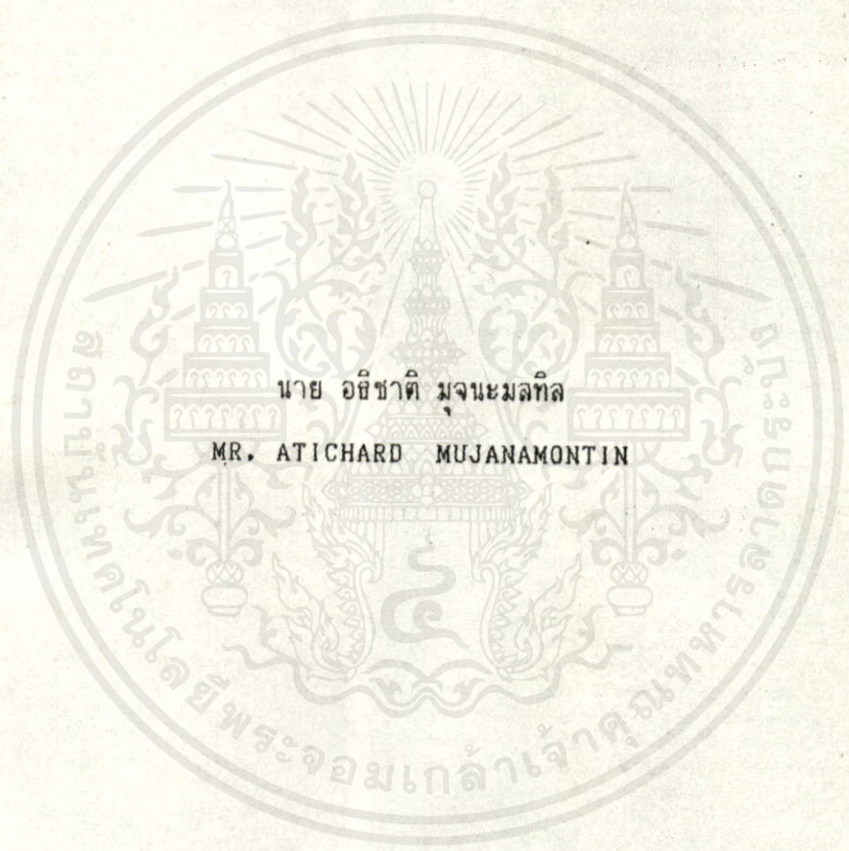


การออกแบบและสร้างตัวคอนโทรลเลอร์ด้วย up 8085 สำหรับระบบควบคุมตำแหน่ง
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROLLER BY up 8085 FOR POSITION CONTROL SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเมื่อ พ.ศ. 2535 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROLLER BY μ P 8085 FOR POSITION CONTROL SYSTEM



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

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 : ประมปราณีรัตน์

ระดับการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.

2536

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างตัวควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 เพื่อใช้ควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง การออกแบบตัวควบคุมกระทำด้วยเทคนิคของผลตอบสนองทางความถี่โบลโคอะแกรมเพื่อใช้เป็นพื้นฐาน สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมแบบ PID และ PD แล้วนำค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นมาใช้ในการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของตัวควบคุมแบบ PID และ PD และเพื่อเขียนแสดงนิยามของระบบ จากนั้นจึงสร้างตัวควบคุมดังกล่าวด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 และพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยภาษาแอสเซมบลีที่สามารถเลือกโหมดตัวควบคุมเป็น PID หรือ PD ได้ จากนั้นเราทำการปรับแต่งตัวควบคุมด้วยวิธีของไซเกอร์-นิโคลส์อีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ระบบทำงานได้ตั้งในสถานะมีโพลและไม่มีโพล

THESIS TITLE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF CONTROLLER
BY μ P 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 primary finding the appropriated 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 confirmed 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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 คุณสมบัติของดีซี เซอร์ โมเตอร์	(4)
2.1 บทนำ	(4)
2.2 การคำนวณคุณสมบัติสถิต	(5)
2.3 การแปลงค่าฟังก์ชันดีซีมอเตอร์จากวงจรทางไดนามิกส์	(12)
บทที่ 3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์	(19)
3.1 บทนำ	(19)
3.2 การวิเคราะห์หาตำแหน่งหยุดดีซีมอเตอร์	(19)
3.3 การวิเคราะห์หาตัวควบคุม	(23)
3.3.1 โหมดควบคุมปรีอพออร์ชั่นแนล	(24)
3.3.2 โหมดควบคุมอินติกรัล	(25)
3.3.3 โหมดควบคุมดิริเวทีฟ	(27)
3.3.4 โหมดในส่วนการควบคุมความเร็วมอเตอร์	(29)
3.3.5 โหมดในส่วนการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์	(30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอให้นำไปแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4	การวิเคราะห์หาส่วนเพาเวอร์แอมป์ลิไฟล์	(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	ตัวควบคุมปรีอพออร์ชันแนลอินทิเกรตตีฟ (PID)	(50)
3.9.3.2	ตัวควบคุมปรีอพออร์ชันแนลดีริเวทีฟ (PD)	(54)
บทที่ 4	ระบบชุดควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์	(59)
4.1	บทนำ	(59)
4.2	ส่วนประกอบของชุดควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์	(59)
4.3	การออกแบบวงจรการแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก	(60)
4.4	การออกแบบวงจรระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์	(61)
4.5	การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณความถี่	(62)
4.6	การออกแบบวงจรชุดขับเซอร์โวมอเตอร์	(65)
4.7	การออกแบบวงจรสวิตซ์ซิงเซอร์โวแอมป์ลิไฟล์	(67)
4.8	การออกแบบวงจรควบคุมทิศทาง การป้อนกลับ	(67)
4.8.1	ทิศทาง การป้อนกลับกระแสเซอร์โวมอเตอร์	(68)
4.8.2	ทิศทาง การป้อนกลับทาคูเจนเนอเรเตอร์	(68)
4.8.3	ทิศทาง การป้อนกลับพัลส์เจนเนอเรเตอร์	(70)
4.9	การออกแบบวงจรการวัดตำแหน่งมอเตอร์	(70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5	โปรแกรมชุดควบคุมการทำงาน	(73)
5.1	บทนำ	(73)
5.2	การออกแบบชุดควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ในส่วนของไมโครโปรเซสเซอร์	(76)
5.3	โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์	(76)
5.4	โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมทิศทางมอเตอร์	(77)
5.5	โปรแกรมการควบคุมภายในระบบร็อบพอร์ตชั้นไมโครทีลตรีเวทไฟ	(79)
5.5.1	โหมดร็อบพอร์ตชั้นนำ	(79)
5.5.2	โหมดอินทีกรัล	(82)
5.5.3	โหมดร็อบพอร์ตชั้นนำอินทีกรัล	(83)
5.5.4	โหมดตรีเวทไฟ	(83)
5.5.5	โหมดร็อบพอร์ตชั้นนำอินทีกรัลตรีเวทไฟ	(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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	วงจรมุมมูลย์ของดีซีมอเตอร์ในลักษณะสถิต	(5)
รูปที่ 2.2	วงจรมุมมูลย์สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไดนามิกส์	(13)
รูปที่ 2.3	ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับการแปลงฟังก์ชันมอเตอร์และวงจรไฟฟ้า	(16)
รูปที่ 2.4	ผลตอบสนองต่อแรงดันสเตปที่อัตราการดัมพ์ที่ค่าต่างๆ	(18)
รูปที่ 3.1	โปรไฟล์ความเร็วในการควบคุมตำแหน่ง	(20)
รูปที่ 3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ω อัตราการลดความเร็ว β ตำแหน่งค่าผิดพลาด α	(21)
รูปที่ 3.3	ตัวควบคุมโหมดร็อบฟอร์ซันัล	(24)
รูปที่ 3.4	การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบร็อบฟอร์ซันัล	(25)
รูปที่ 3.5	ตัวควบคุมโหมดอินติกรัล	(26)
รูปที่ 3.6	การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบอินติกรัล	(27)
รูปที่ 3.7	ตัวควบคุมโหมดดิริเวทิฟ	(28)
รูปที่ 3.8	การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบดิริเวทิฟ	(28)
รูปที่ 3.9	ตัวควบคุมโหมดร็อบฟอร์ซันัลอินติกรัล	(29)
รูปที่ 3.10	ผลตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วเมื่อตัวควบคุมเป็น PI	(30)
รูปที่ 3.11	ตัวควบคุมโหมดร็อบฟอร์ซันัลอินติกรัลดิริเวทิฟ	(31)
รูปที่ 3.12	ผลตอบสนองของระบบควบคุมตำแหน่งเมื่อตัวควบคุมเป็น PID	(31)
รูปที่ 3.13	สัญญาณการควบคุมรูปคลื่นพัลส์วีดมอดส์ในช่วงการสวิทช์	(32)
รูปที่ 3.14	วงจรมุมมูลย์ของดีซีเซอร์โวมอเตอร์	(33)
รูปที่ 3.15	บล็อกไดอะแกรมของลูปการป้อนกลับกระแส	(36)
รูปที่ 3.16	บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวเพื่อการควบคุมตำแหน่งหมุมอเตอร์	(38)
รูปที่ 3.17	บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยลูปการป้อนกลับของตำแหน่ง ลูปการป้อนกลับของความเร็วและลูปการป้อนกลับของกระแส	(41)
รูปที่ 3.18	โบลพล็อต (เกน) ของระบบจากสมการที่ 3.40	(44)
รูปที่ 3.19	โบลพล็อต (เฟส) ของระบบจากสมการที่ 3.40	(44)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

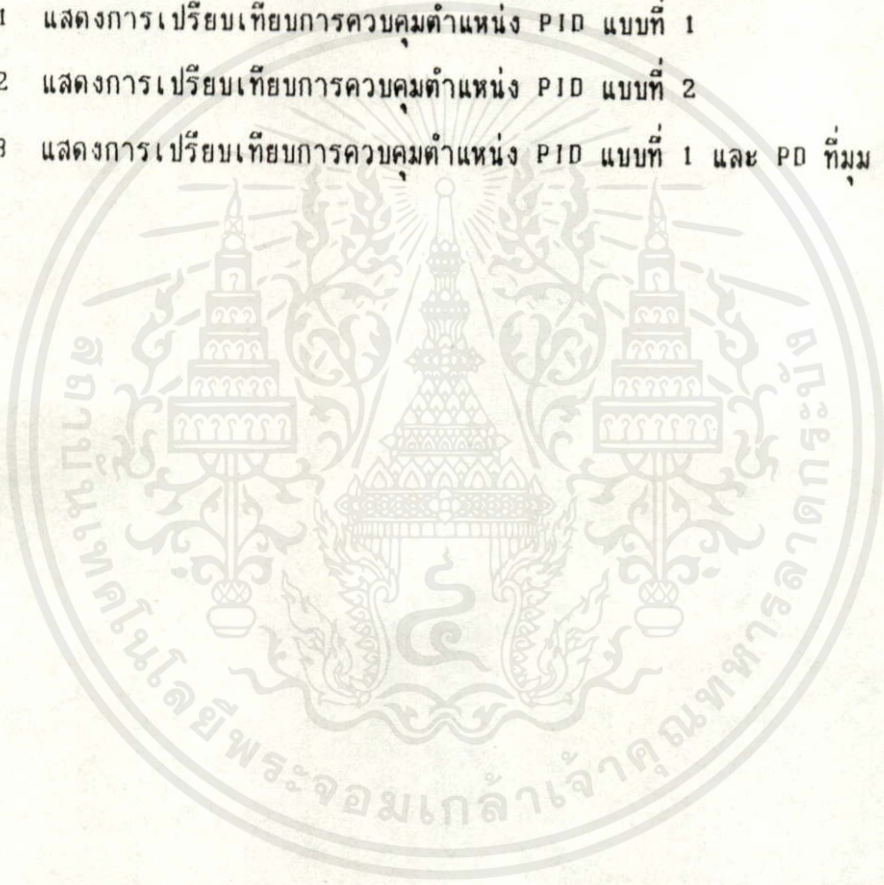
- รูปที่ 3.20 ผลตอบสนองการจำลองระบบภายในส่วนของมอเตอร์ จากสมการที่ 3.41 (45)
- รูปที่ 3.21 โบทพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.43 (48)
- รูปที่ 3.22 โบทพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.43 (48)
- รูปที่ 3.23 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์
ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.44 (49)
- รูปที่ 3.24 โบทพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.46 (52)
- รูปที่ 3.25 โบทพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.46 (52)
- รูปที่ 3.26 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์
ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.47 (54)
- รูปที่ 3.27 โบทพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.49 (56)
- รูปที่ 3.28 โบทพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.49 (56)
- รูปที่ 3.29 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์
ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.50 (58)
- รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งของดีซีมอเตอร์ซึ่งมี uP เป็นตัวควบคุม (60)
- รูปที่ 4.2 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกที่ให้เอาท์พุทเป็นได้ทั้งโวลต์ เตจบวกและลบ (61)
- รูปที่ 4.3 วงจรตัวควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์แบบ PI (63)
- รูปที่ 4.4 วงจรสร้างลูกคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อใช้สร้างสัญญาณ PWM (64)
- รูปที่ 4.5 วงจรชดเชยดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (66)
- รูปที่ 4.6 วงจรสวิตซ์ซิงเซอร์โวมอเตอร์ (67)
- รูปที่ 4.7 วงจรแรงดันการป้อนกลับทาโคเจนเนอเรเตอร์ (68)
- รูปที่ 4.8 วงจรการป้อนกลับทิศทางของกระแสดีซีมอเตอร์ (69)
- รูปที่ 4.9 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ (70)
- รูปที่ 4.10 วงจรวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ เมื่อมีสัญญาณอินพุทเป็นความถี่มาจาก
สัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ (72)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (72)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1	วงจรมอเตอร์โปรเซสเซอร์ที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PID และ PD	(74)
รูปที่ 5.2	โปรแกรมการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์	(77)
รูปที่ 5.3	โปรแกรมการควบคุมทิศทางมอเตอร์	(78)
รูปที่ 5.4	โปรแกรมการควบคุมตำแหน่งแบบป้อนพอร์ซันนัลอินติกรัลดิริเวทีฟ	(81)
รูปที่ 6.1	วงจรร่างสัญญาณการนับขั้วมัลติที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งมอเตอร์	(87)
รูปที่ 6.2	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_1 = 240^\circ$ ไม่ต่อโหลด $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$	(90)
รูปที่ 6.3	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_1 = 240^\circ$ ต่อโหลด Open $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$	(90)
รูปที่ 6.4	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_1 = 240^\circ$ ต่อโหลด Close $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$	(91)
รูปที่ 6.5	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 360^\circ$ ไม่ต่อโหลด $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$	(92)
รูปที่ 6.6	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 360^\circ$ ต่อโหลด Open $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$	(92)
รูปที่ 6.7	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 360^\circ$ ต่อโหลด Close $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$	(93)
รูปที่ 6.8	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_3 = 450^\circ$ ไม่ต่อโหลด $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$	(94)
รูปที่ 6.9	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_3 = 450^\circ$ ต่อโหลด Open $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$	(94)
รูปที่ 6.10	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_3 = 450^\circ$ ต่อโหลด Close $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$	(95)
รูปที่ 6.11	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_1 = 210^\circ$ ไม่ต่อโหลด $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$	(96)
รูปที่ 6.12	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_1 = 210^\circ$ ต่อโหลด Open $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$	(96)
รูปที่ 6.13	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_1 = 210^\circ$ ต่อโหลด Close $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$	(97)
รูปที่ 6.14	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 320^\circ$ ไม่ต่อโหลด $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$	(98)
รูปที่ 6.15	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 320^\circ$ ต่อโหลด Open $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$	(98)
รูปที่ 6.16	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 320^\circ$ ต่อโหลด Close $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$	(99)
รูปที่ 6.17	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_3 = 460^\circ$ ไม่ต่อโหลด $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$	(100)
รูปที่ 6.18	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_3 = 460^\circ$ ต่อโหลด Open $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$	(100)
รูปที่ 6.19	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_3 = 460^\circ$ ต่อโหลด Close $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$	(101)
รูปที่ 6.20	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_3 = 410^\circ$ ไม่ต่อโหลด $K_p = 125$ $K_d = 2.5$	(102)
รูปที่ 6.21	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_3 = 410^\circ$ ต่อโหลดแบบ Open $K_p = 125$ $K_d = 2.5$	(102)
รูปที่ 6.22	การควบคุมตำแหน่ง $\theta_3 = 410^\circ$ ต่อโหลด Close $K_p = 125$ $K_d = 2.5$	(103)

