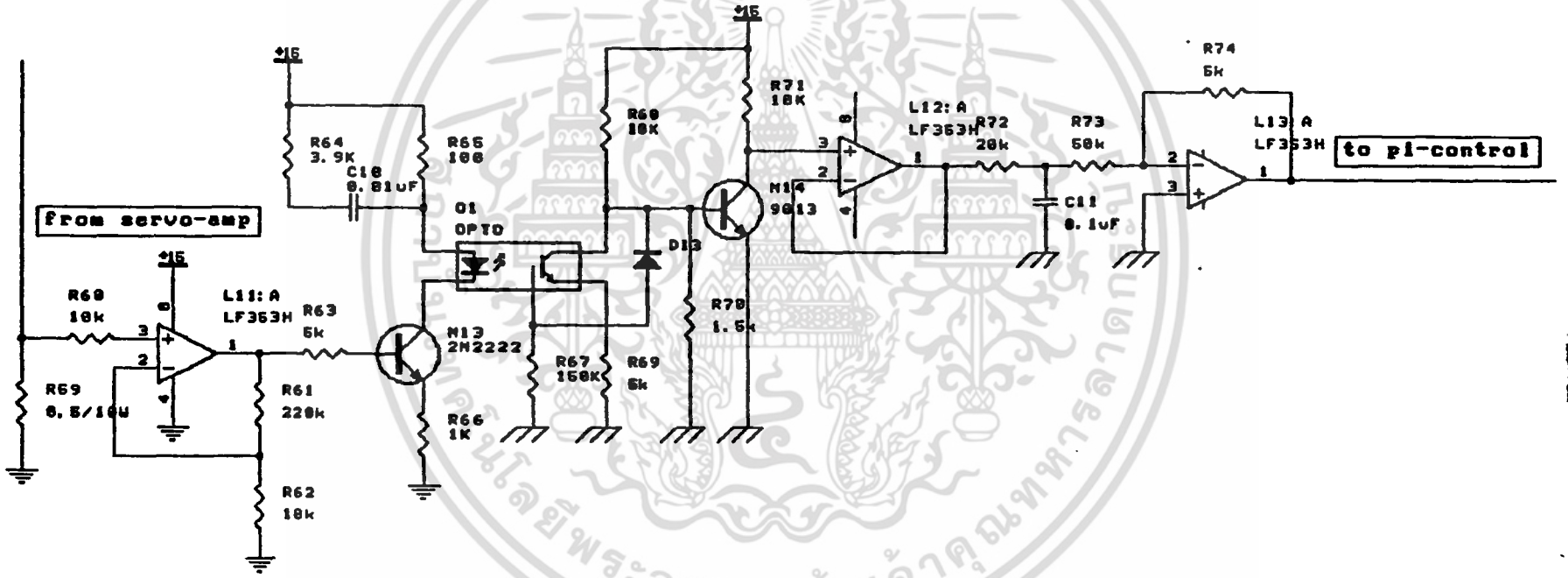
4.8.2 ทิศทางการป้อนกลับทาโคเจนเนอเรเตอร์

ทาโคเจนเนอเรเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซีแปลงค่าการหมุนความเร็วเข้าไปในแรงดันดีซีจากรูปที่ 4.8 เป็นการนำสัญญาณการป้อนกลับจากทาโครเจนเนอเรเตอร์ เข้าสู่วงจรฟิวเตอร์อย่างง่ายๆ ที่จะนำแรงดันจากทาโครเจนเนอเรเตอร์เข้าสู่ออปแอมป์ L14 ที่ทำหน้าที่เป็นบัปเฟอร์ก่อนที่เราจะนำสัญญาณกลับเข้าไปสู่วงจรควบคุมดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 4.7 วงจรแรงดันการป้อนกลับทาโคเจนเนอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

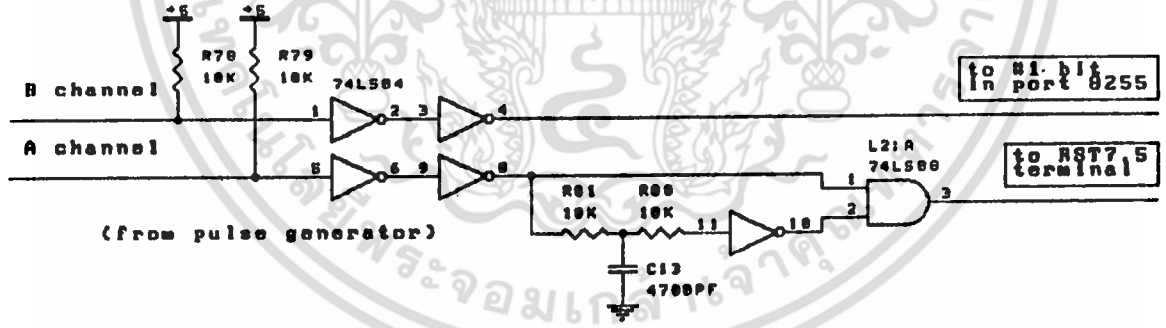


รูปที่ 4.8 วงจรการป้อนกลับทิศทางของกระแสดีซีมอเตอร์

4.8.3 ทิศทางการป้อนกลับพัลส์เจนเนอเรเตอร์

พัลส์เจนเนอเรเตอร์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่โรเตอร์ของมอเตอร์ที่มีเฟสแตกต่างกัน 90° ระยะสัญญาณจากแชลแนล A และ B ทิศทางการเคลื่อนที่สามารถนำมาตรวจสอบ ในวิธีการควบคุมตำแหน่งที่ถูกสร้างในสัญญาณ encoder ถูกกำหนดโดยไมโครโปรเซสเซอร์ มีการอินเตอร์รัพท์ความถี่ได้สูงสุด (สมมุตว่าเป็น 10 KHz) เพื่อใช้ในการกำหนดตำแหน่งของดีซีมอเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์กับค่าเวลาจากการเริ่มต้นของ subroutine การนับค่าผิดพลาดในช่วงการอินเตอร์รัพท์ (ใช้เวลา 40 ms สำหรับ ความถี่ clock 2.5 MHz) ค่าความถี่อินเตอร์รัพท์สูงสุด 25 kHz

สัญญาณจากพัลส์เจนเนอเรเตอร์บนมอเตอร์ที่นำมาป้อนให้กับวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.10 ก่อนที่จะนำมาส่งไปยังอินพุทพอร์ต 8255 และเข้าสู่ขาอินเตอร์รัพท์ INT ของไมโครโปรเซสเซอร์ โดยที่เราต้องนำมาผ่านอินเวอร์เตอร์ 2 ลอจิก สัญญาณจากแชลแนล B ไปยังบิทที่ 1 ของพอร์ตอินพุทแอดเดรส ในส่วนของสัญญาณแชลแนล A การอินเตอร์รัพท์มีผลต่อการสร้างสัญญาณขอบขึ้นของสัญญาณแชลแนล A โดยใช้วงจรดีเลย์ RC และ AND เกทพัลส์ที่ต่ำเนื่องได้มาจากสัญญาณแชลแนล A และส่งต่อไปยัง INT



รูปที่ 4.9 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์

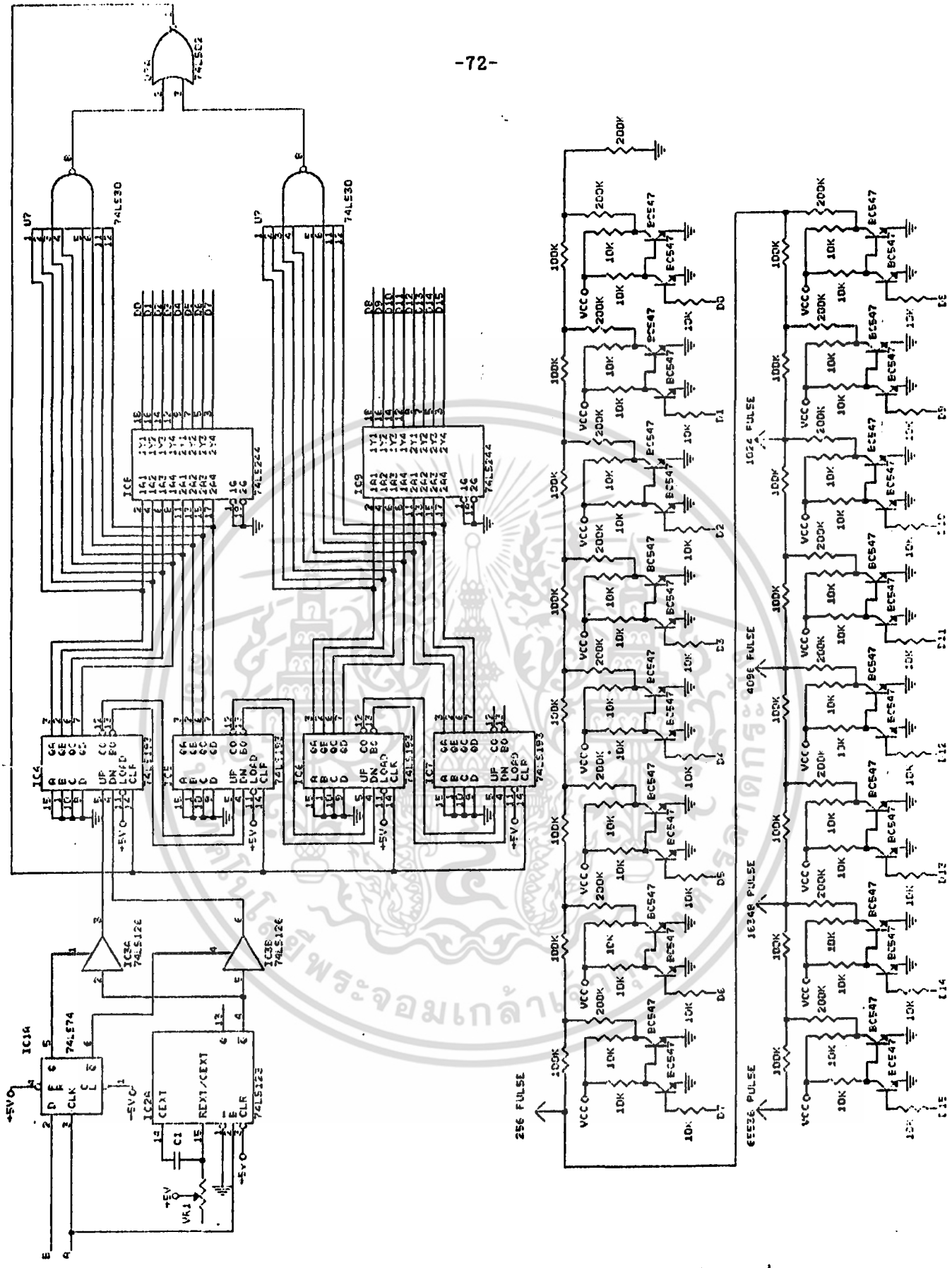
4.9 การออกแบบวงจรการวัดตำแหน่งมอเตอร์

ในการวัดตำแหน่งการหยุดของมอเตอร์ในการกำหนดตำแหน่งและทิศทางของมอเตอร์ ในการทดลองที่ใช้อยู่นี้เราได้ใช้วงจรการนับขึ้น-ลง (up-down counter) เป็นตัวที่ใช้ในการเซ็ต โดยเราจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสัญญาณที่ได้จากสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ผ่านเข้าสู่วงจรการนับ โดยในการรทดลองอยู่นี้เราได้ใช้วงจรการนับขนาด 16 บิท ที่มีความละเอียดต่อการนับโดยเราจะ IC 74LS193 เป็นตัวที่ใช้ในการนับขนาด 4 บิท จำนวน 4 ตัว จากนั้นนำมาผ่าน IC 74LS244 ที่จะรับข้อมูลครั้งละ 4 บิท จำนวน 2 ตัว โดยตัวแรกจะรับข้อมูล 4 บิทบน และตัวที่สองจะรับข้อมูล 4 บิทล่าง ในขั้นตอนสุดท้ายเราจะนำข้อมูลที่ได้ทั้ง 16 บิท ผ่านเข้าไปสู่วงจร D/A ขนาด 16 บิท ที่ได้จากการสร้างขึ้นมาเองจากทรานซิสเตอร์ NPN ขนาด 2 ตัว โดยนำมาใช้ในการต่อแบบขนุกรมทั้ง 16 บิท ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 วงจรวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทเป็นความถี่มาจาก
สัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
โปรมแกรมชุดควบคุมการทำงาน

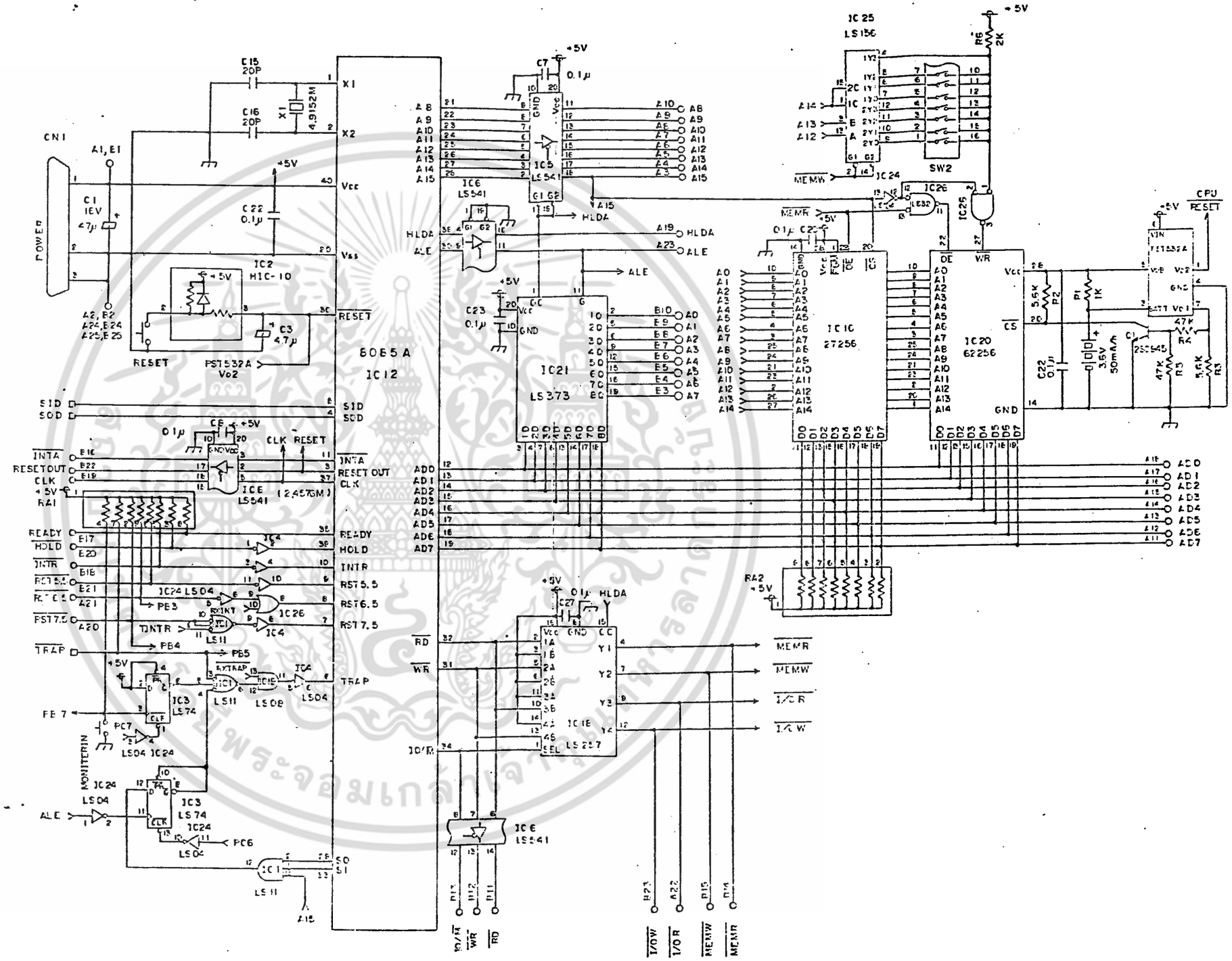
5.1 บทนำ

ปัจจุบันเราจะพบว่าไมโครโปรเซสเซอร์มีประโยชน์มากในการพัฒนาระบบต่างๆ ทั้งในชีวิตประจำวันและในโรงงานอุตสาหกรรม ในบทนี้เราจะขอกล่าวถึงคุณสมบัติของไมโครโปรเซสเซอร์ที่เรานำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่งดิซีมอเตอร์ภายในระบบ PID และ PD ที่ควบคุมได้ทั้งตำแหน่งและทิศทางแบบสี่ควอดแรนท์ ซึ่งความสำเร็จในการควบคุมตำแหน่งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบการตั้งค่าเกนต่างๆ ที่อยู่ภายในระบบ PID และ PD จะได้ตำแหน่งหยุดได้อย่างเที่ยงตรงและแม่นยำยิ่งขึ้น เราทราบกันดีอยู่แล้วว่าซ๊อพแวร์มีความอ่อนตัวง่ายต่อการแก้ไขภายในระบบต่างๆ ที่เกี่ยวของกับทางด้านระบบไมโครโปรเซสเซอร์โดยที่เราไม่ต้องไปยุ่งเกี่ยวกับระบบโครงสร้างภายในฮาร์ดแวร์แต่อย่างใด

ระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ส่วนมากมักต้องการหมุนโหลดให้ไปหยุดในตำแหน่งที่กำหนด และยึดตำแหน่งนั้นไว้จนกว่าจะได้รับคำสั่งการควบคุมการหมุนใหม่ การเคลื่อนที่อีกแบบหนึ่งของระบบนี้คือในบางครั้งต้องการให้โหลดเคลื่อนที่ไปตามระยะตำแหน่งที่กำหนดให้ ข้อกำหนดการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยอาศัยระบบการควบคุมตำแหน่ง ตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งอาจเป็นพวกที่ให้สัญญาณเอาท์พุทได้ต่อเนื่องซึ่งระบบการควบคุมแบบนี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เป็นระบบการควบคุมแบบอนาลอกระบบตัวควบคุมตำแหน่งแบบอนาลอกมีความละเอียดในการควบคุมตำแหน่งได้ดีเยี่ยม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการควบคุมตำแหน่ง อย่างไรก็ตามสัญญาณของตำแหน่งที่มีการแปรอย่างต่อเนื่องจะถูกลิมิตอยู่ในช่วงตำแหน่งช่วงหนึ่งเท่านั้น และการลิมิตนี้จะเป็นตัวจำกัดการเคลื่อนที่ตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งแบบอื่นได้แก่เซ็นเซอร์แบบดิจิตอลคือ พวกเอนโคดเดอร์สำหรับตำแหน่งของเพลา พวกเซ็นเซอร์แบบนี้มีช่วงการทำงานของตำแหน่งไม่มีขีดจำกัด อย่างไรก็ตามเซนเซอร์พวกนี้มีข้อเสียในเรื่องความละเอียดของการควบคุมตำแหน่งอยู่ภายในค่าที่จำกัด นอกจากนั้นสัญญาณของตำแหน่งจะอยู่ในลักษณะของสัญญาณดิจิตอลซึ่งสัญญาณนี้จะต้องป้อนเข้า D-A คอนเวอร์เตอร์ก่อนเพื่อแปลงเป็นสัญญาณของตำแหน่งแบบอนาลอก

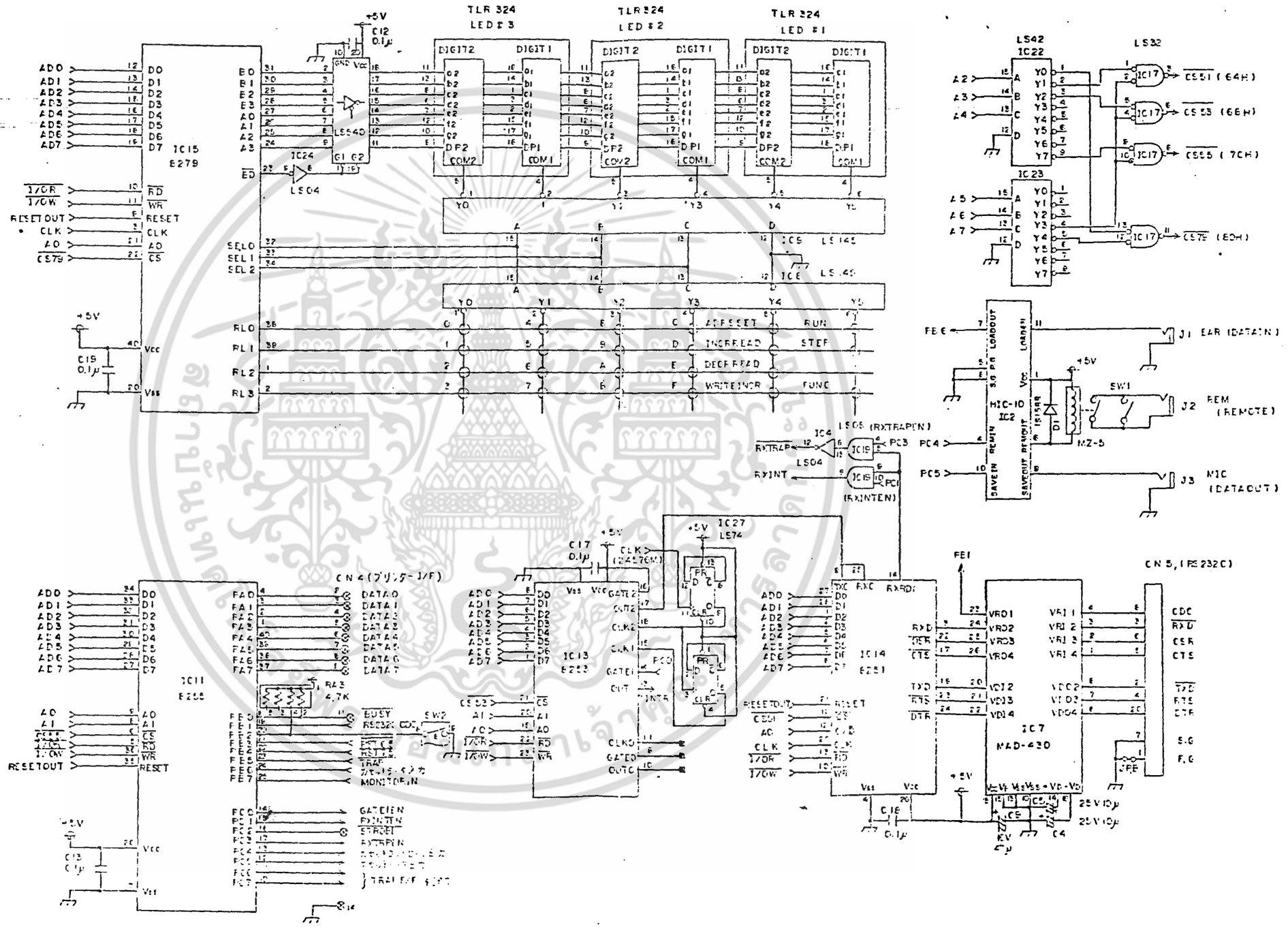
มีหลักความจริงอยู่ที่ว่า เราไม่สามารถจะการควบคุมตำแหน่งเอาท์พุทของระบบให้เที่ยงตรงได้มากไปกว่าความเที่ยงตรงที่วัดได้จากตัวเซนเซอร์ ปัญหาหลักในการออกแบบระบบการควบคุมตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้เป็นตัวคอนโทรลเลอร์แบบ PID และ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้เป็นตัวคอนโทรลเลอร์แบบ PID และ PD (ส่วนที่ 2)

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือการทำให้ระบบมีเสถียรภาพภายใต้อัตราขยายที่เหมาะสม และมีแบนด์วิดท์ของลูปอย่างพอเพียงดังนั้นเราจะได้เน้นถึงปัญหาของเสถียรภาพและหลักการออกแบบต่อไป ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไปจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ระบบมีความเที่ยงตรงสภาวะคงที่เป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นระบบจึงไม่นิยมจะให้มีการลดอัตราขยายลงเพื่อทำให้ระบบมีเสถียรภาพ ถ้าอัตราการขยายต้องการเพื่อกำหนดความเที่ยงตรงทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพหรือผลตอบสนองมีการแต้มน์ที่เลว เมื่อนั้นระบบจะต้องได้รับการเปลี่ยนแปลง (มีการชดเชย)ในวิถีทางที่จะให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการโดยไม่ทำให้ความเที่ยงตรงด้อยลงไป

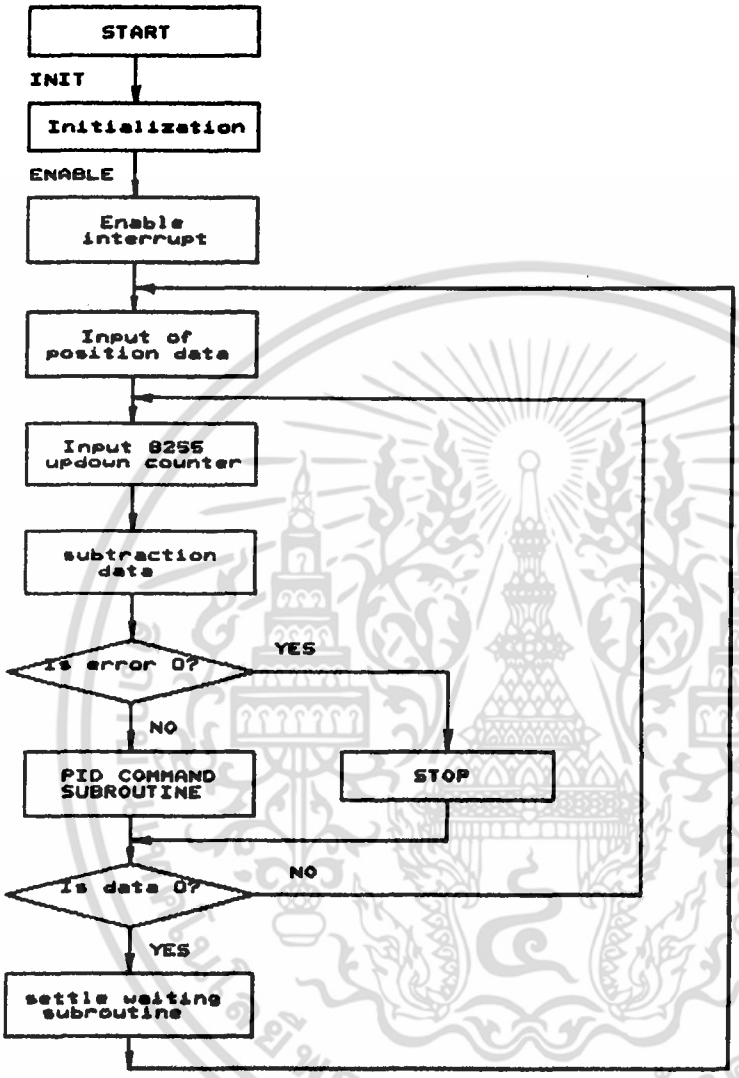
5.2 การออกแบบชุดควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ในส่วนของไมโครโปรเซสเซอร์

การออกแบบชุดควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ในระบบ PID ที่ถูกสร้างขึ้นในส่วนของไมโครโปรเซสเซอร์ดังแสดงในรูป 5.1 เราแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งที่จะประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 ที่ผ่านวงจรการแปลงดิจิตอลเป็นสัญญาณอานาลอกโดยใช้ DAC0800 ผ่านออกไปโดยที่มีการเพิ่มลดแรงดันต่างๆ จากการออกแบบภายในไมโครโปรเซสเซอร์โดยเราจะมากล่าวรายละเอียดต่อไป ในส่วนที่สองเราจะนำมาใช้ในการควบคุมทิศทางของมอเตอร์โดยเราได้นำสัญญาณจากพัลส์เจนเนอเรเตอร์ที่นำมาเข้าขาอินเตอร์รัพท์และขาพอร์ต 8255 ของไมโครโปรเซสเซอร์ดังที่เราได้กล่าวมาแล้ว

5.3 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ [13]

ในส่วนเริ่มต้นของโปรแกรมหลักที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเราจะนำสัญญาณที่ได้นำมาทำการอินเตอร์รัพท์ที่ใช้การกำหนดทิศทางของมอเตอร์ ดูได้จากโฟร์ชาร์ตที่ 5.2 ในส่วนโปรแกรมต่อไปที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งมอเตอร์ เราสามารถนำมาสร้างขึ้นได้จากการตั้งค่าตำแหน่งต่างๆ ที่ถูกสร้างขึ้นภายในโปรแกรม พร้อมทั้งนำข้อมูลจากสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ผ่านเข้าสู่วงจรการนับเพื่อจะนำเข้ามาสู่พอร์ต 8255 ที่ใช้มาสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดโดยนำสัญญาณที่ได้นำมาลบออกจากส่วนของโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรม ในส่วนต่อไปเราจะนำสัญญาณที่ได้จากการสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดจากโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้น เราจะนำเข้ามาสู่วงจรระบบ PID ที่นำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

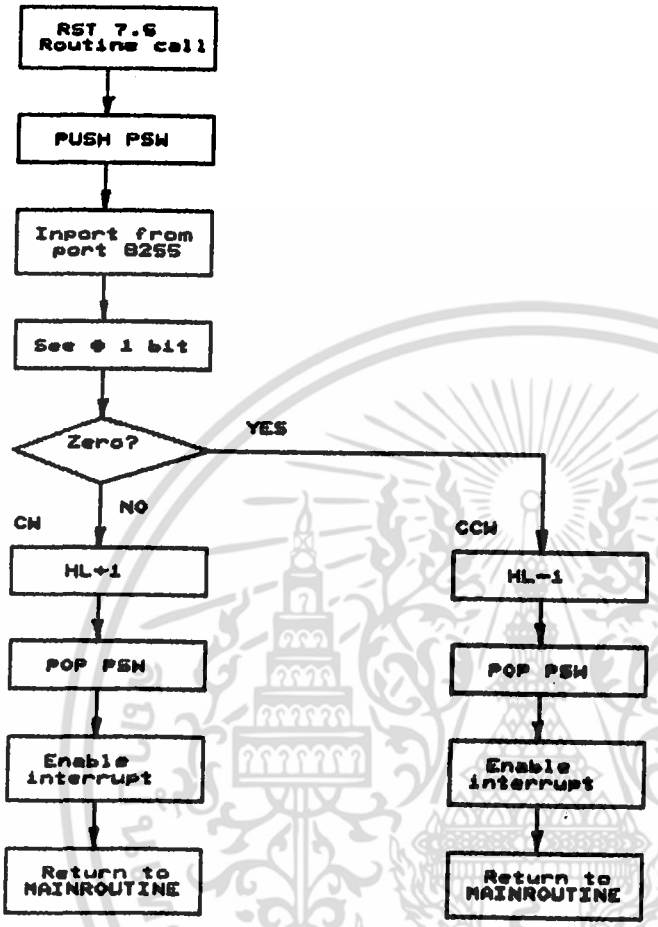


รูปที่ 5.2 โฟร์ชาร์ตโปรแกรมการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

5.4) โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมทิศทางมอเตอร์ [12]

ในส่วนเริ่มต้นของโปรแกรมหลักที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเริ่มต้นเซ็ตโปรแกรมหลัก กำหนดค่าแอดเดรสและค่าผิดพลาดเป็นศูนย์เริ่มต้นของการอินเตอร์รัพท์ ไว้ที่โปรแกรมหลักจากนั้นเราจะทำการเรียกโปรแกรมย่อยอินเตอร์รัพท์ที่ได้รับสัญญาณจากพัลส์เจนเนอเรเตอร์ ในส่วนของแซลแนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 โฟร์ชาร์ตโปรแกรมการควบคุมทิศทางมอเตอร์

A จะเข้าสู่ขาอินเตอร์รัพท์ บน CPU-8085 และ แชลแนล B จะผ่านทางอัปดาวน์เคาเตอร์เข้าสู่พอร์ต C บิทที่ 1 ของ IC-8255 จากโฟร์ชาร์ตที่ 1 โปรแกรมจะนำสัญญาณบิทที่ 1 เพื่อทำการตรวจสอบทิศทางและการหมุนของมอเตอร์โดยทำการทดสอบค่าศูนย์ฟแล็ก จากโฟร์ชาร์ตที่ 1 ถ้าค่าฟแล็กเป็นศูนย์ เราจะพิจารณาเฉพาะค่าบวก พร้อมกับมีการเพิ่มค่าตำแหน่งค่าผิดพลาด 1 สเตปสำหรับการเคลื่อนที่ในทิศทาง CCW แต่ถ้าฟแล็กเป็นหนึ่งเราจะพิจารณาเฉพาะค่าลบพร้อมกับมีการลดค่าตำแหน่งค่าผิดพลาด 1 สเตป สำหรับการเคลื่อนที่ในทิศทาง CW จากนั้นโปรแกรมจะไปทำการ " Enable interrupt" ก่อนที่โปรแกรมจะกลับไปโปรแกรมจากนั้นโปรแกรมคำสั่ง "Disenable interrupt" นำมาเซ็ตอัตโนมัติเมื่อนำสัญญาณอินเตอร์รัพท์ INT มาใช้การนำมาเรียกใช้ในโปรแกรมย่อย A/D โดยนำมาจากสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์จากแชลแนล B ของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5) โปรแกรมการควบคุมภายในระบบปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ [33]

จากโฟร์ชารต์เป็นการควบคุมตัวแปรอินพุทตารางตำแหน่ง(DV) รับข้อมูลจากการกำหนดค่าตัวแปรภายในซ๊อฟแวร์ ตัวแปรอินพุทจะถูกควบคุมโดยอัลกอลิทึมของไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 ขนาด 8 บิท โดยจะมีค่าจาก 00H ถึง FFH (ประมาณ 256 ค่า) ส่วนตัวแปรเซ็ตพอยต์ที่สร้างสัญญาณค่าผิดพลาดจะได้มาจากสัญญาณ DSP เป็นสัญญาณการป้อนกลับที่ป้อนกลับมาจากส่วนของพัลส์เจนเนอเรเตอร์ของดีซีมอเตอร์ผ่าน A/D เข้าสู่ ไมโครโปรเซสเซอร์ 8085

$$DE = DV - DSP \qquad (5.1)$$

สัญญาณ DE เป็นสัญญาณค่าผิดพลาดได้จากการกำหนดค่าความแตกต่างกันระหว่างตัวแปรอินพุท DV ลบออกจากสัญญาณ DSP ค่าสัญญาณค่าผิดพลาดจากสมการที่ 1 สามารถนำมาตรวจสอบเครื่องหมายของค่า DE ได้จากค่าแคร์ริบิทถ้าค่าของแปรอินพุท DV > DSP จะมีเครื่องหมายเป็นบวกเราจะเซ็ตบิทเครื่องหมายเป็นศูนย์(SGN=0) จะมีการทดเซ็ตแคร์รี่บิทค่าเป็น 1 แต่ถ้าตัวแปรอินพุท DV < DSP จะมีเครื่องหมายออกมาเป็นลบเราจะเซ็ตบิทเครื่องหมายเป็นหนึ่ง (SGN=1) จะไม่มีการทดเซ็ตแคร์ริบิทค่าเป็น 0 พร้อมกลับทำการแปลงผลลัพธ์ให้อยู่ภายใต้ค่า 2 complement ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงอัลกอลิทึมของการคำนวณทั้ง 3 โหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัล (reset) และดิฟเฟอร์เรนทริเอท (rate) เราสามารถบรรยายโฟร์ชาร์ต

5.5.1) โหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัล

สมการเอาท์พุทโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลค่าที่ได้จากสมการสำหรับโหมดนี้ จะได้ค่าสมการอัลกอลิทึมสำหรับใช้สมการควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 รูปแบบที่ได้ถ้าตัวควบคุมตัวแปรอินพุทจากตารางตำแหน่ง (DV) เท่ากันกับสัญญาณอินพุทพัลส์เจนเนอเรเตอร์ (DSP) จากดีซีมอเตอร์สัญญาณค่าผิดพลาด (DE) จะเท่ากับศูนย์ตัวควบคุมเอาท์พุทจะมีค่าเป็นศูนย์ (จากสมการที่ 2) แต่ถ้าตัวควบคุมตัวแปรอินพุทตำแหน่ง (DV) มีค่าไม่เท่ากันกับสัญญาณอินพุทจากพัลส์เจนเนอเรเตอร์ (DSP) จากดีซีมอเตอร์สัญญาณค่าผิดพลาด (DE) จะไม่เท่ากับศูนย์ KP จะเป็นเกนของโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCP = KP*DE (5.2)

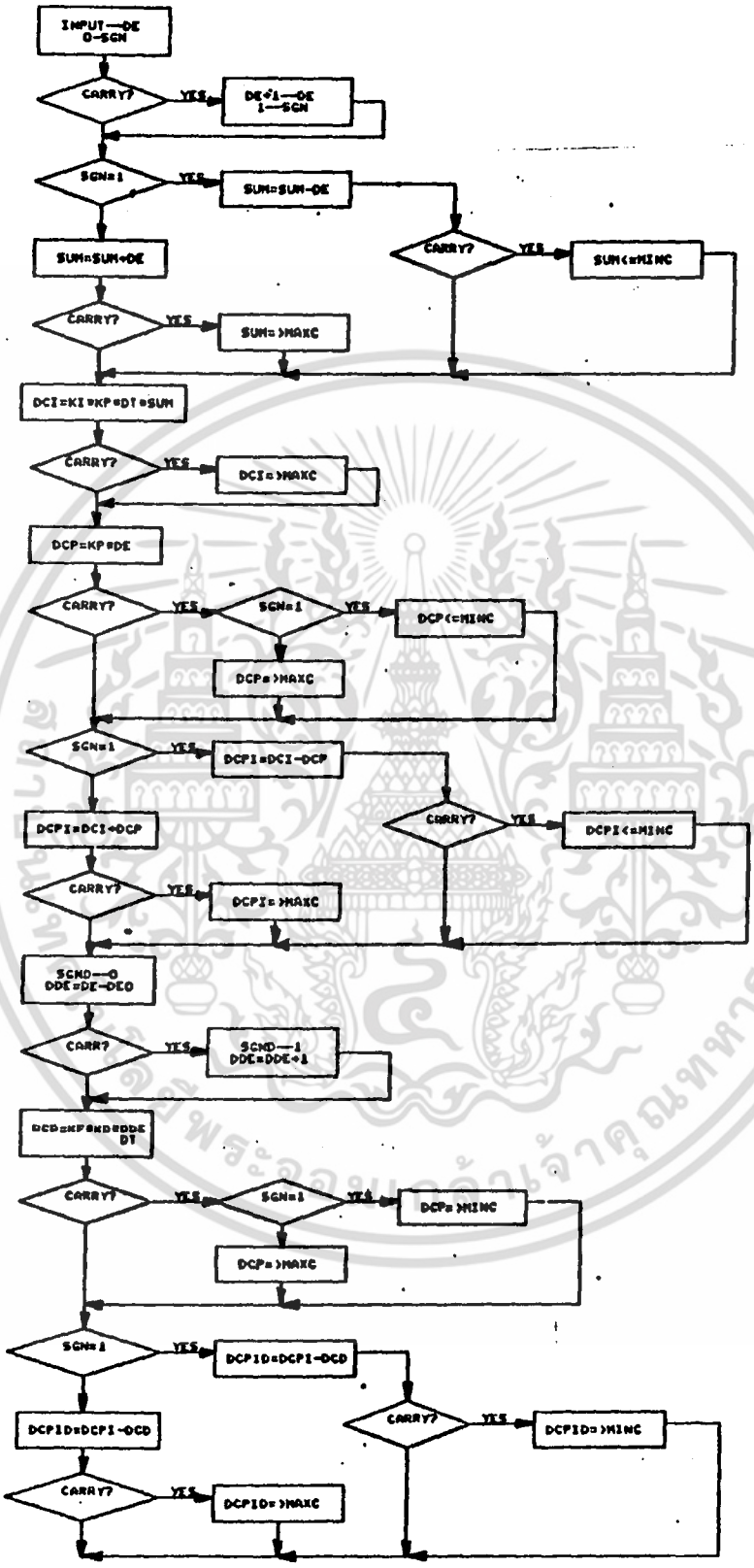
DCP = ตัวควบคุมดิจิตอลเอาท์พุทปร็อปพอร์ชั่นนัล

KP = เกนดิจิตอลปร็อปพอร์ชั่นนัล

DE = สัญญาณค่าผิดพลาด

ปร็อปพอร์ชั่นนัลโดยนำเกน KP ที่ได้คูณกับสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ผลลัพธ์ที่ได้จาก KP*DE อาจจะเกิดกรณีโอเวอร์โฟร์หรืออันเดอร์โฟร์ เกิดขึ้นโดยเราใช้แคร์ริบิทเป็นตัวตรวจสอบเกน KP จะเป็นตัวกำหนดทิศทางการควบคุมว่าเป็นแบบทิศทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาโดยที่มีทิศทางตามเข็มนาฬิกามีค่าสัญญาณค่าผิดพลาด ที่ได้มีค่าเป็นบวกจะเพิ่มค่าการควบคุมตัวแปรเอาท์พุทและสำหรับทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางตามเข็มนาฬิกากับค่าสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ที่ได้มีค่าเป็นลบจะลดค่าการควบคุมตัวแปรเอาท์พุทโดยเราตรวจสอบจากบิทเครื่องหมาย (SGN) เมื่อผลลัพธ์เกิดการโอเวอร์โฟร์หรืออันเดอร์โฟร์ เกิดขึ้นกรณีเราใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 ที่แปรค่าจาก 00H ถึง FFH จากโฟร์ชาร์ตพบว่า DCP เกิดการโอเวอร์โฟร์ ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าสูงสุดไม่เกิน FFH ส่วนกรณีที่ DCP เกิดการอันเดอร์โฟร์ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าไม่น้อยกว่า 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 โฟร์ชาร์ตโปรแกรมการควบคุมตำแหน่งแบบปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2) โหมดอินติกรัล (RESET)