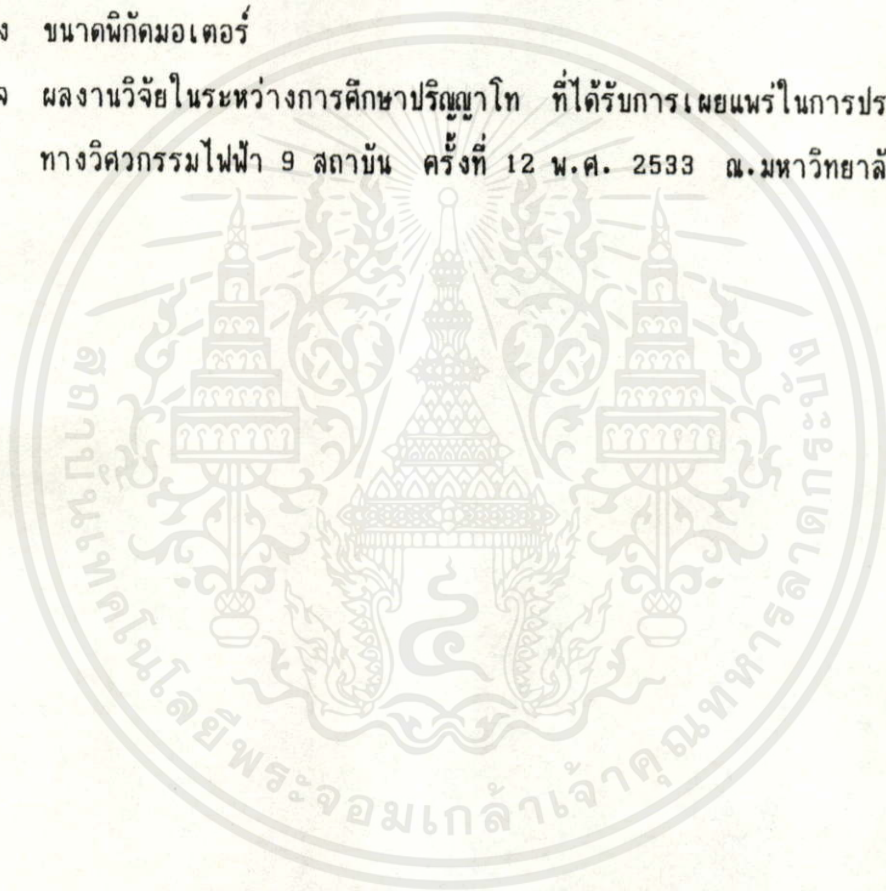
สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	สรุปผลลัพธ์ทางเพาเวอร์อินพุตและเอาต์พุต	(12)
ตารางที่ 2.2	ตารางตัวตามหาคอยล์และคาปาซิเตอร์	(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 ที่มี θ_u	(107)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ	(115)
เอกสารอ้างอิง	(116)
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเกนร็อบพอร์ตชั้นนัลอินเทกรัลติรีเวทีฟ	(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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

ปัจจุบันมอเตอร์กระแสตรงเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งในระบบขับเคลื่อนต่างๆ ในวงการอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างกว้างขวาง ส่วนมากดีซีมอเตอร์เป็นพลังงานกลที่สำคัญในระบบการควบคุมเกือบทุกชนิดในปัจจุบันจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ภายในรถยนต์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ หุ่นยนต์ เครื่องวัดคุมต่างๆ ตลอดจนถึงเครื่องจักรกลที่ทำงานโดยอัตโนมัติแทบทุกชนิด มากกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ไฟฟ้าที่ผลิตได้ในประเทศอุตสาหกรรมถูกนำไปใช้ให้กับระบบการขับเคลื่อนทางไฟฟ้า (Electrical drive) เพื่อแปลงเป็นพลังงานกล และเป็นที่นิยมในการใช้ระบบการขับเคลื่อนที่สามารถควบคุมได้ด้วยโพลิตทางกลที่แปรเปลี่ยนได้ ที่มีทั้งระบบการขับเคลื่อนที่เป็นทั้งดีซี และ เอซี อย่างไรก็ตามเพื่อศึกษาค้นคว้าและวิจัยทางด้านเทคโนโลยีระบบการขับเคลื่อนทางไฟฟ้า ในประเทศไทยยังมีอยู่น้อยไม่ว่าทั้งทางด้านเอซี หรือ ดีซีสำหรับระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบทำงานได้สี่ควอดแรนต์ โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้เลือกวิธีศึกษาวิจัยและทดลองสร้างระบบควบคุมตำแหน่งที่ใช้กับดีซีมอเตอร์ขนาด 20 V : 3.4 A : 68 W ที่ความเร็ว 3000 รอบ โดยเราจะกล่าวถึงระบบที่ส่วนควบคุมการทำงานทั้งเป็นแบบดิจิทัลและแบบอนาลอก และรวมทั้งโครงสร้างวงจรรีเล็กทรอนิกส์กำลังของระบบที่ใช้ในการวิจัยทดลองนี้ให้สมรรถนะความคล่องตัวที่ดี อีกทั้งระบบที่ยังมีความเหมาะสมพร้อมที่จะได้รับการพัฒนาใช้กับระบบควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ชนิดอื่นต่อไปได้โดยง่าย เช่นระบบเซอร์โวทั่ว ๆ ไป

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการอธิบายถึงวิธีการควบคุมดีซีมอเตอร์แบบต่างๆ ที่ใช้ในระบบควบคุมความเร็ว, ตำแหน่ง, แรงบิดของโพลิต และการนำมาประยุกต์ใช้งานต่างๆ ที่ได้รวบรวมขึ้นไม่ว่าจะเป็นไมโครโพลิต อื่นๆ ที่มีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่นำมาใช้ ทั้งในระบบควบคุมความเร็วและการควบคุมตำแหน่ง โดยการควบคุมแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีความหลากหลาย คือ การควบคุมแบบ PI, PD หรือ PID ก็เป็นอีกแบบหนึ่งที่มีการนิยมใช้กันอยู่อย่างกว้าง

ขวางในงานอุตสาหกรรมในวิทยานิพนธ์เล่มนี้เรามีการนำเสนอวิธีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ พร้อมทั้งในส่วนที่มีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่จะใช้ตัวควบคุมอนุโลกแบบ PI ร่วมกับส่วนขับเคลื่อนเป็นแบบ PWM เพื่อศึกษา

- 1) ศึกษาวิธีการออกแบบตัวควบคุมระบบการควบคุมความเร็วและตำแหน่งด้วยวิธีโบลโคโดยแกรม
- 2) ศึกษากระบวนการควบคุมความเร็วโดยวิธีการจำลองระบบเปรียบเทียบกับระบบจริง
- 3) ศึกษากระบวนการควบคุมตำแหน่งโดยวิธีการจำลองระบบเปรียบเทียบกับระบบจริง
- 4) ศึกษาตัวติจิตอลตัวควบคุมแบบ PD และ PID
- 5) เปรียบเทียบการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งเป็นตัวควบคุมเป็น PD และ PID
- 6) ศึกษาตัวอนุโลกตัวควบคุมแบบ PI

1.3 ขอบเขตรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในบทที่ 1 เป็นบทนำจะอธิบายถึงวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้และเนื้อหาคร่าว ๆ ของแต่ละบทในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ในบทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงคุณสมบัติของ เซอร์โวมอเตอร์ในเทอมลักษณะทางสแตติกและไดนามิกส์ โดยที่ลักษณะในทางสแตติกได้แสดงค่าในเทอมของทอร์ค ประสิทธิภาพ กระแส ฯลฯ ส่วนในลักษณะทางไดนามิกส์เป็นความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านี้ในทางปฏิบัติ พร้อมทั้งนำค่าเหล่านี้ที่ได้มาแปลงค่าฟังก์ชันจากการประมาณค่าของตัวแปรที่รวมเอาคุณสมบัติไดนามิกส์ และสุดท้ายเราจะดูปัญหาที่เกี่ยวข้องกับไหลคของมอเตอร์

ในบทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงระบบที่ใช้ในสมการคิฟเฟอร์เรลเซียล ในส่วนที่เป็นพื้นฐานภายในระบบการควบคุมทางคณิตศาสตร์ ทั้งในระบบควบคุมตำแหน่งและระบบ PID โดยในแต่ละระบบนั้นๆ จะถูกแยกนำมาพิจารณาทั้งในส่วนประกอบของปรีอปรอร์ชันนัลอินทิกรัล และในส่วนประกอบคิริเวทิฟโดยตอบสนองกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด จากนั้นเราจะนำเข้าไปสู่ในส่วนของการสมการของการคำนวณหาค่าทางสัญญาณ PWM อัตราการขยายเกนพร้อมทั้งค่าตัวแปรทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ที่เราจะนำค่าเหล่านี้เพื่อนำมาใช้ในการจำลองระบบที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ มาทำการจำลองทางซอฟต์แวร์จากโปรแกรมการซิมูเลท

ในบทที่ 4 บทนี้เราจะขอก้าวถึงส่วนผลการทดลองในส่วนการควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ ที่มี การพัฒนาการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PI ที่ใช้วงจรสัญญาณการควบคุมแบบ PWM คอนเวอร์เตอร์ (Pulse Width Modulation Converter) รวมทั้งในส่วนของการใช้สร้างวงจรคอมพาราเรเตอร์เตอร์ ที่จะนำเข้าไปสู่วงจรชุดขับเบสที่ใช้ในการสร้างชุดเซอร์โวแอมป์แบบ full-bridge ที่ใช้ควบคุมได้ ทั้งตำแหน่งและทิศทางแบบสี่ควอดแรนต์ รวมทั้งในวงจรที่มีการป้อนกลับทั้ง 3 ส่วน ทั้งในวงจรการ ป้อนกลับกระแส วงจรการป้อนกลับความเร็ว วงจรการป้อนกลับในส่วนของตำแหน่ง และในส่วนสุดท้าย จะเป็นการสร้างวงจรหาตำแหน่งมอเตอร์ โดยเรานำสัญญาณที่ได้จากส่วนของพัลส์เจนเนอเรเตอร์ ผ่านวงจรการนับเข้าสู่วงจร D/A ขนาด 16 บิตที่สร้างขึ้นมาเอง เป็นการวัดค่าที่ได้จากจากตำแหน่ง ต่างๆที่มอเตอร์หยุดในช่วงตำแหน่งต่างๆ ซึ่งความสำเร็จในการพัฒนาการควบคุมตำแหน่งนี้ขึ้นอยู่กับ การ ออกแบบซอฟต์แวร์ระบบ PID ที่เราใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการตั้งค่าเกณฑ์ จะให้ตำแหน่งหยุดได้ อย่างเที่ยงตรงและทิศทางของดีซีมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น (รายละเอียดจะขอก้าวไว้ใ้ในบทที่ 5)

ในบทที่ 5 เป็นการกล่าวถึงการออกแบบระบบไมโครโปรเซสเซอร์ มีประโยชน์มากในการพัฒนา ระบบต่างๆ ในบทนี้เราจะขอก้าวถึงคุณสมบัติของไมโครโปรเซสเซอร์ เรานำมาใช้ในการควบคุม ตำแหน่งดีซีมอเตอร์ภายในระบบ PID ที่มีความอ่อนตัวง่ายต่อการแก้ไขระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับทาง ด้านไมโครโปรเซสเซอร์โดยที่เราไม่ต้องไปยุ่งเกี่ยวกับระบบโครงสร้างภายในฮาร์ดแวร์แต่อย่างใด

บทที่ 6 เป็นการกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองจริง โดยเราจะมีการปรับค่าเกณฑ์ต่างๆ ภายในระบบที่ได้จากการทดลองจริง โดยเรานำสัญญาณที่ได้จากส่วนของพัลส์เจนเนอเรเตอร์ผ่านวงจรการนับ เข้าสู่วงจร D/A ขนาด 16 บิตที่สร้างขึ้นมาเอง เป็นการวัดค่าที่ได้จากจากตำแหน่งต่างๆที่มอเตอร์ หยุดในช่วงตำแหน่งต่างๆ

ส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นภาคผนวกอันประกอบด้วยขนาดพิกัดของมอเตอร์ที่ใช้ จาก นั้นก็เป็นทฤษฎีของการออกแบบซอฟต์แวร์ PID ที่ใช้ในการออกแบบนี้ และแสดงผลของซอฟต์แวร์ที่ใช้ทั้ง การควบคุมตำแหน่งแบบ PID และทิศทางของมอเตอร์

บทที่ 2

คุณสมบัติของดีซี เซอร์โวมอเตอร์

2.1 บทนำ

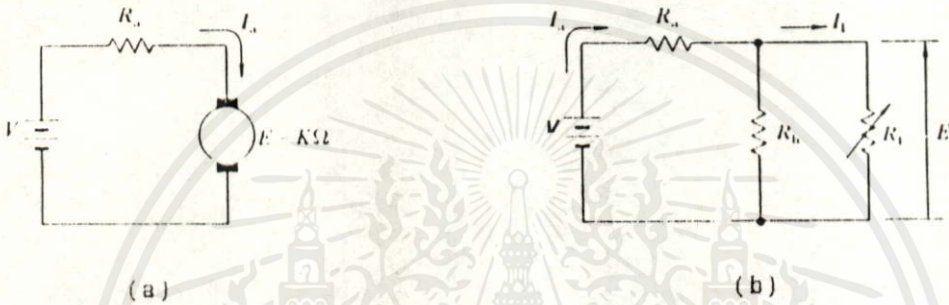
ปกติเซอร์โวมอเตอร์สามารถนำคุณสมบัตินำมาแสดงในเทอมลักษณะสแตติกและไดนามิกส์ ลักษณะในทางสแตติกได้แสดงค่าในเทอมของทอร์ก ประสิทธิภาพ กระแสฯ ส่วนในลักษณะทางไดนามิกส์เป็นความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเหล่านี้ในทางปฏิบัติ ในบทนี้ได้อธิบายวิธีสำหรับแก้ปัญหาลักษณะสแตติกโดยใช้วงจรสมมูลสำหรับดีซี เซอร์โวมอเตอร์ การประมาณค่าตามคุณสมบัติทางไดนามิกส์ของมอเตอร์ที่จะตอบสนองเพื่อทำให้เกิดค่าตามที่ต้องการ พิจารณาคุณสมบัติทางไดนามิกส์ที่มีผลต่อการแทนค่ามอเตอร์ที่ได้มาจากสมการวงจรมอเตอร์ จากนั้นนำค่าเหล่านี้ได้นำมาแปลงค่าฟังก์ชันรวมทั้งการประมาณค่าของตัวแปรที่รวมเอาคุณสมบัติไดนามิกส์ที่จะนำมาอธิบาย และสุดท้ายเราจะดูปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสมการโพลของมอเตอร์ การแปลงฟังก์ชันที่นำมาใช้ตามค่าคุณลักษณะของมอเตอร์เป็นการประยุกต์ ในส่วนของผลลัพธ์ที่มีเงื่อนไขต่อการแปลงอย่างรวดเร็วในส่วนนี้จะเริ่มอธิบายแนวคิดของการแปลงฟังก์ชันและ เมื่ออธิบายในรายละเอียดการแปลงฟังก์ชันของมอเตอร์

ระบบเซอร์โวที่ใช้งานสำหรับการควบคุมตำแหน่งหมุนของเพลาดีซีมอเตอร์ ซึ่งอาจนำไปใช้งานสำหรับการควบคุมตำแหน่งแขนของหุ่นยนต์ก็ได้ ระบบเซอร์โวที่ได้อธิบายต่อไปนี้มีโคอะแกรมเป็นระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่ง อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบและอุปกรณ์ควบคุมทอร์ก รวมถึงการวิเคราะห์ระบบเซอร์โวที่ใช้ในการควบคุมเครื่องจักรกลที่นำไปขับโหลดให้มีการเคลื่อนไหว ในลักษณะทางไดนามิกส์ของตำแหน่งความเร็วรอบและแรงบิด(ทอร์ก) ระบบเซอร์โวจะต้องตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอินพุต $r(t)$ ต่อการเปลี่ยนแปลงของโพลมอเตอร์ ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบเซอร์โวโดยทั่วไป จะต้องพิจารณาคุณสมบัติการทำงานของระบบอยู่ 2 ประการ คือ คุณสมบัติทางไดนามิกส์และคุณสมบัติสแตติก (คงที่) ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ร่วมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 2.2 การคำนวณคุณสมบัติทางสแตติก
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของระบบ เมื่อผลตอบสนองของระบบเข้าสู่สถานะคงที่ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของค่าผิดพลาดที่

สถานะคงที่หรือความแตกต่างระหว่างตัวแปรอินพุต $r(t)$ และตัวแปรเอาต์พุต $c(t)$ เมื่อเวลาเข้าใกล้อนันต์หมายความว่าถึงความเที่ยงตรงของระบบ โดยที่แฟคเตอร์ที่เป็นตัวกำหนดค่าผิดพลาดที่สถานะคงที่ได้แก่อัตราขยายของลูปเมื่อมีค่าสูงค่าผิดพลาดมีค่าน้อย (ระบบมีความเที่ยงตรงที่ดี) ค่าปานกลางค่าผิดพลาดมีค่าปานกลาง (ระบบมีความเที่ยงตรงพอใช้ได้) แต่ถ้าค่าค่าผิดพลาดมีค่ามาก (ระบบมีความเที่ยงตรงไม่ดี)



<p>(a)</p> <p>เพาเวอร์อินพุต = $V I_s$</p> <p>เพาเวอร์เอาต์พุต = $I_s E$</p> <p>การสูญเสียเพาเวอร์ในแผ่นทองแดง = $I_s^2 R_s$</p> <p>การสูญเสียเพาเวอร์ในส่วนอื่น = ตัดทิ้ง</p>	<p>(b)</p> <p>เพาเวอร์อินพุต = $V I_s$</p> <p>เพาเวอร์เอาต์พุต = $I_L^2 R_L = I_L E$</p> <p>การสูญเสียเพาเวอร์ในแผ่นทองแดง = $I_s^2 R_s$</p> <p>การสูญเสียเพาเวอร์ในส่วนอื่น = E^2 / R_n</p>
---	--

รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลของดีซีมอเตอร์ในลักษณะสแตติก

ในลักษณะสแตติกของดีซีมอเตอร์สามารถนำมาคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล และตัวแปรที่ได้รับโดยการประมาณค่าที่นำมาแสดงเป็นพื้นฐานการกำหนดค่าคงที่ M

$$M = \sqrt{\frac{(R_s + R_n)}{R_n}} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และล้อเลียนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เราควรจะนุสนงูสมการ (2.1) เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เมื่อนำไหลลงมาประยุกต์ใช้กับความเร็ว กระแสที่ได้โดย

$$I_{\bullet} = \frac{(V - E)}{R_{\bullet}} = \frac{(V - K\Omega)}{R_{\bullet}} \quad (2.2)$$

K เป็นค่าคงที่มอเตอร์ที่แตกต่างกันในมอเตอร์แต่ละตัว

ดังนั้นกระแสที่ไม่มีไหลคือเป็น

$$I_{\circ} = \frac{(V - K\Omega_{\circ})}{R_{\bullet}} \quad (2.3)$$

จากสมการ (2.2) และ (2.3) นำมาลบกันเราจะได้รับ

$$I_{\bullet} - I_{\circ} = K * \left[\frac{(\Omega_{\circ} - \Omega)}{R_{\bullet}} \right] \quad (2.4)$$

ดังนั้นเรานำมาจัดสมการเสียใหม่

$$\frac{\Delta I}{\Delta \Omega} = \frac{I_{\bullet} - I_{\circ}}{\Omega_{\circ} - \Omega} = \frac{K}{R_{\bullet}} \quad (2.5)$$

ดังนั้น $R = \infty$ ที่กระแสที่ไม่มีไหลตามความสัมพันธ์

$$(\text{กระแสที่ไม่มีไหล}) I_{\circ} = \frac{V}{(R_{\bullet} + R_n)} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดัน E_{\circ} นั้นปรากฏว่า R_n เป็น

$$E_o = R_n I_o = V * \left(\frac{R_n}{(R_m + R_n)} \right) \quad (2.7)$$

ดังนั้นความเร็วไม่มีโหลต η_o เป็น

$$\eta_o = \frac{E_o}{K} = \frac{V}{K} * \left(\frac{R_n}{(R_m + R_n)} \right) \quad (2.8)$$

ดังนั้น

$$\frac{\eta_o}{I_o} = \frac{R_n}{K} \quad (2.9)$$

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

$$M = \sqrt{\left[\begin{matrix} (\eta_o) (\Delta I) \\ (I_o) (\Delta \eta) \end{matrix} + 1 \right]} \quad (2.10)$$

สำหรับประสิทธิภาพสูงสุด โดยแสดงตามสมการวงจรถัวไปเราสามารถได้รับตามสมการ

$$(\text{การสูญเสีย}) = \frac{(V - E)^2 + E^2}{R_m} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(\text{เพาเวอร์เอาต์พุต}) = (\text{back e.m.f. x กระแสอินพุท} - \text{การสูญเสียเพาเวอร์ใน } R_n)$$

$$= E * \left[\frac{(V - E)}{R_n} \right] - \frac{E^2}{R_n} \quad (2.12)$$

(เพาเวอร์อินพุต) = (การสูญเสีย + เพาเวอร์เอาต์พุต)

(แรงดันที่ใส่สายแรงดันมอเตอร์ x กระแสอินพุต)

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

ตั้งนิยามผลลัพธ์ η เป็นเพาเวอร์เอาต์พุตต่อเพาเวอร์อินพุต

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{เพาเวอร์เอาต์พุต}}{\text{เพาเวอร์อินพุต}} = \frac{E(V - E) - \left(\frac{E^2}{R_n} \right) * \left(\frac{R_n}{V(V - E)} \right)}{V * \left[\frac{V - E}{R_n} \right]} \\ &= \frac{E - \left(\frac{R_n}{V} \right) * \left(\frac{E^2}{V(V - E)} \right)}{V - \left(\frac{R_n}{V} \right) * \left(\frac{E^2}{V(V - E)} \right)} \end{aligned} \quad (2.14)$$

พบว่าค่าสูงสุดเรตติฟิเคชัน η กับส่วนของ E มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\frac{\partial \eta}{\partial E} = 1 * \left[\left[\left(1 - \frac{R_n}{V} \right) * \left(\frac{2EV - E^2}{(V - E)^2} \right) \right] - \left(\frac{R_n}{V} \right) * \left(\frac{2E}{V - E} \right) \right] = 0 \quad (2.15)$$

จากสมการ (2.15) จัดเข้าสู่สมการควอดราติกส์ในเทอมของ E เราได้รับตามค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งชื่อเจ้าของเอกสารทุกฉบับ (2.16) ให้นำไปใช้

$$\left(1 + \frac{R_n}{V} \right) * E^2 - 2V \left(1 + \frac{R_n}{V} \right) * E + \left(\frac{R_n}{V} \right) * V^2 = 0$$

โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ (2.1) คำนี้นำมาแปลงกับสมการ E ตามค่า

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

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

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

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

ดังนั้นแรงดัน V เป็นค่าที่มากกว่า E* เป็นเครื่องจักรกลกระแสตรงเป็นประสิทธิภาพสูงสุดมอเตอร์

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

เข้าแทนที่สมการ (2.19) เข้าไปในสมการ (2.14) เราจะได้รับ

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

แต่จากสมการ(2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

แทนค่านี้เข้าไปในสมการที่ (2.20) สังเกตค่านี้ทั้งหมดของตัวแปร ด้านบนที่ได้แสดงการประมาณค่าประสิทธิภาพสูงสุดหรืออัตราส่วนของเพาเวอร์เอาต์พุตแมคคาณิกส์กับเพาเวอร์ทางไฟฟ้าอินพุตในเทอมของ M ค่านี้ได้โดย

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

กระแสที่จุดนี้นำมาคำนวณโดยใช้ $I_m = \frac{(V - E)}{R_m}$ ของสมการ (2.2)

$$\frac{I^*}{I_0} = \frac{(V - E^*)/R_m}{(V - E_0)/R_0} = \frac{V - E^*}{V - E_0} \quad (2.23)$$

จากสมการ (2.1) และ (2.7)

$$E_0 = \frac{V(R_m/R_m)}{(R_m/R_m) + 1} = \frac{(M^2 - 1) * V}{M^2} \quad (2.24)$$