โหมดอินติกรัลเป็นตัวควบคุมการตอบสนองค่าผิดพลาดในสมการอินติกรัลของค่าผิดพลาดจะถูกนำมาเลือกใช้โหมดปรีอปพอร์ชั่นนัลโดยการ "reset" อยู่ในเทอมค่าผิดพลาดศูนย์สมการคำนวณค่าของโหมดอินติกรัลตัวควบคุมเอาท์พุท

$$DCI = KI*KP*DT*SUM \qquad (5.3)$$

DCI = ตัวควบคุมดิจิตอลเอาท์พุทอินติกรัล

KI = เกนดิจิตอลอินติกรัล

DT = เวลาในการดำเนินการ

SUM = ค่าผิดพลาดของการอินติกรัล

การกำหนดค่าตัวแปรใหม่ที่แสดงผลลัพธ์ในเทอม SUM ในส่วนของค่าผิดพลาดทั้งหมดโดยเราจะต้องทำการตรวจสอบบิทเครื่องหมาย (SGN) ของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ถ้าสัญญาณค่าผิดพลาดมีค่าเป็นบวกเราจะมีการเพิ่มค่าบริเวณหน่วยความจำที่ SUM โดยนำมารวมกับสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) และแต่ถ้าสำหรับสัญญาณค่าผิดพลาดมีค่าเป็นลบเราจะมีการลดค่าบริเวณหน่วยความจำที่ SUM โดยนำมาลดออกจากสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ผลลัพธ์ที่ได้อาจเกิดการโอเวอร์โฟร์หรืออันเดอร์โฟร์ โดยทำการตรวจสอบแคร์ริบิท เพราะถ้าค่า SUM ที่ได้มีการโอเวอร์โฟร์ เกิดขึ้นผลลัพธ์ที่ได้เราจะเซ็ตค่าบริเวณหน่วยความจำสูงสุดได้ไม่เกิน FFFFH แต่ถ้าค่า SUM ที่ได้มีการอันเดอร์โฟร์เกิดขึ้นผลลัพธ์ที่ได้เราจะเซ็ตค่าบริเวณหน่วยความจำต่ำสุดไม่น้อยกว่า 0000H จากนั้นเราจะนำเกนของโหมดปรีอปพอร์ชั่นนัล KP มาคูณกับเกนของโหมดอินติกรัล (reset) KI ซึ่งใช้ในการลดค่าระยะขอบออกและค่าผิดพลาดที่อยู่ภายในบริเวณหน่วยความจำในเทอม SUM ที่แปรตามค่าเวลา DT มีหน่วยเป็นวินาทีผลลัพธ์ DCI ที่ได้เราจะนำมาตรวจสอบกรณีการเกิดการโอเวอร์โฟร์ โดยการตรวจสอบแคร์ริบิทของผลลัพธ์ที่ได้มีการโอเวอร์โฟร์เกิดขึ้น เราจะเซ็ตค่า DCI สูงสุดได้ไม่เกิน FFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3) โหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัล

การนำโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลและอินติกรัล นำมารวมเข้าด้วยกันสามารถนำระบบของโปรแกรมมาปรับปรุงเพื่อให้ได้เกนที่เสถียรภาพยิ่งขึ้น โดยการนำเกนโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัล KP มาคูณเข้ากับทั้ง 2 เทอมของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ทั้งโหมดอินติกรัล (reset) ที่อยู่ภายในบริเวณหน่วยความจำบริเวณค่า SUM ของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ที่แปรค่าตามค่าเวลา DT และโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลที่แปรค่าตามสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) แต่เพียงอย่างเดียวถึงแม้ว่าสมการนี้ต้องนำมาแยกค่าตามความสัมพันธ์ที่เข้าไปอยู่ในจำนวนเต็ม

DCPI = (KP*DE)+(KP*KI*SUM*DT) (5.4)

เราต้องนำสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ของทั้ง 2 โหมดนำมาตรวจสอบบิทเครื่องหมาย(SGN) ถ้าสัญญานค่าผิดพลาด (DE) เป็นบวกจะมีการเพิ่มค่าผลลัพธ์ DCPI โดยการนำผลลัพธ์ DCI มารวมกันกับผลลัพธ์ DCP แต่ถ้าสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) เป็นลบจะมีการลดค่าผลลัพธ์ DCPI โดยการนำผลลัพธ์ DCI มาลบออกจากผลลัพธ์ DCP ผลลัพธ์ DCPI ที่ได้เราจะนำมาตรวจสอบกรณีโอเวอร์โฟร์หรืออันเดอร์โฟร์ โดยทำการตรวจสอบแคร์ริบิทถ้าผลลัพธ์ที่ได้เกิดการโอเวอร์โฟร์เราจะเซ็ตค่าผลลัพธ์ DCPI ที่ได้มีค่าไม่เกิน FFH แต่ถ้าผลลัพธ์ที่ได้เกิดการอันเดอร์โฟร์เราจะเซ็ตค่าผลลัพธ์ DCPI ที่ได้ไม่น้อยกว่า 00H

5.5.4) โหมดดิริเวทีฟ (RATE)

ในส่วนของโหมดดิริเวทีฟที่มีการควบคุมสัญญาณการย้อนกลับเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับค่าอัตตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณค่าผิดพลาด (DDE) ต่ออัตตราการเปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรเวลา DT

DCD = KP*KD*DDE (5.5)

DCD = ตัวควบคุมดิจิตอลเอาท์พุทดิริเวทีฟ

KD = เกนดิจิตอลดิริเวทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DDE = การเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณค่าผิดพลาด

สัญญาณค่าผิดพลาด (DDE) ของโหมดดิริเวทีฟที่ได้จากค่าความแตกต่างกันระหว่างตัวแปรอินพุทตารางตำแหน่ง (DV[N]) ลบออกจากตัวควบคุมตัวแปรอินพุทตารางตำแหน่ง (DV[N-1]) ของค่าที่แล้วผลลัพธ์ของสัญญาณค่าผิดพลาด (DDE) สามารถนำมาตรวจสอบเครื่องหมาย DDE โดยใช้แคร์ริบิทนำมาตรวจสอบถ้าค่าของตัวแปร DV>DVO จะมีเครื่องหมายเป็นบวกเราจะเซ็ตบิทเครื่องหมายเป็นศูนย์ (SGN=0) มันจะมีการทดแคร์ริบิทมีค่าเป็นหนึ่ง แต่ถ้าตัวแปร DV < DVO จะมีเครื่องหมายเป็นลบเราจะเซ็ตบิทเครื่องหมายเป็นหนึ่ง (SGN=1) มันจะไม่มีการทดแคร์ริบิท มีค่าเป็นศูนย์พร้อมกับทำการแปลงผลลัพธ์ให้อยู่ภายในค่า 2 s complement จากนั้นเรานำผลลัพธ์ที่ได้มาคูณกับเกนโหมดปรีอปพอร์ชั่นนัล KP และเกนโหมดดิริเวทีฟ KD ซึ่งเป็นอัตตราการเปลี่ยนแปลงของเกนโหมดดิริเวทีฟ KD ต่ออัตตราการเปลี่ยนแปลงในขอบเขตการแปรตามค่าเวลา DT ซึ่งอยู่ในสมการ KD/DT ผลลัพธ์ DCD ที่ได้จากการคูณนำมาตรวจสอบการเกิดโอเวอร์โฟร์ หรือไม่โดยทำการตรวจสอบแคร์ริบิทถ้ามีการโอเวอร์โฟร์เกิดขึ้นเราจะทำการเซ็ตค่าผลลัพธ์ DCD ได้ค่าสูงสุดไม่เกิน FFH

5.5.5) โหมดปรีอปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ

การนำโหมดปรีอปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลและดิริเวทีฟนำมารวมเข้าด้วยกัน สามารถนำระบบส่วนของโปรแกรมมาปรับปรุงเพื่อให้ได้เกนที่เสถียรภาพยิ่งขึ้น โดยการนำเกนโหมดปรีอปพอร์ชั่นนัล KP มาคูณเข้ากับทั้ง 3 เทอมของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ทั้งโหมดอินติกรัล (reset) ที่อยู่ภายในบริเวณหน่วยความจำบริเวณค่า SUM ของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ที่แปรค่าตามค่าเวลา DT เกนโหมดดิริเวทีฟ KD ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงในขอบเขตแปรตามค่าเวลา DT ซึ่งอยู่ในสมการ KD/DT และโหมดปรีอปพอร์ชั่นนัลที่แปรค่าตามสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) แต่เพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าสมการนี้ต้องนำมาแยกค่าตามความสัมพันธ์ที่เข้าไปอยู่ในจำนวนเต็ม

DCPID = (KP*DE + KP*KI*SUM*DT)+ (KP*KD*DDE/DT) (5.6)

เราต้องนำสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ของทั้ง 2 โหมดมาตรวจสอบบิทเครื่องหมาย (SGN) ถ้าสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าผิดพลาด (DE) เป็นบวกจะมีการเพิ่มค่าผลลัพธ์ DCPID โดยการนำส่วนของผลลัพธ์ DCPI มารวมกันกับผลลัพธ์ DCD แต่ถ้าสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) เป็นลบจะมีการลดค่าผลลัพธ์ DCPID โดยการนำผลลัพธ์ DCPI มาลบออกจากผลลัพธ์ DCD ผลลัพธ์ DCPID ที่ได้เราจะนำมาตรวจสอบกรณีโอเวอร์โฟร์หรืออันเดอร์โฟร์โดยทำการตรวจสอบแคร์ริบิทถ้าผลลัพธ์ที่ได้เกิดการโอเวอร์โฟร์ เราจะเซ็ตค่าผลลัพธ์ DCPID ที่ได้มีค่าไม่เกิน FFH แต่ถ้าผลลัพธ์ที่ได้เกิดการอันเดอร์โฟร์ เราจะเซ็ตค่าผลลัพธ์ DCPID ที่ได้ไม่น้อยกว่า 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 บทนำ

ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้กล่าวมาตั้งแต่ต้นจนถึงผลการทดลองภายในบทสุดท้าย พอที่จะสรุปโดยการนำเสนอแนวความคิดการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์แบบ PID และ PD โดยนำไมโครโปรเซสเซอร์นำมาประยุกต์ใช้ที่มีการออกแบบโมเดลอัลกอลิทึมแบบ PID และ PD ที่มีการแปลงระบบโดยการตั้งค่าพารามิเตอร์จากวิธีการจำลองข้อมูลตัวควบคุมตำแหน่งแบบ PID และ PD จากที่ได้นำมากล่าวไว้แล้วในตอนต้น (บทที่ 4) ซึ่งโดยปกติการจะหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองการควบคุมแบบ PID และ PD จะมีอยู่หลายวิธีด้วนกันแต่เราจะใช้วิธีการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์กระบวนการและจูนค่าตามวิธีแบบโบดพล็อต เพื่อที่จะนำค่าในโหมดปรับพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟมาคำนวณหาค่าเกนของ K_p K_i และ K_d ได้เพื่อที่จะนำมาใช้หาค่าแรงดันที่ได้จากการเคลื่อนที่ในตำแหน่งแรกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปเราจะนำค่าที่ได้มาใช้คำนวณมุม θ_1 เป็นระยะที่มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้จริงพร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดจากภายนอก โดยเมื่อเราทำการเพิ่มค่าในส่วนของโหลดมอเตอร์เข้าไปมุมที่มอเตอร์เคลื่อนที่ได้ไม่เปลี่ยนไปจากเดิมคือ θ_1 คงเดิมจากนั้นจะทำการเซ็ตนำค่าจากตารางภายในไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อที่เราจะสามารถกำหนดค่าใหม่ให้ตำแหน่งของมอเตอร์เปลี่ยนไปจากเดิมไปเป็น θ_2 โดยที่เกนของ K_p K_i K_D ยังคงเท่าเดิมพร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดของมอเตอร์โดยเราจะทำการปรับค่าตำแหน่งเช่นเดียวกับมุม θ_1 ในส่วนของมุม θ_3 ก็จะทำแบบเดียวกันกับ θ_2 พร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดพร้อมทั้งปรับแต่งตำแหน่งแบบเดียวกันนี้

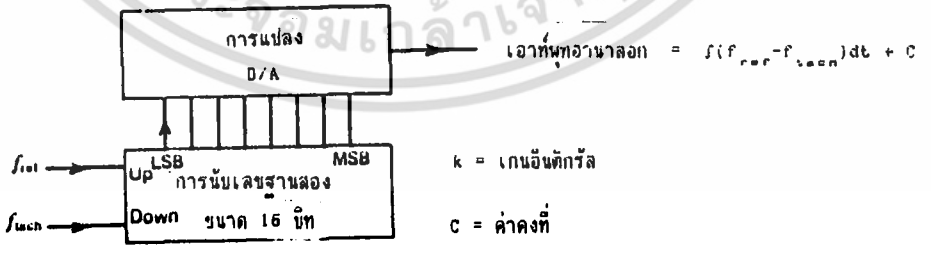
ในส่วนต่อไปเราจะทำการปรับค่าเกน K_p K_i K_D เพื่อที่จะปรับแต่งค่าใหม่เพื่อดูให้ผลตอบสนองของระบบดีขึ้นพร้อมทั้งหาค่าในตำแหน่งแรกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปเราจะนำค่าที่ได้มาใช้คำนวณมุม θ_1 เป็นระยะที่มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้จริงซึ่งทำในลักษณะเดียวกับค่าในมุม θ_1 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากนั้นเราจะทำการเพิ่มโหลดโดยการต่อกับมอเตอร์เช่นเดียวกัน จากนั้นเราจะนำมาสร้างค่าตารางเพิ่มขึ้นภายในไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อที่เราจะหาค่าตำแหน่งใหม่ของมอเตอร์ที่เปลี่ยนไปจากเดิมไปเป็น θ_2 โดยเกนของ K_p K_i K_D ยังคงเดิมพร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดของมอเตอร์ในส่วนของมุม θ_3 ก็จะทำแบบเดียวกันกับ θ_2 พร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดและปรับค่าเกนแบบเดียวกันนี้ จากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะนำค่าที่ได้จากการทดลองที่ได้จากการตั้งค่าเกน PID ทั้ง 2 ค่า เพื่อที่เราจะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลองได้จากค่า rise time = T_r overshoot และ settling time = T_s เพื่อที่เราจะนำผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการตั้งค่าเกนต่างๆโดยเราจะต้องนำผลทั้ง 3 ชนิดมาใช้ในการพิจารณาควบคู่กันไปทั้ง 3 กรณี

6.2 ผลการทดลองที่ได้จากการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PID และ PD

ในการทดลองภายในวิทยานิพนธ์ที่จะนำมากล่าวต่อไปนี้ เป็นผลจากการวัดผลการตอบสนองของความเร็วชั่วขณะจากสัญญาณทาโครเจนเนอเรเตอร์ และทำการวัดผลของการตอบสนองชั่วขณะของตำแหน่งจากสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์พร้อมกัน โดยมีการควบคุมในลักษณะแบบ PID และ PD ที่ได้จากการเริ่มปรับค่าเกน K_p K_i K_d เพื่อที่จะนำมาใช้แต่เฉพาะในส่วนการควบคุมตำแหน่งเราจะทำการวัดเวลาที่สัญญาณเข้าสู่สภาวะคงที่ ตามค่าเวลา settling time = T_s rise time = T_r เปอร์เซ็นของการเกิดค่า overshoot พร้อมทั้งวัดช่วงแรงดันจากช่วงที่มอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งแรกที่มอเตอร์หยุดไปยังตำแหน่งที่สองที่มอเตอร์หยุด เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหามุมการเคลื่อนที่ θ_1 ที่มอเตอร์ได้เคลื่อนออกไปต่อไปเราจะนำโหลดมอเตอร์อีกตัวต่อเข้าไปโดยที่เราจะทำการต่อแบบ (open) จากนั้นเราจะนำโหลดมอเตอร์ที่เราได้ต่อเข้าไปมาทำการลัดวงจรมอเตอร์ หรือที่เราเรียกว่าการต่อแบบ (close) จากนั้นเราจะทำการปรับหามุม θ_2 และ θ_3 ใหม่ที่ตอนสุดท้ายนี้เราจะนำวิธีการคำนวณหาค่ามุมโดยสามารถนำมาใช้ในการได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 วงจรสร้างสัญญาณการนับข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งมอเตอร์

จากรูปที่ 6.1 เป็นการแสดงส่วนของอานาลอกเอาท์พุทการแปลง D/A ที่ได้ดังสมการที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนาลอกเอาท์พุท = $k_i \int (f_{ref} - f_{tach})dt + C$ (6.1)

k_i = เกนอินติกรัล

C = ค่าคงที่

การนำขอบการนับขึ้นของ f_{ref} และขอบการนับลงของ f_{tach} โดยถ้าขอบทั้งสองเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน เอาท์พุทของตัวนับจะถูกนำมาต่อกันไปยัง D/A ขนาด 16 บิท ในส่วนความสัมพันธ์ในระหว่างแรงดันเอาท์พุทและในส่วนของการนับเลขฐานสองสามารถนำมาแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$\Delta V_o = k_i(\Delta count)$ (6.2)

$\Delta count$ = การเปลี่ยนแปลงในส่วนการนับ

ΔV_o = การเปลี่ยนแปลงในแรงดันเอาท์พุท D/A ที่ตรงกันกับ $\Delta count$

ในส่วนต่อไปเราจะนำมาหาค่าการอินติกรัลจากส่วนของสมการของ D/A ขนาด 16 บิท เราสามารถหาได้จากค่าแรงดันสูงสุด ΔV_{max} ของ D/A เป็น 15 โวลต์ และในส่วนของการนับเลขฐานสองขนาด 16 บิท เป็น 2^{16} เพื่อที่เราจะนำมาหาค่าอินติกรัล k_i

$$k_i = \frac{\Delta V_{max}}{\Delta count_{max}} \quad (6.3)$$

ΔV_{max} = แรงดันเอาท์พุท D/A สูงสุดที่ตรงกันกับ $\Delta count$

$\Delta count_{max}$ = การนับค่าสูงสุดในการนับค่าเลขฐานสอง

จากในส่วนของอัตราการนับของสเปคนิกัดมอเตอร์จะพบว่ามีอัตราการนับ 256 ค่า ที่มุมองศามอเตอร์เคลื่อนที่ไป 360 องศา โดยเราสามารถหามุมที่มอเตอร์เคลื่อนที่ไปได้จริงที่นำมาหาค่าได้จากแรงดันจากผลการทดลอง ΔV_o เพื่อที่จะนำมาใช้หาค่ามุมที่ตำแหน่งมอเตอร์เคลื่อนที่ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปเราจะนำมาหาค่าในส่วนของผลการทดลองโดยทำการปรับค่า K_p K_i K_d ค่าใหม่เพื่อที่จะให้มอเตอร์เข้าสู่สภาวะคงที่ค่าใหม่ตามค่าเวลา settlingtime = T_s rise time = T_r และเปอร์เซ็นของการ overshoot ที่เหมาะสมพร้อมทั้งนำผลที่ได้จากการทดลองในแต่ละค่านำมาเปรียบเทียบต่อไป

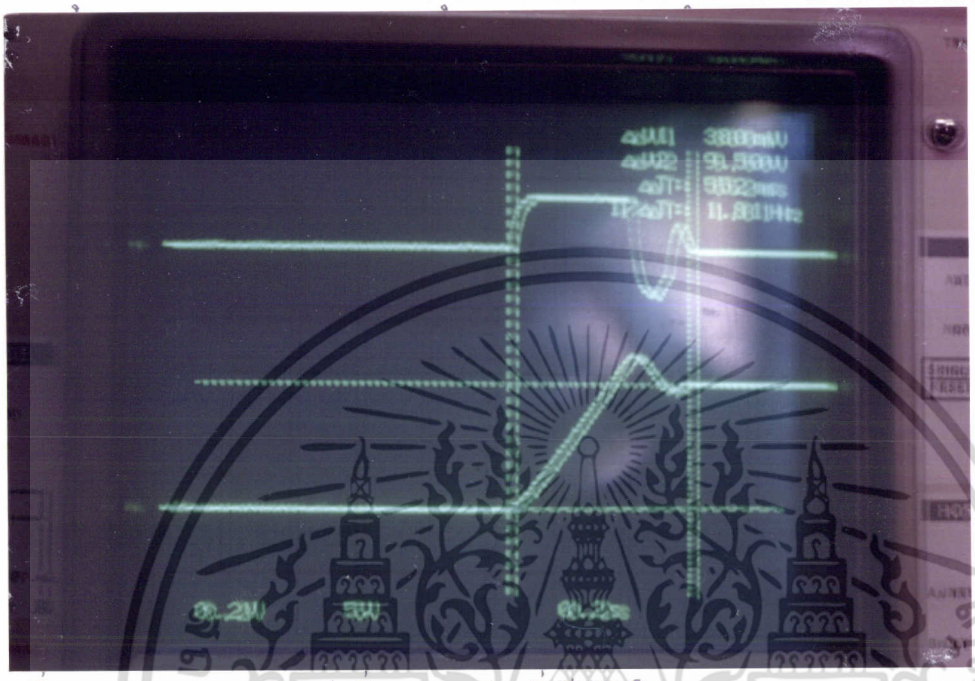
6.2.1 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PID แบบที่ 1 (K_p=32.5 K_i=99 K_d=1)

ในส่วนของผลการทดลองนี้จะมีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ที่เราได้นำมาใช้ในการปรับแต่งการจูนค่าเกน PID ของระบบที่นำค่าเกนต่างๆ ที่ได้จากการจำลองโบดไดอะแกรมจากบทที่ 3 โดยเราจะนำผลที่ได้มาทำการจำลองค่าต่างๆ ภายในซ็อฟแวร์จากบทที่ 4 ระบบที่เราได้จากการปรับแต่งนี้เราสามารถนำมาใช้ปรับแต่งค่าเกนภายในระบบที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 582 ms rise time = 268 ms overshoot = 2.6 % V = 380 mV

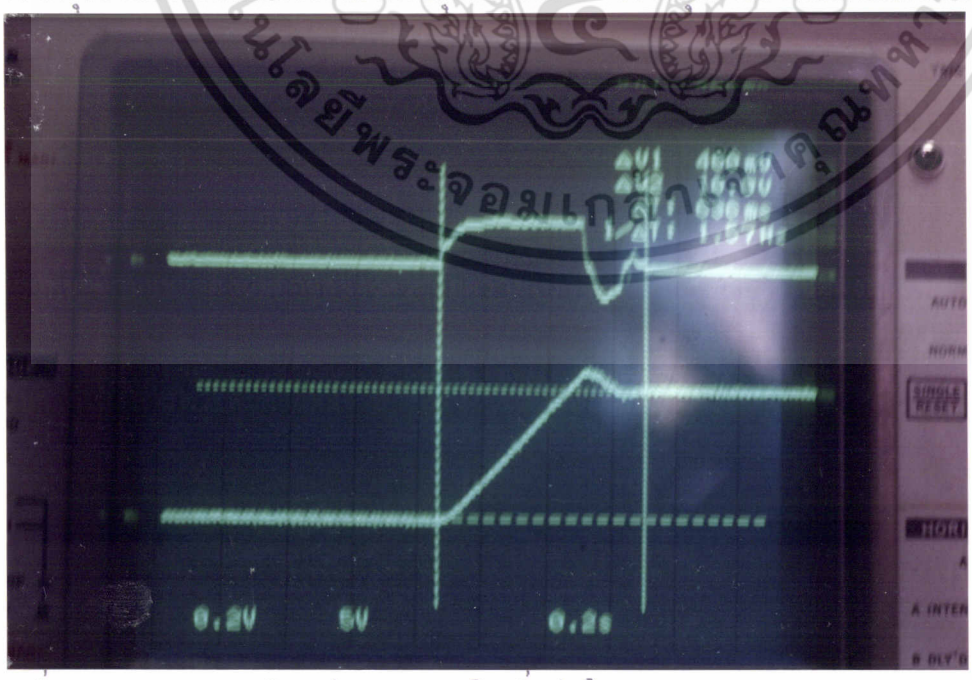
เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.2 การควบคุมตำแหน่งที่ θ_i=240° เมื่อไม่ต่อโหลด K_p=32.5 K_i=99 K_d=1

settling time = 636 ms rise time = 386 ms overshoot = 1.9 % V = 400 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

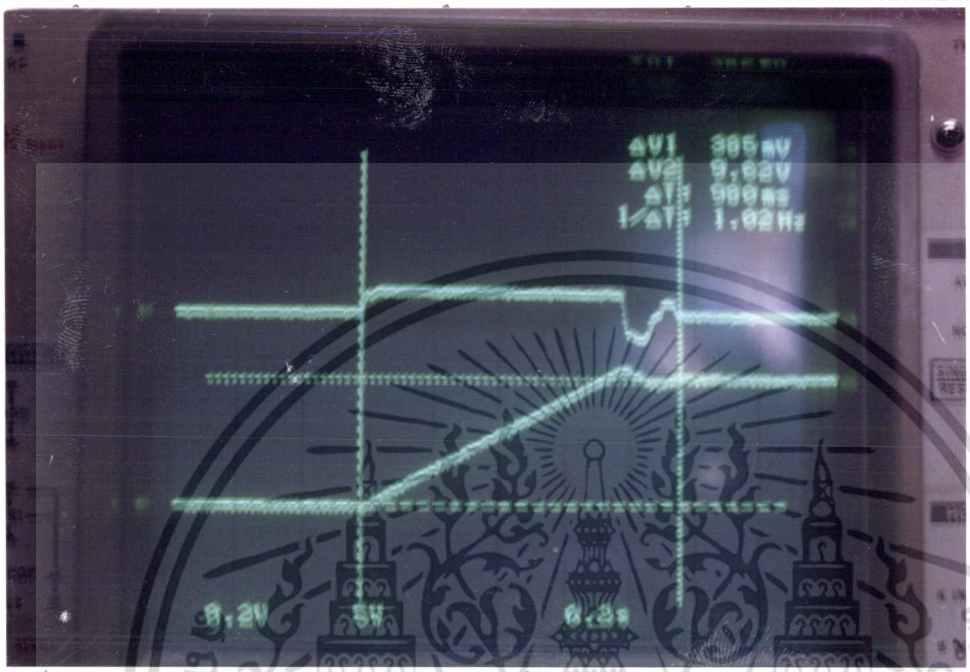


รูปที่ 6.3 การควบคุมตำแหน่ง θ_i=240° เมื่อต่อโหลดแบบ (open) K_p=32.5 K_i=99 K_d=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 980 ms rise time = 736 ms overshoot = 1.2 % V = 385 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

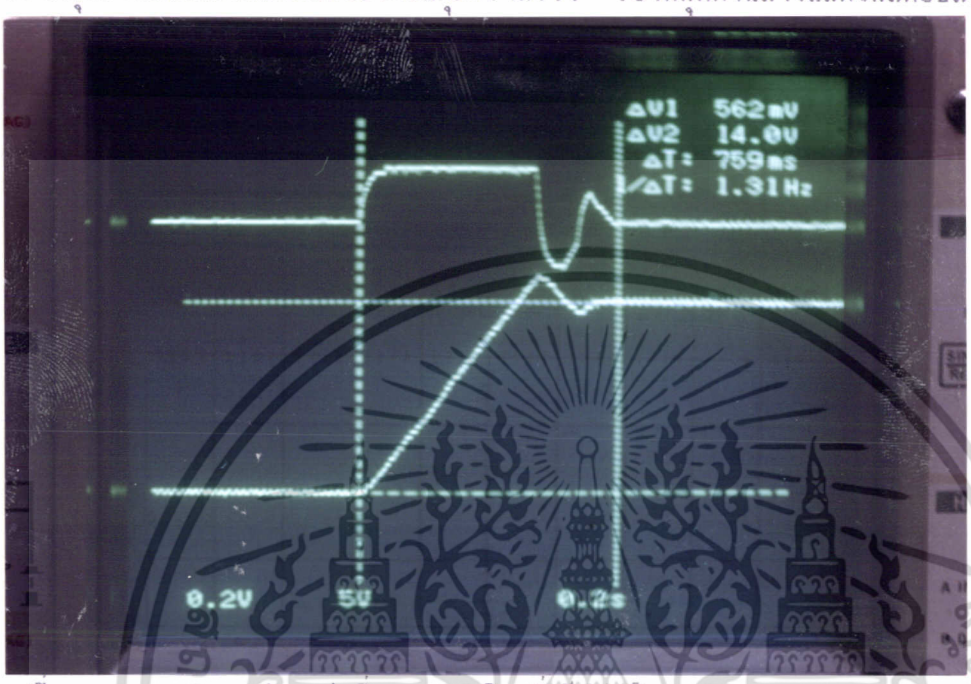


รูปที่ 6.4 การควบคุมตำแหน่ง θ_i=240^0 เมื่อต่อโหลดแบบ (close) K_p=82.5 K_i=99 K_d=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 759 ms rise time = 473 ms overshoot = 2.5 % V = 562 mV

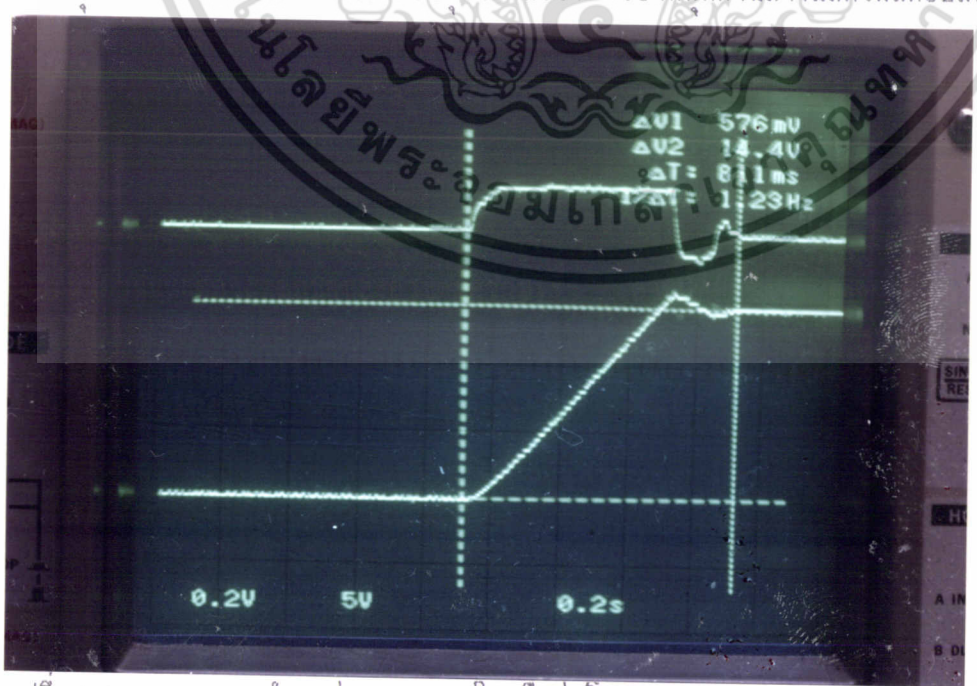
เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.5 การควบคุมตำแหน่งที่ θ_2=360° เมื่อไม่ต่อโหลด K_p=32.5 K_t=99 K_d=1

settling time = 811 ms rise time = 587 ms overshoot = 2.0 % V = 576 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

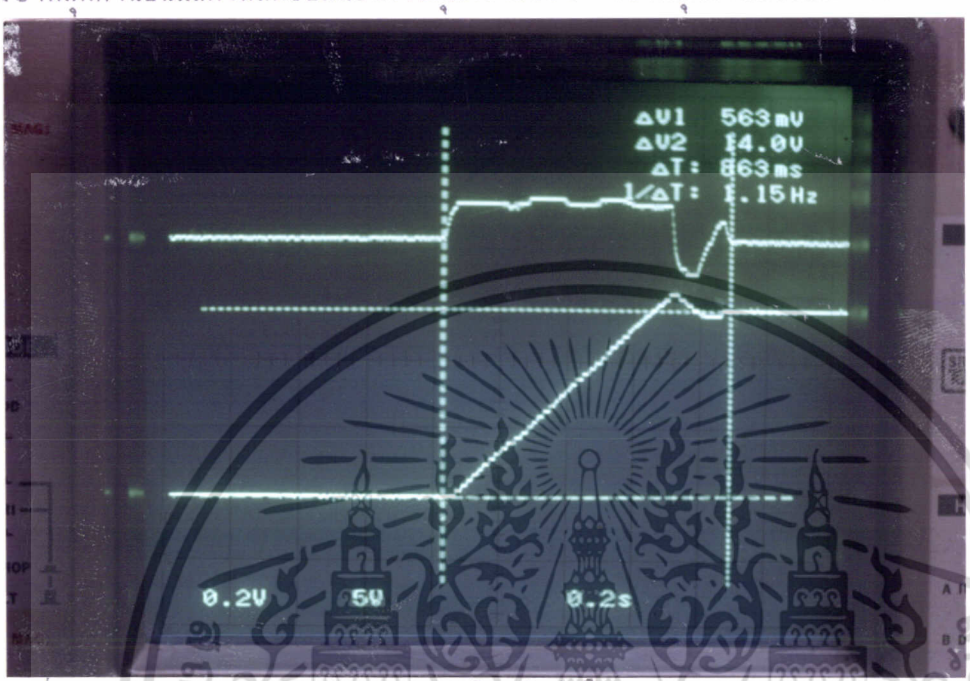


รูปที่ 6.6 การควบคุมตำแหน่ง θ_2=360° เมื่อต่อโหลดแบบ (open) K_p=32.5 K_t=99 K_d=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 863 ms rise time = 629 ms overshoot = 1.1 % V = 563 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

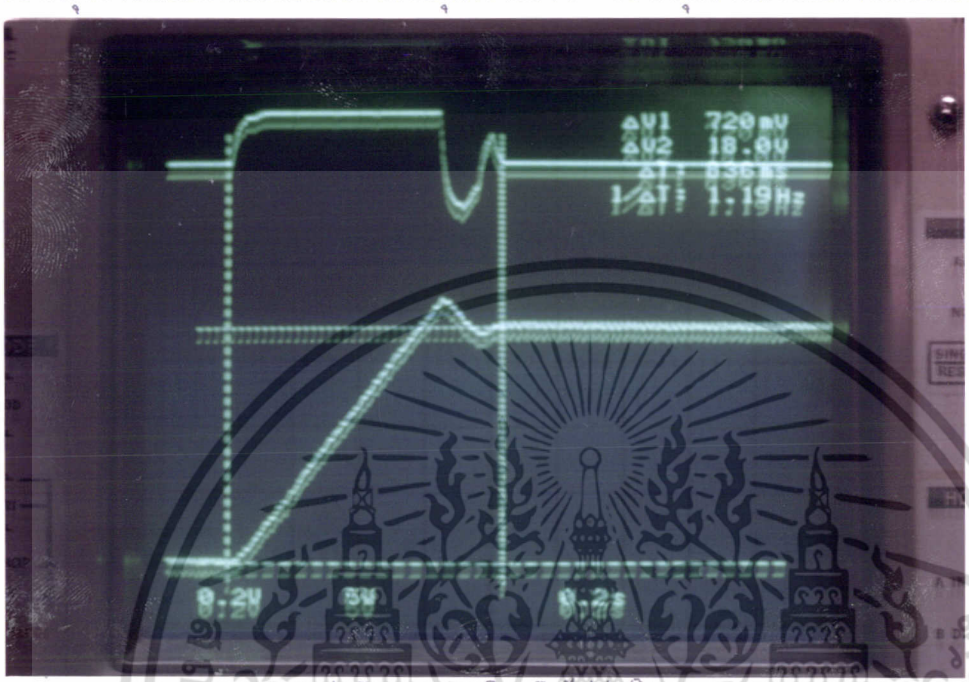


รูปที่ 6.7 การควบคุมตำแหน่ง θ_2 =360° เมื่อต่อโหลดแบบ (close) K_p =32.5 K_i =99 K_d =1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 836 ms rise time = 574 ms overshoot = 2.8 % V = 720 mV

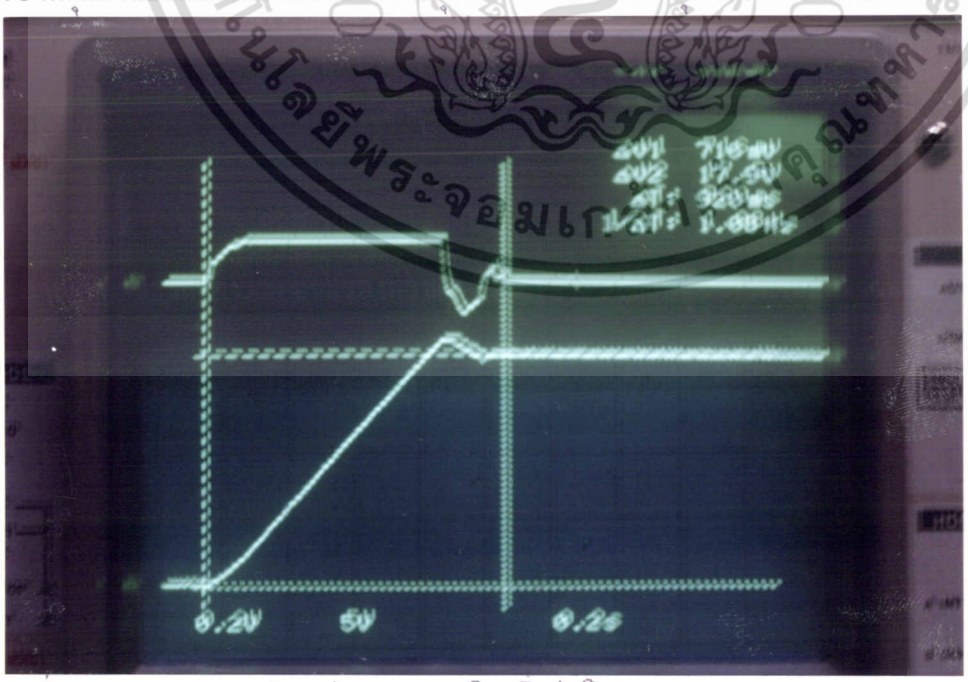
เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.8 การควบคุมตำแหน่งที่ θ_s=450° เมื่อไม่ต่อโหลด K_p=32.5 K_i=99 K_d=1

settling time = 920 ms rise time = 639 ms overshoot = 2.1 % V = 716 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

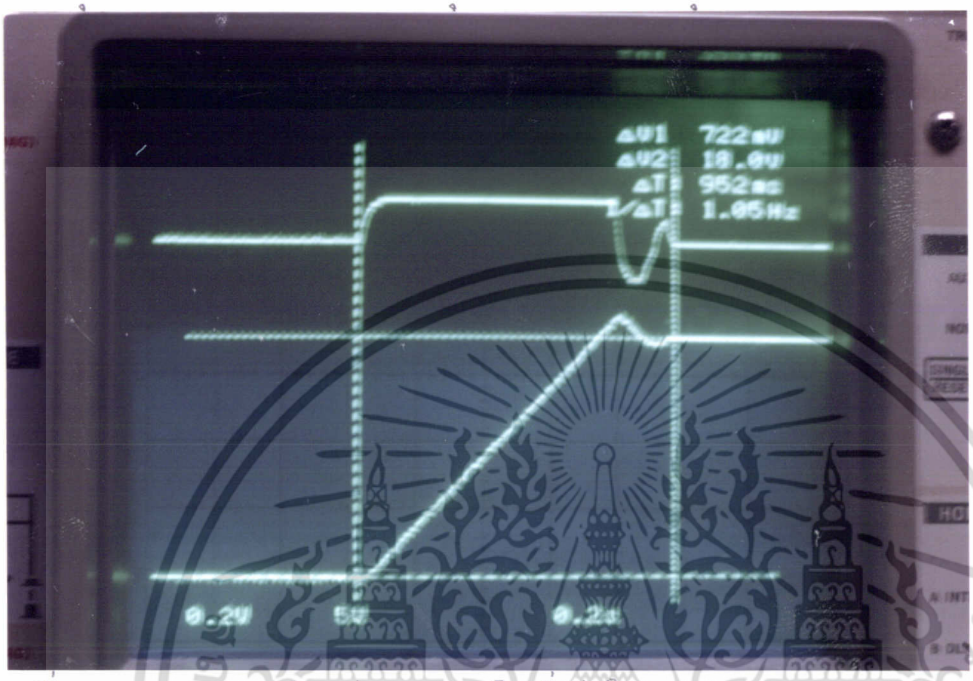


รูปที่ 6.9 การควบคุมตำแหน่ง θ_s=450° เมื่อต่อโหลดแบบ (open) K_p=32.5 K_i=99 K_d=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 952 ms rise time = 738 ms overshoot = 1.4 % V = 722 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.10 การควบคุมตำแหน่ง θ_3 =450^{D} เมื่อต่อโหลดแบบ (close) K_p=32.5 K_i=99 K_d=1

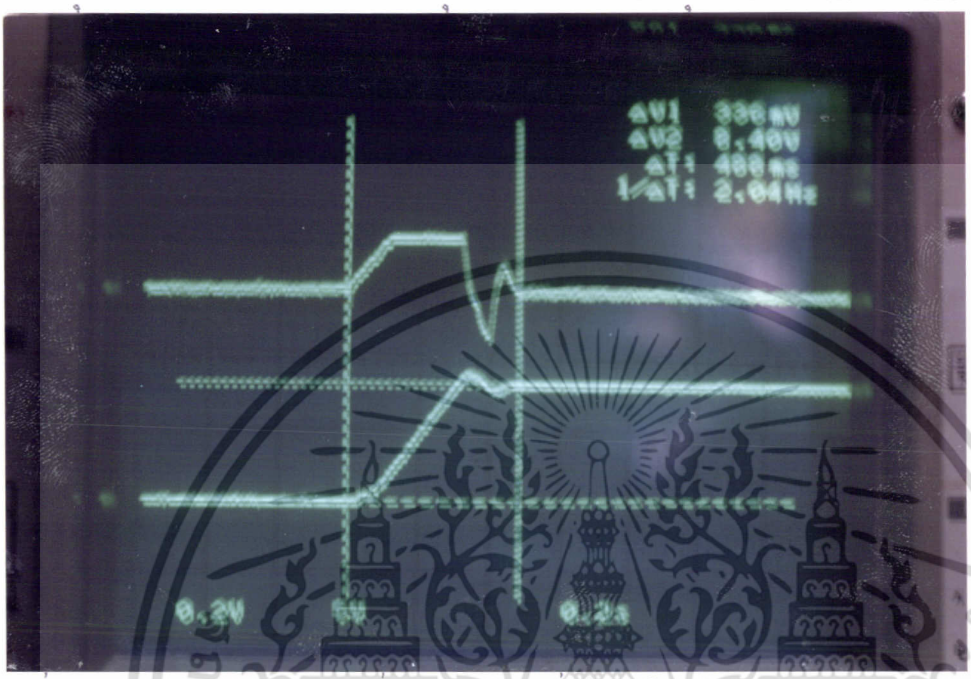
6.2.2 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PID แบบที่ 2 (K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5)