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

$$\frac{I^*}{I_0} = \frac{1 - (M - 1)/M}{1 - (M^2 - 1)/M^2} = M \quad (2.25)$$

ดังนั้นสมการ (2.26) นำค่าที่ได้เมื่อมอเตอร์จัดการกับผลลัพธ์กระแสสูงสุดและความเร็วที่ได้โดยตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ล่าดับ
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{(กระแสที่ประสิทธิภาพสูงสุด) } I^* = MI_0 \quad (2.26)$$

การหมุนความเร็วที่ประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้รับตามค่าตามสมการ เมื่อเราเริ่มต้นจากตามค่าความสัมพันธ์

$$\frac{\Omega^*}{\Omega_0} = \frac{E^*}{E_0} \tag{2.27}$$

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

$$\text{(ความเร็วที่จุดนี้) } \Omega^* = \left[\frac{V(M-1)/M}{V(M^2-1)/M} \right] * \Omega_0 = \left[\frac{M}{M+1} \right] * \Omega_0 \tag{2.28}$$

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

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

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

$$T = \left[\frac{VM I_0}{\Omega_0} \frac{(M-1)}{(M+1)} * \frac{(M+1)}{M} \right]$$

$$T = \frac{(M-1)VI_0}{\Omega_0} \tag{2.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 สรุปผลลัพธ์ทางเพาเวอร์อินพุตและเอาท์พุต

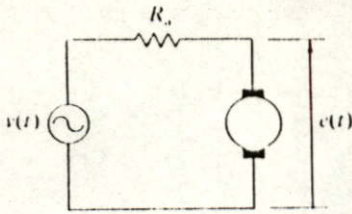
สัมประสิทธิ์ M	$\sqrt{(\rho_o / I_o) (\Delta I / \Delta \rho) + 1}$
ประสิทธิภาพสูงสุด η_{max}	$(M - 1) / (M + 1)$
ค่าต่อไปนี้คำนวณได้ที่ประสิทธิภาพสูงสุด	
กระแส I^*	MI_o
อัตราความเร็วในการหมุน n^*	$(M / (M + 1))$
เพาเวอร์อินพุต P_{in}^*	MVI_o
เพาเวอร์เอาท์พุต P_{out}^*	$(M(M - 1) / (M + 1)) * VI_o$
ทอร์ค T^*	$(M - 1)VI_o / \rho_o (Nm)$

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

I_o = กระแสไม่มีโหลด

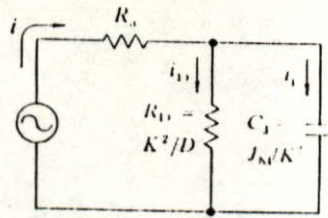
2.3 การแปลงค่าฟังก์ชันดีซีมอเตอร์จากวงจรทางไดนามิกส์ (2)

แผนคเตอร์ที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติไดนามิกส์ของระบบดีซีเซอร์โวมอเตอร์ ได้แก่ อัตราขยายลูปจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบไซเกิลลดลง ค่าปานกลางจะเป็นผลให้ตอบสนองของระบบลดลงเป็นวิกฤตต่ำจะเป็นผลให้ตอบสนองของระบบลดลงอย่างช้าๆ ในส่วนของอัตราขยายของลูปป้อนกลับค่าสูงจะเป็นผลให้ตอบสนองของระบบลดลงอย่างช้าๆ ความเร็วค่าปานกลางจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นวิกฤต และถ้าค่าต่ำมากๆ จะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นไซเกิลในส่วนของฟริคชั่นและแรงเฉื่อย ค่าที่สูงๆ จะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงอย่างช้าๆ ค่าปานกลางจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นวิกฤต ส่วนในค่าที่ต่ำๆจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นไซเกิล ในส่วนสุดท้ายเราจะกล่าวถึงผลการป้อนกลับทอร์คจะทำให้ผลตอบสนองของระบบเป็นอิสระต่อโหลดทอร์ค



(a)

สมการสมมูลสถิตินำมาต่ออนุกรมของตัวต้านทานอาร์เมเจอร์ R_a และค่า back emf จากอาร์เมเจอร์

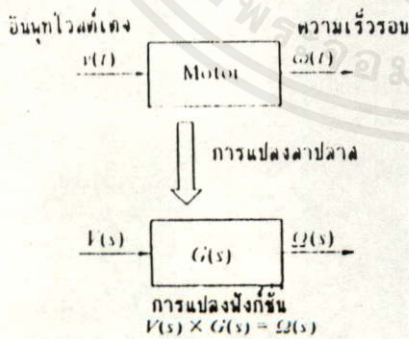


(b)

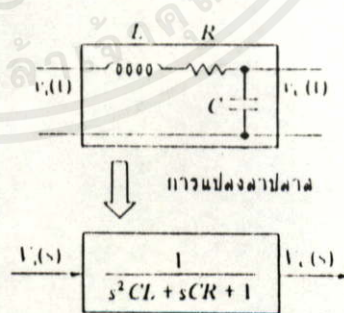
วงจรสมมูลไดนามิกที่นำเอาความเฉื่อยโรเตอร์เข้ามาพิจารณา

รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไดนามิกส์

การแปลงฟังก์ชันนำมากำหนดอัตราส่วนของการเปลี่ยนรูปลาปลาซของสัญญาณเอาต์พุตของสัญญาณอินพุตกับค่าที่นำมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมตัวแปร จากนี้การควบคุมตัวแปรที่แสดงกับมอเตอร์โดยมากกำหนดให้ได้เหมาะสมกับแสดงค่ามอเตอร์ไฟฟ้าโดยสมการวงจรในรูป 2.3 (b) มอเตอร์นำมาเปรียบเทียบกับวงจร R-L-C จากมอเตอร์สัญญาณอินพุตเป็น $v_i(t)$ และสัญญาณเอาต์พุตเป็นส่วนคล่อมแรงดันคาปาซิเตอร์ $v_c(t)$



(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 มอเตอร์ วงจรทางไฟฟ้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวกับการแปลงฟังก์ชันมอเตอร์และวงจรไฟฟ้า

เราต้องรู้ว่าสัญญาณเอาท์พุทการเปลี่ยนแปลงเวลาตามเงื่อนไขสัญญาณอินพุท อย่างไรก็ตามมีหลายวิธีที่นำมาคำนวณในเทอมของเวลา t ที่ซับซ้อน และดังนั้นฟังก์ชันของ t โดยทั่วไปจะแปลงรูปเข้าไปในฟังก์ชันของตัวแปรเชิงซ้อน s การแปลงลาปลาซจากสมการแรงดันสำหรับวงจรในรูป 2.3(b) จะได้รับตามวงจร

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

จะรู้ได้ตามค่าสมการที่ได้รับหลังจากขนาดทั้งสองของด้านบนที่นำมาแปลงลาปลาซ

$$\begin{aligned} v(s) &= sLI(s) + RI(s) + \frac{1}{s(C_M + C_L)} I(s) \\ &= \left[sL + R + \frac{1}{s(C_M + C_L)} \right] * I(s) \end{aligned} \quad (2.31)$$

$v_L(s)$ เป็นการแปลงลาปลาซของ $v(t)$

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยอัตโนมัติจากโปรแกรมแปลงเอกสาร และยังคงความไม่ถูกต้องทั้งในแง่ของเนื้อหาและรูปแบบการนำเสนอเอกสารฉบับนี้ไว้เพื่อให้
 คำของอิมพีแดนซ์ตั้งนั้นในค่าโดยทั่วไปอิมพีแดนซ์ที่แสดงในเทอมของการเปลี่ยนรูปลาปลาซ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุท v_L และแรงดันคาปาซิเตอร์ v_C โดยการเปลี่ยนรูปลาปลาซ $v_C(s)$ ต้องเริ่มต้นนำมาคำนวณตามค่า

$$V_c(s) = \frac{\text{อิมพีแดนซ์คาปาซิเตอร์} \times \text{แรงดันอินพุท}}{\text{อิมพีแดนซ์ทั้งหมด}} \quad (2.33)$$

ค่านั้นเป็น

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

ตาราง 2.2 ตารางของตัวต้านทานคอยล์และคาปาซิเตอร์

(1) อิมพีแดนซ์ในเทอมของการเปลี่ยนรูปลาปลาซ (2) อิมพีแดนซ์ AC และ (3) อิมพีแดนซ์ DC

	สัญลักษ์	ความหมาย	หน่วยระบบ SI
ตัวแปร	$i(t), I(s), I$	กระแส	A
	$m(t), T(s), T$	ทอร์ค	Nm
	$\omega(t), (\omega),$	ความเร็วในการหมุน	rads ⁻¹
	t	เวลา	s
	$v(t), V(s), V$	แรงดันขั้วไฟฟ้า	V
	$e(t), E(s), E$	back e.m.f. จากขดลวดไดนาโม หรือความเร็วคูณด้วย K	V
ผลลัพธ์	s	d/dt	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.34) นำมาแปลงฟังก์ชันจะกลายเป็น

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

ในส่วนบนนำมาแสดงเป็นอันดับที่สองกับส่วนของ s และจำนวนเต็มที่เรียกว่าการแปลงฟังก์ชันอันดับที่สอง วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์จะรู้ได้ที่จะง่ายต่อการคำนวณการแปลงฟังก์ชันของมอเตอร์ ในวงจรสมมูลย์รูป 2.3 (b) การหมุนความเร็วของมอเตอร์เป็นแรงดันคาพาซิเตอร์ ถูกแยกออกโดยค่าคงที่มอเตอร์ K ดังนั้นการแปลงฟังก์ชันของมอเตอร์ $G(s)$ ที่ได้โดยการคำนวณตามรูปแบบที่ใช้การแปลงลาปลาซอิมพีแดนซ์

$$G(s) = \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุน}}{\text{การเปลี่ยนแปลงในส่วนหัวของแรงดัน}} = \frac{\text{แรงดันคาพาซิเตอร์}/K}{\text{แรงดันที่หัว}} \quad (2.36)$$

เมื่อเราได้รายละเอียดกับการแปลงฟังก์ชันมีการนำส่วนเริ่มต้นของความเร็วมอเตอร์เข้าไปคำนวณค่าที่ได้จริงของความเร็วไม่นำมาพิจารณา เฉพาะการเปลี่ยนแปลงในส่วนที่นำมาพิจารณาในการแปลงฟังก์ชันเมื่ออินตักเต้นซ์ของอาร์เมอร์เจอร์ถูกนำเข้าไปคำนวณ วงจรสมมูลย์แสดงในรูปที่ 2.3 (b) ดังนั้นจากสมการ (2.33) และ (2.36) เราสามารถนำเข้าไปในกรณีนี้การแปลงฟังก์ชันของอันดับที่สอง

$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{\left(\frac{K^2}{s(J_M + J_L)} \right) \left(\frac{1}{K} \right)}{R_M + sL_M + \frac{K^2}{s(J_M + J_L)}} \quad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและตัวอย่างของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่านี้สามารถนำมาเขียนได้ใหม่เช่น

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

$$\omega_n \text{ (ความถี่เชิงมุม)} = \frac{1}{\sqrt{\tau_E \tau_M}} \quad (2.39)$$

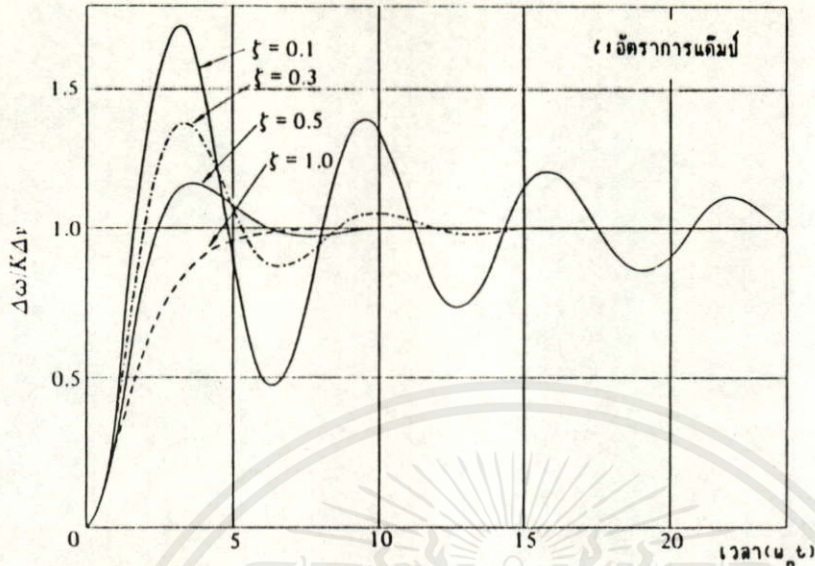
$$\zeta \text{ (อัตราการแด้มพ์)} = \sqrt{\tau_M / \tau_E} \quad (2.40)$$

$$\tau_E \text{ (ค่าเวลาคงที่ทางไฟฟ้า)} = \frac{L}{R} \quad (2.41)$$

$$\tau_M \text{ (ค่าเวลาคงที่ทางแมคคานิกส์)} = \frac{(J_M + J_L) R}{K^2} \quad (2.42)$$

รูปที่ 2.4 แสดงค่าอัตราส่วนแด้มพ์ ζ มีผลต่อคุณสมบัติที่มีผลต่อความเร็วสำหรับสแตปแรงดันมาประยุกต์ใช้กับค่าแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ผลตอบสนองต่อแรงดันสแต็ปที่อัตราการดัมพ์ที่ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์ทฤษฎีการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์

3.1 บทนำ

ในส่วนของการควบคุมที่นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรม มีในส่วนที่เป็นพื้นฐานที่ทำให้เกิดความเข้าใจในระบบการควบคุม ในระบบของส่วนประกอบนั้นๆซึ่งในแต่ละส่วนถูกแยกนำมาพิจารณาในแต่ละส่วนที่ประกอบด้วย ส่วนแรกเราจะนำเสนอการวิเคราะห์หาตัวคอนโทรลเลอร์ที่ประกอบด้วยส่วนของปรีออปพอร์ตชันนัลตรงกันกับในส่วนของคุณค่าผิดพลาด ซึ่งมีไว้สำหรับลดลงในระบบที่เกิดขึ้นตามคาบเวลา ในส่วนของอินทิกรัลที่ตรงกันกับในส่วนของคุณค่าผิดพลาดโดยมีการเพิ่มขึ้นในส่วนที่ต่ำกว่าพื้นที่ส่วนโค้งค่าผิดพลาดอินทิกรัล ในส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงจนค่าผิดพลาดเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นศูนย์มักจะมีระบบโอเวอร์ชูทและเวลาสภาวะคงที่ ในส่วนประกอบดิริเวทีฟจะมีการเพิ่มขึ้นที่ค่าผิดพลาดโดยตอบสนองกับอัตราการเปลี่ยนแปลง ค่าผิดพลาดในส่วนนี้ค่าโอเวอร์ชูทและเวลาสภาวะคงที่ลดลงที่เวลาเดียวกัน ต่อไปเราจะนำมากล่าวถึงในส่วนของการวิเคราะห์ส่วนของเพาเวอร์แอมป์ลิไฟ์ซึ่งในส่วนนี้เราจะใช้ในลักษณะของวงจรมอเตอร์ดีซี รวมถึงการวิเคราะห์ส่วนของดีซี เซอร์โวมอเตอร์ทั้งวงจรถ่ายใช้ในการวัดความเร็วรอบ การป้อนกลับกระแส เพื่อที่จะนำระบบที่ตั้งได้กล่าวมาแล้วนำมาวิเคราะห์หาการควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ที่สมบูรณ์ในส่วนของการจำลองต่อไป

3.2 การวิเคราะห์หาตำแหน่งหยุดดีซีมอเตอร์

ถ้าที่มีการป้อนกลับของเซอร์โวมอเตอร์ภายในระบบดีซีมอเตอร์ กำลังบิดที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับกระแส i_u และแสดงได้โดยสมการที่ (3.1)

$$T = K_u i_u \tag{3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งผู้ใช้นี้ได้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K_u = ค่าแรงบิดคงที่ของมอเตอร์

i_u = กระแสของมอเตอร์

i_n = กระแสของมอเตอร์

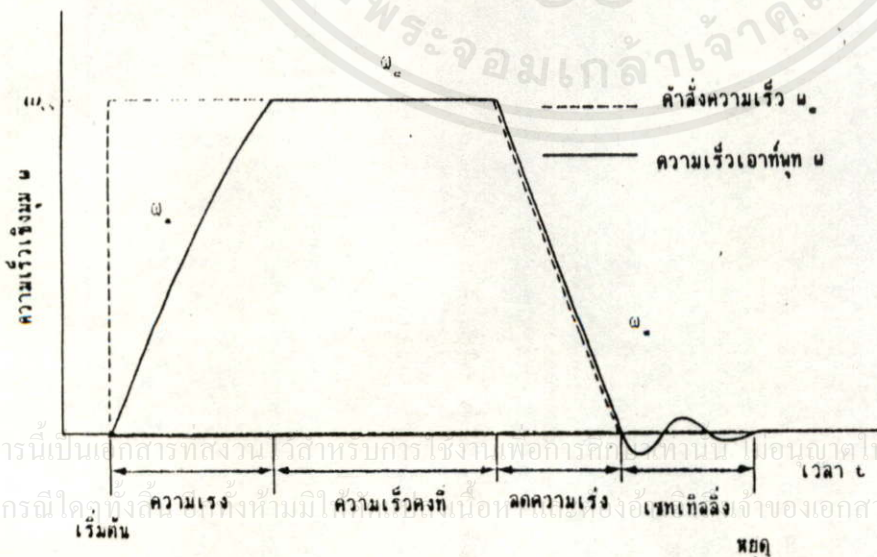
มอเตอร์ป้อนกลับให้โรเตอร์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังบิด T มาใช้กับโรเตอร์และความเร็วในการหมุน ω ที่ได้จากสมการไดนามิกส์

$$(J_n + J_L) \frac{d\omega}{dt} + D\omega = T_n \tag{3.2}$$

- J_n = เป็นโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์
- J_L = เป็นโมเมนต์แรงเฉื่อยของโหลด
- D = เป็นค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานของแรงฝืดวิสคอส
- T_n = เป็นกำลังบิดที่เกิดขึ้นโดยมอเตอร์

จากสมการที่ (3.2) การควบคุมความเร็ว ω ในการออกตัวหรือหยุดมอเตอร์เราต้องควบคุมกำลังบิด T และเราพิจารณาในรายละเอียดดังต่อไปนี้

การออกตัว โดยการเพิ่มความเร่งของมอเตอร์จะออกตัวด้วยกำลังบิดคงที่ T ซึ่งจะเกิดขึ้นที่รับกระแสสูงสุด เราจะหาความสัมพันธ์ของความเร็วได้จากสมการที่ (3.2)



รูปที่ 3.1 โปรไฟล์ความเร็วในการควบคุมตำแหน่ง

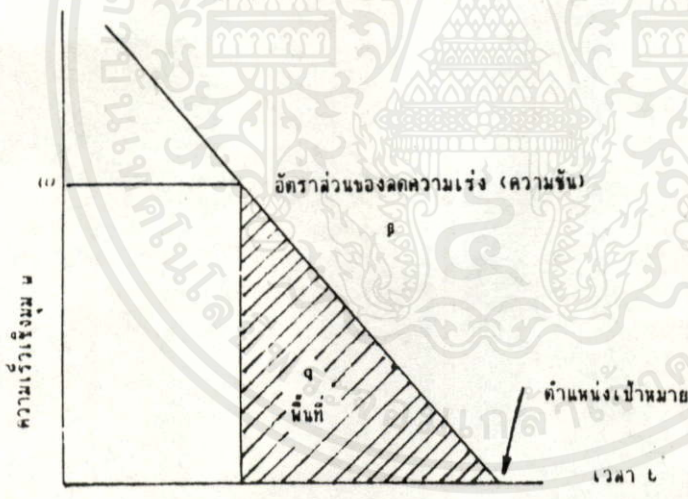
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่เพื่อการค้าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

ในการประยุกต์ใช้งานทั่วไป แรงบิดในช่วงที่ความเร็วคงที่จะมีค่าน้อยมาก การหยุด ในการหยุดมอเตอร์โดยการลดความเร็วของมอเตอร์ด้วยการกลับกระแสตรงกันข้ามกับค่ากำลังบิด ที่เป็นค่าลบของมอเตอร์ก็จะลดความเร็วลงจากสมการไดนามิกส์ เราสามารถแสดงผล



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ω อัตราการลดความเร็ว β ตำแหน่งค่าผิดพลาด q

ในส่วนที่สัมพันธ์กัน เรานำมาใช้ค่าที่เหมาะสมจากสมการที่ (3.2) เราสามารถหาอัตราการลดความเร็วที่ได้มาจากการหยุดตามตำแหน่งตามช่วงของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สำหรับกระแสไฟฟ้าตามอัตราการลดความเร็ว เราสามารถนำมาประมาณค่าสำหรับเก็บไว้เป็นตัวพา
เวอร์ไตซ์ที่ใช้ในเซอร์โวแอมป์ลิไฟลิ่งจะไม่มีผลทำให้แม่เหล็กที่ใช้ในมอเตอร์ลดลง ดังนั้นเมื่อโรเตอร์
ถูกนำมาลดความเร็ว อัตราการหมุนความเร็ว ω ในช่วงระยะเวลาในการหยุด $(t - t_0)$

$$\omega = (t - t_0)\beta \tag{3.6}$$

t = เวลาในการกำหนดตำแหน่งหยุด

t_0 = เวลาในช่วงเริ่มต้น

จากสมการด้านบนถ้าเราลดความเร็ว ตามอัตราการหมุนความเร็ว ω เพื่อที่จะหาระยะการกำหนด
ตำแหน่งตามสมการ

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

จากสมการที่ (3.7) เราจะได้ระยะการกำหนดตำแหน่งในช่วงเวลาระหว่าง $(t-t_0)$ ที่มีการลด
ความเร็ว β จนกระทั่งมอเตอร์หยุดนิ่ง เราสามารถหาค่าความเร็วคงที่ของมอเตอร์ในเทอมของการ
การลดความเร็วและระยะเวลาในการกำหนดตำแหน่ง $(t-t_0)$ ได้ตามสมการ

$$\omega = (2q\beta)^{1/2} \tag{3.8}$$

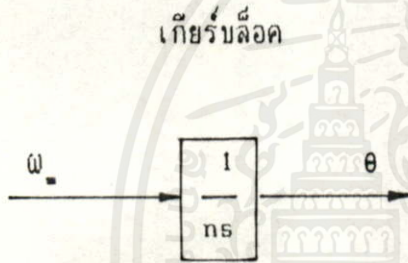
q = ค่าผิดพลาด (ระยะทางกับตำแหน่งที่กำหนดกับตำแหน่งกระแสในจำนวนสเกลโดยการนับ
พัลส์จากพัลส์เจนเนอเรเตอร์)

β = อัตราการลดความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ปรับปรุงเนื้อหา และต้องอันติสิทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ในส่วนของการควบคุมตำแหน่งคือมอเตอร์ เราใช้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตำแหน่งโรเตอร์ θ และใน
ส่วนของความเร็วคงที่ ω ที่ได้จากสมการที่ (3.8) เราจะหาตำแหน่งของมอเตอร์ได้เป็น

$$\theta = \frac{1}{n} \int \omega dt \quad (3.9)$$

จากสมการที่ (3.9) สามารถเขียนบล็อกโคจรแกรมของเกียร์ล้อคที่กำหนดค่าความเร็วเพลมอเตอร์ด้วยอัตราส่วนคงที่ ดังนั้นเกียร์ล้อคทำหน้าที่เหมือนกับการอินทิเกรตความเร็วรอบทำการอินทิเกรตโดยการควบคุมความเร็ว ω กับเวลาของมุมในการหมุนมอเตอร์



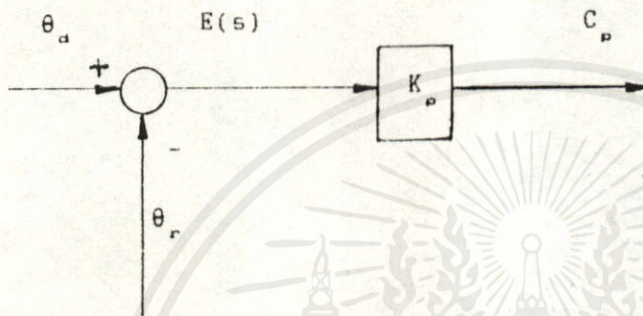
สำหรับการควบคุมตำแหน่งโรเตอร์ θ โดยการควบคุมความเร็วคงที่ ω และจากสมการที่ (3.9) เราสามารถนำมาหาเส้นทางที่กำหนดการเคลื่อนที่ตำแหน่งมอเตอร์ในส่วนที่กำหนดคั้งกับแนวเส้นทางตำแหน่งที่มอเตอร์เคลื่อนที่ได้จริงโดยมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

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

3.3 การวิเคราะห์หาตัวควบคุม

ตัวควบคุมที่ใช้ในระบบเซอร์โวนี้เป็นตัวควบคุมที่ใช้ทั้งในระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ ที่ถูกออกแบบจากวงจรรอนาลอกแบบปรีอพออร์ชั่นแนลอินทิกรัล และตัวควบคุมที่ใช้ในระบบที่ควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ไม่ว่ากรณีใดก็ตามอีกทั้งจุดนี้ที่คิดค้นขึ้นก่อนและยังอ้างถึงอีกในหัวข้อการวิเคราะห์หาตัวควบคุมแบบโดยวงจรรคจืดตอลที่ สร้างขึ้นจากช้อนแควร์แบบปรีอพออร์ชั่นแนลอินทิกรัลคิริเวทไฟ โดยเราจะให้สัญญาณเอาท์พุท $E(s)$ เป็นสัดส่วนสัญญาณค่าผิดพลาดแสดงได้สมการที่ (3.10)

3.3.1 โหมดควบคุมปรีอพออร์ชั่นนัล ^{๓๖} เป็นระบบควบคุมที่ทำงานในโหมดเอาท์พุทของตัวควบคุมปรีอพออร์ชั่นนัล ตามค่าผิดพลาดของมันเองถ้าค่าผิดพลาดมากค่าการป้อนกลับในโหมดเอาท์พุทจะมีค่ามาก แต่ถ้าค่าผิดพลาดมีค่าน้อยมากค่าการป้อนกลับในโหมดเอาท์พุทจะมีค่าน้อยในความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่เรียกว่าเกนปรีอพออร์ชั่นนัลในระบบสมการ