ในส่วนของผลการทดลองนี้จะมีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ที่เราได้นำมาใช้ในการปรับแต่งการจูนค่าเกน PID ของระบบเพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบที่ดีที่สุดที่นำค่าเกนต่างๆ ที่ได้โดยเราจะนำผลที่ได้จากการจำลองค่าต่างๆ ภายในซ๊อฟแวร์จากบทที่ 4 ระบบที่เราได้จากการปรับแต่งนี้เราสามารถนำมาใช้ปรับแต่งค่าเกนภายในระบบที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 498 ms rise time = 319 ms overshoot = 1.5 % V = 336 mV

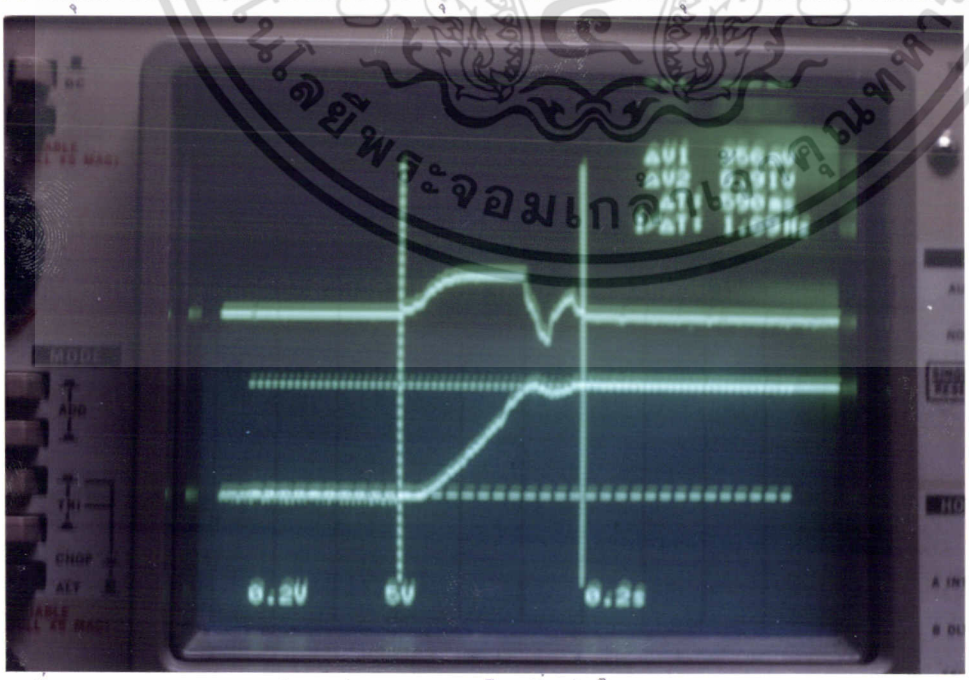
เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.11 การควบคุมตำแหน่งที่ θ_i=210° เมื่อไม่ต่อโหลด K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5

settling time = 590 ms rise time = 389 ms overshoot = 0.6 % V = 356 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

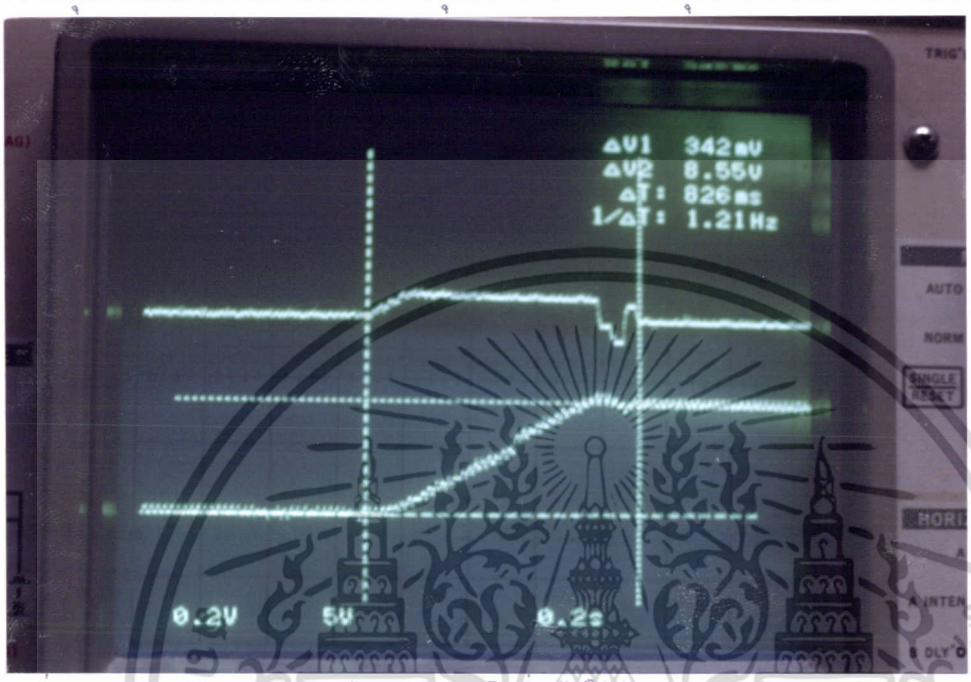


รูปที่ 6.12 การควบคุมตำแหน่ง θ_i=210° เมื่อต่อโหลดแบบ (open) K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 826 ms rise time = 634 ms overshoot = 0.4 % V = 342 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

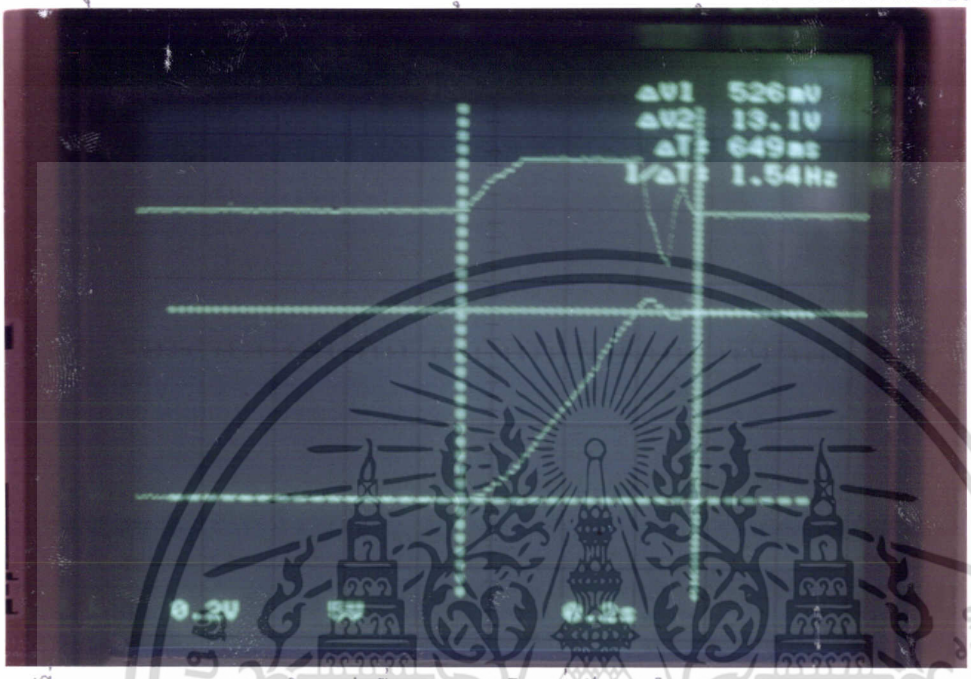


รูปที่ 6.13 การควบคุมตำแหน่ง θ_L=210° เมื่อต่อโหลดแบบ (close) K_p=125 K_v=124.5 K_d=2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 649 ms rise time = 478 ms overshoot = 1.4 % V = 526 mV

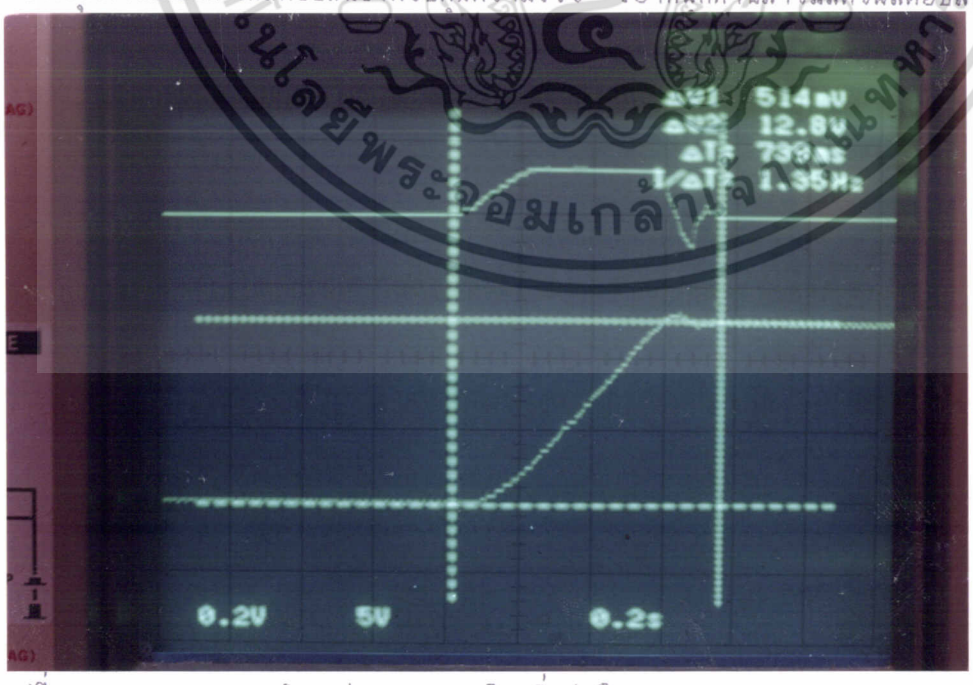
เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.14 การควบคุมตำแหน่งที่ θ_2 =320° เมื่อไม่ต่อโหลด K_p =125 K_i =124.5 K_d =2.5

settling time = 739 ms rise time = 576 ms overshoot = 0.8 % V = 514 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

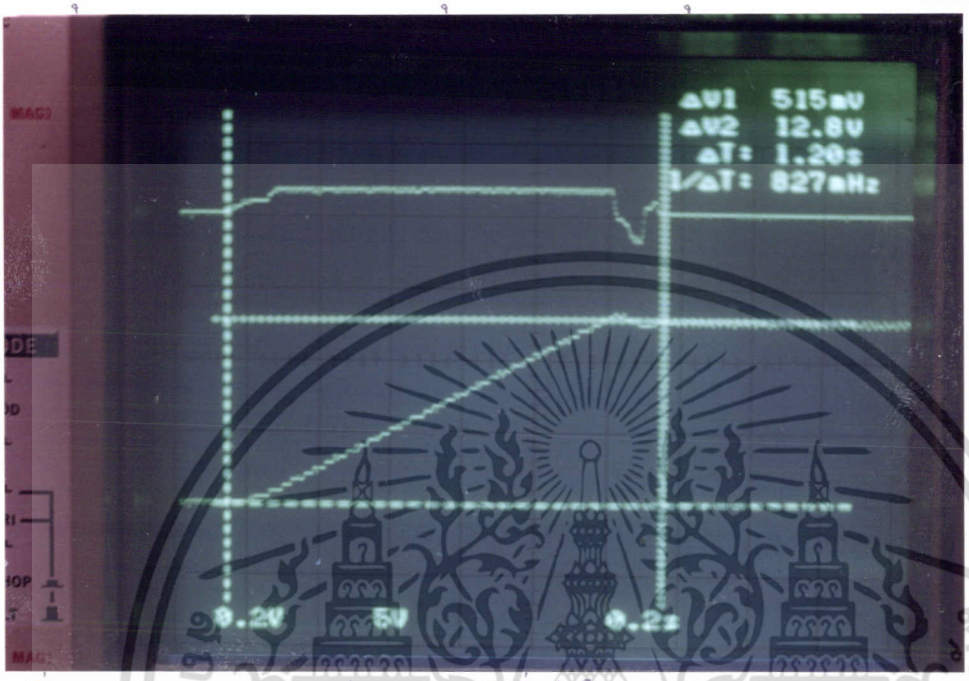


รูปที่ 6.15 การควบคุมตำแหน่ง θ_2 =320° เมื่อต่อโหลดแบบ (open) K_p =125 K_i =124.5 K_d =2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 1.20 s rise time = 978 ms overshoot = 0.4 % V = 515 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

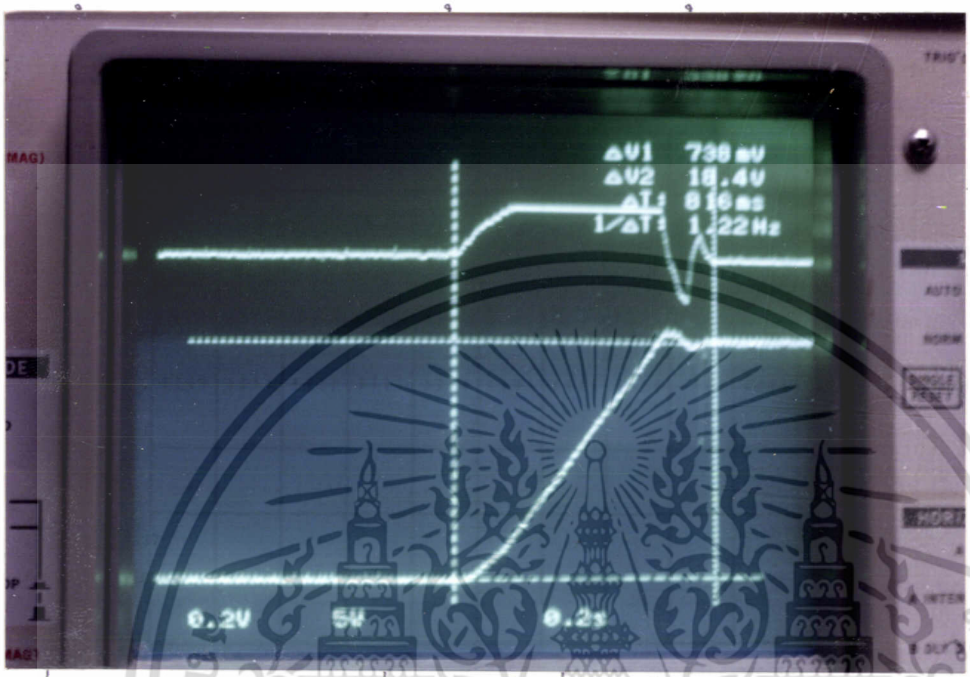


รูปที่ 6.16 การควบคุมตำแหน่ง θ_2=320° เมื่อต่อโหลดแบบ (close) K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 816 ms rise time = 637 ms overshoot = 1.5 % V = 738 mV

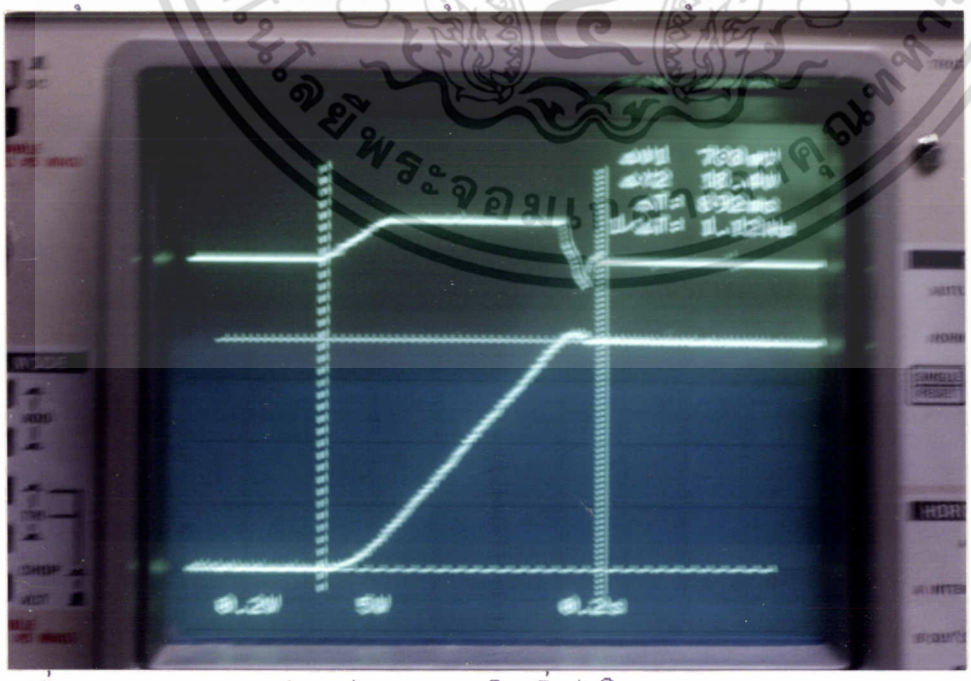
เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.17 การควบคุมตำแหน่งที่ θ_3 =460° เมื่อไม่ต่อโหลด K_p =125 K_i =124.5 K_d =2.5

settling time = 892 ms rise time = 784 ms overshoot = 0.6 % V = 738 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

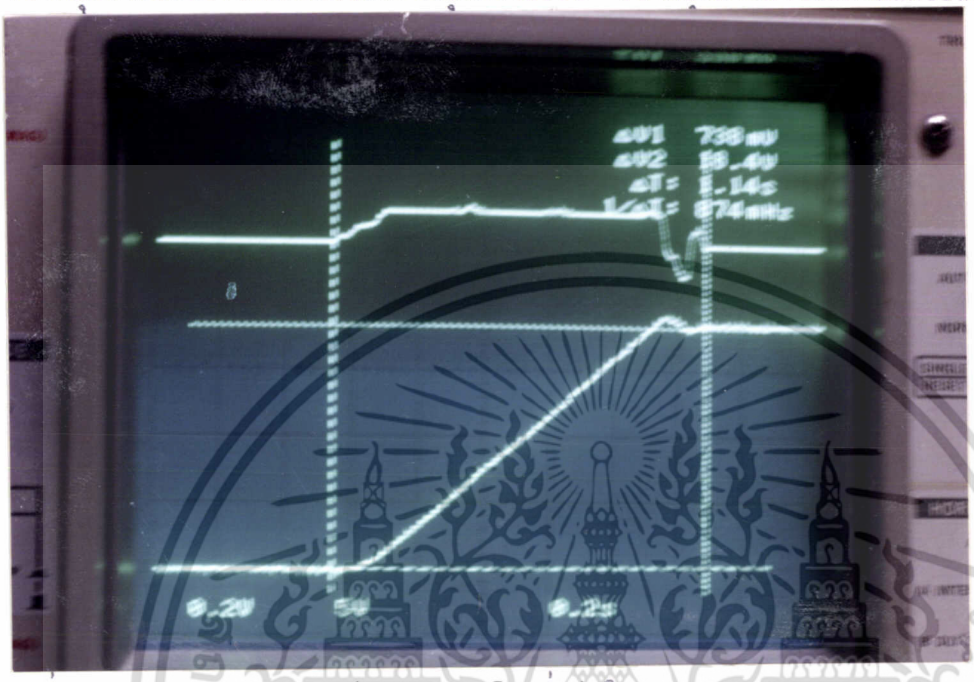


รูปที่ 6.18 การควบคุมตำแหน่ง θ_3 =460° เมื่อต่อโหลดแบบ (open) K_p =125 K_i =124.5 K_d =2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 1.14 s rise time = 976 ms overshoot = 0.5 % V = 738 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.19 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=460° เมื่อต่อโหลดแบบ (close) K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5

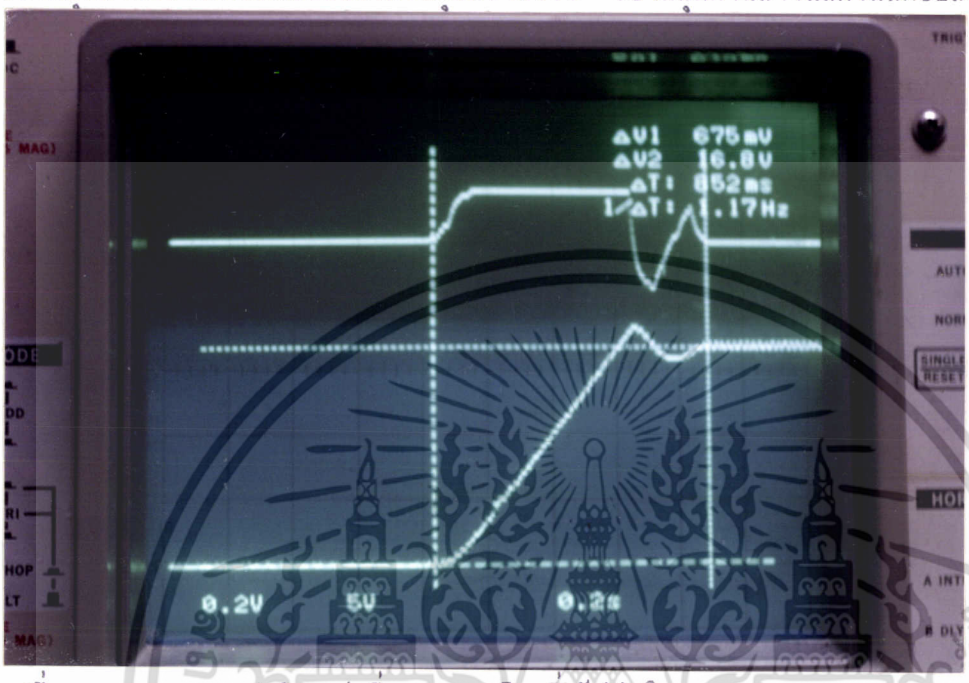
6.2.3 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PD (K_p=125 K_d=2.5)

ในส่วนของผลการทดลองนี้จะมีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ที่เราได้นำมาใช้ในการปรับแต่งการจูนค่าเกน PD ของระบบที่นำค่าเกนต่างๆ ที่ได้ โดยเราจะนำผลที่ได้จากการจำลองค่าต่างๆ จากการตั้งค่าเกน PID แบบที่ 2 ภายในซ็อฟแวร์ที่ได้จากวิธีของการโบดไดอะแกรมจากบทที่ 4 ระบบที่เราได้จากการปรับแต่งนี้เราสามารถนำมาใช้ปรับแต่งค่าเกนภายในระบบที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 652 ms rise time = 521 ms overshoot = 2.4 % V = 675 mV

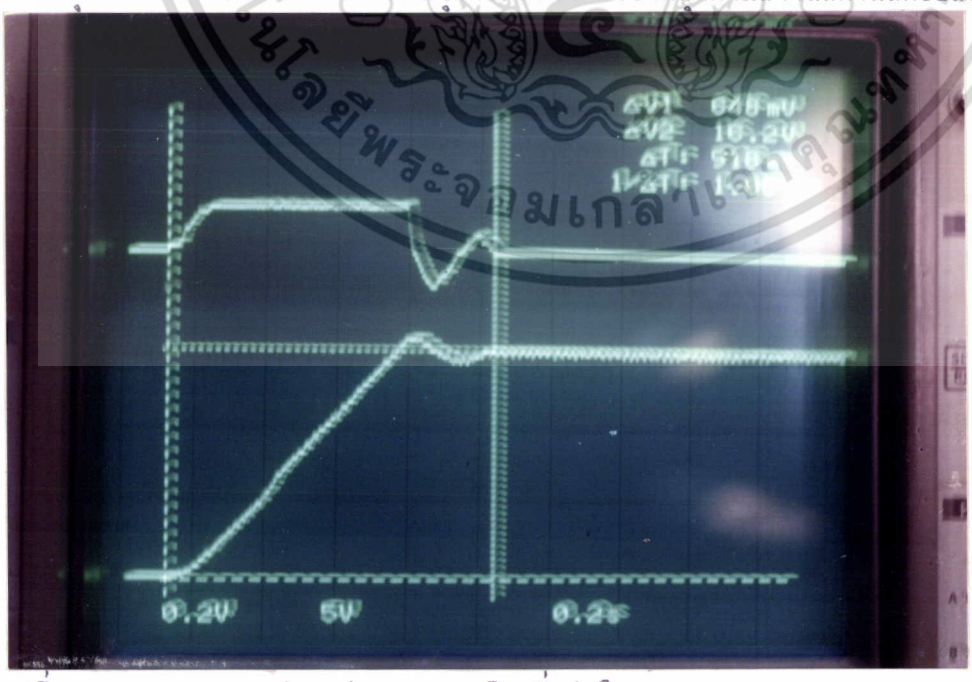
เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.20 การควบคุมตำแหน่งที่ θ_d=410° เมื่อไม่ต่อโหลด K_p=125 K_d=2.5

settling time = 910 ms rise time = 648 ms overshoot = 1.3 % V = 648 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

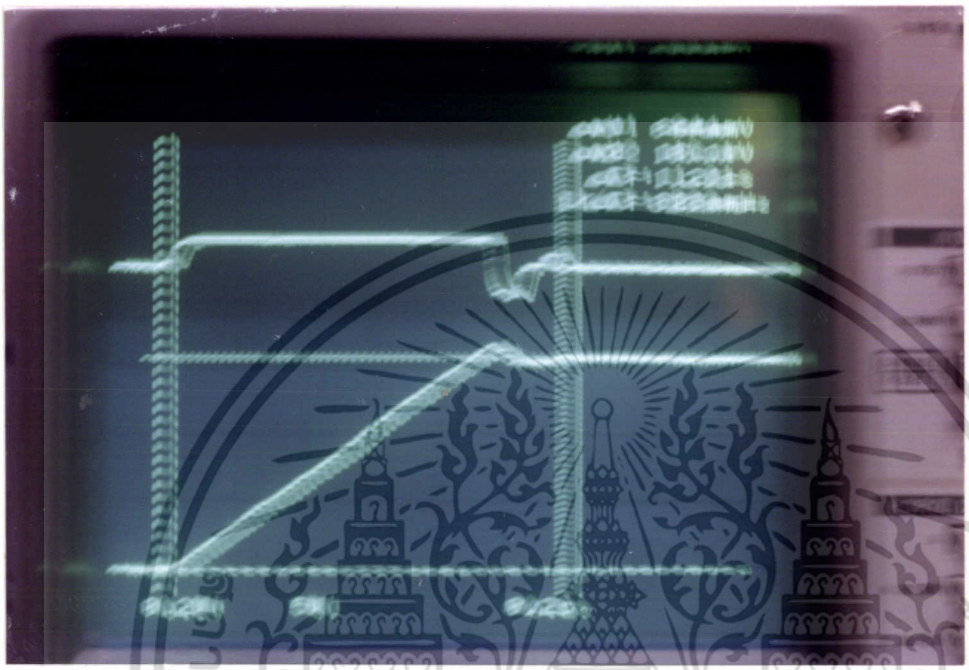


รูปที่ 6.21 การควบคุมตำแหน่ง θ_d=410° เมื่อต่อโหลดแบบ (open) K_p=125 K_d=2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

settling time = 1.20 s rise time = 911 ms overshoot = 0.9 % V = 644 mV

เอาท์พุทด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาท์พุทด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.22 การควบคุมตำแหน่ง θ_3=410° เมื่อต่อโหลดแบบ (close) K_p=125 K_d=2.5

จากผลการทดลองในส่วนที่มีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PID ทั้งแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 พอที่จะนำมาสรุปได้ว่าการตั้งค่าเกน PID จะมีผลต่อการควบคุมตำแหน่งในส่วนของค่า overshoot = % : rise time = ms : และ settling time = ms จากผลที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมาถ้าเราได้นำผลลัพธ์ของเกน PID นำมาเปรียบเทียบผลเราพบว่าค่าเกน PID ในแบบที่ 1 จะมีเปอร์เซนต์ของส่วนโอเวอร์ชูทสูงกว่าการตั้งค่าเกน PID ในแบบที่ 2 ในส่วนของตำแหน่งต่างๆ ในค่าของมอเตอร์ที่ตั้งค่าเกนเดียวกันจะมีผลต่อเปอร์เซ็นการโอเวอร์ชูทน้อยมากหรืออาจกล่าวได้รวมๆ ว่าแทบจะไม่มีผลเลยแต่จากการเพิ่มโหลดของมอเตอร์เข้าไปเราจะพบว่าอัตราส่วนของเปอร์เซ็นการโอเวอร์ชูทจะยิ่งลดต่ำลง โดยที่โหลดหนักจะมีโอเวอร์ชูทต่ำกว่าโหลดเบา

ส่วนค่าของ settling time นั้นถ้าเรานำค่าที่ได้นำมาเปรียบเทียบดู เราจะพบว่าที่ตำแหน่งมอเตอร์หยุด ณ. ที่ตำแหน่งเดียวกันค่าเกน PID แบบที่ 2 จะเข้าสู่ค่า settling time ได้เร็วกว่าแบบการตั้งค่าเกนในแบบที่ 1 แต่ถ้ามีการเปลี่ยนตำแหน่งเกิดขึ้นค่า settling time จะแปรตามตำแหน่งที่มอเตอร์หยุดโดยที่ตำแหน่งมอเตอร์ยิ่งมากค่า settling time ก็จะยิ่งนานขึ้นรวมทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มโหลดของมอเตอร์ก็จะมีผลต่อค่า settling time ด้วยโดยถ้าโหลดยิ่งเพิ่มขึ้นระยะเวลาในการเข้าสู่ settling time ก็จะยิ่งนานขึ้น

ต่อไปเราจะนำส่วนของ rise time ที่เกิดขึ้นโดยการตั้งค่าเกน PID ในแบบที่ 1 จะมีค่าเข้าสู่ rise time ได้เร็วกว่าการตั้งค่าเกน PID ในแบบที่ 2 และในทำนองเดียวกันเราจะพบว่าถ้าเรามีการเพิ่มตำแหน่งและโหลดของมอเตอร์เข้าไปอัตราส่วนของ rise time จะเพิ่มสูงขึ้นไปตามลำดับ

จากรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้วเราสามารถนำมาสรุปได้ดังตารางที่ 6.1 และ 6.2 เพื่อที่จะสะดวกต่อการเปรียบเทียบข้อมูลในการควบคุมตำแหน่ง PID ทั้งแบบที่ 1 และแบบที่ 2

ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 2 และ PD โดยเรานำส่วนการควบคุม PID แบบที่ 2 มุม θ_3 มาใช้เป็นตัวแทนนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองในส่วนของการควบคุมตำแหน่ง PD ที่มุม θ_3 เราจะสังเกตุได้ว่าในช่วงการ no load ระยะเวลาในการควบคุมตำแหน่ง settling time ของ PD จะใช้เวลาที่สั้นกว่าแบบ PID แต่ถ้าเราได้มีการเพิ่มโหลดเข้าไปทั้งแบบ load (open) และ load (close) เข้าไปในมอเตอร์จะไม่มีผลทำให้ตำแหน่งของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

จากนั้นเราจะมาทำการตรวจสอบค่า rise time ของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ทั้ง PID แบบที่ 2 ที่มุม θ_3 และแบบ PD เราพบว่าในส่วนนี้ค่า rise time ในส่วนของ PD จะสั้นกว่าของ PID แบบที่ 2 ที่มุม θ_3 ทั้งที่มีการต่อโหลดและที่ไม่มีการต่อโหลดทั้ง 3 แบบ

ต่อไปเราจะหันไปดูค่าเปอร์เซ็นของการเกิด overshoot ถ้าเราจะทำการเปรียบเทียบค่าในนี้โดยเราเอาส่วนของ no load เปรียบเทียบกับส่วนของ no load และส่วนของ load เปรียบเทียบกับส่วนของ load เราจะพบว่าการควบคุมตำแหน่งแบบ PID แบบที่ 2 จะมีเปอร์เซ็นของส่วนการเกิด overshoot ต่ำกว่าส่วนของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PD

ในส่วนการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ทั้ง PID แบบที่ 2 และแบบ PD มุม θ_3 เราสามารถนำมาสรุปผลของการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วดังแสดงในตารางที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 1

	K_p=32.5 K_i=93.5 K_d=2.5								
	θ_1			θ_2			θ_3		
	no load	load open	load close	no load	load open	load close	no load	load open	load close
settling time (ms)	582	636	980	759	811	863	836	920	952
rise time (ms)	268	368	736	473	587	629	574	639	738
overshoot (%)	2.6	1.9	1.2	2.5	2.0	1.1	2.8	2.1	1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 2

	K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5								
	θ_1			θ_2			θ_3		
	no load	load open	load close	no load	load open	load close	no load	load open	load close
settling time (ms)	498	590	826	649	739	1.20	816	892	1140
rise time (ms)	319	389	634	478	576	978	637	784	976
overshoot (%)	1.5	0.6	0.4	1.4	0.8	0.4	1.5	0.6	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 2 และ PD ที่มุม θ_s

	K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5			K_p=125 K_d=2.5		
	θ_s			θ_s		
	no load	load open	load close	no load	load open	load close
settling time (ms)	816	892	1140	652	910	1200
rise time (ms)	637	784	976	472	648	911
overshoot (%)	1.5	0.6	0.5	2.4	1.3	0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 บทสรุป

ในส่วนนี้เราจะทำการสรุปผลที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ในการควบคุมตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ พอที่จะสรุปได้ว่าการนำเอาไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้ในการควบคุมตำแหน่งได้อย่างค่อนข้างแม่นยำและถูกต้องได้อย่างมาก โดยที่เราสามารถสรุปผลที่ได้จากการทำวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1) ศึกษาวิธีการออกแบบตัวคอนโทรลเลอร์ระบบการควบคุมความเร็วและตำแหน่ง ด้วยวิธีโบดไดอะแกรม
2) ศึกษาระบบการควบคุมความเร็วโดยวิธีการจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบกับระบบจริง
3) ศึกษาระบบการควบคุมตำแหน่งโดยวิธีการจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบกับระบบจริง
4) ศึกษาตัวดิจิตอลคอนโทรลเลอร์แบบ PD และ PID
5) เปรียบเทียบการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งเป็นตัวคอนโทรลเลอร์แบบ PD และ PID
6) ศึกษาตัวอนาลอกคอนโทรลเลอร์แบบ PI

ในส่วนของการจำลองข้อมูลของระบบในส่วนของบทที่ 3 เป็นการจำลองของระบบข้อมูลในส่วนของการตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนของการควบคุมความเร็วแบบ PI และในส่วนของการควบคุมตำแหน่งแบบ PD และ PID โดยในส่วนนี้เราจะสรุปวิธีการตั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

วิธีการในการตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนที่ควบคุมความเร็วแบบ PI โดยที่เราตั้งค่าพารามิเตอร์ของ PI ของระบบจะมีค่า Phase shift = -120 องศา dB ดังนั้นระบบที่เราต้องการจะต้องกำหนดค่าเฟสมาร์จินเท่ากับ 60 องศา

1) ตั้งค่าระบบของ Bode plot (phase) จากโปรแกรม
2) ทำการหาค่า phase ของ Bode plot (phase) โดยเราสามารถกำหนดค่าได้จาก

   Y = -120 องศา dB

   X = ? rad/sec [ค่า X ที่ได้จะเป็นค่าความถี่ของ ωg]
3) ตั้งค่าระบบของ Bode plot (gain) จากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X = ω_g rad/sec (หามาจากข้อที่ 2)

Y = ? (เพื่อที่นำมาใช้หาค่าพารามิเตอร์ K_p ต่อไป)

4) นำค่า Y ที่ได้ (จากข้อที่ 3) เราจะนำมาหาค่าพารามิเตอร์ K_p ได้จากสูตร

$20\log A = Y$

$\log A = Y/20$

$A = 10^{Y/20}$

A = ? (ค่าที่หาได้เป็นค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ K_p)

5) นำค่า ω_g (ที่หาได้จากข้อ 2) เพื่อที่เราจะสามารถนำมาหาค่าความถี่ของ ω_i ได้จากสูตร

ω_i = 10% ของ ω_g

6) นำค่าความถี่ ω_i (จากข้อที่ 5) เพื่อที่จะนำมาใช้หาค่า τ_i ได้จากสูตร

$\tau_i = 1/\omega_i$

7) นำค่าในส่วนของ τ_i ที่ได้ (จากข้อที่ 6) เพื่อที่นำมาหาค่าในส่วนของพารามิเตอร์ K_i

$K_i = K_p/\tau_i$

8) ระบบที่ได้ออกมาจะอยู่ภายในรูปของ G(s)H(s) เพื่อที่จะนำมาใช้ในการตั้งค่าระบบของ Bode plot (gain) และ Bode plot (phase) ต่อไป

9) นำค่าสมการที่ได้จากข้อที่ 8 มาทำการทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นที่ได้จากสูตร

$$\frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

วิธีการในการตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนควบคุมตำแหน่งแบบ PID และแบบ PD โดยที่เราตั้งค่าพารามิเตอร์ของ PID และ PD ของระบบจะมีค่า Phase shift=-120 องศา dB พร้อมกันนี้ระบบของเราจะต้องเพิ่มค่า Phase lead เข้าไปอีก 45 องศา dB ดังนั้นระบบของเราจะมีค่า Phase shift ทั้งหมด -165 องศา dB ดังนั้นระบบที่เราต้องการจะต้องกำหนดค่าเฟสมาร์จินเท่ากับ 35 องศา

1) ตั้งค่าระบบของ Bode plot (phase) จากโปรแกรม

2) ทำการหาค่า phase ของ Bode plot (phase) โดยเราสามารถกำหนดค่าได้จาก

Y = -165 องศา dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X = ? rad/sec [ค่า X ที่ได้จะเป็นค่าความถี่ของ ω_g]

3) ตั้งค่าระบบของ Bode plot (gain) จากโปรแกรม

X = ω_g rad/sec (หามาจากข้อที่ 2)

Y = ? (เพื่อที่นำมาใช้หาค่าพารามิเตอร์ K_p ต่อไป)

4) นำค่า Y ที่ได้ (จากข้อที่ 3) เราจะนำมาหาค่าพารามิเตอร์ K_p ได้จากสูตร

$20\log A = Y$

$\log A = Y/20$

$A = 10^{Y/20}$

A = ? (ค่าที่หาได้เป็นค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ K_p)

5) นำค่า ω_g (ที่หาได้จากข้อ 2) เพื่อที่เราจะสามารถนำมาหาค่าความถี่ของ ω_i ได้จากสูตร

ω_i = 10% ของ ω_g

$\omega_d = \omega_g$

6) นำค่าความถี่ ω_i และ ω_d (จากข้อที่ 5) เพื่อที่จะนำมาใช้หาค่า τ_i และ τ_d ได้จากสูตร

$\tau_i = 1/\omega_i$

$\tau_d = 1/\omega_d$

7) นำค่าในส่วนของ τ_i และ τ_d ที่ได้ (จากข้อที่ 6)เพื่อที่นำมาหาค่าในส่วนของพารามิเตอร์ K_i และ K_d จากสูตร

$K_i = K_p/\tau_i$

$K_d = K_i\tau_d$

8) ระบบที่ได้ออกมาจะอยู่ภายในรูปของ G(s)H(s) เพื่อที่จะนำมาใช้ในการตั้งค่าระบบของ Bode plot (gain) และ Bode plot (phase) ต่อไป

9) นำค่าสมการที่ได้จากข้อที่ 8 มาทำการทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นที่ได้จากสูตร

$$\frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

ในส่วนที่มีการสร้างในส่วนประกอบต่างๆ ทั้งวงจรการออกแบบชุดควบคุมในระบบ PI และส่วนประกอบของวงจรขับชนิด PWM คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม วงจรเปรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบ วงจรขับเบสและวงจรกำลังทั้งวงจรการป้อนกลับทั้งในส่วนของกระแส ทาโคเจนเนอเรเตอร์ และพัลส์เจนเนอเรเตอร์ ในส่วนการเชื่อมต่อระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์และระบบควบคุมตำแหน่ง โดยการผ่านการอินเตอร์เฟส 8255 ที่เป็นตัวเชื่อมต่อเข้าด้วยกันพร้อมทั้งผ่านชุด D/A ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอานาลอกที่เรานำมาใช้ในการควบคุมมอเตอร์ โดยที่เราสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนต่างๆสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) เราสามารถนำค่าของพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองในค่า PI เพื่อที่จะนำค่าต่างๆ ที่ได้นำมาเซ็ทเกณฑ์ PI ทางฮาร์ดแวร์ทางด้านวงจรอานาลอก (บทที่ 4)
2) เราสามารถนำค่าของพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองในค่า PD และ PID เพื่อที่จะนำค่าต่าง ๆ ที่ได้นำมาเซ็ทเกณฑ์ทั้งแบบ PD และ แบบ PID ที่สามารถนำมาใช้ในส่วนของการเซ็ทค่าทางโปรแกรมไมโครโปรเซสเซอร์ (บทที่ 5)
3) การควบคุมตำแหน่ง PID ในแบบที่ 2 ที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์โดยวิธีการของ Zeigler-Nichol มีผลตอบสนองต่อระบบดีกว่าการควบคุมตำแหน่ง PID ในแบบที่ 1 ที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนของการจำลองข้อมูลในบทที่ 3 เนื่องมาจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองข้อมูลจะไม่ถูกต้อง 100 % รวมทั้งค่า time constant ของระบบเซอร์โว
4) เปอร์เซ็นของการเกิดค่า overshoot แบบ no load จะสูงกว่าค่าการเกิด overshoot แบบ load (open) และในส่วนของค่า overshoot แบบ load (close) จะต่ำที่สุด เนื่องมาจากการต่อโหลดเพิ่มเข้าไปในส่วนของมอเตอร์จะมีการเพิ่มค่า inertid และระบบจะมีการเพิ่มอัตราการ damping จะมากขึ้น รวมทั้งในส่วนของการต่อโหลดแบบ load (open) จะมีส่วนของโหลด generator = 0 ส่วนของการต่อโหลดแบบ load (close) จะมีส่วนของโหลด generator ที่มีกระแสสูงสุด
5) ในส่วนของการควบคุมตำแหน่ง PID ในแบบที่ 2 และในส่วนของการควบคุมตำแหน่งแบบ PD ที่มุม θ_s ถ้าในส่วนที่ไม่มีการต่อโหลด no load การควบคุมตำแหน่ง PD จะดีกว่าการควบคุมแบบ PID แต่ถ้าใน ส่วนของระบบที่มีการต่อโหลดเพิ่มทั้งแบบ load (close) และแบบ load (close) การควบคุมตำแหน่งแบบ PID จะดีกว่าการควบคุมแบบ PD