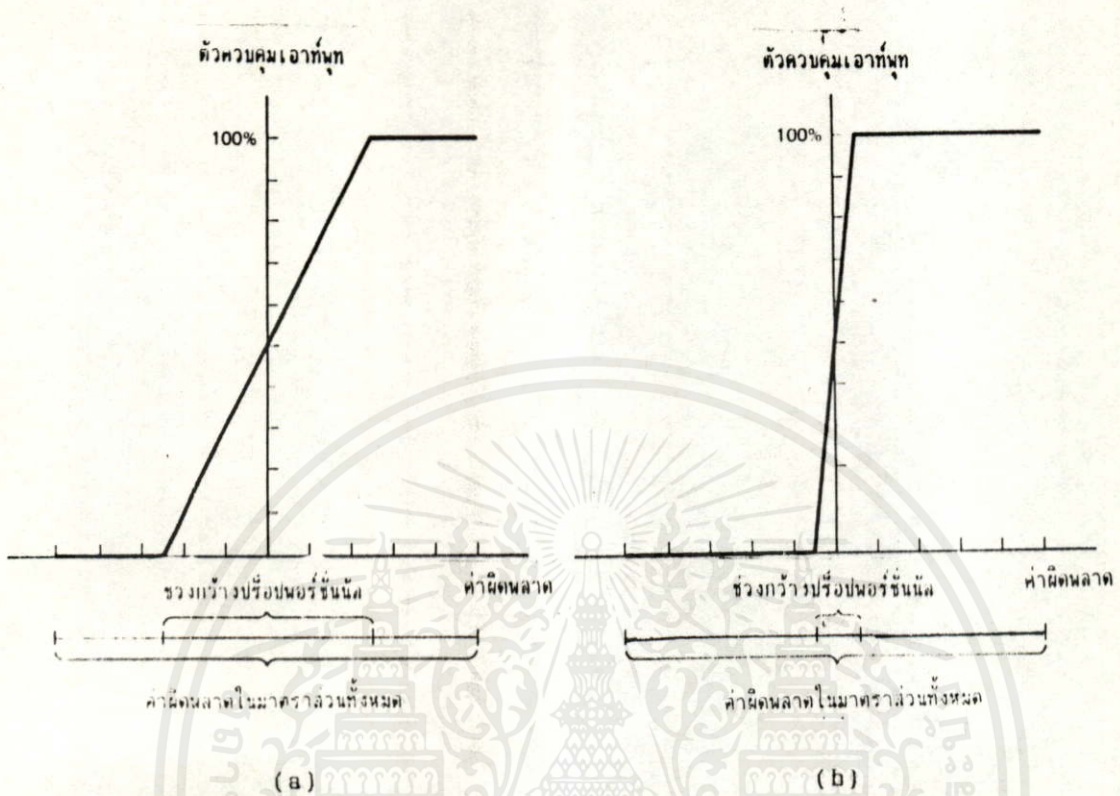
รูปที่ 3.3 ตัวควบคุมโหมดปรีอพออร์ชั่นนัล

จากสมการที่ (3.10) เราสามารถนำสัญญาณค่าผิดพลาดที่ได้นำมาแทนค่าลงไปเพื่อที่นำมาหาโหมดการควบคุมปรีอพออร์ชั่นนัลดังรูปที่ 3.3 ได้ตามสมการ

$$C_p = K_p E(s) \tag{3.11}$$

- C_p = เอาท์พุทตัวควบคุมของปรีอพออร์ชั่นนัล
- K_p = เกนของตัวควบคุมแบบปรีอพออร์ชั่นนัล
- $E(s)$ = ค่าผิดพลาดในตำแหน่งมอเตอร์

ค่าออปเซ็คผิดพลาดตามค่าตัวแปรทรานเซียน กรณิการควบคุมตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงตามค่า c ตามค่าสมการโหมดปรีอพออร์ชั่นนัลในรูปแบบปรีอพออร์ชั่นนัล ตัวควบคุมระบบของการตอบสนองง่าย ๆ โดยการคูณค่าผิดพลาดของระบบกับค่าคงที่ K_p ของระบบการแปลงฟังก์ชันที่ได้โดยระบบความถี่ธรรมชาติที่ไม่ได้พิมพ์ (ω) มีค่าเพิ่มขึ้นขณะเดียวกันอัตราส่วนระบบการแคว้มพ์ (δ) จะมีค่าลดลงพร้อมกับการเพิ่มขึ้นในเกนปรีอพออร์ชั่นนัลระบบความเร็วที่เพิ่มขึ้นมักจะเกิดการโอเวอร์ชูท



รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบปรีอพออร์ชันนัล

3.3.2 โหมดควบคุมอินติกรัล^{๓๖} เป็นการใช้ในระบบควบคุมบนสัญญาณของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการควบคุมตัวแปรที่เรียกว่าการรีเซ็ต ภายในโหมดปรีอพออร์ชันนัลนั้นนำค่าผิดพลาดมากำหนดการป้อนกลับ พร้อมทั้งนำส่วนค่าคงที่ภายในโหมดอินติกรัลกำหนดการป้อนกลับในส่วนการอินติกรัลค่าผิดพลาด ดังนั้นเป็นไปได้ค่าผิดพลาดอาจจะเป็นศูนย์ที่ค่าคงที่บางค่า เป็นผลให้ตัวควบคุมการป้อนกลับไปเลือกค่าผิดพลาดในการดำเนินการจากสมการที่ (3.10)

$$C_i = K_i \int E(s) dt + C(0) \quad (3.12)$$

C_i = เอาท์พุทตัวควบคุมของอินติกรัล

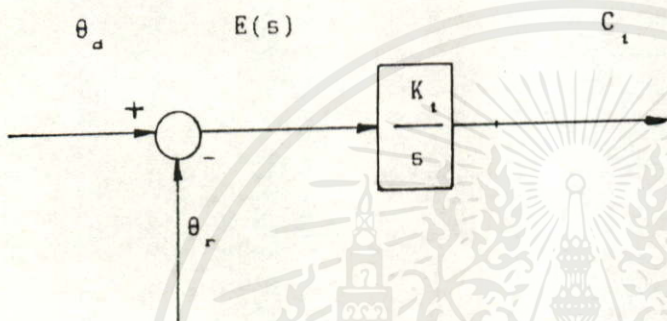
K_i = เกนของตัวควบคุมแบบเกนอินติกรัล

$E(s)$ = ค่าผิดพลาดในตำแหน่งมอเตอร์

$C(0)$ = ค่าเอาท์พุทผิดพลาดศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

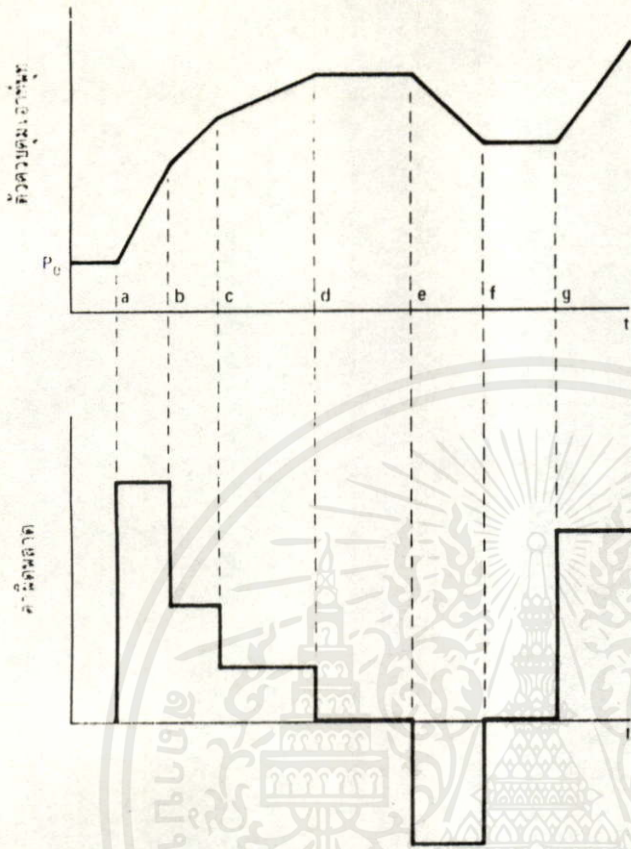
การทำการรีเซ็ตในล้นที่ทำการอินทิกรัลจัดการกับตัวควบคุมเอาต์พุต เป็นค่าฟังก์ชันในเชิงของค่าผิดพลาด ดังนั้นค่าของตัวควบคุมเอาต์พุตกับค่าผิดพลาดศูนย์ขึ้นอยู่กับบนเนื้อหาของค่าผิดพลาดในความหมายนี้ โหมดอินทิกรัลสามารถจัดการสำหรับการรีเซ็ตแบบอัตโนมัติของตัวควบคุมเอาต์พุตค่าผิดพลาดศูนย์ คำวนการเปลี่ยนแปลงดำเนินการเปลี่ยนแปลงโพลการรีเซ็ตที่เลือกมาเนื้อหาของออปเซ็ทค่าผิดพลาดเมื่อใช้เฉพาะโหมดปรีอพอร์ชันนัล



รูปที่ 3.5 ตัวควบคุมโหมดอินทิกรัล

ระบบการตอบสนองอินทิกรัลที่ได้รับในรูปที่ 3.5 รูปแบบของการตอบสนองที่มีการเพิ่มขึ้นในพื้นที่ส่วนโค้งค่าผิดพลาด สำหรับรูปแบบการควบคุมต่อไปจงรณามาคุณได้อีกโดยค่าคงที่เกน K_t การแปลงระบบฟังก์ชันที่ได้โดยปรากฏว่าระบบของเรามีการเพิ่มค่าขึ้นหนึ่งอันดับโดยการกำหนดตามการตอบสนองกับระบบของเราถ้าเรากำหนดให้ระบบแสดงได้ว่าเป็นจำนวนเดียวกัน ถ้าในส่วนกรณีการเพิ่มค่า K_t ค่าของ a ต้องนำมาเพิ่มขึ้นได้อีกถ้าเราดูที่ระบบเราจะแสดงการแต้มน้ต่ำๆ และจะเกิดกรณีที่เสถียรภาพเราสามารถลดการควบคุมอินทิกรัลจากการเลื่อนตำแหน่งโอเวอร์ชูท เช่น การควบคุมดริเวทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล

3.3.3 โหมดควบคุมตรีเวทไฟ การพิจารณาในตัวควบคุมผลบนพื้นฐานอัตราการเปลี่ยนแปลงเวลา มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของค่าผิดพลาด ตามสมการที่ (3.10)

$$C_d = K_d \int dE(s) dt \tag{3.13}$$

C_d = เอาต์พุตตัวควบคุมของตรีเวทไฟ

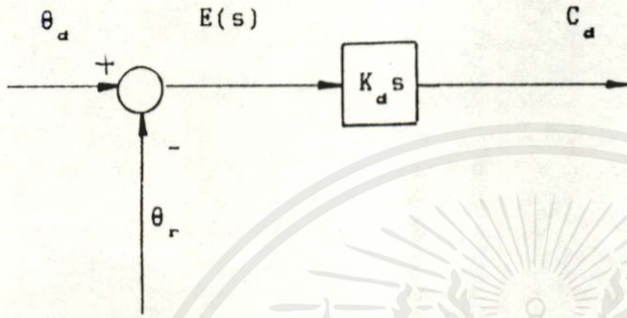
K_d = เกนของตัวควบคุมแบบเกนตรีเวทไฟ

$E(s)$ = ค่าผิดพลาดในตำแหน่งมอเตอร์

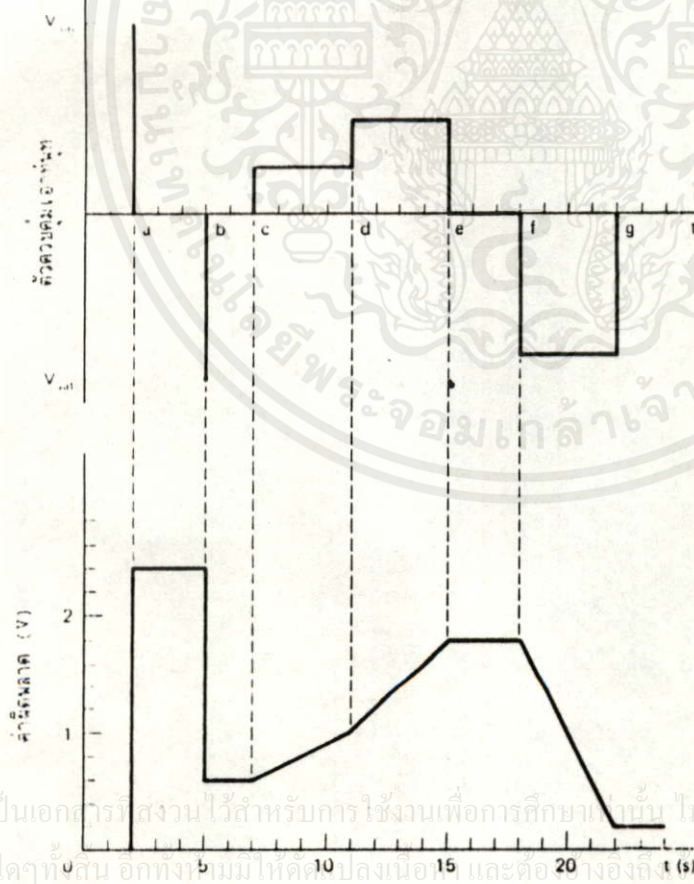
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ในการดำเนินการรวบรวมโครงสร้างการควบคุมที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดนำมาคูณค่าเกน K_d ที่มี
ผลต่อไปในการควบคุมระบบการแปลงฟังก์ชันที่ได้โดย การควบคุมระบบการแปลงฟังก์ชันเราสามารถ

ตรวจสอบระบบความถี่ธรรมชาติที่ไม่แด้มพ์ (ω_n) เช่นเดียวกับระบบความถี่ธรรมชาติที่ไม่แด้มพ์ (ω_n) ที่มี การเพิ่มอัตราการแด้มพ์ (ω_n) โดยการเพิ่มเกนคิริเวทึฟ (K_d) แสดงว่ามีเรอามีการควบคุมระบบ โอเวอร์ชุตต่อการควบคุมคิริเวทึฟ โดยที่การควบคุมในส่วนนี้มีผลต่อการรบกวนได้เร็วมาก



รูปที่ 3.7 ตัวควบคุมโหมคิริเวทึฟ



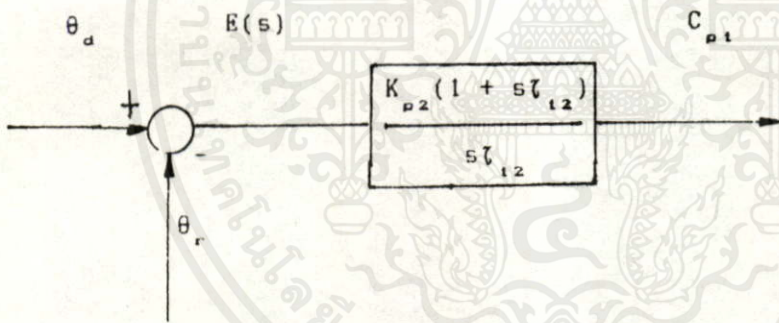
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดลอกและต่อ 10 และต่อ 20 องศาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบคิริเวทึฟ

3.3.4 โหมดในส่วนการควบคุมความเร็วมอเตอร์ ในส่วนการควบคุมความเร็วที่เราใช้ในการ วิทยานิพนธ์นี้ เราสร้างขึ้นจากวงจรถอนาลอกแบบปรีอพอร์ชั้นนำอินติกรัลที่ทำหน้าที่เป็นตัวคอนโทรลเลอร์ โดยนำรวมระหว่างระบบควบคุมแบบตัวควบคุมปรีอพอร์ชั้นนำอินติกรัล ที่เราสามารถดูได้

$$C_{p1} = \frac{K_{p2}(1 + \tau_{12})}{s\tau_{12}} \quad (3.14)$$

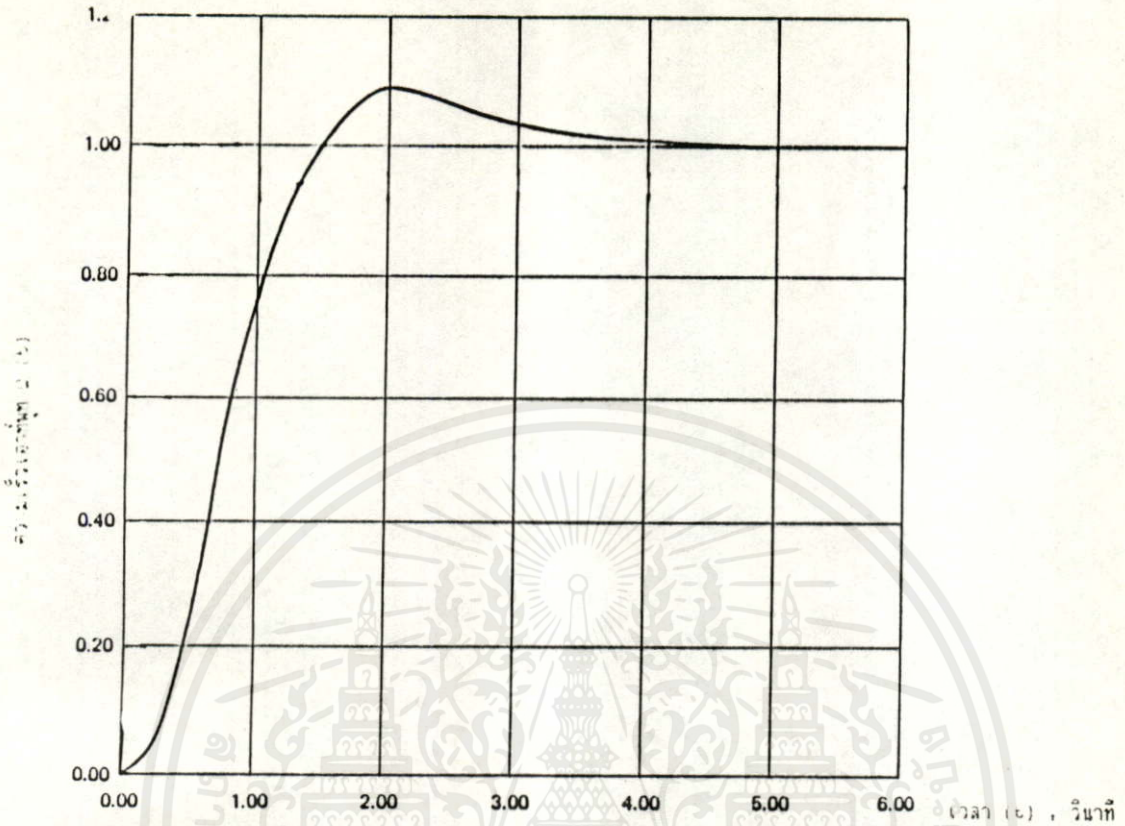
จากสมการที่ (3.14) เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมได้ดังนี้เมื่อ K_{p2} คือปรีอพอร์ ชั้นนำและ $K_{p2}/s\tau_{12}$ คือส่วนของอินติกรัลหรืออัตราขยายของตัวควบคุมและจากส่วนของสัญญาณค่าผิดพลาดที่มีการป้อนกลับจากส่วนสัญญาณเทาคูแอมเพอเรเตอร์ ที่เราสามารถสร้างขึ้นได้จากบล็อกไดอะ แกรมด้านล่างเราเขียนทำให้ง่ายขึ้นอีกดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตัวควบคุมโหมดปรีอพอร์ชั้นนำอินติกรัล

ภายในระบบเกนปรีอพอร์ชั้นนำอินติกรัล เป็นการตอบสนองต่อรูปแบบที่นำมาแสดงในรูปแบบที่นำมา เติมไว้ก่อนหน้านี้ ในการควบคุมจากองค์ประกอบในแต่ละโหมดการตอบสนองต่อตัวควบคุมที่นำค่าเกน แต่ละส่วนของปรีอพอร์ชั้นนำอินติกรัลนำมารวมกันภายในระบบควบคุมความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

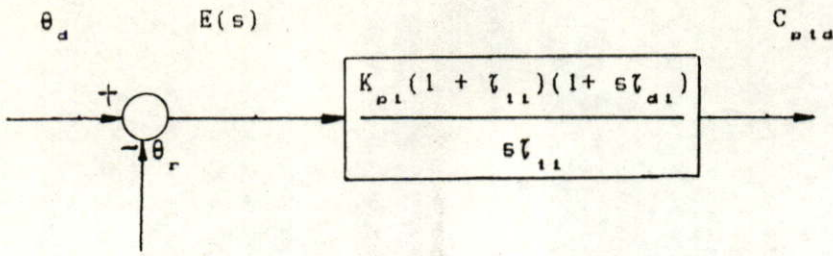


รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองของระบบควบคุมความเร็วเมื่อตัวควบคุมเป็น PI

3.3.5 โหมดในส่วนการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ ในส่วนนี้เราจะใช้ส่วนดิจิทัลเป็นตัวออกแบบตำแหน่งที่มอเตอร์ได้หยุดลงตามส่วนตัวควบคุม สร้างขึ้นจากการควบคุมร็อบฟอร์ซันส์อินทิเกรเตอร์ ดิริเวทีฟ โดยการรวมกันระหว่างระบบควบคุมแบบการควบคุมร็อบฟอร์ซันส์อินทิเกรตลและดิริเวทีฟเข้าด้วยกัน โดยคู่ได้จากสมการที่ (3.15)

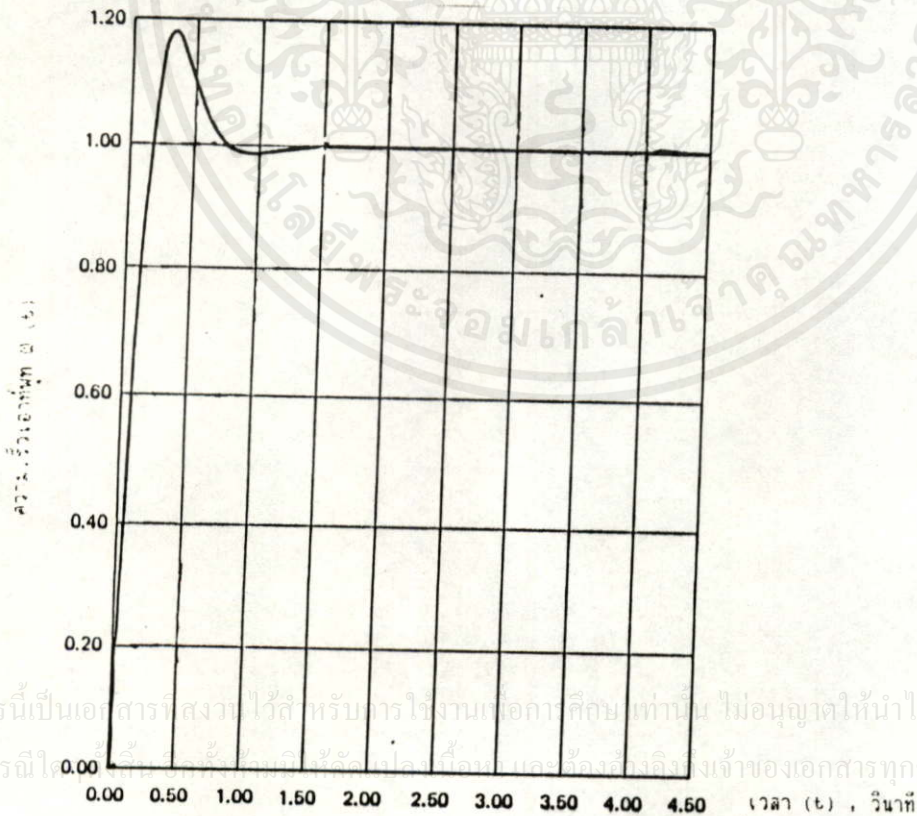
$$C_{p, d} = \frac{K_{p, i} (1 + sT_{i, 1})(1 + sT_{d, 1})}{sT_{i, 1}} \quad (3.15)$$

จากสมการที่ (3.15) เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมได้ดังนี้ เมื่อ $K_{p, i}$ คือร็อบฟอร์ซันส์ $K_{i, 1}$ คือส่วนของอินทิเกรตล $K_{d, 1}$ คือส่วนของดิริเวทีฟหรืออัตราขยายของตัวควบคุมและจากส่วนไม่มีการดีไดรทังคิน อีกทั้งผู้มีให้คัลคูลิงเนื่อหา และต้องอั่งอิดถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ของสัญญาแควคผดผลลาคที่มีการป้อนกลบ จากส่วนสัญญาผลล่เจเนเนอเรเตอร์ดังสมการที่ (3.10) เราสามารถสร้างขึ้นได้จากบล็อกไดอะแกรมด้านล่างเราเขียนทำให้ง่ายขึ้นอีกดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตัวควบคุมโหมดปร็อพออร์ชั่นัลอินทิกรัลดิริเวทิฟ

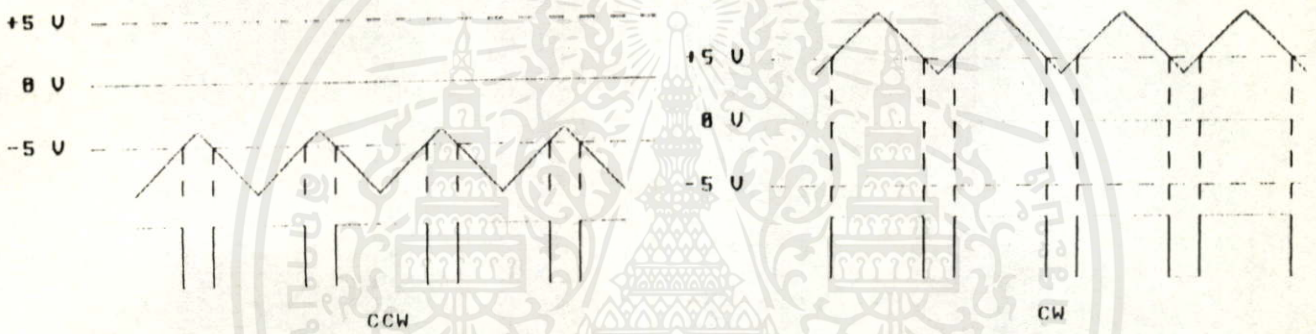
การควบคุมปร็อพออร์ชั่นัลอินทิกรัลดิริเวทิฟ เราสามารถแก้ออฟเซ็ทของการควบคุมปร็อพออร์ชั่นัลและลดโอเวอร์ชูทที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลชัน เนื่องจากการควบคุมแบบอินทิกรัลจะทำให้ผลตอบสนองได้รวดเร็วตามคุณสมบัติของการควบคุมดิริเวทิฟ ภายในระบบเกนปร็อพออร์ชั่นัลอินทิกรัลดิริเวทิฟเป็นการตอบสนองต่อรูปแบบที่นำมาแสดงในรูปแบบที่นำมาเติมไว้ก่อนหน้านี้ ในการควบคุมจากองค์ประกอบในแต่ละโหมดการตอบสนองต่อตัวควบคุม นำค่าเกนแต่ละส่วนของปร็อพออร์ชั่นัลอินทิกรัลดิริเวทิฟนำมารวมกัน



รูปที่ 3.12 ผลตอบสนองของระบบควบคุมตำแหน่งเมื่อตัวควบคุมเป็น PID

3.4 การวิเคราะห์หาส่วนของเพาเวอร์แอมป์ลิไฟล์

เพาเวอร์แอมป์ลิไฟล์หรือเซอร์โวแอมป์ลิไฟล์ในขั้วนี้เป็นแอมป์ลิไฟล์เออร์แบบไบโพล่า หมายถึงแอมป์ลิไฟล์เออร์ที่ต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งขั้วบวกและขั้วลบ โดยที่เราสามารถหาค่าในส่วนของอัตราการขยายเกน K_u ได้จากอัตราส่วนของรูปคลื่นพัลส์วิดมอดส์ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เราสามารถหาค่าอัตราการขยายเกน K_u ได้จากอัตราส่วนค่า T_{on} ต่ออัตราส่วน T_{off} เราสามารถกำหนดค่า T_{on} เป็นส่วนของแรงดันที่สัญญาณพัลส์วิดมอดส์ทำงานสำหรับในส่วนของ T_{off} เป็นส่วนของแรงดันที่สัญญาณพัลส์วิดมอดส์ไม่ทำงาน