ในส่วนที่มีการตั้งค่าระบบทั้งแบบการควบคุมตำแหน่งแบบ PD และในการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ PID แบบที่ 2 ดังที่เราสามารถสรุปได้ดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ทั้ง (θ_1:θ_2:θ_3)						
	noload		load(open)		load(close)	
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 1	แบบที่ 2
settling time (ms)	มาก	น้อย	มาก	น้อย	มาก	น้อย
rise time (ms)	น้อย	มาก	น้อย	มาก	น้อย	มาก
overshoot (%)	มาก	น้อย	มาก	น้อย	มาก	น้อย
overshoot (%)	มากที่สุด		มาก		น้อยที่สุด	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 2 และ PD ที่มุม θ_3						
	noload		load(open)		load(close)	
	PID	PD	PID	PD	PID	PD
settling time (ms)	มาก	น้อย	น้อย	มาก	น้อย	มาก
rise time (ms)	มาก	น้อย	มาก	น้อย	มาก	น้อย
overshoot (%)	น้อย	มาก	น้อย	มาก	น้อย	มาก

ส่วนแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขตัวควบคุมนั้นการแก้ไขขบวนการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์เพื่อให้สามารถศึกษาการควบคุมและพฤติกรรมการของผลการควบคุมได้อย่างชัดเจน อาจจะต้องดัดแปลงบางส่วนภายในกระบวนการให้เหมาะสม ในส่วนของวงจรชุดขับเซอร์โวมอเตอร์จากสเปคนิกัดมอเตอร์ 20V : 3.4 A : 68 W โดยเราจะเริ่มการออกแบบแรงดันที่มีการเพิ่มกระแส จากนั้นเราควรจะปรับปรุงไมโครโปรเซสเซอร์ที่เรานำมาใช้จาก 8 บิท เพิ่มความละเอียดมากขึ้นเป็นแบบ 16 บิท เพื่อเราสามารถเพิ่มระยะการควบคุมในช่วงตำแหน่งมอเตอร์ได้ละเอียดมากขึ้น แต่ขีดความสามารถของอุปกรณ์ในส่วนของ D/A ที่มีขายอยู่ในปัจจุบันมีอยู่เพียง 12 บิท แต่เราก็สามารถออกแบบขึ้นมาได้เอง

สุดท้ายเราจะนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขทางด้านซ๊อฟแวร์ ตัวควบคุมที่จัดทำขึ้นจัดว่าเป็นตัวควบคุมที่อยู่ในขั้นการทดลองใช้ปัจจัยที่ใช้ในการควบคุมยังมีประสิทธิ์ภาพไม่มากนัก เช่น โปรแกรมและอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์การอินเตอร์เฟสต่างๆ ที่เป็นโครงสร้างของอัลกอลลิทึมและการแทนรูปแบบการแทนรูปแบบของกระบวนการ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดปลีกย่อยอาจจะต้องปรับปรุงเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานต่างๆในมากขึ้น รวมถึงเทคนิคการเขียนโปรแกรมที่มีความสำคัญในการควบคุมกระบวนการมาก โดยเราควรจะต้องปรับปรุงโครงสร้างสำหรับในการทดลองเป็นการควบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมแบบหนึ่งอินพุทหนึ่งเอาท์พุท เป็นแบบโครงสร้างอัลกอลิทึมที่แทนค่ากระบวนการแบบหลายอินพุทหลายเอาท์พุท ซึ่งการดัดแปลงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการที่มีขนาดใหญ่จะทำได้ยากขึ้นต้องใช้เวลาในการออกแบบนาน ซึ่งในอนาคตจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ได้อย่างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และให้คำปรึกษาคำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด และขอขอบพระคุณบุญคุณพ่อและแม่ที่ให้กำเนิดและทุนในการศึกษามาโดยตลอดรวมทั้งกำลังใจที่มีให้จนสามารถให้ข้าพเจ้าประสพผลสำเร็จ และต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ห้อง 420 ทุกๆ คนที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือมาโดยตลอด ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ และสุดท้ายต้องขอขอบคุณห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เป็นแหล่งสนับสนุนด้านตำราและเอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Takashi Kenjo,"Power Electronics for the Microprocessor Age", Oxford university press 1990

[2] T.Kenjo and S.Nagamori,"Permanent-Magnet and Brushless DC Motor", Clarendon press oxford 1985

[3] Curtis D.Johnson,"Microprocessor-based process control",Prentice-Hall 1984

[4] J.Michael Jacob, "Industrial control electronics applications and design", Pratice-Hall International Editions

[5] รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์,"ระบบเซอร์โวและอิเลคทรอนิคส์คอนโทรลมอเตอร์", ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2533

[6] Victor J.Bucek,"Control System Continuous and Discrete",Prentice-Hall 1989

[7] Ramakant Gayakwad and Leonard Sokoloff,"Analog and Digital control systems" Prentice-Hall 1988

[8] B.Yousefzadeh,"Basic control Engineerling" Morgan-Westley 1979

[9] Noel M.Morris,"Control Engineering" Third Edition McGraw-Hill

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] Katsuhiko ogata,"Modern control engineering" Prentice-Hall 1983

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเกนปรี๊อปพอร์ชั่นนัล
อินติกรัลดิริเวทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง 1 รายละเอียดตัวอย่างในการออกแบบซ็อฟแวร์จากผลการทดลองเรามีค่าตัวแปรอินพุท (DV) จาก 00H ถึง FFH ในส่วนของสัญญาณการป้อนกลับ (DSP) เพื่อที่เราจะนำมาสร้างค่าสัญญาณผิดพลาด (DE) สมมุตว่าเรามีค่าตัวแปรอินพุท (DV) เป็น 00H 15H 3AH 42H 5AH 7BH 92H A7H C4H DEH A3H และ B5H และเราจะสมมุตให้ (DSP) เป็น 85H จงหาค่าสัญญาณผิดพลาด (DE)

DV = 00H

DSP = 85H

DE = DV - DSP

= 00H - 85H

= 85H (SGN = -1) (1)

DV = 15H

DSP = 85H

DE = DV - DSP

= 15H - 85H

= 70H (SGN = -1) (2)

DV = 3AH

DSP = 85H

DE = DV - DSP

= 3AH - 85H

= 4BH (SGN = -1) (3)

DV = 42H

DSP = 85H

DE = DV - DSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    =  42H - 85H
    =  43H          (SGN = -1)                          (4)

DV  =  5AH
DSP =  85H
DE  =  DV - DSP
    =  5AH - 85H
    =  2BH          (SGN = -1)                          (5)

DV  =  7BH
DSP =  85H
DE  =  DV - DSP
    =  7BH - 85H
    =  0AH          (SGN = -1)                          (6)

DV  =  92H
DSP =  85H
DE  =  DV - DSP
    =  92H - 85H
    =  0DH          (SGN = 1)                           (7)

DV  =  A7H
DSP =  85H
DE  =  DV - DSP
    =  A7H - 85H
    =  22H          (SGN = 1)                           (8)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DV = C4H

DSP = 85H

DE = DV - DSP

= C4H - 85H

= 3FH (SGN = 1) (9)

DV = DEH

DSP = 85H

DE = DV - DSP

= DEH - 85H

= 59H (SGN = 1) (10)

DV = B3H

DSP = 85H

DE = DV - DSP

= B3H - 85H

= 2EH (SGN = 1) (11)

DV = A5H

DSP = 85H

DE = DV - DSP

= A5H - 85H

= 20H (SGN = 1) (12)

เราจะเห็นได้ว่าจะมีอยู่ทั้ง 2 กรณี ที่มีค่าเป็นได้ทั้งค่าเป็นบวก (SGN = 1) และในกรณีที่สองมีค่าเป็นลบ (SGN = -1) ดังที่เราสามารถดูได้จากส่วนของโฟร์ชาร์ตการตรวจสอบเครื่องหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง 2 เรานำสมการจากตัวอย่าง 1 นำมาหาผลลัพธ์ในส่วนของโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัล โดยที่เราสมมุตว่าให้เกนของปรื๊อปพอร์ชั่นนัล 1.42 และกำหนดให้เอาท์พุทค่าผิดพลาดศูนย์ (DCO) เป็น 15H จงหาเอาท์พุทในสมการควบคุมของโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัล (โดยนำค่าสัญญาณผิดพลาด (DE)) จากตัวอย่างที่ 1)

K_P = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*85H + 15H

DCP = 6CH (13)

K_P = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*70H + 15H

DCP = A1H (14)

K_P = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*4BH + 15H

DCP = 73H (15)

K_P = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCP = 1.42*43H + 15H

DCP = 69H (16)

K_p = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*28H + 15H

DCP = 4BH (17)

K_p = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*0AH + 15H

DCP = 21H (18)

K_p = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*0DH + 15H

DCP = 25H (19)

K_p = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*22H + 15H

DCP = 3FH (20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K_p = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*3FH + 15H

DCP = 64H (21)

K_p = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*59H + 15H

DCP = 84H (22)

K_p = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*2EH + 15H

DCP = 4EH (23)

K_p = 1.42

DCO = 15H

DCP = K_pDE + DCO

DCP = 1.42*20H + 15H

DCP = 3DH (24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง 3 จงหาโหมดอินติกรัลที่จะนำมาใช้กับระบบโดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง 2 กำหนดให้เกนของอินติกรัล = 0.483 โดยนำมาสร้างสมการควบคุมภายในโหมดอินติกรัล สมมุติให้ SUM ที่ค่าเริ่มต้นมีค่าเป็นศูนย์

K_1 = 0.0625

SUM = 0000H (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 0000H + 85H

= 0085H

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*0085H

= 08H (25)

K_1 = 0.0625

SUM = 0085H (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 0085H + 70H

= 00F5H

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*00F5H

= 0FH (26)

K_1 = 0.0625

SUM = 00F5H (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 00F5H + 4BH

= 0140H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*0140H

= 14H (27)

K_1 = 0.0625

SUM = 0140H (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 0140H + 43H

= 0183H

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*0183H

= 18H (28)

K_1 = 0.0625

SUM = 0183H (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 0183H + 2BH

01AEH

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*01AEH

= 1AH (29)

K_1 = 0.0625

SUM = 01AEH (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 01AEH + 0AH

= 01B8H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*01B8H

= 1BH (30)

K_1 = 0.0625

SUM = 01B8H (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 01B8H + 0DH

= 01ABH

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*01ABH

= 1AH (31)

K_1 = 0.0625

SUM = 01ABH (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 01ABH + 22H

= 189H

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*0189H

= 18H (32)

K_1 = 0.0625

SUM = 0189H (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 0189H + 3FH

= 014AH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*014AH

= 14H (33)

K_1 = 0.0625

SUM = 14AH (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 014AH + 3FH

= 00F1H

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*00F1H

= 0FH (34)

K_1 = 0.0625

SUM = 00F1H (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 00F1H + 59H

= 00C3H

DCI = K_1*SUM

= 0.0625*00C3H

= 0CH (35)

K_1 = 0.0625

SUM = 00C3H (โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น)

SUM = SUM + DE

= 00C3H + 2EH

= 00A3H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$DCI = K_I * SUM$$

$$= 0.0625 * 00A3H$$

$$= 0AH \qquad (36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 4 จงหาสมการของภายในระบบปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัล (DCPI) ที่ได้จากการหาค่าของโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัล (DCP) และโหมดอินติกรัล (DCI) ตามตัวอย่างที่ 2 และ 3 เพื่อนำมาหาค่าในโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} DCPI &= DCP + DCI \\ &= 6CH + 08H \\ &= 74H \end{aligned} \tag{37}$$

$$\begin{aligned} DCPI &= DCP + DCI \\ &= A1H + 0FH \\ &= B0H \end{aligned} \tag{38}$$

$$\begin{aligned} DCPI &= DCP + DCI \\ &= 73H + 14H \\ &= 87H \end{aligned} \tag{39}$$

$$\begin{aligned} DCPI &= DCP + DCI \\ &= 69H + 18H \\ &= 81H \end{aligned} \tag{40}$$

$$\begin{aligned} DCPI &= DCP + DCI \\ &= 4BH + 1AH \\ &= 65H \end{aligned} \tag{41}$$

$$\begin{aligned} DCPI &= DCP + DCI \\ &= 21H + 1BH \\ &= 3CH \end{aligned} \tag{42}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCPI = DCP + DCI

= 25H + 1AH

= 3FH (43)

DCPI = DCP + DCI

= 3FH + 18H

= 57H (44)

DCPI = DCP + DCI

= 64H + 14H

= 78H (45)

DCPI = DCP + DCI

= 84H + 0FH

= 93H (46)

DCPI = DCP + DCI

= 4EH + 0CH

= 5AH (47)

DCPI = DCP + DCI

= 3DH + 0AH

= 47H (48)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง 5 จงหาค่าโหมดเอาท์พุทของโหมดดิริเวทีฟ (DCD) จากตัวอย่างที่ 1,2 และ 3 โดยเรากำหนดให้เกนเดริเวทีฟ K_D = 1.68

DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 70H - 85H

= 15H (SGN = -1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*15H

= 1DH (49)

DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 4BH - 70H

= 25H (SGN = -1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*25H

= 34H (50)

DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 43H - 4BH

= 08H (SGN = -1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*08H

= 0BH (51)

DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 2BH - 43H

= 18H (SGN = -1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCD = K_D*DDE

= 1.68*18H

= 21H (52)

DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 0AH - 2BH

= 21H (SGN = -1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*21H

= 2EH (53)

DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 0DH - 0AH

= 03H (SGN = 1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*03H

= 04H (54)

DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 22H - 0DH

= 15H (SGN = 1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*15H

= 1DH (55)

DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 3FH - 22H

= 0DH (SGN = 1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*0DH

= 12H (56)

DDE = DV - DV0 (DV0 = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 59H - 3FH

= 1AH (SGN = 1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*1AH

= 24H (57)

DDE = DV - DV0 (DV0 = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 2EH - 59H

= 2BH (SGN = -1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*2BH

= 3CH (58)

DDE = DV - DV0 (DV0 = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 20H - 2EH

= 0EH (SGN = -1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*0EH

= 13H (59)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1)

= 03H - 20H

= 1DH (SGN = -1)

DCD = K_D*DDE

= 1.68*1DH

= 28H (60)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 6 จงหาสมการของภายในระบบปรีอปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลเดริเวทีฟ (DCPID) ที่ได้จากการหาค่าของโหมดปรีอปพอร์ชั่นนัล (DCPI) ตามตังตัวอย่างที่ 4 และโหมดเดริเวทีฟ (DCD) ตามตังตัวอย่างที่ 5 เพื่อนำมาหาค่าในโหมดปรีอปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลเดริเวทีฟดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} DCPID &= DCPI + DCD \\ &= 74H + 1DH \\ &= 91H \end{aligned} \tag{61}$$

$$\begin{aligned} DCPID &= DCPI + DCD \\ &= B0H + 34H \\ &= E4H \end{aligned} \tag{62}$$

$$\begin{aligned} DCPID &= DCPI + DCD \\ &= 87H + 0BH \\ &= 92H \end{aligned} \tag{63}$$

$$\begin{aligned} DCPID &= DCPI + DCD \\ &= 81H + 21H \\ &= A2H \end{aligned} \tag{64}$$

$$\begin{aligned} DCPID &= DCPI + DCD \\ &= 65H + 2EH \\ &= 93H \end{aligned} \tag{65}$$

$$\begin{aligned} DCPID &= DCPI + DCD \\ &= 3CH + 04H \\ &= 40H \end{aligned} \tag{66}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างที่เราได้กล่าวมาตั้งแต่ต้นเราพอที่จะสรุปออกมาเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

DV	DSP	DE	DCP	SUM	DCI	DCPI	DDE	DCD	DCPID
00H	85H	85H	6CH	0000H	08H	74H	15H	1DH	91H
15H	85H	70H	A1H	0085H	0FH	80H	25H	34H	E4H
3AH	85H	4BH	73H	00F5H	14H	87H	08H	0BH	92H
42H	85H	43H	69H	0140H	18H	81H	18H	21H	A2H
5AH	85H	2BH	4BH	0183H	1AH	65H	21H	2EH	93H
7BH	85H	0AH	21H	01AEH	1BH	3CH	03H	04H	40H
92H	85H	0DH	25H	01B8H	1AH	3FH	15H	1DH	5CH
A7H	85H	22H	3FH	01ABH	18H	57H	0DH	12H	69H
C4H	85H	3FH	64H	0189H	14H	78H	1AH	24H	9CH
DEH	85H	59H	84H	014AH	0FH	93H	2BH	3CH	CFH
B3H	85H	2EH	4EH	00F1H	0CH	5AH	0EH	13H	6DH
A5H	85H	20H	3DH	00C3H	0AH	47H	1DH	28H	6FH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่ง แบบ PID และ PD โดยวิธีการของ Zigler-Nichols

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวโดยพอที่จะสรุปการนำเสนอแนวความคิดการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์กระแสตรงด้วยวิธี PID และ PD โดยเริ่มนำไมโครโปรเซสเซอร์นำมาประยุกต์ใช้ภายในระบบการควบคุมตำแหน่ง ที่มีการออกแบบโมเดลอัลกอลิทึมแบบ PID และ PD ที่มีการแปลงระบบที่ใช้การตั้งค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีของ Ziegler and Nichols ที่เรานำมาใช้ในวิธีแบบลูปปิดโดยได้จากการจำลองตัวควบคุมแบบ PID และ PD ซึ่งโดยปกติจะหาพารามิเตอร์ของระบบที่นิยมกันมีอยู่ 2 วิธี คือ การหาแบบ Reaction curve ของกระบวนการเพื่อหาค่า Time constant : Response rate และ Dead time กับอีกวิธีคือการหาแบบ Ultimative sensitivity method ซึ่งใช้หาเกนและคาบของระบบ (Natural Time : τ_0) ในการจำลองการควบคุมตำแหน่งแบบ PID และ PD ในส่วนที่เราจะนำมาวิเคราะห์กระบวนการหาค่าพารามิเตอร์และการจูนค่าตามวิธีของ Ziegler and Nichols คือ การตั้งค่าระบบหลังจากที่ได้เลือกใช้ชนิดของตัวควบคุมจะต้องปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้ได้ค่าที่ดีที่สุดโดยทั่วๆ ไปจะมีอยู่ 3 วิธี คือ

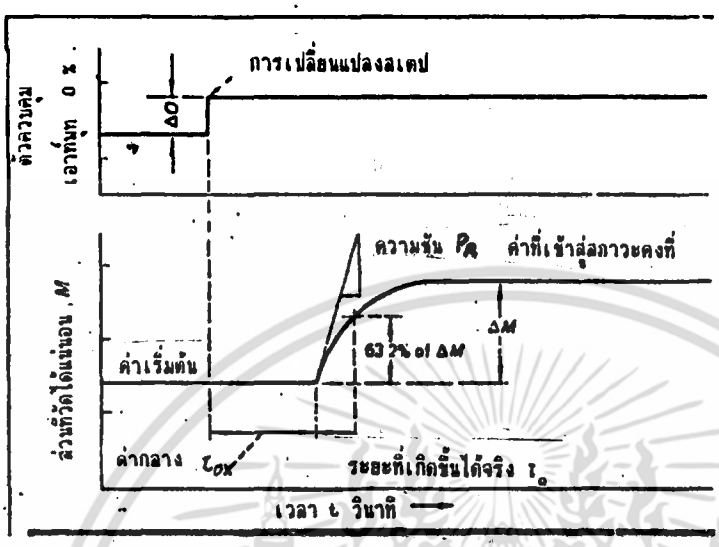
1) ใช้ Criteria อย่างง่ายๆ เช่น one-quater delay ratio : minimum settling time เป็นต้น วิธีนี้มีความสะดวกและง่ายแต่จะให้หลายค่าจึงไม่เป็นที่นิยมแต่อย่างใด

2) ใช้ time integral performance criteria เช่น ISE : IAE และ JTAE วิธีนี้ค่อนข้างใช้เวลามากและขึ้นอยู่กับรูปแบบทางคณิตศาสตร์

3) ใช้ semiempirical rules ซึ่งได้พิสูจน์แล้วในทางปฏิบัติซึ่งเรานำมาใช้ในการทดลองภายในส่วนของวิทยานิพนธ์อยู่นี้ และเป็นที่นิยมใช้กันซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

3.1) วิธีการตอบสนองทรานเซี้ยนลูปเปิดหรือที่เรียกกันว่า Process reaction curve method วิธีนี้เป็นวิธีที่ Ziegler and Nichols คิดขึ้นซึ่งมีวิธีการคือเปิดลูปของกระบวนการควบคุมออกเพื่อไม่ให้เกิด control action และกระทำได้โดยแยกตัวควบคุมออกจาก final control element เมื่อให้เอาท์พุทของตัวควบคุมเปลี่ยนแปลงเป็นแบบสเตปจากค่าคงที่หนึ่ง เช่น 5 % ถึง 10 % จะได้ผลตอบสนองดังรูปที่ 6.1 จากเส้นตรงผ่านจุด infection ของเส้นโค้งไปสู่แกนเวลาจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 การกระทำกระบวนการทางกราฟ

$$L = \text{lag time} \quad (\text{นาที}) \qquad (1)$$

$$N = \frac{\Delta C_p}{T} \qquad (2)$$

โดยที่

N = อัตราการตอบสนอง (% : นาที)

ΔC_p = การเปลี่ยนแปลงตัวแปร (%)

T = การเปลี่ยนแปลงเวลา (นาที)

สมการ (1) และ (2) ถูกใช้ร่วมกับตัวควบคุมที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปร ΔP เพื่อในการปรับแต่งตัวควบคุม เนื้อหาต่อไปนี้จะให้นิยามของการควบคุมให้มีเสถียรภาพสำหรับโหมดต่างๆ ซึ่งถูกพัฒนาโดย Ziegler and Nichols

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีโหมดปรีอปพอร์ชั่นนัล

$$\text{Ziegler - Nichols} \quad : \quad K_p = \frac{\Delta P}{NL} \qquad (3)$$

กรณีโหมดปรีอปพอร์ชั่นนัลอินติกรัล

$$\text{Ziegler - Nichols} \quad : \quad K_p = \frac{0.9\Delta P}{NL} \qquad (4)$$

$$\text{Ziegler - Nichols} \quad : \quad \tau_I = 3.33\ L \qquad (5)$$

$$\text{Ziegler - Nichols} \quad : \quad K_p = \frac{1.2\ \Delta P}{NL} \qquad (6)$$

$$\text{Ziegler - Nichols} \quad : \quad \tau_I = 2L \qquad (7)$$

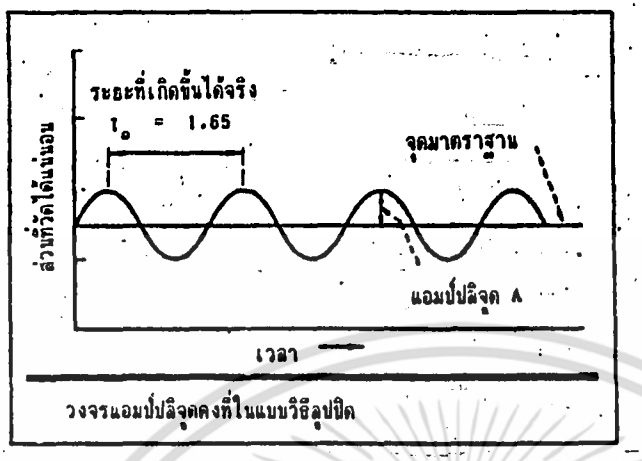
$$\text{Ziegler - Nichols} \quad : \quad \tau_D = 0.5L \qquad (8)$$

3.2) วิธีการตอบสนองแบบลูปปิดหรือเรียกกันว่า Ultimate cycle method วิธีนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่คิดขึ้นโดย Ziegler and Nichols และเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน เพราะว่าวัดพารามิเตอร์เพียงหนึ่งตัวเท่านั้น และนำมาใช้ในการทำการทดลองภายในวิทยานิพนธ์นี้ วิธีนี้มีขั้นตอนดังนี้

1) ลดค่าอินติกรัลและดิริเวทีฟให้ต่ำที่สุด

2) ค่อยๆเพิ่มเกนปรีอปพอร์ชั่นนัล K_c จนกว่าจะเกิดการแกว่งที่มีแอมปลิจูดและระยะเวลาตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 รูปคลื่นในส่วนของแอมป์ปลิจุดคงที่ที่ใช้ในแบบวิธีการ close-loop

กรณีโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัล

Ziegler - Nichols : $K_p = 0.5\ K_c$ (9)

กรณีโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัล

Ziegler - Nichols : $K_p = 0.45\ K_c$ (10)

Ziegler - Nichols : $T_i = T_o/1.2$ (11)

กรณีโหมดปรื๊อปพอร์ชั่นนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ

Ziegler - Nichols : $K_p = 0.6K_c$ (12)

Ziegler - Nichols : $T_i = 0.5T_o$ (13)

Ziegler - Nichols : $T_D = T_o/8$ (14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (12),(13) และ (14) นี้เราสามารถนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของค่า K_p K_i และ K_d ได้เมื่อที่เราจะสามารถนำมาหาค่าแรงดันที่ได้จากการเคลื่อนที่ ในค่าตำแหน่งแรกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปเราจะนำค่าที่ได้มาใช้คำนวณมุม θ_1 เป็นระยะที่มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้จริง จากนั้นเราจะทำการค่าจากตารางภายในไมโครโปรเซสเซอร์ เมื่อที่เราจะสามารถกำหนดค่าใหม่ให้ตำแหน่งของมอเตอร์เปลี่ยนไปจากเดิมไปเป็น θ_2 โดยที่เกนของ K_p K_i K_D ยังคงเท่าเดิมพร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดของมอเตอร์และมีการปรับแต่งตำแหน่งมอเตอร์เพื่อให้ระยะตำแหน่งที่มอเตอร์เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งเดิม θ_2 ในส่วนของมุม θ_3 ก็จะทำแบบเดียวกันกับ θ_2 พร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลด

จากนั้นเราจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_D เมื่อที่จะปรับแต่งค่าพารามิเตอร์แบบ PD พร้อมทั้งหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ ที่ได้มาจากการคำนวณหามุม θ_3 จากนั้นเราจะทำการเพิ่มโหลดมอเตอร์ที่นำมาใช้ในการเคลื่อนที่โดยที่เกนของ K_p K_D ยังคงเดิม

การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่ง ในส่วนของการทดลองที่จะนำมากล่าวต่อไปนี้ เป็นผลจากการวัดผลการตอบสนองของความเร็วชั่วขณะจากสัญญาณทาโคเจนเนอเรเตอร์ และทำการวัดผลการตอบสนองชั่วขณะของตำแหน่งจากสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์พร้อมกัน โดยมีการควบคุมตำแหน่งในลักษณะแบบ PID และ PD ที่ได้จากการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ K_p K_i K_d เมื่อที่จะนำมาใช้แต่เฉพาะในส่วนการควบคุมตำแหน่ง เราจะทำการวัดเวลาที่สัญญาณเข้าสู่ระยะ steady-state ตามค่าเวลา settling time = T_s พร้อมทั้งวัดช่วงแรงดันจากช่วงตำแหน่งแรกที่มอเตอร์หยุดไปยังตำแหน่งที่สองที่มอเตอร์หยุด เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหามุม θ_1 ที่มอเตอร์ได้เคลื่อนออกไป ต่อไปเราจะนำโหลดมอเตอร์อีกตัวต่อเข้าไปโดยที่เราจะทำการต่อแบบ (open) จากนั้นเราจะนำโหลดมอเตอร์ที่เราได้ต่อเข้าไปมาทำการลัดวงจรมอเตอร์ หรือที่เราเรียกว่าการต่อแบบ (close) จากนั้นเราจะทำการปรับหามุม θ_2 และ θ_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การตอบสนองตำแหน่งมอเตอร์ (K_p=125 K_i=124.5 K_d=2.5)

การตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ที่มีการปรับแต่งการจูน PID ของ Zigler-Nichols ดังที่ได้เคยนำมากล่าวไว้แล้วในตอนต้นภายในระบบที่เราได้ทำการปรับแต่งอยู่นี้เราจะได้ K_c=60 : τ_o = 0.58 เนื่อที่จะนำไปหาค่า K_p,K_i,K_d ที่ได้จากการคำนวณต่างๆจากสมการที่ (12),(13) และ (14) ดังนี้

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเกน K_p ที่ได้จากการคำนวณ

$$K_p = 0.6K_c$$

$$K_p = 0.6*60$$

$$K_p = 36$$

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเกน K_i ที่ได้จากการคำนวณ

$$\tau_i = 0.5\tau_o$$

$$\tau_i = 0.5*0.58$$

$$\tau_i = 0.29$$

$$K_i = \frac{K_p}{s\tau_i}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_I = \frac{36}{s*0.29}$$

$$K_I = \frac{124.13}{s}$$

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเกน K_D ที่ได้จากการคำนวณ

$$\tau_D = \tau_o/8$$

$$\tau_D = 0.58/8$$

$$\tau_D = 0.0725$$

$$K_D = s\tau_D K_P$$

$$K_D = s*0.0725*36$$

$$K_D = 2.61$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

โปรแกรมของระบบคุมตำแหน่งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****************************************************
;*                                                   *
;*       POSITION CONTROL PROPORTION INTEGRATE       *
;*       DERIVATIVE USING FOR D.C. MOTOR METHOD      *
;*                                                   *
;*****************************************************
;
        CPU     "8085.TBL"      ;
        HOF     "INT8"          ;
;
PORTA1: EQU     0F0H            ;
PORTB1: EQU     0F1H            ;
PORTC1: EQU     0F2H            ;
CWR1:   EQU     0F3H            ; Control word 8255-1
CWR2:   EQU     0F7H            ; Control word 8255-2
STACK:  EQU     8FFFH           ;
DSP:    EQU     66H             ;
DSPD:   EQU     70H             ;
DCO:    EQU     0A6H            ;
PORT_NO:EQU     02H             ;
RST7.5: EQU     0FF12H          ;
TABLE_0:EQU     08E00H          ;
TABLE_1:EQU     08E20H          ;
TABLE_2:EQU     08E40H          ;
TABLE_3:EQU     08E60H          ;
TABLE_4:EQU     08E80H          ;
TABLE_5:EQU     08EA0H          ;
TABLE_6:EQU     08EC0H          ;
TABLE_7:EQU     08EE0H          ;
TABLE_8:EQU     08F00H          ;
TABLE_9:EQU     08F20H          ;
TABLE_A:EQU     08F40H          ;
TABLE_B:EQU     08F60H          ;
TABLE_C:EQU     08F80H          ;
TABLE_D:EQU     08FA0H          ;
TABLE_E:EQU     08FC0H          ;
TABLE_F:EQU     08FE0H          ;
WDATA:  EQU     08100H          ;
;
        ORG     8000H           ;
;
START:  LXI     SP,STACK        ; Set stack pointer
        MVI     A,90H           ; I/O port command data
        OUT     CWR1            ; Set I/O ports 8255-1
        MVI     A,89H           ; I/O port command data
        OUT     CWR2            ; Set I/O ports 8255-2
;
        MVI     A,04H           ;
        OUT     PORTC1          ;
        MVI     A,0C3H          ;
        STA     RST7.5+0        ;
        LXI     H,INT7.5        ;
        SHLD    RST7.5+1        ;
;
        LXI     H,0FFFFH        ;
        SHLD    WDATA           ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;
LOOP1:  MVI   C,PORT_NO       ;
        CALL  ADCONV          ;
        MOV   C,A             ;
;
        LXI   D,TABLE_0       ; Load data position command
        MVI   B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX  D               ;
        SUB   C               ;
;
IFSTOP: ORI   00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ    STOP            ;
;
        LDAX  D               ; Input DV from position control
        SUB   C               ;
OUTPUT: CALL  PID             ; Go to PID SUBROUTINE
        INX   D               ; Increment address
        DCR   B               ; Decrement counter
        JNZ   LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
        LXI   D,TABLE_1       ; Load data position command
        MVI   B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX  D               ;
        SUB   C               ;
;
IFSTOP: ORI   00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ    STOP            ;
;
        LDAX  D               ; Input DV from position control
        SUB   C
OUTPUT: CALL  PID             ; Go to PID SUBROUTINE
        INX   D               ; Increment address
        DCR   B               ; Decrement counter
        JNZ   LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
        LXI   D,TABLE_2       ; Load data position command
        MVI   B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX  D               ;
        SUB   C               ;
;
IFSTOP: ORI   00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ    STOP            ;
;
        LDAX  D               ; Input DV from position control
        SUB   C               ;
OUTPUT: CALL  PID             ; Go to PID SUBROUTINE
        INX   D               ; Increment address
        DCR   B               ; Decrement counter
        JNZ   LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
        LXI   D,TABLE_3       ; Load data position command
        MVI   B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX  D               ;
        SUB   C               ;
;
IFSTOP: ORI   00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        JZ      STOP            ;
;
        LDAX    D               ; Input DV from position control
        SUB     C               ;
OUTPUT: CALL    PID             ; Go to PID SUBROUTINE
        INX     D               ; Increment address
        DCR     B               ; Decrement counter
        JNZ     LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
        LXI     D,TABLE_4       ; Load data position command
        MVI     B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX    D               ;
        SUB     C               ;
;
IFSTOP: ORI     00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ      STOP            ;
;
        LDAX    D               ; Input DV from position control
        SUB     C               ;
OUTPUT: CALL    PID             ; Go to PID SUBROUTINE
        INX     D               ; Increment address
        DCR     B               ; Decrement counter
        JNZ     LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
        LXI     D,TABLE_5       ; Load data position command
        MVI     B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX    D               ;
        SUB     C               ;
;
IFSTOP: ORI     00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ      STOP            ;
;
        LDAX    D               ; Input DV from position control
        SUB     C               ;
OUTPUT: CALL    PID             ; Go to PID SUBROUTINE
        INX     D               ; Increment address
        DCR     B               ; Decrement counter
        JNZ     LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
        LXI     D,TABLE_6       ; Load data position command
        MVI     B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX    D               ;
        SUB     C               ;
;
IFSTOP: ORI     00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ      STOP            ;
;
        LDAX    D               ; Input DV from position control
        SUB     C               ;
OUTPUT: CALL    PID             ; Go to PID SUBROUTINE
        INX     D               ; Increment address
        DCR     B               ; Decrement counter
        JNZ     LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
        LXI     D,TABLE_7       ; Load data position command
        MVI     B,01FH          ; Counter loop position command
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LOOP2:  LDAX   D                ;
        SUB    C                ;
;
IFSTOP: ORI    00H              ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ     STOP             ;
;
        LDAX   D                ; Input DV from position control
        SUB    C                ;
OUTPUT: CALL   PID              ; Go to PID SUBROUTINE
        INX    D                ; Increment address
        DCR    B                ; Decrement counter
        JNZ    LOOP2            ; IF position command is not ERROR
;
        LXI    D,TABLE_8        ; Load data position command
        MVI    B,01FH           ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX   D                ;
        SUB    C                ;
;
IFSTOP: ORI    00H              ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ     STOP             ;
;
        LDAX   D                ; Input DV from position control
        SUB    C                ;
OUTPUT: CALL   PID              ; Go to PID SUBROUTINE
        INX    D                ; Increment address
        DCR    B                ; Decrement counter
        JNZ    LOOP2            ; IF position command is not ERROR
;
        LXI    D,TABLE_9        ; Load data position command
        MVI    B,01FH           ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX   D                ;
        SUB    C                ;
;
IFSTOP: ORI    00H              ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ     STOP             ;
;
        LDAX   D                ; Input DV from position control
        SUB    C                ;
OUTPUT: CALL   PID              ; Go to PID SUBROUTINE
        INX    D                ; Increment address
        DCR    B                ; Decrement counter
        JNZ    LOOP2            ; IF position command is not ERROR
;
        LXI    D,TABLE_A        ; Load data position command
        MVI    B,01FH           ; Counter loop position command
LOOP2:  LDAX   D                ;
        SUB    C                ;
;
IFSTOP: ORI    00H              ; Logical OR IF=0 goto STOP
        JZ     STOP             ;
;
        LDAX   D                ; Input DV from position control
        SUB    C                ;
OUTPUT: CALL   PID              ; Go to PID SUBROUTINE
        INX    D                ; Increment address
        DCR    B                ; Decrement counter
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          JNZ    LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
          LXI    D,TABLE_B       ; Load data position command
          MVI    B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:    LDAX   D               ;
          SUB    C
;
IFSTOP:   ORI    00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
          JZ     STOP            ;
;
          LDAX   D               ; Input DV from position control
          SUB    C
OUTPUT:   CALL   PID             ; Go to PID SUBROUTINE
          INX    D               ; Increment address
          DCR    B               ; Decrement counter
          JNZ    LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
          LXI    D,TABLE_C       ; Load data position command
          MVI    B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:    LDAX   D               ;
          SUB    C               ;
;
IFSTOP:   ORI    00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
          JZ     STOP            ;
;
          LDAX   D               ; Input DV from position control
          SUB    C               ;
OUTPUT:   CALL   PID             ; Go to PID SUBROUTINE
          INX    D               ; Increment address
          DCR    B               ; Decrement counter
          JNZ    LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
          LXI    D,TABLE_D       ; Load data position command
          MVI    B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:    LDAX   D               ;
          SUB    C               ;
;
IFSTOP:   ORI    00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
          JZ     STOP            ;
;
          LDAX   D               ; Input DV from position control
          SUB    C               ;
OUTPUT:   CALL   PID             ; Go to PID SUBROUTINE
          INX    D               ; Increment address
          DCR    B               ; Decrement counter
          JNZ    LOOP2           ; IF position command is not ERROR
;
          LXI    D,TABLE_E       ; Load data position command
          MVI    B,01FH          ; Counter loop position command
LOOP2:    LDAX   D               ;
          SUB    C               ;
;
IFSTOP:   ORI    00H             ; Logical OR IF=0 goto STOP
          JZ     STOP            ;
;
          LDAX   D               ; Input DV from position control
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          SUB    C                ;
OUTPUT:   CALL   PID              ; Go to PID SUBROUTINE
          INX    D                ; Increment address
          DCR    B                ; Decrement counter
          JNZ    LOOP2            ; IF position command is not ERROR
;
          LXI    D,TABLE_F        ; Load data position command
          MVI    B,01FH           ; Counter loop position command
LOOP2:    LDAX   D                ;
          SUB    C                ;
;
IFSTOP:   ORI    00H              ; Logical OR IF=0 goto STOP
          JZ     STOP             ;
;
          LDAX   D                ; Input DV from position control
          SUB    C                ;
OUTPUT:   CALL   PID              ; Go to PID SUBROUTINE
          INX    D                ; Increment address
          DCR    B                ; Decrement counter
          JNZ    LOOP2            ; IF position command is not ERROR
;
          JMP    LOOP1            ; then go to LOOP2
;
;*************************************************************
;*                                                           *
;*       RST7.5 POSITION ERROR COUNTER ROUTINE DIRECTION     *
;*                                                           *
;*************************************************************
;
INT7.5:   PUSH   PSW              ; Push flag state down to stack
          IN     PORTB2           ; Fetch encoder signal
          ANI    01H              ; If zero
          JZ     CCW              ; Go to CCW
;
CW:       INX    H                ; Increment HL
          POP    PSW              ; Retrieve flag state
          EI                      ; Enable interrupts
          RET                     ; Return to main routine
;
CCW:      DCX    H                ; Decrement HL
          POP    PSW              ; Retrieve flag state
          EI                      ; Enable interrupts
          RET                     ; Return to main routine
;
;*************************************
;*                                   *
;*       STOP COMMAND EXECUTION      *
;*                                   *
;*************************************
;
STOP:     MVI    A,80H            ; Load A=80H
          OUT    PORTB1           ; Output to PORTB1
          DI                      ; Disenable interrupt
          HLT                     ; Halt CPU
;
DELAY:    OUT    PORTB1           ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LHLD    WDATA           ;
WAIT:   DCR     H               ;
        MOV     A,H             ;
        ORA     L               ;
        JNZ     WAIT            ;
        RET                     ;
;
;*****************************************
;*                                       *
;*      CONVERT DIRECTION ERROR          *
;*                                       *
;*****************************************
;
        ORG     9000H           ;
                                ;
ADCONV: PUSH    B               ;
        PUSH    D               ;
        MOV     A,C             ;
        ANI     03H             ;
        MOV     C,A             ;
        IN      PORTC1          ;
        ANI     0F0H            ; Send munber port go to A/D
        ORA     C               ;
        XRI     04H             ; CS="H"
        OUT     PORTC1          ;
        XRI     04H             ; CS="L"
        OUT     PORTC1          ;
        MVI     C,09H           ;
                                ;
        LXI     D,0706H         ;
ADC1:   MOV     A,D             ; CLK="H"
        OUT     CWR1            ;
        MOV     A,E             ; CLK="L"
        OUT     CWR1            ;
        IN      PORTA1          ;
        RAL                     ;
        MOV     A,B             ;
        RAL                     ;
        MOV     B,A             ;
        DCR     C               ;
        JNZ     ADC1            ;
        MVI     A,05H           ;
        OUT     CWR1            ;
        MOV     A,B             ;
        POP     D               ;
        POP     B               ;
        RET                     ;
;
;*************************************************************
;*                                                           *
;*      CALCULATE THE ABSOLUTE ERROR AND SIGN DE             *
;*                                                           *
;*************************************************************
;
PID:    PUSH    D               ;
        PUSH    B               ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV   E,A             ;
        MVI   C,00H           ;
        MOV   A,E             ; Calculate value ERROR DE=DV-DSP
        JNC   KI              ; B=DE
        CMA                   ; (-)DE
        ADI   01H             ; (-)DE+1
        MVI   C,0FFH          ; SGN=1 input from PORTC1
;
;*****************************************************************
;*                                                               *
;*      THIS SECTION CALCULATES INTEGRAL KI*DE=0.375*DE          *
;*                                                               *
;*****************************************************************
;
KI:     MOV   B,A             ; E=0.375*DE
        MOV   A,C             ; SGN
        ANA   A               ;
        LDA   DCI             ;
        JZ    SUBI            ;
        ADD   B               ; DCI1=DCI1+KI*DE
        JNC   DCI             ;
        MVI   A,0FFH          ;
        JMP   DCI             ;
SUBI:   SUB   B               ; DCI1=DCI1-KI*DE
        JNC   DCI             ;
        MVI   A,00H           ;
DCI:    MOV   D,A             ;
;
;*****************************************************************
;*                                                               *
;*      THE OUTPUT IS CALCULATE DCI1=DCI1+KI*DE                  *
;*                                                               *
;*****************************************************************
;
        MOV   A,D             ; A=DE
        RAR                   ; 0.5*DE
        RAR                   ; 0.25*DE
        MOV   E,A             ; E=0.25*DE
        RAR                   ;
        ADD   E               ; E=0.125*DE+0.25*DE=0.375*DE
        JC    OVR1            ;
        MOV   E,A             ;
        RAR                   ;
        ADD   E               ;
        JNC   OUTI            ;
OVR1:   MVI   A,0FFH          ;
OUTI:   MOV   E,A             ;
;
;*****************************************************************
;*                                                               *
;*      THIS SECTION CALCULATES PROPORTIONAL KP*DE=3.5*DE         *
;*                                                               *
;*****************************************************************
;
KP:     MOV   A,B             ; A=DE
        ADD   B               ; B=2*DE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        JC      OVR2            ;
        MOV     D,A             ; D=2*DE
        MOV     A,B             ; A=DE
        ADD     D               ; A=DE+2*DE=3*DE
        JC      OVR2            ;
        MOV     D,A             ; D=3*DE
        MOV     A,B             ; A=DE
        RAR                     ; 0.5*DE
        ADD     D               ; A=3*DE+0.5*DE=3.5*DE
        JNC     DCP             ;
OVR2:   MOV     A,C             ;
        ANA     A               ;
        JZ      MINP            ;
        MVI     A,0FFH          ;
MINP:   JMP     DCP             ;
        MVI     A,00H           ;
DCP:    MOV     D,A             ;
;
;*****************************************************************
;*                                                               *
;*      THE OUTPUT IS CALCULATE DCP=DCO+KP*DE                    *
;*                                                               *
;*****************************************************************
;
        MOV     A,C             ; SGN
        ANA     A               ;
        MVI     A,DCO           ; A=DCO
        JZ      SUBP            ;
        ADD     D               ; DCO+KP*DE
        JNC     OUTP            ;
        MVI     A,0FFH          ;
        JMP     OUTP            ;
SUBP:   SUB     D               ; DCO-KP*DE
        JNC     OUTP            ;
        MVI     A,00H           ;
OUTP:   MOV     D,A             ;
;
;*****************************************************************
;*                                                               *
;*      THIS SECTION PROPORTIONAL INTEGRAL DCPI=DCP+DCI           *
;*                                                               *
;*****************************************************************
;
DCPI:   MOV     A,C             ; SGN
        ANA     A               ;
        MOV     A,E             ; A=DCI
        JZ      SUBPI           ;
        ADD     D               ; DCPI=DCI+DCP
        JNC     OUTPI           ;
        MVI     A,0FFH          ;
        JMP     OUTPI           ;
SUBPI:  SUB     D               ; DCPI=DCI-DCP
        JNC     OUTPI           ;
        MVI     A,00H           ;
OUTPI:  MOV     D,A             ;
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*************************************************************
;*                                                           *
;*       CALCULATE THE ABSOLUTE ERROR AND SIGN DDE           *
;*                                                           *
;*************************************************************
;
        MOV     A,B             ; Input DE
        MVI     C,00H           ;
        SUI     DSPD            ; DDE=DE-DSPD
        JNC     KD              ;
        CMA                     ; (-)DDE
        ADI     01H             ; (-)DDE+1
        MVI     C,0FFH          ; SGND=1
;
;*************************************************************
;*                                                           *
;*       THIS SECTION CALCULATE DERIVATIVE KD*DDE=1.625*DDE  *
;*                                                           *
;*************************************************************
;
KD:     MOV     B,A             ; Input DDE
        MOV     A,B             ; A=DDE
        RAR                     ; 0.5*DDE
        MOV     E,A             ; E=0.5*DDE
        MOV     A,E             ;
        RAR                     ; 0.25*DDE
        RAR                     ; 0.125*DDE
        ADD     E               ; A=0.125*DDE+0.5*DDE=0.625*DE
        JC      OVR3            ;
        ADD     B               ; A=0.625*DE+DE=1.625*DE
        JNC     DCD             ;
OVR3:   MVI     A,0FFH          ;
DCD:    MOV     E,A             ; E=1.625*DE
;
;*************************************************************
;*                                                           *
;*       THE OUTPUT IS CALCULATE DCPID=DCPI+DCD              *
;*                                                           *
;*************************************************************
;
DCPID:  MOV     A,C             ; SGND
        ANA     A               ;
        MOV     A,D             ;
        JZ      SUBPID          ;
        ADD     E               ; DCPID=DCPI+DCD
        JNC     OUTPID          ;
        MVI     A,0FFH          ;
        JMP     OUTPID          ;
SUBPID: SUB     E               ; DCPID=DCPI-DCD
        JNC     OUTPID          ;
        MVI     A,00H           ;
OUTPID: CALL    DELAY           ;
        POP     B               ;
        POP     D               ;
        RET                     ;
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****************************************
;*                                       *
;*        POSITION COMMAND DATA          *
;*                                       *
;*****************************************
;
          ORG    8E00H          ;
;
TABLE_0:  DFB    00FH,00FH,00EH,00EH,00DH,00DH,00CH,00CH
          DFB    00BH,00BH,00AH,00AH,009H,009H,008H,008H
          DFB    007H,007H,006H,006H,005H,005H,004H,004H
          DFB    003H,003H,002H,002H,001H,001H,000H,000H
;
TABLE_1:  DFB    0FFH,0FFH,0FEH,0FEH,0FDH,0FDH,0FCH,0FCH
          DFB    0FBH,0FBH,0FAH,0FAH,0F9H,0F9H,0F8H,0F8H
          DFB    0F7H,0F7H,0F6H,0F6H,0F5H,0F5H,0F4H,0F4H
          DFB    0F3H,0F3H,0F2H,0F2H,0F1H,0F1H,0F0H,0F0H
;
TABLE_2:  DFB    0EFH,0EFH,0EEH,0EEH,0EDH,0EDH,0ECH,0ECH
          DFB    0EBH,0EBH,0EAH,0EAH,0E9H,0E9H,0E8H,0E8H
          DFB    0E7H,0E7H,0E6H,0E6H,0E5H,0E5H,0E4H,0E4H
          DFB    0E3H,0E3H,0E2H,0E2H,0E1H,0E1H,0E0H,0E0H
;
TABLE_3:  DFB    0DFH,0DFH,0DEH,0DEH,0DDH,0DDH,0DCH,0DCH
          DFB    0DBH,0DBH,0DAH,0DAH,0D9H,0D9H,0D8H,0D8H
          DFB    0D7H,0D7H,0D6H,0D6H,0D5H,0D5H,0D4H,0D4H
          DFB    0D3H,0D3H,0D2H,0D2H,0D1H,0D1H,0D0H,0D0H
;
TABLE_4:  DFB    0CFH,0CFH,0CEH,0CEH,0CDH,0CDH,0CCH,0CCH
          DFB    0CBH,0CBH,0CAH,0CAH,0C9H,0C9H,0C8H,0C8H
          DFB    0C7H,0C7H,0C6H,0C6H,0C5H,0C5H,0C4H,0C4H
          DFB    0C3H,0C3H,0C2H,0C2H,0C1H,0C1H,0C0H,0C0H
;
TABLE_5:  DFB    0BFH,0BFH,0BEH,0BEH,0BDH,0BDH,0BCH,0BCH
          DFB    0BBH,0BBH,0BAH,0BAH,0B9H,0B9H,0B8H,0B8H
          DFB    0B7H,0B7H,0B6H,0B6H,0B5H,0B5H,0B4H,0B4H
          DFB    0B3H,0B3H,0B2H,0B2H,0B1H,0B1H,0B0H,0B0H
;
TABLE_6:  DFB    0AFH,0AFH,0AEH,0AEH,0ADH,0ADH,0ACH,0ACH
          DFB    0ABH,0ABH,0AAH,0AAH,0A9H,0A9H,0A8H,0A8H
          DFB    0A7H,0A7H,0A6H,0A6H,0A5H,0A5H,0A4H,0A4H
          DFB    0A3H,0A3H,0A2H,0A2H,0A1H,0A1H,0A0H,0A0H
;
TABLE_7:  DFB    09FH,09FH,09EH,09EH,09DH,09DH,09CH,09CH
          DFB    09BH,09BH,09AH,09AH,099H,099H,098H,098H
          DFB    097H,097H,096H,096H,095H,095H,094H,094H
          DFB    093H,093H,092H,092H,091H,091H,090H,090H
;
TABLE_8:  DFB    08FH,08FH,08EH,08EH,08DH,08DH,08CH,08CH
          DFB    08BH,08BH,08AH,08AH,089H,089H,088H,088H
          DFB    087H,087H,086H,086H,085H,085H,084H,084H
          DFB    083H,083H,082H,082H,081H,081H,080H,080H
;
TABLE_9:  DFB    07FH,07FH,07EH,07EH,07DH,07DH,07CH,07CH
          DFB    07BH,07BH,07AH,07AH,079H,079H,078H,078H
          DFB    077H,077H,076H,076H,075H,075H,074H,074H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            DFB    073H,073H,072H,072H,071H,071H,070H,070H
;
TABLE_A:    DFB    06FH,06FH,06EH,06EH,06DH,06DH,06CH,06CH
            DFB    06BH,06BH,06AH,06AH,069H,069H,068H,068H
            DFB    067H,067H,066H,066H,065H,065H,064H,064H
            DFB    063H,063H,062H,062H,061H,061H,060H,060H
;
TABLE_B:    DFB    05FH,05FH,05EH,05EH,05DH,05DH,05CH,05CH
            DFB    05BH,05BH,05AH,05AH,059H,059H,058H,058H
            DFB    057H,057H,056H,056H,055H,055H,054H,054H
            DFB    053H,053H,052H,052H,051H,051H,050H,050H
;
TABLE_C:    DFB    04FH,04FH,04EH,04EH,04DH,04DH,04CH,04CH
            DFB    04BH,04BH,04AH,04AH,049H,049H,048H,048H
            DFB    047H,047H,046H,046H,045H,045H,044H,044H
            DFB    043H,043H,042H,042H,041H,041H,040H,040H
;
TABLE_D:    DFB    03FH,03FH,03EH,03EH,03DH,03DH,03CH,03CH
            DFB    03BH,03BH,03AH,03AH,039H,039H,038H,038H
            DFB    037H,037H,036H,036H,035H,035H,034H,034H
            DFB    033H,033H,032H,032H,031H,031H,030H,030H
;
TABLE_E:    DFB    02FH,02FH,02EH,02EH,02DH,02DH,02CH,02CH
            DFB    02BH,02BH,02AH,02AH,029H,029H,028H,028H
            DFB    027H,027H,026H,026H,025H,025H,024H,024H
            DFB    023H,023H,022H,022H,021H,021H,020H,020H
;
TABLE_F:    DFB    01FH,01FH,01EH,01EH,01DH,01DH,01CH,01CH
            DFB    01BH,01BH,01AH,01AH,019H,019H,018H,018H
            DFB    017H,017H,016H,016H,015H,015H,014H,014H
            DFB    013H,013H,012H,012H,011H,011H,010H,010H
;
            ENDM
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1                       ;
2                       ;
3                       ;***********************************************
4                       ;*                                             *
5                       ;*     "MP-85 mkII" MONITOR PROGRAM REV 1       *
6                       ;*                                             *
7                       ;***********************************************
8                       ;
9                       ;
10                              .8085
11                              TITLE   MON.MAC
12                              SUBTTL  1987,10,20
13                      ;
14                      ;
15      0000            MONSTR  EQU     0000H
16      FD00            WRKSTR  EQU     0FD00H
17      0000            MONSTK  EQU     0000H           ;MONITOR STACK
18      8000            INITPC  EQU     8000H           ;INITIAL PC
19                      ;
20                      ;
21      0080            DT8279  EQU     0080H           ;I8279 DATA PORT
22      0081            CM8279  EQU     0081H           ;I8279 COMMAND PORT
23                      ;
24      007C            PA8255  EQU     007CH           ;I8255 PORT A
25      007D            PB8255  EQU     007DH           ;I8255 PORT B
26      007E            PC8255  EQU     007EH           ;I8255 PORT C
27      007F            CT8255  EQU     007FH           ;I8255 CONTROL PORT
28                      ;
29      0066            USARTD  EQU     0064H           ;I8251 DATA PORT
30      0067            USARTC  EQU     0065H           ;I8251 COMMAND PORT
31                      ;
32      0068            PITCT0  EQU     0068H           ;I8253 COUNTER 0 PORT
33      0069            PITCT1  EQU     0069H           ;I8253 COUNTER 1 PORT
34      006A            PITCT2  EQU     006AH           ;I8253 COUNTER 2 PORT
35      006B            PITCTM  EQU     006BH           ;I8253 COMMAND PORT
36                      ;
37      00E0            EWPPIA  EQU     00E0H           ;ROM WRITER DATA PORT
38      00E1            EWPPIB  EQU     00E1H           ;ROM WRITER ADDR (HIGH) PORT
39      00E2            EWPPIC  EQU     00E2H           ;ROM WRITER PULSE PORT
40      00E3            EWPPIM  EQU     00E3H           ;ROM WRITER CONTROL PORT
41      00E4            EWPPID  EQU     00E4H           ;ROM WRITER ADDR (LOW) PORT
42                      ;
43                      ;
44                              ASEG
45 0000                         ORG     MONSTR
46                      ;
47                      ;***************************************
48                      ;*                                     *
49                      ;*     RESET AND INTERRUPT JUMP VECTOR *
50                      ;*                                     *
51                      ;***************************************
52                      ;
53                      ;-----  RESET   -----
54                      ;
55 0000  AF                     XRA     A               ;TIME DELAY
56 0001  3D             INTMDL: DCR     A
57 0002  C2 0001                JNZ     INTMDL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
58                      ;
59 0005  C3 00AC                JMP     RESET
60                      ;
61                      ;-----  RST 1   -----
62                      ;
63 0008  C3 FF00                JMP     RST1            ;RST 1 INTERRUPT
64 000B                         DS      5
65                      ;
66                      ;-----  RST 2   -----
67                      ;
68 0010  C3 FF03                JMP     RST2            ;RST 2 INTERRUPT
69 0013                         DS      5
70                      ;
71                      ;-----  RST 3   -----
72                      ;
73 0018  C3 FF06                JMP     RST3            ;RST 3 INTERRUPT
74 001B                         DS      5
75                      ;
76                      ;-----  RST 4   -----
77                      ;
78 0020  C3 FF09                JMP     RST4            ;RST 4 INTERRUPT
79 0023                         DS      1
80                      ;
81                      ;-----  TRAP    -----
82                      ;
83 0024  C3 FF0C                JMP     TRAP            ;TRAP INTERRUPT
84 0027                         DS      1
85                      ;
86                      ;-----  RST 5   -----
87                      ;
88 0028  C3 FF0F                JMP     RST5            ;RST 5 INTERRUPT
89 002B                         DS      1
90                      ;
91                      ;-----  RST 5.5 -----
92                      ;
93 002C  C3 FF12                JMP     RST55           ;RST 5.5 INTERRUPT
94 002F                         DS      1
95                      ;
96                      ;-----  RST 6   -----
97                      ;
98 0030  C3 FF15                JMP     RST6            ;RST 6 INTERRUPT
99 0033                         DS      1
100                     ;
101                     ;-----  RST 6.5 -----
102                     ;
103 0034  C3 04AD               JMP     RST65P          ;RST 6.5 INTERRUPT
104 0037                        DS      1
105                     ;
106                     ;-----  RST 7   -----
107                     ;
108 0038  C3 FF1B               JMP     RST7            ;RST 7 INTERRUPT
109 003B                        DS      1
110                     ;
111                     ;-----  RST 7.5 -----
112                     ;
113 003C  C3 04BD               JMP     RST75P          ;RST 7.5 INTERRUPT
114 003F                        DS      1
115                     ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        ;****************************************
                        ;*                                      *
                        ;*      MONITOR SUBROUTINE ENTRY        *
                        ;*                                      *
                        ;****************************************
                        ;
0040  C3 0621                   JMP     DISP            ;LED DISPLAY
0043  C3 0663                   JMP     DHEX1
0046  C3 0654                   JMP     DHEX2
0049  C3 0649                   JMP     DHEX4
004C  C3 068D                   JMP     DSET
                        ;
004F  C3 0574                   JMP     KEYIN           ;KEYBOARD
0052  C3 058C                   JMP     KEYINP
0055  C3 061C                   JMP     CHKMIK
                        ;
0058  C3 0825                   JMP     MTRON           ;CASETTE INTERFACE
005B  C3 081F                   JMP     MTROFF
005E  C3 0798                   JMP     LEADER
0061  C3 0789                   JMP     BYTOTO
0064  C3 08ED                   JMP     LEADIN
0067  C3 089F                   JMP     BYTEIN
                        ;
006A  C3 0912                   JMP     PRTINI          ;PRINTER
006D  C3 0939                   JMP     PRTPUT
0070  C3 0919                   JMP     PRTLF1
0073  C3 0921                   JMP     PRTLFN
0076  C3 0A77                   JMP     PRTSTR
0079  C3 0A53                   JMP     PRTHX1
007C  C3 0A44                   JMP     PRTHX2
007F  C3 0A39                   JMP     PRTHX4
                        ;
0082  C3 0B7B                   JMP     RAMSET          ;RAM FILL
0085  C3 0B82                   JMP     RAMTST          ;RAM TEST
0088  C3 0BE1                   JMP     RAMMOV          ;RAM MOVE
                        ;
008B  C3 0D07                   JMP     ROMWRT          ;ROM WRITER
                        ;
008E  C3 0C18                   JMP     SIINIT          ;SIO (RS-232C)
0091  C3 0C6F                   JMP     SIINTE
0094  C3 0C7C                   JMP     SIINTD
0097  C3 0C89                   JMP     SETSIM
                        ;
009A  C3 0C96                   JMP     TMINIT          ;TIMER
009D  C3 0CCA                   JMP     TMINTE
00A0  C3 0CD7                   JMP     TMINTD
00A3  C3 0CE4                   JMP     SETTMM
                        ;
00A6  C3 0CF8                   JMP     SETUPR          ;USER PROGRAM
                        ;
00A9  C3 00CD                   JMP     MONINI          ;MONITOR ENTRANCE
                        ;
                        ;****************************************
                        ;*                                      *
                        ;*      INITIALIZE                      *
                        ;*                                      *
                        ;****************************************
                        ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
174                     RESET:                          ;MONITOR COLD START
175 00AC  31 0000               LXI     SP,MONSTK       ;SET STACK POINTER
176                     ;
177 00AF  CD 0505               CALL    INITHW          ;INITIALIZE HARD WARE
178                     ;
179                     ;-----  USER BRANCH     -----
180                     ;
181 00B2  DB 7D                 IN      PB8255
182 00B4  E6 04                 ANI     04H             ;IF DIP-SW-8 OFF
183 00B6  CA 00CD               JZ      MONINI          ;  THEN GO TO USER PROGRAM
184                     ;
185 00B9  2A FF6A               LHLD    USRPRG          ;GET USER PROGRAM ADDRESS
186 00BC  EB                    XCHG
187 00BD  2A FF6C               LHLD    USRPRP          ;PARITY
188                     ;
189 00C0  7C                    MOV     A,H
190 00C1  2F                    CMA
191 00C2  67                    MOV     H,A
192 00C3  7D                    MOV     A,L
193 00C4  2F                    CMA
194 00C5  6F                    MOV     L,A
195                     ;
196 00C6  CD 1043               CALL    CPHLDE          ;IF PARITY ERROR
197 00C9  C2 00CD               JNZ     MONINI          ;  THEN MONITOR
198                     ;
199 00CC  E9                    PCHL                    ;GO TO USER PROGRAM
200                     ;
201                     ;****************************************
202                     ;*                                      *
203                     ;*      INITIALIZE MONITOR              *
204                     ;*                                      *
205                     ;****************************************
206                     ;
207                     MONINI:
208 00CD  CD 052C               CALL    INITWA          ;INITIALIZE WORK AREA
209                     ;
210                     ;
211 00D0  22 FF5B       DMEM:   SHLD    ADRG            ;SET ADDRESS REGISTER
212                     ;
213                     ;
214                     MONHS:                          ;MONITOR HOT START
215 00D3  CD 06BB               CALL    DMEMS           ;DISPLAY ADDRESS AND DATA
216                     ;
217 00D6  AF            CLFC:   XRA     A               ;CLEAR FUNCTION FLAG
218 00D7  32 FF60               STA     FCFLG
219                     ;
220 00DA  AF            CLWR:   XRA     A               ;CLEAR WRITE FLAG
221 00DB  32 FF62               STA     WRFLG
222                     ;
223 00DE  3E 01         CLIN:   MVI     A,1
224 00E0  32 FF63               STA     CLFLG           ;SET CLEAR FLAG
225                     ;
226 00E3  3E C2                 MVI     A,0C2H          ;RESET FIFO
227 00E5  D3 81                 OUT     CM8279
228                     ;
229                     ;****************************************
230                     ;*                                      *
231                     ;*      DISPLAY AND KEYIN               *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        ;*                                      *
                        ;****************************************
                        ;
00E7  CD 06FA   LOOP:   CALL    DISTRP          ;DISABLE TRAP
00EA  CD 0621           CALL    DISP            ;DISPLAY
                        ;
00ED  CD 058C   LOOPK:  CALL    KEYINP          ;KEYBOARD INPUT
00F0  D2 00ED           JNC     LOOPK           ;IF NO KEY  THEN WAIT
                        ;
00F3  FE 10             CPI     16              ;CHECK 0,1,...,F
00F5  D2 0132           JNC     CNTKEY
                        ;
00F8  21 FF60           LXI     H,FCFLG         ;CHECK FUNCTION FLAG
00FB  34                INR     M
00FC  35                DCR     M               ;0?
00FD  C2 0241           JNZ     DIGFNC
                        ;
                        ;****************************************
                        ;*                                      *
                        ;*      DIGIT KEY PROCESS               *
                        ;*                                      *
                        ;****************************************
                        ;
0100  F5                PUSH    PSW             ;SAVE KEY CODE
0101  3A FF63           LDA     CLFLG           ;CHECK CLEAR FLAG
0104  A7                ANA     A               ;IF CLFLG = 1
0105  CA 0112           JZ      INSFT           ; THEN CLFLG:=0 , INRG:=0
                        ;
0108  AF                XRA     A
0109  32 FF63           STA     CLFLG
010C  21 0000           LXI     H,0
010F  22 FF5D           SHLD    INRG
                        ;
0112  F1        INSFT:  POP     PSW             ;RESTORE KEY CODE
                        ;
0113  2A FF5D           LHLD    INRG
0116  29                DAD     H               ;SHIFT 1 DIGIT
0117  29                DAD     H
0118  29                DAD     H
0119  29                DAD     H
011A  85                ADD     L
011B  6F                MOV     L,A             ;INSERT INKEY DATA
011C  22 FF5D           SHLD    INRG
                        ;
011F  0E 05             MVI     C,5
0121  CD 0649           CALL    DHEX4
                        ;
0124  21 0000           LXI     H,0             ;CLEAR LED 0,1
0127  22 FF4E           SHLD    DISPM
012A  3E 14             MVI     A,14H           ;DOT := 88.88.
012C  32 FF4D           STA     DOTM
012F  C3 00E7           JMP     LOOP
                        ;
                        ;****************************************
                        ;*                                      *
                        ;*      CONTROL KEY PROCESS             *
                        ;*                                      *
                        ;****************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
290                             ;
291 0132  E6 0F         CNTKEY: ANI     0FH             ;JUMP EACH PROCESS
292 0134  CD 070B               CALL    CASE
293                             ;
294 0137  0147                  DW      ADSET           ;ADDRESS SET
295 0139  014D                  DW      INCRD           ;INCREMENT READ
296 013B  0154                  DW      DECRD           ;DECREMENT READ
297 013D  015B                  DW      WRINC           ;WRITE INCREMENT
298 013F  03A9                  DW      RUN             ;RUN
299 0141  03CD                  DW      STEP            ;STEP
300 0143  00E7                  DW      LOOP            ;NO KEY
301 0145  022F                  DW      FUNC            ;FUNCTION
302                             ;
303                             ;****************************************
304                             ;*                                      *
305                             ;*      ADDRESS SET, INCREMENT READ     *
306                             ;*      DECREMENT READ, WRITE INCREMENT *
307                             ;*                                      *
308                             ;*        KEY PROCESS                   *
309                             ;*                                      *
310                             ;****************************************
311                             ;
312 0147  2A FF5D       ADSET:  LHLD    INRG            ;LOAD INRG
313 014A  C3 00D0               JMP     DMEM
314                             ;
315 014D  2A FF5B       INCRD:  LHLD    ADRG            ;INCREMENT ADRG
316 0150  23                    INX     H
317 0151  C3 00D0               JMP     DMEM
318                             ;
319 0154  2A FF5B       DECRD:  LHLD    ADRG            ;DECREMENT ADRG
320 0157  2B                    DCX     H
321 0158  C3 00D0               JMP     DMEM
322                             ;
323 015B  3A FF62       WRINC:  LDA     WRFLG           ;CHECK WRFLG
324 015E  A7                    ANA     A
325 015F  C2 0188               JNZ     NMWR
326                             ;
327 0162  2A FF5B               LHLD    ADRG
328 0165  3A FF5D               LDA     INRG
329 0168  77                    MOV     M,A             ;WRITE IN MEMORY
330 0169  BE                    CMP     M               ;VERIFY MEMORY
331 016A  3E 01                 MVI     A,1             ;ERROR NUMBER = 1
332 016C  C2 04EE               JNZ     ERRDSP          ; CANNOT WRITE
333                             ;
334 016F  CD 06BB               CALL    DMEMS           ;DISPLAY ADDRESS AND DATA
335                             ;
336 0172  CD 05C5       WRINCL: CALL    KEYCHK
337 0175  D2 014D               JNC     INCRD
338 0178  CD 058C               CALL    KEYINP
339 017B  D2 0172               JNC     WRINCL
340                             ;
341 017E  3A FF4B               LDA     KYRPCT          ;(REPEAT COUNTER)-1
342 0181  3D                    DCR     A
343 0182  32 FF4B               STA     KYRPCT
344                             ;
345 0185  C3 014D               JMP     INCRD
346                             ;
347 0188  FE 09         NMWR:   CPI     9               ;1,2,...,8 ?
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
018A  D2 019E                JNC     NRWR
                    ;
                    ;*****************************************
                    ;*                                       *
                    ;*      REGISTER WRITE                   *
                    ;*                                       *
                    ;*****************************************
                    ;
018D  21 FF2B                LXI     H,PCREG-2
0190  CD 0701                CALL    ADHLAA
0193  EB                     XCHG
0194  2A FF5D                LHLD    INRG
0197  EB                     XCHG
0198  73                     MOV     M,E
0199  23                     INX     H
019A  72                     MOV     M,D
019B  C3 024F                JMP     DSREG
                    ;
                    ;*****************************************
                    ;*                                       *
                    ;*      FUNCTION WRITE                   *
                    ;*                                       *
                    ;*****************************************
                    ;
019E  D6 09         NRWR:    SUI     9               ;CHECK WRFLG
01A0  CD 070B                CALL    CASE
                    ;
01A3  0201                   DW      PFWR            ;SET PRINT FLAG
01A5  01C1                   DW      STREG1          ;SET TREG1
01A7  01C1                   DW      STREG1          ;SET TREG1
01A9  01C1                   DW      STREG1          ;SET TREG1
01AB  00E7                   DW      LOOP
01AD  01C1                   DW      STREG1          ;SET TREG1
01AF  0365                   DW      INEX            ;IN EXECUTE
01B1  01C1                   DW      STREG1          ;SET TREG1
01B3  01F0                   DW      STREG2          ;SET TREG2
01B5  04DE                   DW      VFEX            ;VERIFY EXECUTE
01B7  04D9                   DW      LDEX            ;LOAD EXECUTE
01B9  04CD                   DW      SVEX            ;SAVE EXECUTE
01BB  0212                   DW      PMEX            ;PRINT MEMORY EXECUTE
01BD  00E7                   DW      LOOP
01BF  0389                   DW      OUTEX           ;OUT EXECUTE
                    ;
01C1  2A FF5D       STREG1:  LHLD    INRG            ;TREG1 := INRG
01C4  22 FF46                SHLD    TREG1
01C7  3A FF62                LDA     WRFLG           ;WRFLG := WRFLG+7
01CA  C6 07                  ADI     7
01CC  32 FF62                STA     WRFLG
                    ;
01CF  CD 06A4                CALL    DREST           ;RESTORE DISP
01D2  FE 15                  CPI     21
01D4  CA 01E2                JZ      WRD2
                    ;
01D7  3A FF46                LDA     TREG1           ;DISPLAY 1 BYTE
01DA  0E 03                  MVI     C,3
01DC  CD 0654                CALL    DHEX2
01DF  C3 01EA                JMP     EDSAVE
                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
406 01E2  2A FF46      WRD2:   LHLD    TREG1           ;DISPALY 2 BYTES
407 01E5  0E 03        EDSAV:  MVI     C,3
408 01E7  CD 0649              CALL    DHEX4
409                    ;
410 01EA  CD 06A0      EDSAVE: CALL    DSAVE
411 01ED  C3 00DE              JMP     CLIN
412                    ;
413 01F0  2A FF5D      STREG2: LHLD    INRG            ;TREG2 := INREG
414 01F3  22 FF48              SHLD    TREG2
415 01F6  3E 14                MVI     A,20            ;WRFLG := 20
416 01F8  32 FF62              STA     WRFLG
417 01FB  CD 06A4              CALL    DREST           ;RESTORE DISP
418 01FE  C3 01E5              JMP     EDSAV
419                    ;
420                    ;****************************************
421                    ;*                                      *
422                    ;*      PRFLG WRITE AND MEMORY DUMP     *
423                    ;*                                      *
424                    ;****************************************
425                    ;
426 0201  CD 06A4      PFWR:   CALL    DREST           ;RESTORE DISP.
427 0204  0E 03                MVI     C,3             ;DISPLAY DATA
428 0206  3A FF5D              LDA     INRG
429 0209  CD 0654              CALL    DHEX2
430 020C  32 FF41              STA     PRFLG           ;WRITE PRFLG
431 020F  C3 00DE              JMP     CLIN
432                    ;
433 0212  CD 06A4      PMEX:   CALL    DREST           ;RESTORE DISP.
434 0215  2A FF46              LHLD    TREG1           ;SET TOP ADDRESS
435 0218  22 FF42              SHLD    MDTOP
436 021B  2A FF5D              LHLD    INRG            ;SET END ADDRESS
437 021E  22 FF44              SHLD    MDEND
438 0221  0E 03                MVI     C,3
439 0223  CD 0649              CALL    DHEX4           ;DISPLAY END ADDRESS
440 0226  CD 0621              CALL    DISP
441 0229  CD 0963              CALL    PRTDMP          ;MEMORY DUMP
442 022C  C3 032E              JMP     ENDDSP
443                    ;
444                    ;****************************************
445                    ;*                                      *
446                    ;*      FUNCTION KEY PROCESS            *
447                    ;*                                      *
448                    ;****************************************
449                    ;
450 022F  3E 01        FUNC:   MVI     A,1             ;SET FCFLG
451 0231  32 FF60              STA     FCFLG
452 0234  CD 068D              CALL    DSET            ;DISPLAY 'FUNC.'
453 0237  04                   DB      04H             ; DOT INFORMATION
454 0238  00 00 58             DB      00H,00H,58H     ; 'FUNC' PATTERN
455 023B  54 1C 71             DB      54H,1CH,71H
456                    ;
457 023E  C3 00DE              JMP     CLIN
458                    ;
459 0241  FE 08        DIGFNC: CPI     8               ;0,1,...,7 ?
460 0243  D2 02C4              JNC     DIGMOD
461                    ;
462                    ;****************************************
463                    ;*                                      *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
464                     ;*      REGISTER KEY PROCESS            *
465                     ;*                                      *
466                     ;****************************************
467                     ;
468 0246  AF            DSREG:  XRA     A               ;CLEAR FCFLG
469 0247  32 FF60              STA     FCFLG
470 024A  78                    MOV     A,B
471 024B  3C                    INR     A
472 024C  32 FF62               STA     WRFLG
473                     ;
474 024F  21 0282               LXI     H,REGNM-2
475 0252  CD 0701               CALL    ADHLAA
476                     ;
477 0255  11 FF52               LXI     D,DISPM+4
478 0258  EB                    XCHG                    ;DISPLAY REGISTER NAME
479 0259  0E 02                 MVI     C,2
480 025B  CD 0714               CALL    MMOVE
481                     ;
482 025E  3A FF62               LDA     WRFLG
483 0261  3D                    DCR     A
484 0262  21 FF2D               LXI     H,PCREG
485 0265  CD 0701               CALL    ADHLAA          ;READ REGISTER
486                     ;
487 0268  5E                    MOV     E,M
488 0269  23                    INX     H
489 026A  56                    MOV     D,M
490                     ;
491 026B  EB                    XCHG
492 026C  22 FF58               SHLD    ADRG            ;SET ADDRESS
493 026F  22 FF5D               SHLD    INRG            ;SET INRG
494 0272  0E 03                 MVI     C,3             ;DISP. REGISTER
495 0274  CD 0649               CALL    DHEX4
496                     ;
497 0277  06 10                 MVI     B,10H           ;INITIALIZE DOT
498 0279  3A FF62               LDA     WRFLG           ;CHECK REG = AF
499 027C  FE 05                 CPI     5
500 027E  C2 02AD               JNZ     DSREGE
501                     ;
502                     ;
503 0281  21 FF35               LXI     H,AFREG         ;SET FLAG INTO DOT
504 0284  06 00                 MVI     B,0
505                     ;
506 0286  7E                    MOV     A,M
507 0287  E6 01                 ANI     01H
508 0289  B0                    ORA     B               ;00000001B
509 028A  47                    MOV     B,A             ;CY FLAG
510                     ;
511 028B  7E                    MOV     A,M
512 028C  E6 04                 ANI     4
513 028E  0F                    RRC
514 028F  B0                    ORA     B               ;00000010B
515 0290  47                    MOV     B,A             ;P FLAG
516                     ;
517 0291  7E                    MOV     A,M
518 0292  E6 10                 ANI     10H
519 0294  0F                    RRC
520 0295  0F                    RRC
521 0296  B0                    ORA     B               ;00000100B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0297  47              MOV     B,A             ;AC FLAG
                      ;
0298  7E              MOV     A,M
0299  E6 40           ANI     40H
029B  0F              RRC
029C  0F              RRC
029D  0F              RRC
029E  B0              ORA     B               ;00001000B
029F  47              MOV     B,A             ;Z FLAG
                      ;
02A0  7E              MOV     A,M
02A1  E6 80           ANI     80H
02A3  0F              RRC
02A4  0F              RRC
02A5  B0              ORA     B               ;00100000B
02A6  47              MOV     B,A             ;S FLAG
                      ;
02A7  3A FF3D         LDA     IEFLG
02AA  07              RLC
02AB  B0              ORA     B               ;00010000B
02AC  47              MOV     B,A             ;INTERRUPT ENABLE FLAG
                      ;
                      ;
02AD  78        DSREGE: MOV   A,B
02AE  32 FF4D         STA     DOTM
02B1  C3 00DE         JMP     CLIN
                      ;
                      ;
02B4  7339      REGNM:  DW    7339H           ;PC
02B6  6D73              DW    6D73H           ;SP
02B8  7C77              DW    7C77H           ;BA
02BA  7C38              DW    7C38H           ;BL
02BC  7771              DW    7771H           ;AF
02BE  7C39              DW    7C39H           ;BC
02C0  5E79              DW    5E79H           ;DE
02C2  7638              DW    7638H           ;HL
                      ;
                      ;*****************************************
                      ;*                                       *
                      ;*      MODE FUNCTION                    *
                      ;*                                       *
                      ;*****************************************
                      ;
02C4  AF        DIGMOD: XRA   A               ;CLEAR FCFLG
02C5  32 FF60         STA     FCFLG
02C8  78              MOV     A,B             ;WRFLG = 9,10,....
02C9  3C              INR     A
02CA  32 FF62         STA     WRFLG
02CD  D6 09           SUI     9               ;DECODE WRFLG
02CF  CD 070B         CALL    CASE
                      ;
02D2  02E2            DW      FCPF            ;FUNCTION PF
02D4  02F7            DW      FCSAVE          ;FUNCTION SAVE
02D6  0304            DW      FCVFY           ;FUNCTION VERIFY
02D8  0311            DW      FCLOAD          ;FUNCTION LOAD
02DA  031E            DW      FCPDR           ;FUNCTION PRINT REGISTERS
02DC  0338            DW      FCPDM           ;FUNCTION PRINT DUMP MEMORY
02DE  0348            DW      FCIN            ;FUNCTION INPUT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
580 02E0  0355                DW      FCOUT           ;FUNCTION OUTPUT
581                           ;
582                           ;****************************************
583                           ;*                                      *
584                           ;*      FUNCTION PF                     *
585                           ;*                                      *
586                           ;****************************************
587                           ;
588 02E2  CD 068D     FCPF:   CALL    DSET            ;DISP   'PF.    .'
589 02E5  14                  DB      14H
590 02E6  00 00 00            DB      00H,00H,00H
591 02E9  00 71 73            DB      00H,71H,73H
592                           ;
593 02EC  0E 03               MVI     C,3
594 02EE  3A FF41             LDA     PRFLG
595 02F1  CD 0654             CALL    DHEX2
596 02F4  C3 035F             JMP     ENDFC
597                           ;
598                           ;****************************************
599                           ;*                                      *
600                           ;*      FUNCTION SAVE                   *
601                           ;*                                      *
602                           ;****************************************
603                           ;
604 02F7  CD 068D     FCSAVE: CALL    DSET            ;DISP 'SA.    .'
605 02FA  11                  DB      11H
606 02FB  00 00 00            DB      00H,00H,00H
607 02FE  00 77 6D            DB      00H,77H,6DH
608                           ;
609 0301  C3 035F             JMP     ENDFC
610                           ;
611                           ;****************************************
612                           ;*                                      *
613                           ;*      FUNCTION VERIFY                 *
614                           ;*                                      *
615                           ;****************************************
616                           ;
617 0304  CD 068D     FCVFY:  CALL    DSET            ;DISP 'VE.    .'
618 0307  11                  DB      11H
619 0308  00 00 00            DB      00H,00H,00H
620 030B  00 79 3E            DB      00H,79H,3EH
621                           ;
622 030E  C3 035F             JMP     ENDFC
623                           ;
624                           ;****************************************
625                           ;*                                      *
626                           ;*      FUNCTION LOAD                   *
627                           ;*                                      *
628                           ;****************************************
629                           ;
630 0311  CD 068D     FCLOAD: CALL    DSET            ;DISP 'LO.    .'
631 0314  11                  DB      11H
632 0315  00 00 00            DB      00H,00H,00H
633 0318  00 3F 38            DB      00H,3FH,38H
634                           ;
635 031B  C3 035F             JMP     ENDFC
636                           ;
637                           ;****************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
638                     ;*                                      *
639                     ;*      FUNCTION PRINT REGISTERS        *
640                     ;*                                      *
641                     ;****************************************
642                     ;
643 031E  CD 068D       FCPDR:  CALL    DSET            ;DISP 'PR.'
644 0321  10                    DB      10H
645 0322  00 00 00              DB      00H,00H,00H
646 0325  00 50 73              DB      00H,50H,73H
647                     ;
648 0328  CD 0621               CALL    DISP
649                     ;
650 032B  CD 0A88               CALL    PRTREG
651                     ;
652                     ;  DISPLAY END MESSAGE
653                     ;
654 032E  CD 068D       ENDDSP: CALL    DSET
655 0331  24                    DB      24H             ;DISPLAY 'END.'
656 0332  00 00 5E              DB      00H,00H,5EH
657 0335  54 79 00              DB      54H,79H,00H
658                     ;
659 0338  C3 00D6               JMP     CLFC
660                     ;
661                     ;****************************************
662                     ;*                                      *
663                     ;*      FUNCTION PRINT MEMORY           *
664                     ;*                                      *
665                     ;****************************************
666                     ;
667 033B  CD 068D       FCPDM:  CALL    DSET            ;DISP 'PD.    .'
668 033E  11                    DB      11H
669 033F  00 00 00              DB      00H,00H,00H
670 0342  00 5E 73              DB      00H,5EH,73H
671                     ;
672 0345  C3 035F               JMP     ENDFC
673                     ;
674                     ;****************************************
675                     ;*                                      *
676                     ;*      FUNCTION INPUT                  *
677                     ;*                                      *
678                     ;****************************************
679                     ;
680 0348  CD 068D       FCIN:   CALL    DSET            ;DISP 'IN.    .'
681 034B  14                    DB      14H
682 034C  00 00 00              DB      00H,00H,00H
683 034F  00 54 06              DB      00H,54H,06H
684                     ;
685                             ;CALL   MTRON           ;MOTOR ON
686                     ;
687 0352  C3 035F               JMP     ENDFC
688                     ;
689                     ;****************************************
690                     ;*                                      *
691                     ;*      FUNCTION OUTPUT                 *
692                     ;*                                      *
693                     ;****************************************
694                     ;
695 0355  CD 068D       FCOUT:  CALL    DSET            ;DISP 'OU.  .  .'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
696 0358  15                    DB      15H
697 0359  00 00 00              DB      00H,00H,00H
698 035C  00 3E 3F              DB      00H,3EH,3FH
699                     ;
700                             ;CALL   MTROFF          ;MOTOR OFF
701                     ;
702                     ;
703 035F  CD 06A0       ENDFC:  CALL    DSAVE
704 0362  C3 00DE               JMP     CLIN
705                     ;
706                     ;****************************************
707                     ;*                                      *
708                     ;*      INPUT AND OUTPUT PROCESS        *
709                     ;*                                      *
710                     ;****************************************
711                     ;
712 0365  CD 06A4       INEX:   CALL    DREST           ;RESTORE DISP
713 0368  0E 03                 MVI     C,3
714 036A  21 FF3E               LXI     H,IOINST
715 036D  11 03A3               LXI     D,ININS
716 0370  CD 0714               CALL    MMOVE           ;SET IN INSTRUCTION
717 0373  3A FF5D               LDA     INRG            ;LOAD PORT NUMBER
718 0376  0E 03                 MVI     C,3
719 0378  CD 0654               CALL    DHEX2           ;DISPLAY PORT NUMBER
720 037B  32 FF3F               STA     IOINST+1
721                     ;
722 037E  CD FF3E       IOEX:   CALL    IOINST          ;IN/OUT EXECUTE
723 0381  0E 01                 MVI     C,1             ;DISP. I/O DATA
724 0383  CD 0654               CALL    DHEX2
725 0386  C3 00DE               JMP     CLIN
726                     ;
727 0389  CD 06A4       OUTEX:  CALL    DREST           ;RESTORE DISP
728 038C  0E 03                 MVI     C,3
729 038E  21 FF3E               LXI     H,IOINST
730 0391  11 03A6               LXI     D,OUTINS        ;SET OUT INSTRUCTION
731 0394  CD 0714               CALL    MMOVE
732 0397  3A FF46               LDA     TREG1           ;LOAD PORT NUMBER
733 039A  32 FF3F               STA     IOINST+1        ;SET PORT NUMBER
734 039D  3A FF5D               LDA     INRG            ;LOAD OUT DATA
735 03A0  C3 037E               JMP     IOEX
736                     ;
737 03A3  DB 00 C9      ININS:  DB      0DBH,00H,0C9H   ;IN  XX , RET
738 03A6  D3 00 C9      OUTINS: DB      0D3H,00H,0C9H   ;OUT XX , RET
739                     ;
740                     ;****************************************
741                     ;*                                      *
742                     ;*      RUN AND STEP KEY PROCESS        *
743                     ;*                                      *
744                     ;*      STEP KEY ON ... STEP MODE       *
745                     ;*      RUN KEY ON  ... IF BP=0 OR BL=0 *
746                     ;*                        THEN RUN MODE *
747                     ;*                        ELSE GO MODE  *
748                     ;*                                      *
749                     ;****************************************
750                     ;
751 03A9  CD 068D       RUN:    CALL    DSET            ;DISP 'RUN.'
752 03AC  08                    DB      08H
753 03AD  00 00 00              DB      00H,00H,00H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
754 03B0  54 1C 50              DB      54H,1CH,50H
755                     ;
756 03B3  CD 0621               CALL    DISP
757                     ;
758 03B6  2A FF31               LHLD    BAREG           ;CHECK BAREG
759 03B9  7D                    MOV     A,L
760 03BA  B4                    ORA     H
761 03BB  CA 03E8               JZ      RUNMD
762                     ;
763 03BE  2A FF33               LHLD    BLREG           ;CHECK BLREG
764 03C1  7D                    MOV     A,L
765 03C2  B4                    ORA     H
766 03C3  CA 03E8               JZ      RUNMD
767                     ;
768                     ;
769 03C6  22 FF64       GOMD:   SHLD    BLTEMP          ;SET LOOP COUNT
770 03C9  AF            GOMD1:  XRA     A               ;EXFLG = 0
771 03CA  C3 03CF               JMP     STEXF
772                     ;
773 03CD  3E 01         STEP:   MVI     A,1             ;EXFLG = 1
774 03CF  32 FF5F       STEXF:  STA     EXFLG
775 03D2  2A FF2D               LHLD    PCREG           ;LOAD NEXT INST.
776 03D5  22 FF5B               SHLD    ADRG            ;SET ADRG
777 03D8  7E                    MOV     A,M
778 03D9  FE 76                 CPI     76H             ;HALT INST.
779 03DB  C2 03E3               JNZ     ENATR
780                     ;
781 03DE  3E 01                 MVI     A,1
782 03E0  32 FF5F               STA     EXFLG           ;EXFLG = 1
783                     ;
784 03E3  3E 80         ENATR:  MVI     A,80H           ;ENABLE AUTO TRAP
785 03E5  C3 03EF               JMP     EXEC
786                     ;
787                     ;
788 03E8  3E 02         RUNMD:  MVI     A,2             ;EXFLG = 2
789 03EA  32 FF5F               STA     EXFLG
790 03ED  3E 40                 MVI     A,40H           ;DISABLE AUTO TRAP
791                     ;
792                     ;
793 03EF  47            EXEC:   MOV     B,A             ;OUT PC7,6
794 03F0  DB 7E                 IN      PC8255
795 03F2  F6 C0                 ORI     11000000B       ;RESET F/F
796 03F4  D3 7E                 OUT     PC8255
797 03F6  E6 3F                 ANI     00111111B
798 03F8  B0                    ORA     B
799 03F9  D3 7E                 OUT     PC8255
800                     ;
801 03FB  2A FF2F               LHLD    SPREG           ;RESTORE SP
802 03FE  F9                    SPHL
803                     ;
804 03FF  2A FF2D               LHLD    PCREG           ;PUSH PC
805 0402  E5                    PUSH    H
806                     ;
807 0403  2A FF35               LHLD    AFREG           ;PUSH AREG AND FLAGS
808 0406  E5                    PUSH    H
809                     ;
810 0407  2A FF37               LHLD    BCREG           ;PUSH BC
811 040A  E5                    PUSH    H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
812                             ;
813 040B  2A FF39               LHLD    DEREG           ;RESTORE DE
814 040E  EB                    XCHG
815                             ;
816 040F  2A FF3B               LHLD    HLREG           ;RESTORE HL
817                             ;
818 0412  C1                    POP     B               ;RESTORE BC
819                             ;
820 0413  3A FF3D               LDA     IEFLG           ;CHECK IE FLAG
821 0416  B7                    ORA     A
822 0417  C2 041C               JNZ     EIRET
823                             ;
824 041A  F1                    POP     PSW             ;RESTORE AREG AND FLAGS
825 041B  C9                    RET                     ;DISABLE INTERRUPT
826                             ;
827 041C  F1                    EIRET:  POP     PSW     ;RESTORE AREG AND FLAGS
828 041D  FB                    EI                      ;ENABLE INTERRUPT
829 041E  C9                    RET                     ;GO TO USER PROGRAM
830                             ;
831                             ;*****************************************
832                             ;*                                       *
833                             ;*      MONITOR CALL PROCESS             *
834                             ;*                                       *
835                             ;*        (RST 7 = OFFH)                 *
836                             ;*                                       *
837                             ;*****************************************
838                             ;
839 041F  CD 0484               RST7PR: CALL    SVREG
840                             ;
841 0422  2A FF2D               LHLD    PCREG           ;ADRG = PC-1
842 0425  2B                    DCX     H
843 0426  22 FF5B               SHLD    ADRG            ;DISPLAY ADDRESS AND INSTRUCTION
844                             ;
845 0429  CD 06BB               CALL    DMEMS
846 042C  CD 06E7               CALL    PRTRM           ;IF PRFLG = 3
847 042F  03                    DB      3               ; PRINT REGISTER AND MEMORY
848 0430  C3 047A               JMP     MONENT
849                             ;
850                             ;*****************************************
851                             ;*                                       *
852                             ;*      TRAP PROCESS                     *
853                             ;*                                       *
854                             ;*****************************************
855                             ;
856 0433  F5                    TRAPPR: PUSH    PSW
857 0434  DB 7D                 IN      PB8255
858 0436  E6 20                 ANI     20H
859 0438  C2 043F               JNZ     TRAPM
860                             ;
861 043B  F1                    POP     PSW
862 043C  C3 FF21               JMP     USTRAP          ;USER TRAP
863                             ;
864                             ;
865 043F  F1                    TRAPM:  POP     PSW
866 0440  CD 0484               CALL    SVREG
867                             ;
868 0443  CD 06E7               CALL    PRTRM           ;IF PRFLG = 3
869 0446  03                    DB      3               ; THEN PRINT REGISTER AND MEMORY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
870                             ;
871 0447  3A FF5F               LDA     EXFLG           ;CHECK EXFLAG
872 044A  CD 070B               CALL    CASE
873                             ;
874 044D  0453                  DW      GOTR            ;GO MODE
875 044F  047A                  DW      MONENT          ;STEP MODE
876 0451  03CD                  DW      STEP            ;RUN MODE
877                             ;
878 0453  2A FF5B       GOTR:   LHLD    ADRG            ;ADDRESS = BAREG
879 0456  EB                    XCHG
880 0457  2A FF31               LHLD    BAREG
881 045A  7C                    MOV     A,H
882 045B  BA                    CMP     D
883 045C  C2 0474               JNZ     STOPCH
884                             ;
885 045F  7D                    MOV     A,L
886 0460  BB                    CMP     E
887 0461  C2 0474               JNZ     STOPCH
888                             ;
889 0464  CD 06E7               CALL    PRTRM           ;IF PRFLG = 2
890 0467  02                    DB      2               ; THEN PRINT REGISTER AND MEMORY
891 0468  2A FF64               LHLD    BLTEMP          ;DECREMENT LOOP COUNTER
892 046B  2B                    DCX     H
893 046C  22 FF64               SHLD    BLTEMP
894 046F  7D                    MOV     A,L
895 0470  B4                    ORA     H               ;CHECK LOOP END
896 0471  CA 047A               JZ      MONENT
897                             ;
898 0474  CD 061C       STOPCH: CALL    CHKMIK          ;CHECK MONI-IN KEY
899 0477  D2 03C9               JNC     GOMD1
900                             ;
901 047A  CD 06BB       MONENT: CALL    DMEMS
902 047D  CD 06E7               CALL    PRTRM           ;IF PRFLG = 1
903 0480  01                    DB      1               ; THEN PRINT REGISTER AND MEMORY
904 0481  C3 00D6               JMP     CLFC
905                             ;
906                             ;****************************************
907                             ;*                                      *
908                             ;*      SAVE ALL REGISTERS              *
909                             ;*                                      *
910                             ;****************************************
911                             ;
912 0484  22 FF3B       SVREG:  SHLD    HLREG           ;SAVE HL
913                             ;
914 0487  F5                    PUSH    PSW
915 0488  E1                    POP     H
916 0489  22 FF35               SHLD    AFREG           ;SAVE AREG AND FLAGS
917                             ;
918 048C  20                    RIM
919 048D  E6 08                 ANI     08H
920 048F  32 FF3D               STA     IEFLG           ;SAVE INTERRUPT ENABLE FLAG
921 0492  F3                    DI                      ;DISABLE INTERRUPT
922                             ;
923 0493  C5                    PUSH    B
924 0494  E1                    POP     H
925 0495  22 FF37               SHLD    BCREG           ;SAVE BC
926                             ;
927 0498  EB                    XCHG
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0499  22 FF39            SHLD    DEREG           ;SAVE DE
                ;
049C  D1                POP     D               ;RETURN ADDRESS
049D  E1                POP     H               ;POP PC
049E  22 FF2D           SHLD    PCREG           ;SAVE PC
                ;
04A1  21 0000           LXI     H,0
04A4  39                DAD     SP
04A5  22 FF2F           SHLD    SPREG           ;SAVE SP
                ;
04A8  31 FFFE           LXI     SP,MONSTK-2
04AB  D5                PUSH    D
04AC  C9                RET
                ;
                ;****************************************
                ;*                                      *
                ;*      RST6.5 PROCESS                  *
                ;*                                      *
                ;****************************************
                ;
04AD  F5        RST65P: PUSH    PSW             ;PUSH AREG AND FLAGS
04AE  DB 7D             IN      PB8255
04B0  E6 08             ANI     08H
04B2  C2 04B9           JNZ     RST65M
                ;
04B5  F1                POP     PSW
04B6  C3 FF18           JMP     RST65           ;USER RST6.5
                ;
04B9  F1        RST65M: POP     PSW
04BA  C3 FF24           JMP     SIINT           ;8251 RX-READY
                ;
                ;****************************************
                ;*                                      *
                ;*      RST7.5 PROCESS                  *
                ;*                                      *
                ;****************************************
                ;
04BD  F5        RST75P: PUSH    PSW             ;PUSH AREG AND FLAGS
04BE  DB 7D             IN      PB8255
04C0  E6 10             ANI     10H
04C2  C2 04C9           JNZ     RST75M
                ;
04C5  F1                POP     PSW
04C6  C3 FF1E           JMP     RST75           ;USER RST7.5
                ;
04C9  F1        RST75M: POP     PSW
04CA  C3 FF27           JMP     TMINT           ;8253 TIMER
                ;
                ;****************************************
                ;*                                      *
                ;*      MEMORY DATA                     *
                ;*       SAVE/LOAD/VERIFY PROCESS       *
                ;*                                      *
                ;****************************************
                ;
                ;****************************************
                ;*                                      *
                ;*      SAVE                            *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        ;*                                      *
                        ;****************************************
                        ;
04CD  CD 071D     SVEX:   CALL    CHADR           ;CHECK ADDRESS
04D0  CD 06CF             CALL    DFNO            ;DISPLAY FILE NUMBER
04D3  CD 073A             CALL    SAVE
04D6  C3 04E8             JMP     SLVEND
                        ;
                        ;****************************************
                        ;*                                      *
                        ;*      LOAD                            *
                        ;*                                      *
                        ;****************************************
                        ;
04D9  3E 01       LDEX:   MVI     A,1             ;LOAD FLAG = 1
04DB  C3 04DF             JMP     LDVFEX
                        ;
04DE  AF          VFEX:   XRA     A               ;LOAD FLAG = 0
                        ;
04DF  32 FF61     LDVFEX: STA     LDFLG
04E2  CD 06CF             CALL    DFNO            ;DISPLAY FILE NUMBER
04E5  CD 082C             CALL    LDVFY
                        ;
                        ;
04E8  CD 081F     SLVEND: CALL    MTROFF          ;MOTOR OFF
04EB  C3 032E             JMP     ENDDSP
                        ;
                        ;  DISPLAY ERROR MESSAGE
                        ;
04EE  31 0000     ERRDSP: LXI     SP,MONSTK       ;RESTORE SP
04F1  F5                  PUSH    PSW             ;SAVE ERROR NUMBER
04F2  CD 068D             CALL    DSET
04F5  02                  DB      02H             ;DISPLAY 'ERROR.N'
04F6  00 50 5C            DB      00H,50H,5CH
04F9  50 50 79            DB      50H,50H,79H
04FC  F1                  POP     PSW
04FD  0E 00               MVI     C,0             ;DISPLAY ERROR NUMBER
04FF  CD 0663             CALL    DHEX1
0502  C3 0006             JMP     CLFC
                        ;
                        ;****************************************
                        ;*                                      *
                        ;*      INITIALIZE HARDWARE             *
                        ;*                                      *
                        ;****************************************
                        ;
                        INITHW:
                        ;
                        ;-----  18255 MODE SET  -----
                        ;
0505  3E 82               MVI     A,82H           ;PA,PC : OUTPUT
0507  D3 7F               OUT     CT8255          ;PB    : INPUT
                        ;
                        ;-----  18279 INIT.     -----
                        ;
0509  3E 04               MVI     A,04H           ;DD: 0 , KKK: 000
050B  D3 81               OUT     CM8279
050D  3E 34               MVI     A,52            ;CLOCK: 1/20
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1044 050F  D3 81              OUT     CM8279
1045 0511  3E A0              MVI     A,0A0H          ;RESET IW AND BL
1046 0513  D3 81              OUT     CM8279
1047 0515  3E CD              MVI     A,0CDH          ;CLEAR
1048 0517  D3 81              OUT     CM8279
1049                    ;
1050                    ;-----  PRINTER INIT.   -----
1051                    ;
1052 0519  CD 06FA            CALL    DISTRP
1053 051C  CD 0912            CALL    PRTINI
1054                    ;
1055                    ;-----  RS-232C INIT.   -----
1056                    ;
1057 051F  CD 0C7C            CALL    SIINTD
1058 0522  CD 0C18            CALL    SIINIT
1059                    ;
1060                    ;-----  TIMER INIT.     -----
1061                    ;
1062 0525  CD 0CD7            CALL    TMINTD
1063 0528  CD 0C96            CALL    TMINIT
1064                    ;
1065 052B  C9                 RET
1066                    ;
1067                    ;****************************************
1068                    ;*                                      *
1069                    ;*      INITIALIZE WORK AREA            *
1070                    ;*                                      *
1071                    ;****************************************
1072                    ;
1073                    INITWA:
1074 052C  21 FF00            LXI     H,RST1
1075 052F  0E 0E              MVI     C,(PRTERR-RST1)/3
1076                    ;
1077 0531  36 C9        INIWA2: MVI     M,0C9H          ;0C9H IS "RET" INSTRUCTION
1078 0533  23                 INX     H
1079 0534  23                 INX     H
1080 0535  23                 INX     H
1081 0536  0D                 DCR     C
1082 0537  C2 0531            JNZ     INIWA2
1083                    ;                               ;SET TRAP / RST 7 JUMP TABLE
1084 053A  3E C3              MVI     A,0C3H          ;0C3H IS "JMP" INSTRUCTION
1085 053C  32 FF0C            STA     TRAP
1086 053F  32 FF1B            STA     RST7
1087 0542  32 FF2A            STA     PRTERR          ;PRINTER ERROR
1088 0545  21 0433            LXI     H,TRAPPR
1089 0548  22 FF0D            SHLD    TRAP+1
1090 054B  21 041F            LXI     H,RST7PR
1091 054E  22 FF1C            SHLD    RST7+1
1092 0551  21 0003            LXI     H,MONHS         ;MONITOR HOT START
1093 0554  22 FF2B            SHLD    PRTERR+1
1094                    ;
1095                    ;
1096 0557  21 FF31            LXI     H,BAREG         ;CLEAR USER REGISTERS
1097 055A  0E 12              MVI     C,18
1098 055C  AF                 XRA     A               ;0
1099                    ;
1100 055D  77           INIWA3: MOV     M,A
1101 055E  23                 INX     H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1102 055F  0D              DCR     C
1103 0560  C2 055D         JNZ     INIWA3
1104                ;
1105 0563  3C              INR     A               ;BLREG := 1
1106 0564  32 FF33         STA     BLREG+0
1107                ;
1108 0567  21 FD00         LXI     H,USSP          ;SET USER STACK
1109 056A  22 FF2F         SHLD    SPREG
1110 056D  21 8000         LXI     H,INITPC        ;SET USER PC
1111 0570  22 FF2D         SHLD    PCREG
1112                ;
1113 0573  C9              RET
1114                ;
1115                ;****************************************
1116                ;*                                      *
1117                ;*      KEYBOARD INPUT                  *
1118                ;*                                      *
1119                ;****************************************
1120                ;
1121 0574  CD 05C5  KEYIN:  CALL    KEYCHK
1122 0577  D2 0586         JNC     KEYIN2
1123                ;
1124 057A  3A FF4A         LDA     KEYENB
1125 057D  B7              ORA     A               ;0?
1126 057E  C8              RZ                      ;CF = 0
1127                ;
1128 057F  AF              XRA     A               ;0
1129 0580  32 FF4A         STA     KEYENB
1130 0583  78              MOV     A,B
1131 0584  37              STC
1132 0585  C9              RET                     ;CF = 1
1133                ;
1134 0586  3E 01    KEYIN2: MVI     A,1             ;SET ENABLE FLAG
1135 0588  32 FF4A         STA     KEYENB
1136 058B  C9              RET                     ;CF = 0
1137                ;
1138                ;  KEYBOARD INPUT (REPEAT)
1139                ;
1140       00C8     KYRPST  EQU     200             ;REPEAT START TIME
1141       000A     KYRPSP  EQU     10              ;REPEAT SPEED
1142                ;
1143                ;
1144 058C  CD 0612  KEYINP: CALL    KEYWAT          ;WAIT
1145 058F  CD 05C5         CALL    KEYCHK          ;SCAN KEYBOARD
1146 0592  DA 059A         JC      KEYIP1
1147                ;
1148 0595  97              SUB     A
1149 0596  32 FF4B         STA     KYRPCT
1150 0599  C9              RET                     ;CF = 0
1151                ;
1152                KEYIP1:
1153 059A  3A FF4B         LDA     KYRPCT          ;KEYBOARD REPEAT COUNTER
1154 059D  FE C8           CPI     KYRPST          ;REPEAT?
1155 059F  D2 05B2         JNC     KEYIP2
1156                ;
1157 05A2  3C              INR     A
1158 05A3  32 FF4B         STA     KYRPCT
1159 05A6  FE 01           CPI     1               ;FIRST TIME?
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1160 05A8  CA 05C2          JZ      KEYIP4
1161 05AB  FE C8            CPI     KYRPST          ;REPEAT START?
1162 05AD  CA 05C2          JZ      KEYIP4
1163                ;
1164 05B0  B7               ORA     A
1165 05B1  C9               RET                     ;CF = 0
1166                ;
1167                KEYIP2:
1168 05B2  3C               INR     A
1169 05B3  32 FF4B          STA     KYRPCT
1170 05B6  FE D2            CPI     KYRPST+KYRPSP   ;REPEAT?
1171 05B8  CA 05BD          JZ      KEYIP3
1172                ;
1173 05BB  B7               ORA     A
1174 05BC  C9               RET                     ;CF = 0
1175                ;
1176 05BD  3E C8    KEYIP3: MVI     A,KYRPST
1177 05BF  32 FF4B          STA     KYRPCT
1178                ;
1179 05C2  78       KEYIP4: MOV     A,B             ;A = KEY CODE
1180 05C3  37               STC
1181 05C4  C9               RET                     ;CF = 1
1182                ;
1183                ;  CHECK KEYBOARD INPUT
1184                ;
1185 05C5  CD 05E4  KEYCHK: CALL    KEYSCN
1186 05C8  DA 05CD          JC      KEYCH1
1187 05CB  3E FF            MVI     A,0FFH          ;NO KEY
1188 05CD  47       KEYCH1: MOV     B,A
1189 05CE  3A FF4C          LDA     KEYBFR          ;BEFORE KEY CODE
1190 05D1  B8               CMP     B
1191 05D2  CA 05DF          JZ      KEYCH2
1192                ;
1193 05D5  78               MOV     A,B
1194 05D6  32 FF4C          STA     KEYBFR
1195 05D9  CD 0612          CALL    KEYWAT          ;WAIT (CHATTERING CANSEL)
1196 05DC  C3 05C5          JMP     KEYCHK
1197                ;
1198 05DF  D6 FF    KEYCH2: SUI     0FFH
1199 05E1  C8               RZ                      ;NO KEY (CF=0)
1200 05E2  78               MOV     A,B
1201 05E3  C9               RET                     ;KEY PUSHED (CF=1)
1202                ;
1203                ;  SCAN KEYBOARD
1204                ;
1205 05E4  3E 50    KEYSCN: MVI     A,50H           ;SET SENSOR
1206 05E6  D3 81            OUT     CM8279          ;-RAM ADDRESS
1207 05E8  01 FF00          LXI     B,0FF00H        ;B = 0FFH , C = 00H
1208                ;
1209 05EB  DB 80    KEYSC1: IN      DT8279          ;READ S-RAM
1210 05ED  E6 0F            ANI     0FH
1211 05EF  C2 0601          JNZ     KEYSC2
1212                ;
1213 05F2  0C               INR     C
1214 05F3  79               MOV     A,C
1215 05F4  FE 06            CPI     6
1216 05F6  DA 05EB          JC      KEYSC1
1217                ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1218 05F9  CD 061C              CALL    CHKMIK          ;SET/RESET CF
1219 05FC  3E 16                MVI     A,16H
1220 05FE  C3 060B              JMP     KEYSC3
1221                    ;
1222 0601  04           KEYSC2: INR     B               ;ENCODE KEY
1223 0602  0F                   RRC
1224 0603  D2 0601              JNC     KEYSC2
1225                    ;
1226 0606  79                   MOV     A,C
1227 0607  87                   ADD     A               ;A*4
1228 0608  87                   ADD     A               ;
1229 0609  80                   ADD     B
1230 060A  37                   STC                     ;CF = 1
1231                    ;
1232 060B  F5           KEYSC3: PUSH    PSW
1233 060C  3E E0                MVI     A,0E0H
1234 060E  D3 81                OUT     CM8279
1235 0610  F1                   POP     PSW
1236 0611  C9                   RET
1237                    ;
1238                    ;  WAIT
1239                    ;
1240 0612  01 0190      KEYWAT: LXI     B,400
1241 0615  08           KEYWT2: DCX     B
1242 0616  78                   MOV     A,B
1243 0617  B1                   ORA     C
1244 0618  C2 0615              JNZ     KEYWT2
1245 061B  C9                   RET
1246                    ;
1247                    ;  CHECK MONI IN KEY
1248                    ;
1249                    CHKMIK:
1250 061C  DB 7D                IN      P88255
1251 061E  07                   RLC
1252 061F  3F                   CMC
1253 0620  C9                   RET             ; CY=1 : MONI IN KEY PUSHED
1254                    ;
1255                    ;*****************************************
1256                    ;*                                       *
1257                    ;*      DISPLAY OUTPUT                   *
1258                    ;*                                       *
1259                    ;*****************************************
1260                    ;
1261 0621  F5           DISP:   PUSH    PSW
1262 0622  C5                   PUSH    B
1263 0623  D5                   PUSH    D
1264 0624  E5                   PUSH    H
1265                    ;
1266 0625  DB 81        DISPW:  IN      CM8279          ;CHECK DISPLAY
1267 0627  07                   RLC                     ; UNAVAILABLE
1268 0628  DA 0625              JC      DISPW
1269                    ;
1270 062B  3E 90                MVI     A,90H           ;WRITE DISPLAY RAM
1271 062D  D3 81                OUT     CM8279
1272 062F  3A FF4D              LDA     DOTM
1273 0632  47                   MOV     B,A
1274 0633  21 FF4E              LXI     H,DISPM
1275 0636  0E 06                MVI     C,6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1276                            ;
1277 0638  78                  DISPL:  MOV     A,B
1278 0639  0F                           RRC
1279 063A  47                           MOV     B,A
1280 063B  E6 80                        ANI     80H
1281 063D  86                           ADD     M
1282 063E  2F                           CMA
1283 063F  D3 80                        OUT     DT8279
1284 0641  23                           INX     H
1285 0642  0D                           DCR     C
1286 0643  C2 0638                      JNZ     DISPL
1287                            ;
1288 0646  C3 07EB                      JMP     POPRET
1289                            ;
1290                            ;*****************************************
1291                            ;*                                       *
1292                            ;*      DISPLAY HEXADECIMAL 4 DIGITS     *
1293                            ;*                                       *
1294                            ;*       HL : 16 BITS DATA               *
1295                            ;*       C  : LED POINTER  (C=C-4)       *
1296                            ;*                                       *
1297                            ;*****************************************
1298                            ;
1299 0649  F5                  DHEX4:  PUSH    PSW
1300 064A  7C                          MOV     A,H
1301 064B  CD 0654                     CALL    DHEX2
1302 064E  7D                          MOV     A,L
1303 064F  CD 0654                     CALL    DHEX2
1304 0652  F1                          POP     PSW
1305 0653  C9                          RET
1306                            ;
1307                            ;*****************************************
1308                            ;*                                       *
1309                            ;*      DISPLAY HEXADECIMAL 2 DIGITS     *
1310                            ;*                                       *
1311                            ;*       A  : 8 BITS DATA                *
1312                            ;*       C  : LED POINTER (C=C-2)        *
1313                            ;*                                       *
1314                            ;*****************************************
1315                            ;
1316 0654  0F                  DHEX2:  RRC
1317 0655  0F                          RRC
1318 0656  0F                          RRC
1319 0657  0F                          RRC
1320 0658  CD 0663                     CALL    DHEX1
1321 065B  0F                          RRC
1322 065C  0F                          RRC
1323 065D  0F                          RRC
1324 065E  0F                          RRC
1325 065F  CD 0663                     CALL    DHEX1
1326 0662  C9                          RET
1327                            ;
1328                            ;*****************************************
1329                            ;*                                       *
1330                            ;*      DISPLAY HEXADECIMAL 1 DIGIT      *
1331                            ;*                                       *
1332                            ;*       A  : 4 BITS DATA (LOW 4 BITS)   *
1333                            ;*       C  : LED POINTER (C=C-1)        *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1334                    ;*                                      *
1335                    ;****************************************
1336                    ;
1337 0663  E5          DHEX1:  PUSH    H
1338 0664  D5                  PUSH    D
1339 0665  F5                  PUSH    PSW
1340                    ;
1341 0666  E6 0F                ANI     0FH             ;CLEAR HIGH 4 BITS
1342 0668  5F                   MOV     E,A
1343 0669  16 00                MVI     D,0
1344 066B  21 067D              LXI     H,LEDTBL        ;CONVERT TO 7 SEG. CODE
1345 066E  19                   DAD     D
1346 066F  E5                   PUSH    H
1347 0670  59                   MOV     E,C
1348 0671  21 FF4E              LXI     H,DISPM
1349 0674  19                   DAD     D
1350 0675  D1                   POP     D
1351 0676  1A                   LDAX    D
1352 0677  77                   MOV     M,A             ;SET DISPLAY MEMORY
1353                    ;
1354 0678  F1                   POP     PSW
1355 0679  D1                   POP     D
1356 067A  E1                   POP     H
1357 067B  0D                   DCR     C               ;DECREMENT LED POINTER
1358 067C  C9                   RET
1359                    ;
1360                    ;****************************************
1361                    ;*                                      *
1362                    ;*      LED CODE (0,1,2,....,E,F)       *
1363                    ;*                                      *
1364                    ;****************************************
1365                    ;
1366 067D  3F 06 5B 4F LEDTBL: DB      3FH,06H,5BH,4FH ;0,1,2,3
1367 0681  66 6D 7D 27         DB      66H,6DH,7DH,27H ;4,5,6,7
1368 0685  7F 6F 77 7C         DB      7FH,6FH,77H,7CH ;8,9,A,B
1369 0689  39 5E 79 71         DB      39H,5EH,79H,71H ;C,D,E,F
1370                    ;
1371                    ;****************************************
1372                    ;*                                      *
1373                    ;*      DISPLAY MEMORY SET              *
1374                    ;*                                      *
1375                    ;*       CALL DSET                      *
1376                    ;*       DB   (DOT INF) 1 BYTE          *
1377                    ;*       DB   (IMMAGE)  6 BYTES         *
1378                    ;*                                      *
1379                    ;****************************************
1380                    ;
1381 068D  11 0007     DSET:   LXI     D,7
1382 0690  E1                  POP     H
1383 0691  19                  DAD     D               ;PC = PC+7
1384 0692  E5                  PUSH    H
1385 0693  11 FFF9             LXI     D,-7
1386 0696  19                  DAD     D
1387 0697  11 FF4D             LXI     D,DOTM
1388 069A  EB                  XCHG                    ;MOVE DISPLAY DATA
1389 069B  0E 07               MVI     C,7
1390 069D  C3 0714             JMP     MMOVE
1391                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1392                    ;****************************************
1393                    ;*                                      *
1394                    ;*      DISPLAY DATA SAVE AND RESTORE   *
1395                    ;*                                      *
1396                    ;****************************************
1397                    ;
1398 06A0  37          DSAVE:  STC                     ;SET CF
1399 06A1  C3 06A5             JMP     DREST1
1400                    ;
1401 06A4  B7          DREST:  ORA     A               ;RESET CF
1402 06A5  F5          DREST1: PUSH    PSW
1403 06A6  C5                  PUSH    B
1404 06A7  D5                  PUSH    D
1405 06A8  E5                  PUSH    H
1406                    ;
1407 06A9  21 FF54             LXI     H,DSMEM
1408 06AC  11 FF4D             LXI     D,DOTM
1409 06AF  DA 06B3             JC      DSREND
1410                    ;
1411 06B2  EB                  XCHG
1412                    ;
1413 06B3  0E 07       DSREND: MVI     C,7
1414 06B5  CD 0714             CALL    MMOVE
1415 06B8  C3 07EB             JMP     POPRET
1416                    ;
1417                    ;****************************************
1418                    ;*                                      *
1419                    ;*      DISPLAY ADDRESS AND MEMORY DATA *
1420                    ;*                                      *
1421                    ;****************************************
1422                    ;
1423 06BB  2A FF5B     DMEMS:  LHLD    ADRG            ;LOAD ADRG
1424 06BE  0E 05               MVI     C,5
1425 06C0  CD 0649             CALL    DHEX4
1426 06C3  7E                  MOV     A,M             ;LOAD MEMORY DATA
1427 06C4  CD 0654             CALL    DHEX2
1428 06C7  3E 04               MVI     A,4
1429 06C9  32 FF4D             STA     DOTM            ;DOT INFORMATION
1430 06CC  C3 0621             JMP     DISP            ;DISPLAY AND RETURN
1431                    ;
1432                    ;****************************************
1433                    ;*                                      *
1434                    ;*      DISPLAY FILE NUMBER             *
1435                    ;*                                      *
1436                    ;****************************************
1437                    ;
1438 06CF  CD 068D     DFNO:   CALL    DSET
1439 06D2  14                  DB      14H             ;DISPLAY 'NO.XX.  '
1440 06D3  00 00 00            DB      00H,00H,00H
1441 06D6  00 5C 54            DB      00H,5CH,54H
1442 06D9  0E 03               MVI     C,3
1443 06DB  3A FF46             LDA     TREG1           ;DISPLAY FILE NUMBER
1444 06DE  CD 0654             CALL    DHEX2
1445 06E1  CD 0621             CALL    DISP
1446                    ;
1447 06E4  C3 0825             JMP     MTRON           ;MOTOR ON
1448                    ;
1449                    ;****************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1450                    ;*                                      *
1451                    ;*      PRINTER ROUTINE                 *
1452                    ;*                                      *
1453                    ;****************************************
1454                    ;
1455 06E7  CD 06FA     PRTRM:  CALL    DISTRP
1456 06EA  E1                  POP     H
1457 06EB  46                  MOV     B,M
1458 06EC  23                  INX     H
1459 06ED  E5                  PUSH    H
1460 06EE  3A FF41             LDA     PRFLG
1461 06F1  B8                  CMP     B
1462 06F2  C0                  RNZ
1463                    ;
1464 06F3  CD 0A88             CALL    PRTREG
1465 06F6  CD 0963             CALL    PRTDMP
1466 06F9  C9                  RET
1467                    ;
1468                    ;****************************************
1469                    ;*                                      *
1470                    ;*      DISABLE TRAP                    *
1471                    ;*                                      *
1472                    ;****************************************
1473                    ;
1474 06FA  DB 7E       DISTRP: IN      PC8255
1475 06FC  F6 C0               ORI     0C0H
1476 06FE  D3 7E               OUT     PC8255
1477 0700  C9                  RET
1478                    ;
1479                    ;****************************************
1480                    ;*                                      *
1481                    ;*      HL = A*2+HL                     *
1482                    ;*                                      *
1483                    ;****************************************
1484                    ;
1485 0701  F5          ADHLAA: PUSH    PSW
1486 0702  D5                  PUSH    D
1487                    ;
1488 0703  16 00               MVI     D,0
1489 0705  5F                  MOV     E,A
1490 0706  19                  DAD     D
1491 0707  19                  DAD     D
1492                    ;
1493 0708  D1                  POP     D
1494 0709  F1                  POP     PSW
1495 070A  C9                  RET
1496                    ;
1497                    ;****************************************
1498                    ;*                                      *
1499                    ;*      JUMP CASE                       *
1500                    ;*                                      *
1501                    ;*       CALL CASE                      *
1502                    ;*       DW   XXXX .... IF A=0          *
1503                    ;*       DW   YYYY .... IF A=1          *
1504                    ;*                                      *
1505                    ;****************************************
1506                    ;
1507 070B  E1          CASE:   POP     H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1508 070C  CD 0701            CALL    ADHLAA
1509 070F  5E                 MOV     E,M
1510 0710  23                 INX     H
1511 0711  56                 MOV     D,M
1512 0712  EB                 XCHG
1513 0713  E9                 PCHL
1514                    ;
1515                    ;*************************************
1516                    ;*                                   *
1517                    ;*      MEMORY DATA MOVE             *
1518                    ;*                                   *
1519                    ;*       DE : SOURCE TOP ADDRESS     *
1520                    ;*       HL : DESTINATION TOP ADDRESS*
1521                    ;*       C  : LENGTH                 *
1522                    ;*                                   *
1523                    ;*************************************
1524                    ;
1525 0714  1A          MMOVE:  LDAX    D
1526 0715  77                 MOV     M,A
1527 0716  23                 INX     H
1528 0717  13                 INX     D
1529 0718  0D                 DCR     C
1530 0719  C2 0714            JNZ     MMOVE
1531 071C  C9                 RET
1532                    ;
1533                    ;*************************************
1534                    ;*                                   *
1535                    ;*      CHECK ADDRESS                *
1536                    ;*                                   *
1537                    ;*      IF A > B THEN GOTO ERRDSP    *
1538                    ;*                ELSE RETURN        *
1539                    ;*                                   *
1540                    ;*      CHADR1   A=DE   , B=HL       *
1541                    ;*      CHADR    A=TREG2, B=INRG     *
1542                    ;*                                   *
1543                    ;*************************************
1544                    ;
1545 071D  F5          CHADR:  PUSH    PSW
1546 071E  D5                  PUSH    D
1547 071F  E5                  PUSH    H
1548 0720  2A FF48             LHLD    TREG2           ;LOAD TREG2 TO DE
1549 0723  EB                  XCHG
1550 0724  2A FF50             LHLD    INRG            ;LOAD INRG  TO HL
1551 0727  C3 072D             JMP     CHADRE
1552                    ;
1553 072A  F5          CHADR1: PUSH    PSW
1554 072B  D5                  PUSH    D
1555 072C  E5                  PUSH    H
1556                    ;
1557 072D  7D          CHADRE: MOV     A,L             ;COMPARE DE AND HL
1558 072E  93                  SUB     E
1559 072F  7C                  MOV     A,H
1560 0730  9A                  SBB     D
1561 0731  3E 02               MVI     A,2             ;ERROR NUMBER = 2
1562 0733  DA 04EE             JC      ERRDSP
1563                    ;
1564 0736  E1                  POP     H
1565 0737  D1                  POP     D
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1566 0738  F1                POP     PSW
1567 0739  C9                RET
1568                    :
1569                    :
1570                         PAGE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1571                    ;
1572                    ;****************************************
1573                    ;*                                      *
1574                    ;*      CASSETTE ROUTINES               *
1575                    ;*                                      *
1576                    ;****************************************
1577                    ;
1578                    ;****************************************
1579                    ;*                                      *
1580                    ;*      CASSETTE SAVE                   *
1581                    ;*                                      *
1582                    ;****************************************
1583                    ;
1584 073A  CD 0798     SAVE:   CALL    LEADER          ;OUTPUT LEADER
1585 073D  3E 55               MVI     A,55H           ;SET KEYWORD
1586 073F  0E 34               MVI     C,52
1587 0741  CD 07B9             CALL    BYTOTO
1588 0744  06 00               MVI     B,0             ;CHECK_SUM = 0
1589 0746  3A FF46             LDA     TREG1
1590 0749  0E 32               MVI     C,50
1591 074B  CD 07B5             CALL    BYTOUT          ;STORE FILE NUMBER
1592                    ;
1593 074E  2A FF48             LHLD    TREG2           ;STORE START ADDRESS
1594 0751  7C                  MOV     A,H
1595 0752  0E 32               MVI     C,50
1596 0754  CD 07B5             CALL    BYTOUT
1597 0757  7D                  MOV     A,L
1598 0758  0E 33               MVI     C,51
1599 075A  CD 07B5             CALL    BYTOUT
1600                    ;
1601 075D  EB                  XCHG
1602 075E  2A FF5D             LHLD    INRG            ;STORE END ADDRESS
1603 0761  EB                  XCHG
1604 0762  7A                  MOV     A,D
1605 0763  0E 32               MVI     C,50
1606 0765  CD 07B5             CALL    BYTOUT
1607 0768  7B                  MOV     A,E
1608 0769  0E 33               MVI     C,51
1609 076B  CD 07B5             CALL    BYTOUT
1610                    ;
1611 076E  AF                  XRA     A               ;STORE CHECK_SUM
1612 076F  90                  SUB     B
1613 0770  0E 33               MVI     C,51
1614 0772  CD 07B5             CALL    BYTOUT
1615                    ;
1616 0775  0E 02               MVI     C,2
1617 0777  CD 0817             CALL    DELAY
1618                    ;
1619 077A  7E           SAVEDT: MOV     A,M
1620 077B  0E 2D               MVI     C,45
1621 077D  CD 07B5             CALL    BYTOUT          ;STORE DATA
1622 0780  23                  INX     H               ;ADDRESS INCREMENT
1623 0781  CD 078F             CALL    CKDEHL          ;CHECK END ADDRESS
1624 0784  D2 077A             JNC     SAVEDT
1625                    ;
1626 0787  AF                  XRA     A
1627 0788  90                  SUB     B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1628 0789  0E 2D              MVI     C,45
1629 078B  CD 07B5            CALL    BYTOUT          ;STORE CHECK_SUM
1630 078E  C9                 RET
1631                    ;
1632                    ;*****************************************
1633                    ;*                                       *
1634                    ;*      CHECK  DE < HL                   *
1635                    ;*                                       *
1636                    ;*****************************************
1637                    ;
1638 078F  2B           CKDEHL: DCX     H
1639 0790  1B                   DCX     D
1640 0791  7B                   MOV     A,E             ;IF DE < HL
1641 0792  95                   SUB     L               ; THEN SET CF
1642 0793  7A                   MOV     A,D
1643 0794  9C                   SBB     H
1644 0795  23                   INX     H
1645 0796  13                   INX     D
1646 0797  C9                   RET
1647                    ;
1648                    ;*****************************************
1649                    ;*                                       *
1650                    ;*      OUTPUT LEADER                    *
1651                    ;*                                       *
1652                    ;*****************************************
1653                    ;
1654 0798  F5           LEADER: PUSH    PSW             ;SAVE REGISTER
1655 0799  3E 0B                MVI     A,0BH
1656 079B  D3 7F                OUT     CT8255          ;SET PC5
1657 079D  F1                   POP     PSW             ;DUMMY
1658 079E  F5                   PUSH    PSW             ;DUMMY
1659 079F  C5                   PUSH    B
1660 07A0  E5                   PUSH    H
1661 07A1  21 1770              LXI     H,6000          ;HL = COUNTER
1662                    ;
1663 07A4  E5           LEADR:  PUSH    H               ;OUTPUT 5 SEC
1664 07A5  0E 17                MVI     C,23
1665 07A7  CD 07F0              CALL    ONEOUT
1666 07AA  E1                   POP     H
1667 07AB  2B                   DCX     H
1668 07AC  7C                   MOV     A,H
1669 07AD  B5                   ORA     L
1670 07AE  C2 07A4              JNZ     LEADR
1671                    ;
1672 07B1  E1                   POP     H               ;LOAD REGISTERS
1673 07B2  C1                   POP     B
1674 07B3  F1                   POP     PSW
1675 07B4  C9                   RET
1676                    ;
1677                    ;*****************************************
1678                    ;*                                       *
1679                    ;*      ONE BYTE OUTPUT                  *
1680                    ;*                                       *
1681                    ;*****************************************
1682                    ;
1683 07B5  F5           BYTOUT: PUSH    PSW             ;SAVE DATA
1684 07B6  80                   ADD     B               ;MAKE CHECK_SUM
1685 07B7  47                   MOV     B,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1686 07B8  F1              POP     PSW
1687                ;
1688 07B9  F5       BYTOTO: PUSH    PSW             ;SAVE REGISTERS
1689 07BA  C5               PUSH    B
1690 07BB  D5               PUSH    D
1691 07BC  E5               PUSH    H
1692                ;
1693 07BD  57               MOV     D,A             ;SAVE DATA
1694 07BE  2E 08            MVI     L,8             ;BIT COUNTER
1695 07C0  CD 07FF          CALL    ZEROUT          ;OUTPUT START_BIT
1696 07C3  F5               PUSH    PSW             ;DUMMY
1697 07C4  F1               POP     PSW             ;DUMMY
1698                ;
1699 07C5  7A       BYTOT1: MOV     A,D             ;LOAD DATA
1700 07C6  0F               RRC                     ;SHIFT 1 BIT
1701 07C7  57               MOV     D,A
1702 07C8  DA 07D3          JC      BYTOT2
1703                ;
1704 07CB  0E 3C            MVI     C,60
1705 07CD  CD 07FF          CALL    ZEROUT          ;OUTPUT '0'
1706 07D0  C3 07DC          JMP     BYTOT3
1707                ;
1708 07D3  00       BYTOT2: NOP                     ;DUMMY
1709 07D4  0E 17            MVI     C,23
1710 07D6  CD 07F0          CALL    ONEOUT          ;OUTPUT '1'
1711 07D9  C3 07DC          JMP     BYTOT3
1712                ;
1713 07DC  2D       BYTOT3: DCR     L               ;DECREMENT BIT COUNTER
1714 07DD  C2 07C5          JNZ     BYTOT1
1715                ;
1716 07E0  0E 19            MVI     C,25
1717 07E2  CD 07F0          CALL    ONEOUT          ;OUTPUT STOP_BIT
1718 07E5  03               INX     B               ;DUMMY
1719 07E6  0E 1A            MVI     C,26
1720 07E8  CD 07F0          CALL    ONEOUT
1721                ;
1722 07EB  E1       POPRET: POP     H
1723 07EC  D1               POP     D
1724 07ED  C1               POP     B
1725 07EE  F1               POP     PSW
1726 07EF  C9               RET
1727                ;
1728                ;*****************************************
1729                ;*                                       *
1730                ;*       ONE BIT OUTPUT                  *
1731                ;*                                       *
1732                ;*****************************************
1733                ;
1734 07F0  3E 0A    ONEOUT: MVI     A,0AH           ;SET PC5
1735 07F2  CD 080E          CALL    CHG2            ;HIGH OUT
1736 07F5  CD 080C          CALL    CHG1            ;LOW  OUT
1737 07F8  CD 080C          CALL    CHG1            ;HIGH OUT
1738 07FB  CD 080C          CALL    CHG1            ;LOW  OUT
1739 07FE  C9               RET
1740                ;
1741 07FF  3E 0A    ZEROUT: MVI     A,0AH           ;SET PC5
1742 0801  CD 080E          CALL    CHG2            ;HIGH OUT
1743 0804  0E 41            MVI     C,65            ;DUMMY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1744 0806  0E 41          MVI     C,65            ;SET DELAY COUNT
1745 0808  CD 080E        CALL    CHG2            ;LOW  OUT
1746 0808  C9             RET
1747                ;
1748 080C  0E 1D    CHG1: MVI     C,29            ;SET DELAY COUNT
1749 080E  CD 0817  CHG2: CALL    DELAY           ;TIME DELAY
1750 0811  24             INR     H               ;DUMMY
1751 0812  EE 01          XRI     01H             ;INVERT BIT 0
1752 0814  D3 7F          OUT     CT8255          ;SET/RESET PC5
1753 0816  C9             RET
1754                ;
1755                ;****************************************
1756                ;*                                      *
1757                ;*      DELAY                           *
1758                ;*                                      *
1759                ;****************************************
1760                ;
1761 0817  C5       DELAY: PUSH    B               ;SAVE BC
1762                ;
1763 0818  0D       DELY:  DCR     C               ;DECREMENT COUNTER
1764 0819  C2 0818        JNZ     DELY
1765                ;
1766 081C  00             NOP                     ;DUMMY
1767 081D  C1             POP     B
1768 081E  C9             RET
1769                ;
1770                ;****************************************
1771                ;*                                      *
1772                ;*      CASSETTE MOTOR CONTROL          *
1773                ;*                                      *
1774                ;****************************************
1775                ;
1776 081F  F5       MTROFF: PUSH   PSW
1777 0820  3E 08          MVI     A,08H           ;BIT RESET PC4
1778 0822  C3 0828        JMP     OUTCT
1779                ;
1780 0825  F5       MTRON: PUSH    PSW
1781 0826  3E 09          MVI     A,09H           ;BIT SET PC4
1782                ;
1783 0828  D3 7F    OUTCT: OUT     CT8255          ;SET/RESET PC4
1784 082A  F1             POP     PSW
1785 082B  C9             RET
1786                ;
1787                ;****************************************
1788                ;*                                      *
1789                ;*      CASSETTE LOAD AND VERIFY        *
1790                ;*                                      *
1791                ;****************************************
1792                ;
1793                LDVFY:
1794 082C  CD 08ED  FILEIN: CALL   LEADIN
1795 082F  CD 089F        CALL    BYTEIN
1796 0832  EE 55          XRI     55H             ;CHECK KEY WORD
1797 0834  47             MOV     B,A             ;CLEAR CHECK SUM
1798 0835  00             NOP
1799 0836  00             NOP
1800 0837  C2 082C        JNZ     FILEIN          ;KEY_WARD ERROR
1801                ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1802 083A  CD 08C8            CALL    BYTCHS          ;INPUT FILE NUMBER
1803 083D  57                 MOV     D,A
1804 083E  0E 01              MVI     C,1
1805 0840  CD 0654            CALL    DHEX2           ;DISPLAY FILE NUMBER
1806 0843  CD 0621            CALL    DISP
1807 0846  3A FF46            LDA     TREG1
1808 0849  BA                 CMP     D               ;CHECK FILE NUMBER
1809 084A  C2 082C            JNZ     FILEIN
1810                    ;
1811 084D  CD 08C8            CALL    BYTCHS          ;START ADDRESS INPUT
1812 0850  67                 MOV     H,A
1813 0851  CD 08C8            CALL    BYTCHS
1814 0854  6F                 MOV     L,A
1815 0855  CD 08C8            CALL    BYTCHS          ;END   ADDRESS INPUT
1816 0858  57                 MOV     D,A
1817 0859  CD 08C8            CALL    BYTCHS
1818 085C  5F                 MOV     E,A
1819                    ;
1820 085D  CD 08C8            CALL    BYTCHS          ;CHECK_SUM INPUT
1821 0860  3E 04              MVI     A,4             ;ERROR_NUMBER = 4
1822 0862  C2 04EE            JNZ     ERRDSP          ;CHECK_SUM ERROR OF ADDRESS
1823                    ;
1824 0865  E5                 PUSH    H
1825 0866  2A FF5D            LHLD    INRG
1826 0869  7D                 MOV     A,L
1827 086A  B4                 ORA     H
1828 086B  CA 087B            JZ      TPADD
1829                    ;
1830 086E  E1                 POP     H
1831 086F  CD 0908            CALL    SUBRGP
1832 0872  2A FF5D            LHLD    INRG            ;HL = START ADDRESS
1833 0875  CD 0907            CALL    ADDRGP          ;DE = END   ADDRESS
1834 0878  C3 087C            JMP     DATAIN
1835                    ;
1836 087B  E1           TPADD: POP     H
1837                    ;
1838 087C  CD 08C8      DATAIN: CALL   BYTCHS          ;INPUT DATA
1839 087F  4F                 MOV     C,A             ;SET DATA
1840 0880  3A FF61            LDA     LDFLG
1841 0883  A7                 ANA     A
1842 0884  79                 MOV     A,C
1843 0885  CA 0889            JZ      CMPDT
1844                    ;
1845 0888  77                 MOV     M,A
1846                    ;
1847 0889  BE           CMPDT: CMP     M               ;COMPARE DATA
1848 088A  3E 06              MVI     A,6             ;ERROR_NUMBER = 6
1849 088C  C2 04EE            JNZ     ERRDSP
1850                    ;
1851 088F  23                 INX     H
1852 0890  CD 078F            CALL    CKDEHL          ;? DE < HL
1853 0893  D2 087C            JNC     DATAIN
1854                    ;
1855 0896  CD 08C8            CALL    BYTCHS          ;CHECK_SUM DATA
1856 0899  3E 05              MVI     A,5             ;ERROR_NUMBER = 5
1857 089B  C2 04EE            JNZ     ERRDSP
1858                    ;
1859 089E  C9                 RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1860                    ;
1861                    ;*************************************
1862                    ;*                                   *
1863                    ;*      INPUT ONE BYTE               *
1864                    ;*                                   *
1865                    ;*************************************
1866                    ;
1867 089F  C5          BYTEIN: PUSH    B               ;SAVE REGISTERS
1868 08A0  D5                  PUSH    D
1869 08A1  E5                  PUSH    H
1870                    ;
1871 08A2  0E 00               MVI     C,0
1872                    ;
1873 08A4  CD 08DF     BYTIN1: CALL    WVSCA0
1874 08A7  3E 16               MVI     A,22
1875 08A9  B9                  CMP     C               ;SEARCH START_BIT
1876 08AA  D2 08A4             JNC     BYTIN1
1877                    ;
1878 08AD  0E 2B               MVI     C,43
1879 08AF  CD 0817             CALL    DELAY
1880 08B2  2E 08               MVI     L,8             ;SET BIT COUNTER
1881                    ;
1882 08B4  CD 08D0     BYTIN2: CALL    BITIN           ;INPUT ONE BIT
1883                    ;
1884 08B7  7C                  MOV     A,H
1885 08B8  1F                  RAR
1886 08B9  67                  MOV     H,A
1887                    ;
1888 08BA  0E 0F               MVI     C,15
1889 08BC  CD 0817             CALL    DELAY
1890                    ;
1891 08BF  2D                  DCR     L
1892 08C0  C2 08B4             JNZ     BYTIN2
1893                    ;
1894 08C3  7C                  MOV     A,H
1895 08C4  E1                  POP     H
1896 08C5  D1                  POP     D
1897 08C6  C1                  POP     B
1898 08C7  C9                  RET
1899                    ;
1900                    ;*************************************
1901                    ;*                                   *
1902                    ;*      INPUT AND CHECKSUM           *
1903                    ;*                                   *
1904                    ;*************************************
1905                    ;
1906 08C8  CD 089F     BYTCHS: CALL    BYTEIN
1907 08CB  4F                  MOV     C,A
1908 08CC  80                  ADD     B
1909 08CD  47                  MOV     B,A
1910 08CE  79                  MOV     A,C
1911 08CF  C9                  RET
1912                    ;
1913                    ;*************************************
1914                    ;*                                   *
1915                    ;*      INPUT ONE BIT                *
1916                    ;*                                   *
1917                    ;*************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1918                            ;
1919 08D0  CD 08E1      BITIN:  CALL    WVSCAN
1920 08D3  0E 54                MVI     C,84
1921 08D5  CD 0817              CALL    DELAY
1922 08D8  CD 08DF              CALL    WVSCA0
1923 08DB  3E 01                MVI     A,1             ;IF C > 1
1924 08DD  B9                   CMP     C               ; THEN SET CF
1925 08DE  C9                   RET
1926                            ;
1927                            ;*****************************************
1928                            ;*                                       *
1929                            ;*      WAVE SCANNING                    *
1930                            ;*                                       *
1931                            ;*****************************************
1932                            ;
1933 08DF  0E 00        WVSCA0: MVI     C,0
1934 08E1  DB 7D        WVSCAN: IN      PB8255          ;INPUT PB6
1935 08E3  E6 40                ANI     40H
1936 08E5  0C                   INR     C
1937 08E6  AA                   XRA     D
1938 08E7  CA 08E1              JZ      WVSCAN          ;SCAN PB6
1939                            ;
1940 08EA  AA                   XRA     D               ;SAVE INPUT DATA
1941 08EB  57                   MOV     D,A
1942 08EC  C9                   RET
1943                            ;
1944                            ;*****************************************
1945                            ;*                                       *
1946                            ;*      LEADER SEARCH                    *
1947                            ;*                                       *
1948                            ;*****************************************
1949                            ;
1950 08ED  C5           LEADIN: PUSH    B
1951 08EE  D5                   PUSH    D
1952                            ;
1953 08EF  1E 00        LEADR1: MVI     E,0
1954 08F1  CD 08DF      LEADR2: CALL    WVSCA0
1955 08F4  3E 16                MVI     A,22            ;SET MAX COUNT
1956 08F6  B9                   CMP     C
1957 08F7  DA 08EF              JC      LEADR1
1958                            ;
1959 08FA  3E 07                MVI     A,7             ;SET MIN COUNT
1960 08FC  B9                   CMP     C
1961 08FD  D2 08EF              JNC     LEADR1
1962                            ;
1963 0900  1D                   DCR     E
1964 0901  C2 08F1              JNZ     LEADR2
1965                            ;
1966 0904  D1                   POP     D
1967 0905  C1                   POP     B
1968 0906  C9                   RET
1969                            ;
1970                            ;*****************************************
1971                            ;*                                       *
1972                            ;*      DE = HL + DE                     *
1973                            ;*                                       *
1974                            ;*****************************************
1975                            ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1976 0907  EB          ADDRGP: XCHG
1977 0908  19                  DAD     D
1978 0909  EB                  XCHG
1979 090A  C9                  RET
1980                   ;
1981                   ;***************************************
1982                   ;*                                     *
1983                   ;*      DE = DE - HL                   *
1984                   ;*                                     *
1985                   ;***************************************
1986                   ;
1987 090B  7B          SUBRGP: MOV     A,E
1988 090C  95                  SUB     L
1989 090D  5F                  MOV     E,A
1990 090E  7A                  MOV     A,D
1991 090F  9C                  SBB     H
1992 0910  57                  MOV     D,A
1993 0911  C9                  RET
1994                   ;
1995                   ;
1996                   ;       PAGE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1997                    ;
1998                    ;****************************************
1999                    ;*                                      *
2000                    ;*      PRINTER CONTROL ROUTINES        *
2001                    ;*                                      *
2002                    ;****************************************
2003                    ;
2004                    ;****************************************
2005                    ;*                                      *
2006                    ;*      PRINTER INITIALIZE              *
2007                    ;*                                      *
2008                    ;****************************************
2009                    ;
2010      0912          PRTINI  EQU     $
2011 0912 DB 7E         PRTINO: IN      PC8255
2012 0914 F6 04                 ORI     04H             ;STROBE="H"
2013 0916 D3 7E                 OUT     PC8255
2014 0918 C9                    RET
2015                    ;
2016                    ;****************************************
2017                    ;*                                      *
2018                    ;*      CR,LF ONE LINE                  *
2019                    ;*                                      *
2020                    ;****************************************
2021                    ;
2022      0919          PRTLF1  EQU     $
2023 0919 F5            PRTLF2: PUSH    PSW             ;SAVE REG
2024 091A 3E 01                 MVI     A,1
2025 091C CD 0921               CALL    PRTLFN
2026 091F F1                    POP     PSW             ;RESTRE REG
2027 0920 C9                    RET
2028                    ;
2029                    ;****************************************
2030                    ;*                                      *
2031                    ;*      CR,LF N LINES                   *
2032                    ;*                                      *
2033                    ;****************************************
2034                    ;
2035      0921          PRTLFN  EQU     $
2036 0921 F5            PRTLFA: PUSH    PSW             ;SAVE REG
2037 0922 C5                    PUSH    B
2038                    ;
2039 0923 B7                    ORA     A
2040 0924 CA 0936               JZ      PRTLFC
2041                    ;
2042 0927 4F                    MOV     C,A             ;N LINES FEED
2043 0928 3E 0D         PRTLFB: MVI     A,0DH
2044 092A CD 0939               CALL    PRTPUT
2045 092D 3E 0A                 MVI     A,0AH
2046 092F CD 0939               CALL    PRTPUT
2047 0932 0D                    DCR     C               ;DCR COUNTER
2048 0933 C2 0928               JNZ     PRTLFB
2049                    ;
2050 0936 C1            PRTLFC: POP     B               ;RESTORE REG
2051 0937 F1                    POP     PSW
2052 0938 C9                    RET
2053                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2054                    ;****************************************
2055                    ;*                                      *
2056                    ;*      PRINT CHARACTER                 *
2057                    ;*                                      *
2058                    ;*      <IN>  A: CHARACTER DATA         *
2059                    ;*                                      *
2060                    ;****************************************
2061                    ;
2062      0939          PRTPUT  EQU     $
2063 0939  F5          PRTPU0: PUSH    PSW             ;SAVE REG
2064 093A  C5                  PUSH    B
2065                    ;
2066 093B  47                  MOV     B,A
2067 093C  DB 7D       PRTPU1: IN      PB8255          ;CHECK BUSY
2068 093E  07                  RLC                     ;MONI IN KEY ?
2069 093F  D2 FF2A             JNC     PRTERR          ;BREAK PRINT OUT
2070 0942  0F                  RRC
2071 0943  0F                  RRC
2072 0944  DA 093C             JC      PRTPU1          ;BUSY ?
2073                    ;
2074 0947  0E 01               MVI     C,1             ;TIME DELAY 30USEC
2075 0949  CD 0817             CALL    DELAY
2076                    ;
2077 094C  78                  MOV     A,B
2078 094D  D3 7C               OUT     PA8255          ;SET 8 BIT DATA
2079                    ;
2080 094F  3E 04               MVI     A,4             ;WRITE STROBE
2081 0951  D3 7F               OUT     CT8255          ;STROBE="L"
2082                    ;
2083 0953  0E 02               MVI     C,2             ;DELAY
2084 0955  CD 0817             CALL    DELAY
2085                    ;
2086 0958  3C                  INR     A
2087 0959  D3 7F               OUT     CT8255          ;STROBE="H"
2088                    ;
2089 095B  0E 01               MVI     C,1             ;TIME DELAY 30U
2090 095D  CD 0817             CALL    DELAY
2091                    ;
2092 0960  C1                  POP     B               ;RESTOR REG
2093 0961  F1                  POP     PSW
2094 0962  C9                  RET
2095                    ;
2096                    ;****************************************
2097                    ;*                                      *
2098                    ;*      MEMORY DUMP                     *
2099                    ;*                                      *
2100                    ;****************************************
2101                    ;
2102      0963          PRTDMP  EQU     $
2103 0963  F5          PRTDM0: PUSH    PSW             ;SAVE REG
2104 0964  C5                  PUSH    B
2105 0965  D5                  PUSH    D
2106 0966  E5                  PUSH    H
2107                    ;
2108 0967  2A FF44             LHLD    MDEND
2109 096A  7C                  MOV     A,H
2110 096B  B5                  ORA     L               ;IF END.ADDR=0
2111 096C  CA 0A31             JZ      PRTDMC          ; THEN NO DUMP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2112                            ;
2113 096F  2A FF42              LHLD    MDTOP           ;CHECK ADDR
2114 0972  EB                   XCHG
2115 0973  2A FF44              LHLD    MDEND
2116 0976  7D                   MOV     A,L
2117 0977  93                   SUB     E
2118 0978  7C                   MOV     A,H
2119 0979  9A                   SBB     D
2120 097A  3E 02                MVI     A,2
2121 097C  DA 04EE              JC      ERRDSP
2122                            ;
2123 097F  CD 0919              CALL    PRTLF1
2124 0982  3E 3C                MVI     A,'<'           ;PR.DUMP AREA
2125 0984  CD 0939              CALL    PRTPUT
2126 0987  EB                   XCHG
2127 0988  CD 0A39              CALL    PRTHX4          ;PR.TOP ADDR
2128 098B  3E 2D                MVI     A,'-'
2129 098D  CD 0939              CALL    PRTPUT
2130 0990  EB                   XCHG                    ;PR.END ADDR
2131 0991  CD 0A39              CALL    PRTHX4
2132 0994  3E 3E                MVI     A,'>'
2133 0996  CD 0939              CALL    PRTPUT
2134 0999  44                   MOV     B,H             ;SET END ADDR
2135 099A  4D                   MOV     C,L
2136                            ;
2137 099B  CD 09CA              CALL    PRTDM5          ;PRINT LOW ADDR
2138                            ;
2139 099E  CD 0919      PRTDM1: CALL    PRTLF1          ;CR,LF
2140 09A1  62                   MOV     H,D             ;PRINT ADDR
2141 09A2  7B                   MOV     A,E
2142 09A3  E6 F0                ANI     0F0H
2143 09A5  6F                   MOV     L,A
2144 09A6  CD 0A39              CALL    PRTHX4
2145 09A9  21 0A36              LXI     H,PRTDMD        ;PRINT ' :'
2146 09AC  CD 0A77              CALL    PRTSTR
2147                            ;
2148 09AF  7B           PRTDM2: MOV     A,E
2149 09B0  E6 0F                ANI     0FH             ;TAB
2150 09B2  CA 09F5      PRTDM3: JZ      PRTDM8
2151 09B5  CD 09C2              CALL    PRTDM4
2152 09B8  CD 09C2              CALL    PRTDM4
2153 09BB  CD 09C2              CALL    PRTDM4
2154 09BE  3D                   DCR     A
2155 09BF  C3 09B2              JMP     PRTDM3
2156                            ;
2157 09C2  F5           PRTDM4: PUSH    PSW
2158 09C3  3E 20                MVI     A,' '
2159 09C5  CD 0939              CALL    PRTPUT
2160 09C8  F1                   POP     PSW
2161 09C9  C9                   RET
2162                            ;
2163 09CA  3E 02        PRTDM5: MVI     A,2
2164 09CC  CD 0921              CALL    PRTLFN
2165 09CF  3E 20                MVI     A,' '
2166 09D1  2E 05                MVI     L,5
2167 09D3  CD 0939      PRTDM6: CALL    PRTPUT
2168 09D6  2D                   DCR     L
2169 09D7  C2 09D3              JNZ     PRTDM6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2170 09DA  26 00            MVI     H,0
2171 09DC  7C         PRTDM7: MOV     A,H
2172 09DD  E6 03              ANI     3
2173 09DF  3E 20              MVI     A,' '
2174 09E1  CC 0939            CZ      PRTPUT
2175 09E4  CD 0939            CALL    PRTPUT
2176 09E7  CD 0939            CALL    PRTPUT
2177 09EA  7C                 MOV     A,H
2178 09EB  CD 0A53            CALL    PRTHX1
2179 09EE  24                 INR     H
2180 09EF  FE 0F              CPI     0FH
2181 09F1  C2 09DC            JNZ     PRTDM7
2182 09F4  C9                 RET
2183                    ;
2184 09F5  7B         PRTDM8: MOV     A,E
2185 09F6  0F                 RRC
2186 09F7  0F                 RRC
2187 09F8  E6 03              ANI     3
2188 09FA  CA 0A04    PRTDM9: JZ      PRTDMA
2189 09FD  CD 09C2            CALL    PRTDM4
2190 0A00  3D                 DCR     A
2191 0A01  C3 09FA            JMP     PRTDM9
2192                    ;
2193 0A04  CD 09C2    PRTDMA: CALL    PRTDM4          ;PRINT MEM DATA
2194 0A07  1A                 LDAX    D
2195 0A08  CD 0A44            CALL    PRTHX2
2196 0A0B  79                 MOV     A,C
2197 0A0C  13                 INX     D
2198 0A0D  93                 SUB     E
2199 0A0E  78                 MOV     A,B
2200 0A0F  9A                 SBB     D               ;DE > BC ?
2201 0A10  DA 0A2C            JC      PRTDMB
2202 0A13  7A                 MOV     A,D
2203 0A14  B3                 ORA     E
2204 0A15  CA 0A2C            JZ      PRTDMB
2205 0A18  7B                 MOV     A,E
2206 0A19  E6 03              ANI     3               ;LOW 2 BIT=0 ?
2207 0A1B  CC 09C2            CZ      PRTDM4
2208                    ;
2209 0A1E  7B                 MOV     A,E
2210 0A1F  A7                 ANA     A               ;LOW 8 BIT=0 ?
2211 0A20  CC 09CA            CZ      PRTDM5
2212 0A23  7B                 MOV     A,E
2213 0A24  E6 0F              ANI     0FH             ;LOW 4 BIT=0 ?
2214 0A26  CA 099E            JZ      PRTDM1
2215 0A29  C3 0A04            JMP     PRTDMA
2216                    ;
2217 0A2C  3E 02      PRTDMB: MVI     A,2
2218 0A2E  CD 0921            CALL    PRTLFN
2219                    ;
2220 0A31  E1         PRTDMC: POP     H               ;RESTORE REG
2221 0A32  D1                 POP     D
2222 0A33  C1                 POP     B
2223 0A34  F1                 POP     PSW
2224 0A35  C9                 RET
2225                    ;
2226 0A36  20 3A 00   PRTDMD: DB      ' :',0
2227                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2228                            ;**************************************
2229                            ;*                                    *
2230                            ;*      PRINT HEX 4 DIGITS            *
2231                            ;*                                    *
2232                            ;**************************************
2233                            ;
2234            0A39            PRTHX4  EQU     $
2235 0A39  F5                  PRTH40: PUSH    PSW
2236 0A3A  7C                          MOV     A,H
2237 0A3B  CD 0A44                     CALL    PRTHX2
2238 0A3E  7D                          MOV     A,L
2239 0A3F  CD 0A44                     CALL    PRTHX2
2240 0A42  F1                          POP     PSW
2241 0A43  C9                          RET
2242                            ;
2243                            ;**************************************
2244                            ;*                                    *
2245                            ;*      PRINT HEX 2 DIGITS            *
2246                            ;*                                    *
2247                            ;**************************************
2248                            ;
2249            0A44            PRTHX2  EQU     $
2250 0A44  0F                  PRTH20: RRC
2251 0A45  0F                          RRC
2252 0A46  0F                          RRC
2253 0A47  0F                          RRC
2254 0A48  CD 0A53                     CALL    PRTHX1
2255 0A4B  0F                          RRC
2256 0A4C  0F                          RRC
2257 0A4D  0F                          RRC
2258 0A4E  0F                          RRC
2259 0A4F  CD 0A53                     CALL    PRTHX1
2260 0A52  C9                          RET
2261                            ;
2262                            ;**************************************
2263                            ;*                                    *
2264                            ;*      PRINT HEX ONE DIGIT           *
2265                            ;*                                    *
2266                            ;**************************************
2267                            ;
2268            0A53            PRTHX1  EQU     $
2269 0A53  E5                  PRTH10: PUSH    H
2270 0A54  D5                          PUSH    D
2271 0A55  F5                          PUSH    PSW
2272                            ;
2273 0A56  E6 0F                       ANI     0FH
2274 0A58  5F                          MOV     E,A
2275 0A59  16 00                       MVI     D,0
2276 0A5B  21 0A67                     LXI     H,HEXASC
2277 0A5E  19                          DAD     D
2278 0A5F  7E                          MOV     A,M
2279 0A60  CD 0939                     CALL    PRTPUT
2280                            ;
2281 0A63  F1                          POP     PSW
2282 0A64  D1                          POP     D
2283 0A65  E1                          POP     H
2284 0A66  C9                          RET
2285                            ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2286 0A67  30 31 32 33   HEXASC: DB      '01234567'
           34 35 36 37
2287 0A6F  38 39 41 42           DB      '89ABCDEF'
           43 44 45 46
2288                     ;
2289                     ;****************************************
2290                     ;*                                      *
2291                     ;*      PRINT STRINGS                   *
2292                     ;*                                      *
2293                     ;****************************************
2294                     ;
2295       0A77          PRTSTR  EQU     $
2296 0A77  E5            PRTST0: PUSH    H
2297 0A78  F5                    PUSH    PSW
2298                     ;
2299 0A79  7E            PRTST1: MOV     A,M
2300 0A7A  B7                    ORA     A
2301 0A7B  CA 0A85               JZ      PRTST2
2302 0A7E  CD 0939               CALL    PRTPUT
2303 0A81  23                    INX     H
2304 0A82  C3 0A79               JMP     PRTST1
2305                     ;
2306 0A85  F1            PRTST2: POP     PSW
2307 0A86  E1                    POP     H
2308 0A87  C9                    RET
2309                     ;
2310                     ;****************************************
2311                     ;*                                      *
2312                     ;*      PRINT REGISTERS                 *
2313                     ;*                                      *
2314                     ;****************************************
2315                     ;
2316       0A88          PRTREG  EQU     $
2317 0A88  F5            PRTRE0: PUSH    PSW             ;SAVE REG
2318 0A89  C5                    PUSH    B
2319 0A8A  D5                    PUSH    D
2320 0A8B  E5                    PUSH    H
2321                     ;
2322 0A8C  CD 0919               CALL    PRTLF1          ;CR.LF
2323 0A8F  21 0B25               LXI     H,PRTRE5
2324 0A92  CD 0A77               CALL    PRTSTR          ;PRINT REG.NAME
2325                     ;
2326 0A95  2A FF58               LHLD    ADRG            ;PRINT ADRG
2327 0A98  CD 0A39               CALL    PRTHX4
2328 0A9B  3E 20                 MVI     A,' '
2329 0A9D  CD 0939               CALL    PRTPUT
2330 0AA0  7E                    MOV     A,M             ;PRINT INSTR
2331 0AA1  CD 0A44               CALL    PRTHX2
2332 0AA4  21 0A36               LXI     H,PRTDMD        ;PRINT ' :'
2333 0AA7  CD 0A77               CALL    PRTSTR
2334                     ;
2335 0AAA  21 0B6B               LXI     H,PRTRE6        ;SET REG.LOC.
2336 0AAD  0E 02                 MVI     C,2
2337 0AAF  CD 0AFC               CALL    PRTRE1          ;PRINT
2338 0AB2  3E 20                 MVI     A,' '           ; BPA,BLC
2339 0AB4  CD 0939               CALL    PRTPUT
2340 0AB7  CD 0939               CALL    PRTPUT
2341                     ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2342 0ABA  0E 06              MVI     C,6             ;PRINT
2343 0ABC  CD 0AFC            CALL    PRTRE1          ; AF,BC,DE,HL
2344 0ABF  3E 20              MVI     A,' '           ; PC,SP
2345 0AC1  CD 0939            CALL    PRTPUT
2346 0AC4  CD 0939            CALL    PRTPUT
2347 0AC7  CD 0939            CALL    PRTPUT
2348                    ;
2349 0ACA  3A FF35            LDA     AFREG           ;PRINT
2350 0ACD  47                 MOV     B,A             ; CY,Z,S,P,AC
2351 0ACE  3E 01              MVI     A,01H
2352 0AD0  CD 0B14            CALL    PRTRE2
2353 0AD3  3E 40              MVI     A,40H
2354 0AD5  CD 0B14            CALL    PRTRE2
2355 0AD8  3E 80              MVI     A,80H
2356 0ADA  CD 0B14            CALL    PRTRE2
2357 0ADD  3E 04              MVI     A,04H
2358 0ADF  CD 0B14            CALL    PRTRE2
2359 0AE2  3E 10              MVI     A,10H
2360 0AE4  CD 0B14            CALL    PRTRE2
2361 0AE7  3E 20              MVI     A,' '
2362 0AE9  CD 0939            CALL    PRTPUT
2363 0AEC  3A FF3D            LDA     IEFLG           ;PRT IE FLAG
2364 0AEF  0F                 RRC
2365 0AF0  0F                 RRC
2366 0AF1  0F                 RRC
2367 0AF2  E6 01              ANI     1
2368 0AF4  C6 30              ADI     '0'
2369 0AF6  CD 0939            CALL    PRTPUT
2370 0AF9  C3 0A2C            JMP     PRTCMB          ;PRINT AND RET
2371                    ;
2372 0AFC  5E           PRTRE1: MOV     E,M
2373 0AFD  23                 INX     H
2374 0AFE  56                 MOV     D,M
2375 0AFF  23                 INX     H
2376 0B00  EB                 XCHG
2377 0B01  3E 20              MVI     A,' '
2378 0B03  CD 0939            CALL    PRTPUT
2379 0B06  D5                 PUSH    D
2380 0B07  5E                 MOV     E,M             ;LD.PRINT DATA
2381 0B08  23                 INX     H
2382 0B09  56                 MOV     D,M
2383 0B0A  EB                 XCHG
2384 0B0B  CD 0A39            CALL    PRTHX4          ;PRINT REG
2385 0B0E  E1                 POP     H
2386 0B0F  0D                 DCR     C
2387 0B10  C2 0AFC            JNZ     PRTRE1
2388 0B13  C9                 RET
2389                    ;
2390 0B14  A0           PRTRE2: AND     B
2391 0B15  CA 0B1A            JZ      PRTRE3          ;PRINT 1 BIT
2392 0B18  3E 01              MVI     A,1
2393                    ;
2394 0B1A  C6 30        PRTRE3: ADI     '0'
2395 0B1C  CD 0939            CALL    PRTPUT
2396 0B1F  3E 20              MVI     A,' '
2397 0B21  CD 0939            CALL    PRTPUT
2398 0B24  C9                 RET
2399                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2400 0B25  41 44 52 53   PRTRE5: DB      'ADRS INS   BPA  BLC    '
           20 49 4E 53
           20 20 20 42
           50 41 20 20
           42 4C 43 20
           20 20 20
2401 0B3C  41 46 20 20           DB      'AF   BC   DE   HL   PC   SP   '
           20 42 43 20
           20 20 44 45
           20 20 20 48
           4C 20 20 20
           50 43 20 20
           20 53 50 20
           20 20
2402 0B5A  43 59 20 5A           DB      'CY Z S P AC IE',0DH,0AH,0
           20 53 20 50
           20 41 43 20
           49 45 0D 0A
           00
2403                             ;
2404 0B6B  FF31          PRTRE6: DW      BAREG           ;STORAGE LOC.
2405 0B6D  FF33                  DW      BLREG
2406 0B6F  FF35                  DW      AFREG
2407 0B71  FF37                  DW      BCREG
2408 0B73  FF39                  DW      DEREG
2409 0B75  FF3B                  DW      HLREG
2410 0B77  FF2D                  DW      PCREG
2411 0B79  FF2F                  DW      SPREG
2412                             ;
2413                             ;
2414                             PAGE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2415                    ;
2416                    ;****************************************
2417                    ;*                                      *
2418                    ;*      RAM SET/TEST ROUTINES           *
2419                    ;*                                      *
2420                    ;****************************************
2421                    ;
2422                    ;****************************************
2423                    ;*                                      *
2424                    ;*      RAM DATA SET                    *
2425                    ;*                                      *
2426                    ;*      SET DATA = A  REG.              *
2427                    ;*      TOP ADDR = DE REG.              *
2428                    ;*      END ADDR = HL REG.              *
2429                    ;*                                      *
2430                    ;****************************************
2431                    ;
2432  0B7B              RAMSET  EQU     $
2433 0B7B  CD 072A      RAMST:  CALL    CHADR1          ;ADDRESS CHECK
2434 0B7E  47                  MOV     B,A
2435 0B7F  3E 04               MVI     A,4
2436 0B81  32 FF4D              STA     DOTM
2437 0B84  EB                   XCHG
2438                    ;
2439 0B85  0E 05        RAMST1: MVI     C,5             ;DISP ADDR
2440 0B87  CD 0649              CALL    DHEX4
2441 0B8A  70                   MOV     M,B             ;DATA STRE
2442 0B8B  7E                   MOV     A,M
2443 0B8C  CD 0654              CALL    DHEX2           ;DISP MEM DATE
2444 0B8F  CD 0621              CALL    DISP
2445 0B92  B8                   CMP     B               ;READ CHECK
2446 0B93  3E 01                MVI     A,1             ;ERR.NO.=1
2447 0B95  C2 0BA6              JNZ     RAMST3
2448 0B98  7A                   MOV     A,D
2449 0B99  BC                   CMP     H
2450 0B9A  C2 0BA2              JNZ     RAMST2
2451 0B9D  7B                   MOV     A,E
2452 0B9E  BD                   CMP     L
2453 0B9F  CA 0BAC              JZ      RAMST4
2454 0BA2  23           RAMST2: INX     H
2455 0BA3  C3 0B85              JMP     RAMST1
2456                    ;
2457 0BA6  22 FF39      RAMST3: SHLD    DEREG           ;SAVE ERR.ADR
2458 0BA9  C3 04EE              JMP     ERRDSP
2459                    ;
2460 0BAC  31 0000      RAMST4: LXI     SP,MONSTK       ;SET STACK P.
2461 0BAF  C3 032E              JMP     ENDDSP
2462                    ;
2463                    ;****************************************
2464                    ;*                                      *
2465                    ;*      RAM DATA TEST                   *
2466                    ;*                                      *
2467                    ;*      TOP ADDR = DE REG.              *
2468                    ;*      END ADDR = HL REG.              *
2469                    ;*                                      *
2470                    ;****************************************
2471                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2472          0BB2          RAMTST  EQU     $
2473 0BB2     CD 072A       RAMTS:  CALL    CHADR1          ;CHECK ADDRESS
2474 0BB5     3E 04                 MVI     A,4
2475 0BB7     32 FF4D               STA     DOTM
2476 0BBA     EB                    XCHG
2477                        ;
2478 0BBB     0E 05         RAMTS1: MVI     C,5             ;DISP ADDR
2479 0BBD     CD 0649               CALL    DHEX4
2480 0BC0     CD 0621               CALL    DISP
2481 0BC3     06 00                 MVI     B,0             ;PRESET TEST DATA
2482 0BC5     4E            RAMTS2: MOV     C,M             ;SAVE DATA
2483 0BC6     70                    MOV     M,B             ;WRITE DATA
2484 0BC7     7E                    MOV     A,M             ;READ DATA
2485 0BC8     71                    MOV     M,C             ;RESTRE DATA
2486 0BC9     B8                    CMP     B               ;CHECK DATA
2487 0BCA     3E 07                 MVI     A,7             ;ERR.NO.=7
2488 0BCC     C2 0BA6               JNZ     RAMST3          ;ERR.DSP.
2489                        ;
2490 0BCF     04                    INR     B               ;INCR TEST DATA
2491 0BD0     C2 0BC5               JNZ     RAMTS2
2492 0BD3     7A                    MOV     A,D
2493 0BD4     BC                    CMP     H
2494 0BD5     C2 0BDD               JNZ     RAMTS3
2495 0BD8     7B                    MOV     A,E
2496 0BD9     BD                    CMP     L
2497 0BDA     CA 0BAC               JZ      RAMST4          ;END DSP.
2498 0BDD     23            RAMTS3: INX     H               ;INCR TEST ADDR
2499 0BDE     C3 0BBB               JMP     RAMTS1
2500                        ;
2501                        ;*************************************
2502                        ;*                                   *
2503                        ;*      RAM DATA MOVE                *
2504                        ;*                                   *
2505                        ;*      SRC TOP ADDR = BC REG.       *
2506                        ;*      SRC END ADDR = DE REG.       *
2507                        ;*      DST TOP ADDR = HL REG.       *
2508                        ;*                                   *
2509                        ;*************************************
2510                        ;
2511 0BE1     7B            RAMMOV: MOV     A,E             ;IF DE < BC
2512 0BE2     91                    SUB     C               ;  THEN ERROR
2513 0BE3     7A                    MOV     A,D
2514 0BE4     98                    SBB     B
2515 0BE5     3E 02                 MVI     A,2
2516 0BE7     DA 04EE               JC      ERRDSP
2517                        ;
2518 0BEA     7B                    MOV     A,E             ;DE = BC
2519 0BEB     91                    SUB     C               ; (SRC TOP ADDR)
2520 0BEC     59                    MOV     E,C             ;BC = (DE-BC)+1
2521 0BED     4F                    MOV     C,A             ; (MOVE LENGTH)
2522 0BEE     7A                    MOV     A,D
2523 0BEF     98                    SBB     B
2524 0BF0     50                    MOV     D,B
2525 0BF1     47                    MOV     B,A
2526 0BF2     03                    INX     B
2527                        ;
2528 0BF3     7D                    MOV     A,L
2529 0BF4     93                    SUB     E
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2530 0BF5  7C              MOV     A,H             ;IF DST-TOP > SRC-TOP
2531 0BF6  9A              SBB     D               ;  THEN MOVE TAIL FIRST
2532 0BF7  DA 0C0B         JC      RAMMV2          ;  ELSE MOVE HEAD FIRST
2533                       ;
2534                       ;-----  MEMORY-MOVE- TAIL FIRST -----
2535                       ;
2536 0BFA  09              DAD     B               ;HL = DST TAIL
2537 0BFB  EB              XCHG
2538 0BFC  09              DAD     B               ;DE = SRC TAIL
2539 0BFD  EB              XCHG
2540 0BFE  1B        RAMMV1: DCX     D
2541 0BFF  2B              DCX     H
2542 0C00  1A              LDAX    D
2543 0C01  77              MOV     M,A
2544 0C02  0B              DCX     B
2545 0C03  78              MOV     A,B
2546 0C04  B1              ORA     C
2547 0C05  C2 0BFE         JNZ     RAMMV1
2548 0C08  C3 032E         JMP     ENDDSP
2549                       ;
2550                       ;-----  MEMORY MOVE  HEAD FIRST -----
2551                       ;
2552 0C0B  1A        RAMMV2: LDAX    D
2553 0C0C  77              MOV     M,A
2554 0C0D  23              INX     H
2555 0C0E  13              INX     D
2556 0C0F  0B              DCX     B
2557 0C10  78              MOV     A,B
2558 0C11  B1              ORA     C
2559 0C12  C2 0C0B         JNZ     RAMMV2
2560 0C15  C3 032E         JMP     ENDDSP
2561                       ;
2562                       ;
2563                       PAGE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2564                    ;
2565                    ;****************************************
2566                    ;*                                      *
2567                    ;*      RS-232C/TIMER CONTROL ROUTINES  *
2568                    ;*                                      *
2569                    ;****************************************
2570                    ;
2571                    ;****************************************
2572                    ;*                                      *
2573                    ;*      RS-232C INITIALIZE              *
2574                    ;*                                      *
2575                    ;****************************************
2576                    ;
2577 0C18  F5          SIINIT: PUSH    PSW
2578 0C19  C5                  PUSH    B
2579 0C1A  E5                  PUSH    H
2580                    ;
2581 0C1B  3A FF66             LDA     SIMODE          ;GET RS-232C MODE DATA
2582 0C1E  47                  MOV     B,A
2583 0C1F  3A FF67             LDA     SIMODP          ;TEST PARITY
2584 0C22  2F                  CMA
2585 0C23  B8                  CMP     B               ;IF PARITY ERROR
2586 0C24  CA 0C29             JZ      SINIT1          ;  THEN DEFAULT MODE
2587                    ;
2588 0C27  06 9E               MVI     B,9EH           ;9800 BPS,8 BIT/CHAR,NON-PARITY
2589                    ;
2590 0C29  21 0C5F     SINIT1: LXI     H,SINITA
2591 0C2C  78                  MOV     A,B
2592 0C2D  E6 07               ANI     07H
2593 0C2F  CD 0701             CALL    ADHLAA
2594                    ;
2595 0C32  3E B6               MVI     A,0B6H          ;INIT I8253 CNT2
2596 0C34  D3 6B               OUT     PITCTM          ;  MODE-3,BINARY-COUNT,16BIT
2597 0C36  7E                  MOV     A,M
2598 0C37  D3 6A               OUT     PITCT2          ;SET LSB
2599 0C39  23                  INX     H
2600 0C3A  7E                  MOV     A,M
2601 0C3B  D3 6A               OUT     PITCT2          ;SET MSB
2602                    ;
2603 0C3D  78                  MOV     A,B             ;MAKE I8251 MODE SET DATA
2604 0C3E  E6 F8               ANI     0F8H
2605 0C40  07                  RLC
2606 0C41  37                  STC
2607 0C42  1F                  RAR
2608 0C43  1F                  RAR
2609 0C44  F6 02               ORI     02H             ;SELECT X16 CLOCK
2610 0C46  47                  MOV     B,A
2611                    ;
2612 0C47  AF                  XRA     A
2613 0C48  D3 65               OUT     USARTC
2614 0C4A  00                  NOP
2615 0C4B  D3 65               OUT     USARTC
2616 0C4D  00                  NOP
2617 0C4E  D3 65               OUT     USARTC
2618 0C50  3E 40               MVI     A,40H           ;I8251 INTERNAL RESET
2619 0C52  D3 65               OUT     USARTC
2620                    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2621 0C54  78              MOV     A,B             ;I8251 MODE SET
2622 0C55  D3 65           OUT     USARTC
2623 0C57  3E 37           MVI     A,37H           ;I8251 COMMAND SET
2624 0C59  D3 65           OUT     USARTC          ;  (RX/TX ENABLE,CTS/DTR ON,ERROR RESET)
2625                       ;
2626 0C5B  E1              POP     H
2627 0C5C  C1              POP     B
2628 0C5D  F1              POP     PSW
2629 0C5E  C9              RET
2630                       ;
2631 0C5F  0200            SINITA: DW      512             ;  150BPS
2632 0C61  0100                    DW      256             ;  300BPS
2633 0C63  0080                    DW      128             ;  600BPS
2634 0C65  0040                    DW      64              ; 1200BPS
2635 0C67  0020                    DW      32              ; 2400BPS
2636 0C69  0010                    DW      16              ; 4800BPS
2637 0C6B  0008                    DW      8               ; 9600BPS
2638 0C6D  0004                    DW      4               ;19200BPS
2639                       ;
2640                       ;*****************************************
2641                       ;*                                       *
2642                       ;*      ENABLE RS-232C INTERRUPT         *
2643                       ;*                                       *
2644                       ;*****************************************
2645                       ;
2646 0C6F  F5              SIINTE: PUSH    PSW
2647                       ;
2648 0C70  20                      RIM             ;
2649 0C71  E6 05                   ANI     05H     ;RESET RST6.5 INT MASK
2650 0C73  F6 08                   ORI     08H     ;
2651 0C75  30                      SIM             ;
2652                       ;
2653 0C76  3E 03                   MVI     A,03H           ;RESET RX-READY MASK
2654 0C78  D3 7F                   OUT     CT8255          ; (PC1 ON)
2655                       ;
2656 0C7A  F1                      POP     PSW
2657 0C7B  C9                      RET
2658                       ;
2659                       ;*****************************************
2660                       ;*                                       *
2661                       ;*      DISABLE RS-232C INTERRUPT        *
2662                       ;*                                       *
2663                       ;*****************************************
2664                       ;
2665 0C7C  F5              SIINTD: PUSH    PSW
2666                       ;
2667 0C7D  3E 02                   MVI     A,02H           ;RX-READY MASK ON
2668 0C7F  D3 7F                   OUT     CT8255          ; (PC1 OFF)
2669                       ;
2670 0C81  20                      RIM             ;
2671 0C82  E6 07                   ANI     07H     ;RST6.5 INT MASK
2672 0C84  F6 0A                   ORI     0AH     ;
2673 0C86  30                      SIM             ;
2674                       ;
2675 0C87  F1                      POP     PSW
2676 0C88  C9                      RET
2677                       ;
2678                       ;*****************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2679                    ;*                                      *
2680                    ;*      SET RS-232C MODE                *
2681                    ;*                                      *
2682                    ;****************************************
2683                    ;
2684 0C89  F5          SETSIM: PUSH    PSW
2685                    ;
2686 0C8A  32 FF66              STA     SIMODE          ;SET MODE DATA
2687 0C8D  2F                   CMA                     ;MAKE PARITY
2688 0C8E  32 FF67              STA     SIMODP          ;SET PARITY
2689                    ;
2690 0C91  CD 0C18              CALL    SIINIT          ;INIT RS-232C
2691                    ;
2692 0C94  F1                   POP     PSW
2693 0C95  C9                   RET
2694                    ;
2695                    ;****************************************
2696                    ;*                                      *
2697                    ;*      TIMER INITIALIZE                *
2698                    ;*                                      *
2699                    ;****************************************
2700                    ;
2701 0C96  F5          TMINIT: PUSH    PSW
2702 0C97  C5                  PUSH    B
2703 0C98  E5                  PUSH    H
2704                    ;
2705 0C99  3A FF68              LDA     TMMODE          ;GET TIMER MODE DATA
2706 0C9C  47                  MOV     B,A
2707 0C9D  3A FF69              LDA     TMMODP          ;TEST PARITY
2708 0CA0  2F                   CMA
2709 0CA1  B8                  CMP     B               ;IF PARITY ERROR
2710 0CA2  CA 0CA7              JZ      TINIT1          ;  THEN DEFAULT MODE
2711                    ;
2712 0CA5  06 02                MVI     B,02H           ;  (10MSEC INTERVAL)
2713                    ;
2714 0CA7  78          TINIT1: MOV     A,B
2715 0CA8  3D                  DCR     A               ;TEST MODE DATA
2716 0CA9  FE 14               CPI     20              ;IF OUT OF RANGE
2717 0CAB  DA 0CB0             JC      TINIT2          ;  THEN DEFAULT MODE
2718 0CAE  06 02                MVI     B,02H           ;  (10MSEC INTERVAL)
2719                    ;
2720 0CB0  78          TINIT2: MOV     A,B             ;GET TIMER COUNT DATA
2721 0CB1  21 0000              LXI     H,0             ; COUNT = (MODE DATA) * 3072
2722 0CB4  01 0C00              LXI     B,3072          ;  (5MSEC * 2.4576MHZ/4 = 3072)
2723 0CB7  09          TINIT3: DAD     B
2724 0CB8  3D                  DCR     A
2725 0CB9  C2 0CB7              JNZ     TINIT3
2726                    ;
2727 0CBC  3E 76                MVI     A,76H           ;INIT 18253 CNT1
2728 0CBE  D3 6B                OUT     PITCTM          ;  MODE-3,BINARY-COUNT,16BIT
2729 0CC0  7D                   MOV     A,L
2730 0CC1  D3 69                OUT     PITCT1          ;SET LSB
2731 0CC3  7C                   MOV     A,H
2732 0CC4  D3 69                OUT     PITCT1          ;SET MSB
2733                    ;
2734 0CC6  E1                   POP     H
2735 0CC7  C1                   POP     B
2736 0CC8  F1                   POP     PSW
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2737 0CC9  C9              RET
2738                       ;
2739                       ;****************************************
2740                       ;*                                      *
2741                       ;*      ENABLE TIMER INTERRUPT          *
2742                       ;*                                      *
2743                       ;****************************************
2744                       ;
2745 0CCA  F5          TMINTE: PUSH    PSW
2746                       ;
2747 0CCB  20              RIM                     ;
2748 0CCC  E6 03           ANI     03H             ;RESET RST7.5 INT MASK
2749 0CCE  F6 08           ORI     08H             ;
2750 0CD0  30              SIM                     ;
2751                       ;
2752 0CD1  3E 01           MVI     A,01H           ;CNT1 GATE ON
2753 0CD3  D3 7F           OUT     CT8255          ; (PC0 ON)
2754                       ;
2755 0CD5  F1              POP     PSW
2756 0CD6  C9              RET
2757                       ;
2758                       ;****************************************
2759                       ;*                                      *
2760                       ;*      DISABLE TIMER INTERRUPT         *
2761                       ;*                                      *
2762                       ;****************************************
2763                       ;
2764 0CD7  F5          TMINTD: PUSH    PSW
2765                       ;
2766 0CD8  3E 00           MVI     A,00H           ;CNT1 GATE OFF
2767 0CDA  D3 7F           OUT     CT8255          ; (PC0 OFF)
2768                       ;
2769 0CDC  20              RIM                     ;
2770 0CDD  E6 07           ANI     07H             ;RST7.5 INT MASK
2771 0CDF  F6 0C           ORI     0CH             ;
2772 0CE1  30              SIM                     ;
2773                       ;
2774 0CE2  F1              POP     PSW
2775 0CE3  C9              RET
2776                       ;
2777                       ;****************************************
2778                       ;*                                      *
2779                       ;*      SET TIMER MODE                  *
2780                       ;*                                      *
2781                       ;****************************************
2782                       ;
2783 0CE4  F5          SETTMM: PUSH    PSW
2784                       ;
2785 0CE5  FE 15           CPI     20+1            ;IF OUT OF RANGE
2786 0CE7  DA 0CEC         JC      STTMM1          ;  THEN DEFAULT MODE
2787                       ;
2788 0CEA  3E 02           MVI     A,2             ;  (10MSEC INTERVAL)
2789                       ;
2790 0CEC  32 FF68     STTMM1: STA     TMMODE          ;SET MODE DATA
2791 0CEF  2F              CMA                     ;MAKE PARITY
2792 0CF0  32 FF69         STA     TMMODP          ;SET PARITY
2793                       ;
2794 0CF3  CD 0C96         CALL    TMINIT          ;INIT TIMER
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2795                    ;
2796 0CF6  F1          POP     PSW
2797 0CF7  C9          RET
2798                    ;
2799                    ;*****************************************
2800                    ;*                                       *
2801                    ;*      SET USER PROGRAM ADDRESS         *
2802                    ;*                                       *
2803                    ;*****************************************
2804                    ;
2805 0CF8  F5          SETUPR: PUSH    PSW
2806                    ;
2807 0CF9  22 FF6A      SHLD    USRPRG          ;SET ADDRESS
2808 0CFC  7C           MOV     A,H             ;MAKE PARITY
2809 0CFD  2F           CMA
2810 0CFE  67           MOV     H,A
2811 0CFF  7D           MOV     A,L
2812 0D00  2F           CMA
2813 0D01  6F           MOV     L,A
2814 0D02  22 FF6C      SHLD    USRPRP          ;SET PARITY
2815                    ;
2816 0D05  F1          POP     PSW
2817 0D06  C9          RET
2818                    ;
2819                    ;
2820                    PAGE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
ขนาดมิกัดมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOR	SPECT	UNIT	
Rated Output	~~180~~ 60	W	Pr
Rated Armature Voltage	20	V	Er
Rated Torque	6	kg-cm	Tr
Rated Armature Current	3.4	A	Ir
Rated Speed	3000	rpm	Nr
Constant Stall Torque	7	kg-cm	Ts
Peak Maximum Torque	43	kg-cm	Tps
Armature Current (Stall)	3.6	A	Is
Peak Armature Current	24	A	Ip
Maximum Speed	5000	rpm	Nmax
Static Friction Torque	0.55	kg-cm	Tf
Power Rate	1.68	KW/sec	Q
Peak Acceleration	21×10^3	rad/sec^2	ps
Torque Ripple	5	%	Tr
Torque Constant	2.24	kgcm/A	Kt
Voltage Constant	23	V/Krpm	Ke
Raguration Constant	0.32	kgcm/rpm	Ki
Rotor Inertia	2.1	$g-cm-sec^2$	
Armature Resistance	3.1	Ω	Ra
Inductance	4.7	mH	La
Mechanical Time Constant	12	msec	tm
Electrical Time Constant	1.52	msec	te

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Therm Constant	25	min	Tth
Therm Resistance	1.4	C/W	Rth
Armature Winding Temp Rise	130	deg	
Weight	2	kg	W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาปริญญาโท ที่ได้รับการเผยแพร่ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบัน ครั้งที่ 12 พ.ศ. 2533 ณ. มหาวิทยาลัย เชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วแบบสี่ควอดแรนท์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

Four quadrant speed control of DC motor based on microprocessor

อธิชาติ มุจนะมลทิล (*)
โยธิน เปรมปราณีรัชต์ (**)

บทคัดย่อ

ผลงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์แบบสี่ควอดแรนท์โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 เป็นตัวควบคุมซึ่งสามารถควบคุมความเร็ว ทิศทางการหมุน การออกตัวและการหยุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความอ่อนตัวในการควบคุมด้วยโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ นอกจากนั้นระบบยังมีลูปป้อนกลับของกระแสเพื่อให้สามารถควบคุมกระแสของมอเตอร์ได้โดยตรงจากไมโครโปรเซสเซอร์ผ่าน D/A คอนเวอร์เตอร์ ผลการทดลองแสดงการควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ในรูปของ velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วระหว่างควอดแรนท์ 1-2, 3-1, 3-4, และ 3-1-2-delay-3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพและความอ่อนตัว

Abstract

This research paper presents the development of a four quadrants speed control of D.C. motor by using microprocessor as a controller of the speed level, direction,and start-stop operation with high efficiency and flexibility of control with assembly language. In addition, the system consists of current feedback, thus since the D.C. motor current is directly controlled by microprocessor through D/A converter. The exprimental results of the speed control of D.C. motor are shown in velocity profile of a speed changing between the differrent quadrant such as 1-2, 1-3, 3-4, and 3-1-2-delay-3. Which are shown that microprocessor is a high efficiency and flexibility of controller.

(**) รองศาสตาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(*) นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 บทนำ

ในปัจจุบันไมโครโปรเซสเซอร์ได้รับความนิยมนำมาใช้เป็นตัวควบคุมระบบที่ใช้งานอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่นระบบใน Factory automation ซึ่งจะมีส่วนประกอบของระบบ ควบคุมตำแหน่งและความเร็วอยู่ด้วย [1][2]

ผลงานวิจัยนี้ที่เป็นการพัฒนาระบบควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์แบบลิ่ควอดแรนท์โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 เป็นตัวควบคุมที่สามารถควบคุมระดับความเร็วทิศทางการหมุน การออกตัวการและการหยุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความอ่อนตัวในการควบคุมด้วยโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ [3][4] นอกจากนั้นระบบยังมีลูปป้อนกลับของกระแสเพื่อให้สามารถควบคุมกระแสได้โดยตรงจากสัญญาณอินพุท [5] ผลการทดลองแสดงการควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ ในรูปของดีซีมอเตอร์ velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วระหว่าง ควอดแรนท์ 1-2, 3-1, 3-4 และ 3-1-2-delay-3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความอ่อนตัวในการควบคุมระบบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

2 ระบบควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์

2.1 พลวัตระบบควบคุมความเร็วแบบลิ่ควอดแรนท์

ในดีซีมอเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับกระแส i_a และแสดงได้ด้วยสมการ

$$T = K_T i_a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

เมื่อ K_T คือ ค่าแรงบิดคงที่ของมอเตอร์

i_a คือ กระแสของมอเตอร์

T คือ แรงบิด

เซอร์โวแอมปลิไฟเออร์ที่ใช้งานทั่วๆไปมักจะได้รับการออกแบบในลักษณะที่สัญญาณอินพุทสามารถควบคุมกระแสของมอเตอร์มากกว่าจะควบคุมโวลท์เตจของมอเตอร์ การควบคุมกระแสของมอเตอร์กระทำได้ด้วยการเพิ่มตัวดีเท็คกระแสและออฟแอมป์เข้าไปในระบบก็จะทำให้เราสามารถกำหนดค่ากระแสของมอเตอร์ได้จากอินพุทโวลท์เตจ [5]

$$i_a = -K_a v_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

เมื่อ K_a คือ ค่าคงที่ของการดีเท็คกระแส

v_i คือ อินพุทโวลท์เตจ

เมื่อแรงบิดของมอเตอร์ป้อนกลับให้โรเตอร์ ความสัมพันธ์ระหว่าง T และ ω หาได้จากสมการพลวัต Newtonian

$$(J_m + J_L)\frac{d\omega}{dt} + D\omega = T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ J_M เป็นโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์

J_L เป็นโมเมนต์แรงเฉื่อยของโหลด

D เป็นค่าสัมประสิทธิ์การแดมป์ของแรงฝืดวิสคอส

T เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นโดยมอเตอร์

จากสมการ (3) หมายความว่าการควบคุมความเร็วในการออกตัวหรือหยุดเราต้องควบคุมแรงบิด และเราพิจารณาในรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) <u>การออกตัว</u> (การสตาร์ทในควอดแรนท์ที่ หนึ่ง หรือ สาม) ตามปกติมอเตอร์จะออกตัวด้วยแรงบิดคงที่ T ซึ่งเกิดขึ้นด้วยค่ากระแสจำกัดสูงสุด เราจะหาค่าอัตราเร่งของความเร็วได้จากสมการที่ 3

$$\omega_a = \frac{T}{D}\left[1-\exp\left(\frac{-Dt}{J_M + J_L}\right)\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

(2) <u>การหยุด</u> (การเบรคในควอดแรนท์ที่ สอง หรือ สี่) ด้วยการกลับกระแสเพื่อให้แรงบิดเป็นลบสูงสุด มอเตอร์ก็จะลดความเร็วลงตามปกติในช่วงเวลาการหยุดหรือเบรคค่าทางเทอม $D\omega$ มีค่าน้อยมากและตัดทิ้งได้และสมการพลวัตในการหยุดเขียนได้เป็น

$$(J_M + J_L)\frac{d\omega}{dt} = -T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

จากสมการที่ 5 เราจะหาค่าอัตราการลดความเร็วลงได้เป็น

$$\omega_d = \omega_{ss} - \frac{T}{J_M + J_L}t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

เมื่อ ω_{ss} เป็นค่าความเร็วคงที่

(3) <u>ความเร็วคงที่</u> เมื่อมอเตอร์มีความเร็วคงที่เทอมของไทม์ดิฟเฟอเรนเชียลจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นเราจะหาค่าของความเร็วคงที่ได้

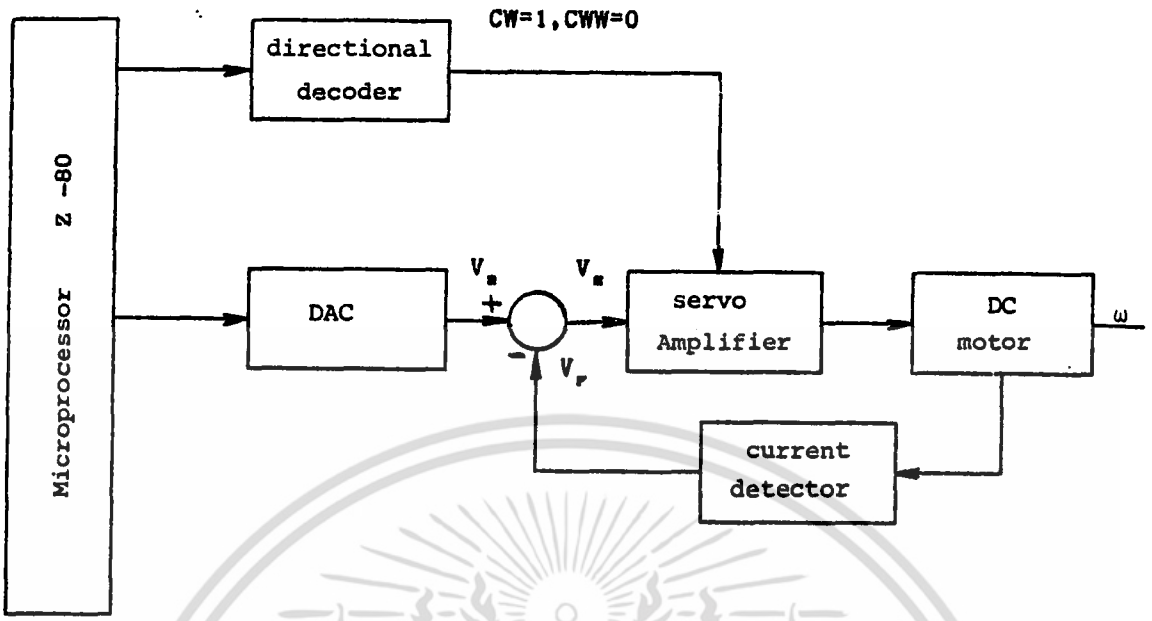
$$\omega_{ss} = \frac{T}{D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

เนื่องจาก D มีค่าน้อยมากในการประยุกต์ใช้งานทั่วๆไป แรงบิดในช่วงที่ความเร็วคงที่จะมีค่าน้อยมาก

2.2 <u>ระบบควบคุมความเร็วด้วยไมโครโปรเซสเซอร์</u>

จากโครงสร้างบล็อคไดอะแกรมดังรูปที่ 1 เป็นระบบดิจิตอลควบคุมทิศทางและความเร็วมอเตอร์ โดยเราจะเริ่มจากการเขียนโปรแกรมควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ เราจะเริ่มโหลดข้อมูลเข้าไปในส่วนไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 จากข้อมูลที่นำมาโหลดในส่วนที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ ที่นำโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ Z-80 ผ่านเข้าไปในส่วนที่มีการแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก (DAC) จะถูกแปลงค่าเข้าสู่ค่าความต่างศักย์ที่จะได้เป็น V_a ส่วนของมอเตอร์ จะมีตัว current detrctor กระแสที่ได้จากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 บล็อคไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

ดิเท็คจะถูกป้อนกลับมาเป็นค่าความต่างศักย์ V_f ค่าความต่างศักย์ V_a และ V_f ทั้งสองค่าที่ได้เราจะนำค่ามาเปรียบเทียบได้ โดยการความต่างศักย์เอาท์พุทเป็น V_e คือ

$$V_e = (V_a - V_f) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

V_a = ค่าความต่างศักย์เอาท์พุทที่ได้จากการแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก

V_f = ความต่างศักย์ป้อนกลับ เป็นสัดส่วนค่ากระแสของมอเตอร์

V_e = ความต่างศักย์ error

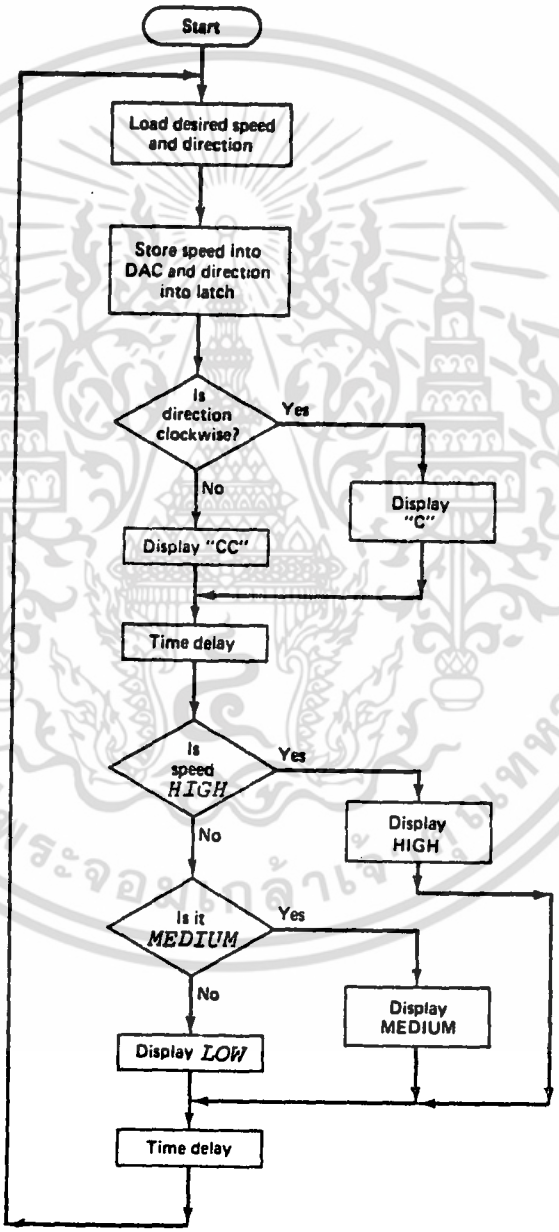
ในส่วนของการโหลดข้อมูลเข้าไปในส่วนไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 จากข้อมูลที่นำมาโหลดในส่วนที่ควบคุมทิศทางมอเตอร์ ที่นำโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ Z-80 ผ่านเข้าไปในส่วนที่มีการกำหนดทิศทาง โดยเราใช้ค่า D latch เป็นตัวควบคุมทิศทาง โดยเรากำหนดให้ค่าลอจิก 1 ควบคุมทิศทางตามเข็มนาฬิกา(cw) และลอจิก 0 จะใช้ควบคุมทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(ccw) โดยค่าของลอจิกที่ได้จะนำเข้าสู่ส่วนของวงจรที่ใช้ในการขับมอเตอร์(driver) จากนั้นจะนำเข้าไปในส่วนของมอเตอร์ พร้อมกับนำกระแสที่ได้จากมอเตอร์ป้อนกลับเข้าไปในส่วนของการเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์

3 <u>โปรแกรมที่ใช้ควบคุมทิศทางและความเร็วมอเตอร์</u>

จากรูปที่ 2 จะเป็น flowchart ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ Z-80 ที่ใช้ในการควบคุมทิศทางและความเร็วมอเตอร์ จากส่วนของ flowchart เราจะเริ่มจากการโหลดข้อมูลค่าเริ่มต้นของทิศทางและความเร็วเข้าไปในส่วนของโปรแกรม จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ผ่านเข้าไปในส่วน D latch และ DAC ตามลำดับ จากส่วนที่ควบคุมทิศทางโปรแกรมจะมีการตรวจสอบทิศทางที่ได้ว่า เป็นการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางตามเข็มนาฬิกา(cw) หรือทวนเข็มนาฬิกา(ccw) ส่วนโปรแกรมที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์จะมีส่วนที่ควบคุมความเร็วได้ 3 ระดับ เริ่มจากระดับ HIGH MEDIUM และ LOW ตามลำดับ เราจะนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบว่าเป็นระดับใด จากนั้นเราก็จะได้ความเร็วตามต้องการ จากนั้นเราก็จะเริ่มโหลดข้อมูลเข้ามาใหม่อีกโดยที่เรามีการเลื่อนข้อมูลต่างไปจากเดิม แล้วนำข้อใหม่ที่ได้นำมาเปรียบเทียบอีกจนกว่าเราจะได้ความเร็วทั้ง 3 ระดับตามต้องการ



รูปที่ 2 แสดง flowchart การควบคุมทิศทางและความเร็วดีซีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ผลการทดลอง

การทดลองควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 เราสามารถโปรแกรมควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ให้ทำงานได้ทั้ง 4 ควอดแรนท์ ผลการทดลองแสดงถึงลักษณะของค่า velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วระหว่างควอดแรนท์ที่หนึ่งกับสอง ดังในรูปที่ 3 ระหว่างควอดแรนท์ที่สามกับหนึ่งดังในรูปที่ 4 ระหว่างควอดแรนท์ที่สามกับสี่ดังในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 เป็น velocity profile ที่แสดงถึงการเปลี่ยนความเร็วทั้ง 4 ควอดแรนท์ คือจากควอดแรนท์ที่สามเปลี่ยนไปควอดแรนท์ที่หนึ่งจากหนึ่งเปลี่ยนไปควอดแรนท์ที่สอง ซึ่งเป็นการหยุดมอเตอร์เมื่อความเร็วเป็นศูนย์แล้วเราดีเลย์ให้มอเตอร์มีความเร็วเป็นศูนย์อยู่ระยะเวลาหนึ่ง แล้วจึงเปลี่ยนไปยังควอดแรนท์ที่สามอีกครั้งหนึ่งเป็นการครบรอบของการเปลี่ยนแปลงทั้งสี่ควอดแรนท์ ซึ่งการควบคุมลักษณะนี้จะกระทำได้ด้วยตัวควบคุมที่เป็นไมโครโปรเซสเซอร์เท่านั้น

5 สรุป

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่าเราสามารถจะโปรมแกรมให้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ให้เป็นไปตามที่เราต้องการโดยได้ง่ายทั้ง 4 ควอดแรนท์ เช่นเปลี่ยนทิศทางการหมุน เปลี่ยนความเร็ว การออกตัวหรือการหยุด เป็นต้น เราสามารถจะตั้งโปรแกรมให้ระบบมีความเร็วเป็นไปตาม velocity profile ที่เราต้องการได้ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะและความอ่อนตัวในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ต้องการปรับความเร็วให้ได้ 4 ควอดแรนท์

6 เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร.โยชิน เปรมปราณีรัชต์, ระบบเซอร์โวและอีเลคทรอนิคส์คอนโทรลมอเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง 2533

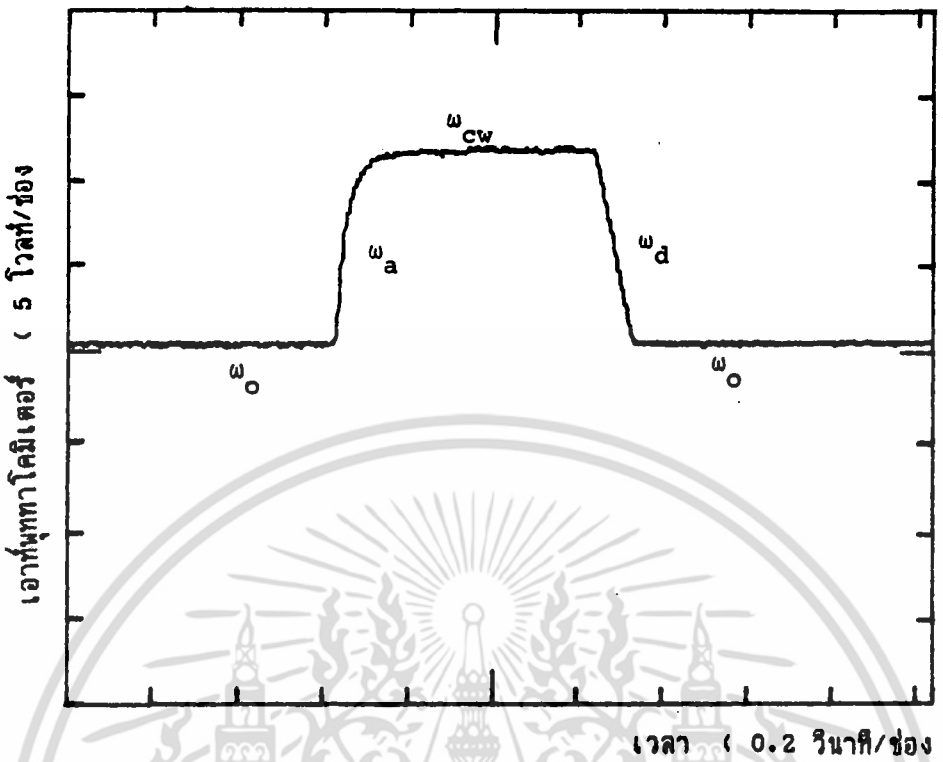
[2] B.C.Kuo and Jacob Tal, DC Motor and Control System, SRL Publishing Co.1978

[3] Lance A.Leventhal, Z-80 Assembly Language Subroutines, Drakelay University press.1982

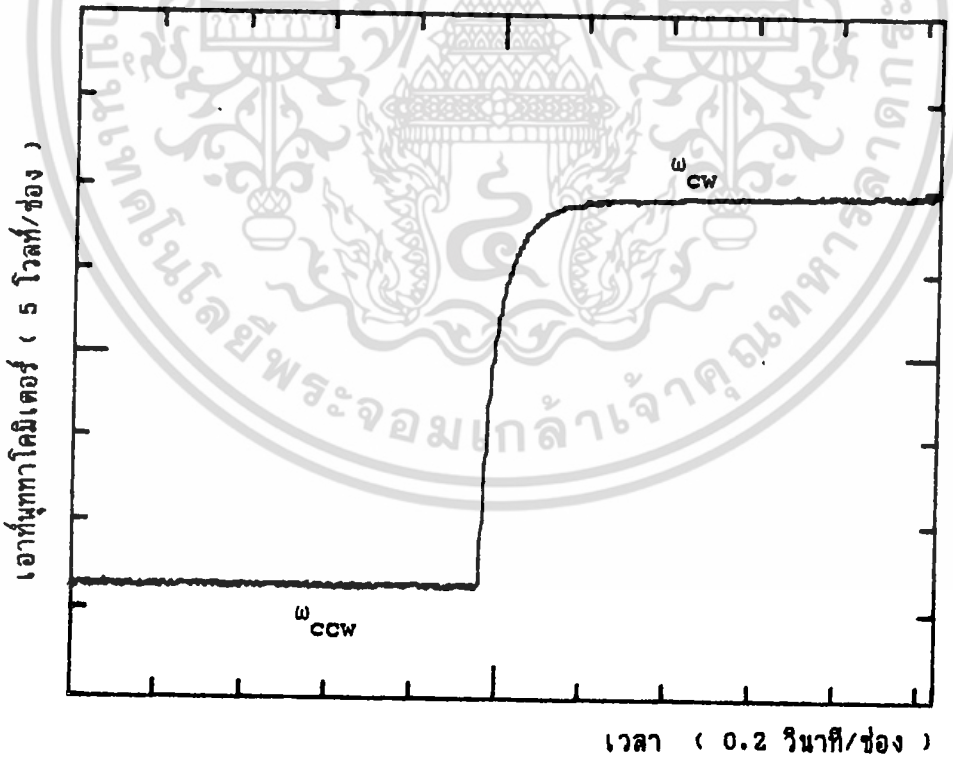
[4] James Bignell, Z-80 Microprocessor Technology, Delmar Publishs Inc.,1986

[5] Takashi Kenjo, Power Electronics for the Microprocessor Age, Oxford University press. 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

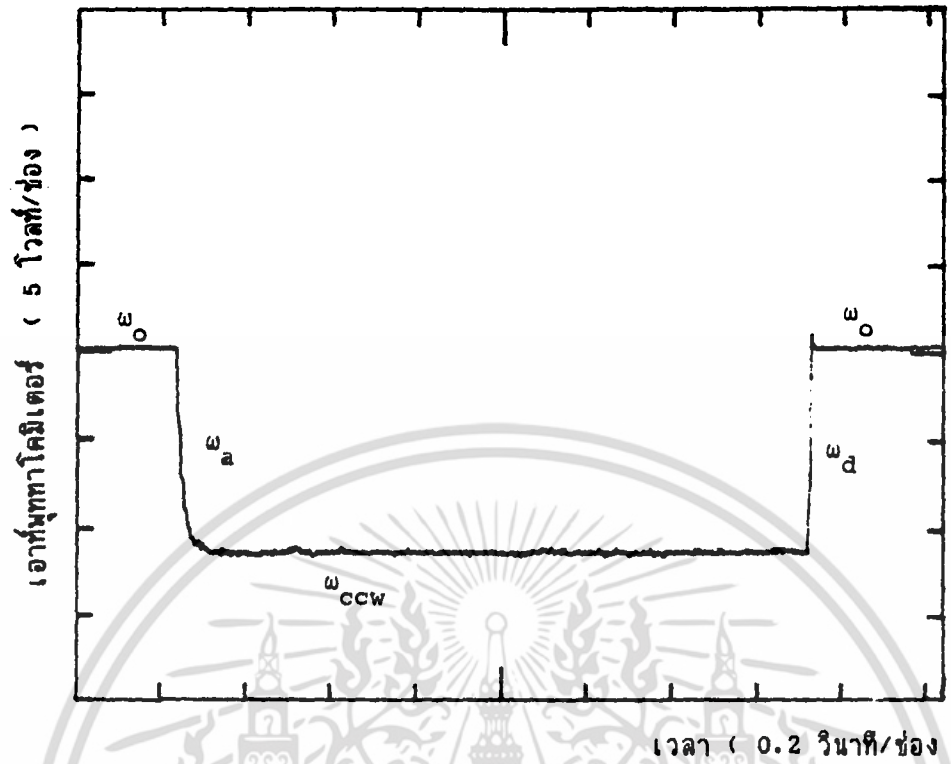


รูปที่ 3 แสดง velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วจากควอท์แรนท์ที่หนึ่งไปยังควอท์แรนท์ที่สอง

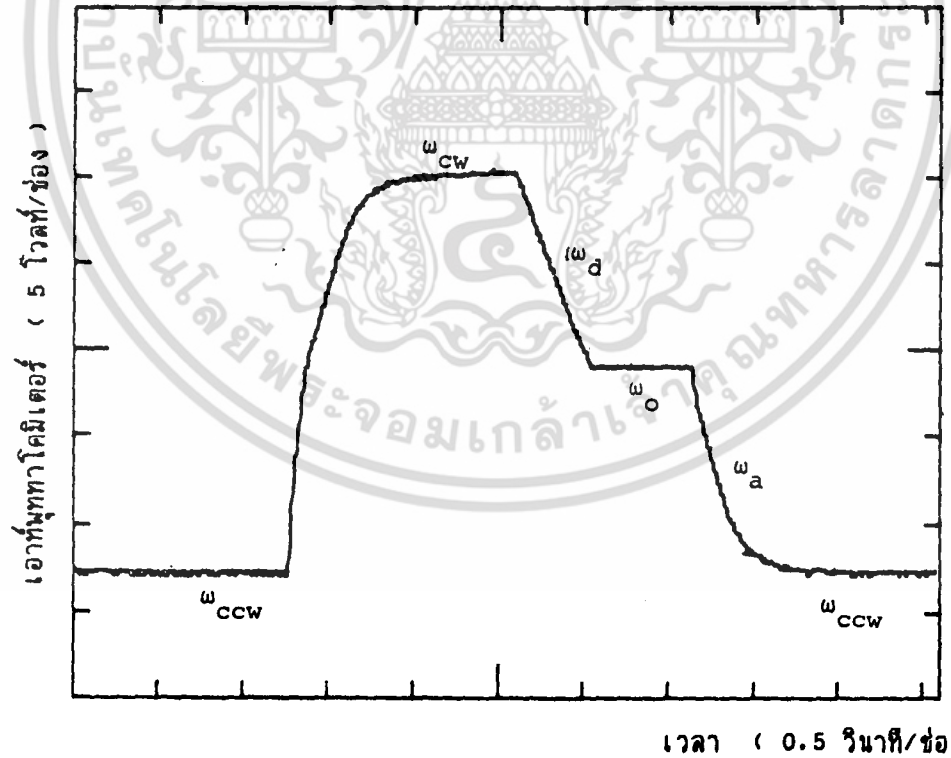


รูปที่ 4 แสดง velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วจากควอท์แรนท์ที่สามไปยังควอท์แรนท์ที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 แสดง velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วจากควอดแรนท์ที่สามไปยังควอดแรนท์ที่สี่



รูปที่ 6 แสดง velocity profile ในการควบคุมความเร็วให้เปลี่ยนไปได้ทั้ง 4 ควอดแรนท์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้