รูปที่ 3.13 สัญญาณการควบคุมรูปคลื่นพัลส์วิดมอดส์ในช่วงการสวิตช์

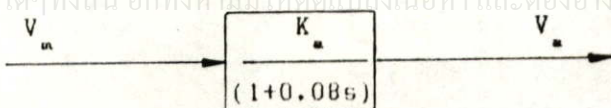
สมการเรานำมาสร้างอัตราการขยายเกนได้ดังนี้

$$V_o = V_u * \left[\frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \right] \quad (3.16)$$

จากสมการที่ (3.16) เราสามารถนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของชุดเซอร์โวแอมป์ได้ดังนี้

เซอร์โวแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เรากำหนดให้ส่วนเซอร์โวแอมป์นี้ มีอัตราขยายเท่ากับ K_u ดังนั้นเราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของเซอร์โวแอมป์นี้ได้ดังนี้

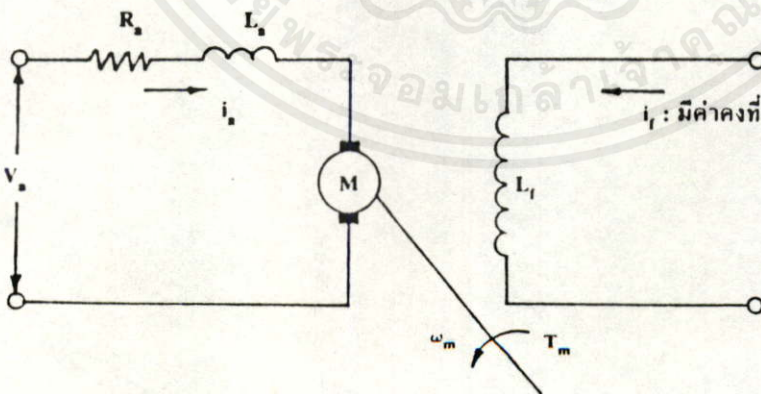
$$V_u = \frac{K_u}{(1+0.08s)} * V_{in} \tag{3.17}$$

- K_u เป็นโวลต์เตจเกนของเซอร์โวแอมป์มีหน่วยเป็น V/V
- V_{in} แรงดันในส่วนเอาต์พุทของชุดขับในส่วนแรงดัน
- V_{out} แรงดันในส่วนอินพุทของชุดขับในส่วนแรงดัน

โดยที่เราสามารถหาค่าในส่วนของอัตราขยายเกน K_u ได้จากอัตราส่วนของรูปคลื่นพัลส์วิดโมดูลส์

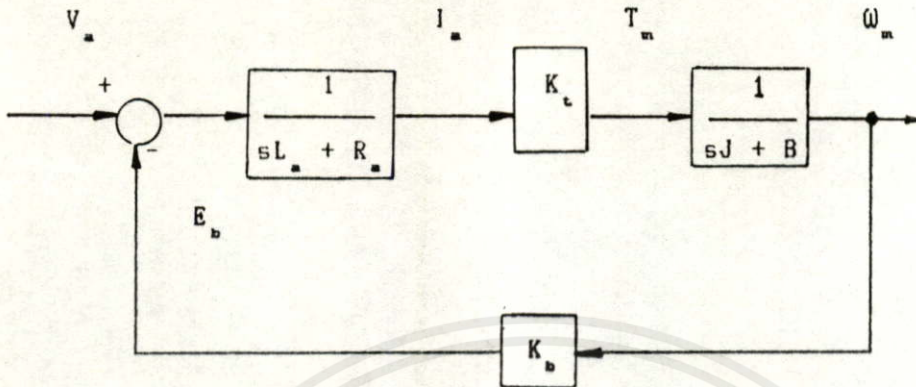
3.5 การวิเคราะห์ในส่วนของดีซี เซอร์โวมอเตอร์ ^(๕๖)

ดีซี เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในระบบนี้เป็นแบบการควบคุมอาร์มาเจอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรับบริจาคให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.14 วงจรลมนมูลย์ของดีซี เซอร์โวมอเตอร์

จากรูปที่ 3.14 เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของดีซี เซอร์โวแบบการควบคุมอาร์มาเจอร์ได้ดังนี้



จากบล็อกไดอะแกรมเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ω_m / V_m ได้ดังนี้

$$G = \frac{\omega_m}{V_m} = \frac{K_t / (BR_m + K_t K_b)}{1 + s[R_m J / (BR_m + K_t K_b)]} \quad (3.18)$$

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

$$K_m = K_t / (BR_m + K_t K_b)$$

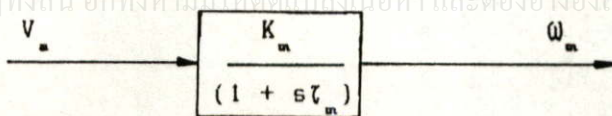
$$\tau_m = R_m J / (BR_m + K_t K_b)$$

K_b = ค่าคงที่ของ back emf มอเตอร์

จากสมการที่ (3.19) เราสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ได้ดังนี้

ดีซีเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.6 การวิเคราะห์ทั่ววัตความเร็วรอบ

ภายในทั่ววัตความเร็วรอบที่เราได้พิจารณาการทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของส่วนประกอบเหล่านี้ ในตอนการวิเคราะห์ความเร็วรอบเราสามารถพิจารณาทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน ได้จากส่วนของการป้อนกลับของทาโคเจนเนอเรเตอร์โดยที่เราจะหาค่าเกน K_G ได้จากวงจรที่ได้จากการทดลองจริงๆ โดยเราจะเริ่มต้นจากการวัดแรงดันการป้อนกลับในส่วนของทาโคเจนเนอเรเตอร์ นำมาผ่านเข้าไปในส่วนของออปแอมป์รวมทั้งตั้งค่าอัตราขยายเกน K_G ให้อยู่ในรูปของโวลท์ ซึ่งเราสามารถหาค่าได้จากเกนทาโคเจนเนอเรเตอร์ = 0.067 V/rad/sec

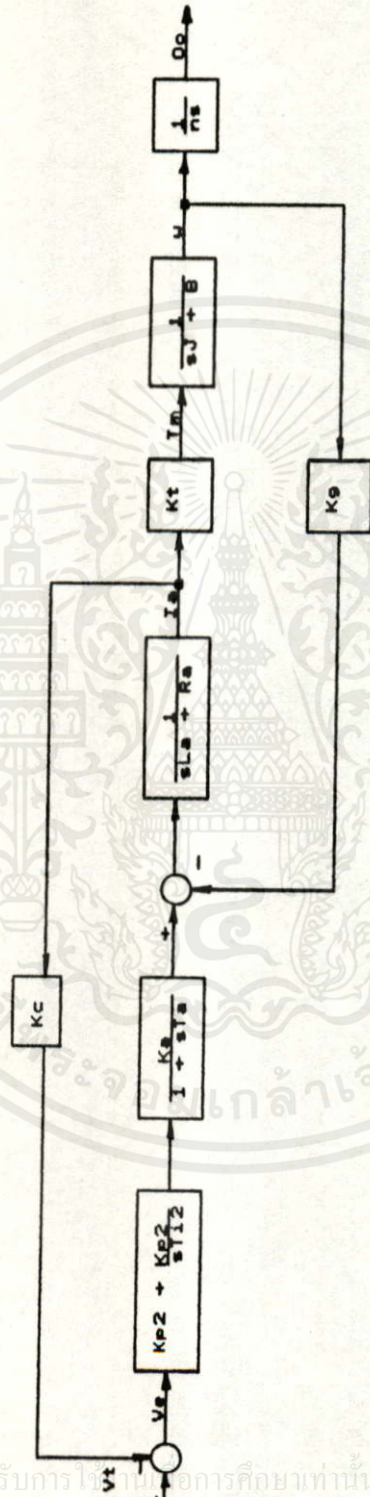
$$V_o = K_G \omega_m \quad (3.20)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.20) เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของทั่ววัตความเร็วรอบได้ดังนี้



3.7 การวิเคราะห์ห้วงจรการป้อนกลับกระแส

เราสามารถแยกเขียนบล็อกไดอะแกรมของลูปการป้อนกลับกระแสได้ดังรูปที่ 3.15 โดยที่เราพิจารณาจากการโดยที่เราจะหาค่าเกน K_c ได้จากวงจรที่ได้จากการทดลองจริงๆ โดยเราจะเริ่มต้นจากการนำส่วนของตัวต้านทานของวงจร $R_{feedback} = 0.2 \Omega / 5\omega$ ที่เป็นตัวการป้อนกลับของค่ากระแสมอเตอร์ที่ถูกต่อมาจากในส่วนของวงจรเซอร์โวแอมป์ลิไฟล์ พร้อมทั้งตั้งค่าอัตราขยายเกน K_c ให้อยู่ในรูปของตัวต้านทานบล็อกไดอะแกรมของตัวประกอบการป้อนกลับกระแส จากรูปที่ 3.15 เราหาทอร์คของมอเตอร์ T_m ได้เป็น



รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมของระบบการป้อนกลับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาระบบและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_m = K_c I_m \tag{3.21}$$

$$\omega = \frac{T}{sJ} \tag{3.22}$$

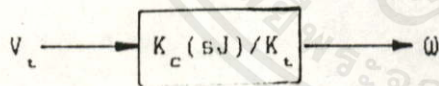
$$\omega = \frac{K_c I_m}{sJ} \tag{3.23}$$

$$V_c = K_c I_m \tag{3.24}$$

$$V_c = K_c (sJ) / K_c \tag{3.25}$$

จากสมการที่ (3.25) เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรม

ตัววัดกระแส

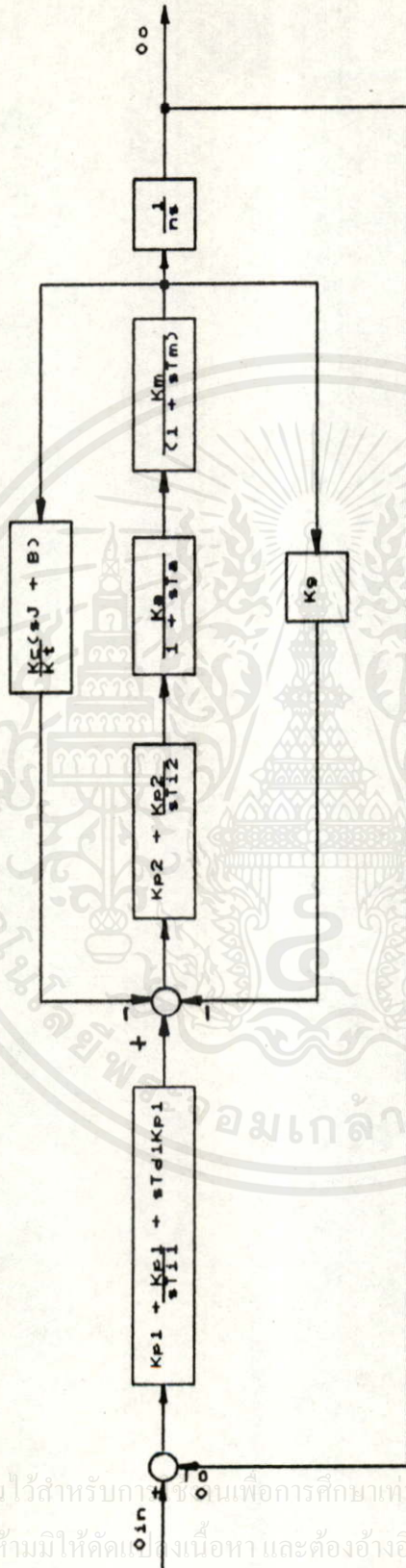


3.8 การวิเคราะห์ระบบการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ที่สมบูรณ์

3.8.1 การวิเคราะห์ระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

ระบบเซอร์โวที่ได้รับการออกแบบเป็นระบบการควบคุมตำแหน่งหมุน ที่ประกอบด้วยลูกการควบคุม ความเร็วรอบ และลูกการควบคุมทอร์ค เราสามารถที่จะหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบจากสมการที่

(3.10), (3.14), (3.15), (3.17), (3.19), (3.20) และ (3.25) ได้เป็นดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวเพื่อการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและดัดแปลงสิ่งใดของเอกสารชุดนี้ที่มีระบุไว้ไปใช้

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

$$\left[\frac{1+K_{x1} K_{z2} K_m + K_{z2} K_m}{s(1+s\tau_m)} \frac{K_c (sJ+B)+Kg}{K_t} \right] \theta_o = \frac{K_{x1} K_{z2} K_m \theta_{in}}{s(1+s\tau_m)} \quad (3.37)$$

$$\frac{\theta_o}{\theta_{in}} = \frac{K_{x1} K_{z2} K_m}{s(1+s\tau_m) + K_{x1} K_{z2} K_m + sK_{z2} K_m \left[\frac{K_c (sJ+B)+Kg}{K_t} \right]} \quad (3.38)$$

$$\frac{\theta_o}{\theta_{in}} = \frac{K_{x1} K_{z2} K_m}{s^2 * (JK_{z2} K_m C (sJ+B) + \tau_m) + s(K_{z2} K_m Kg + 1) + K_{x1} K_{z2} K_m} \quad (3.39)$$

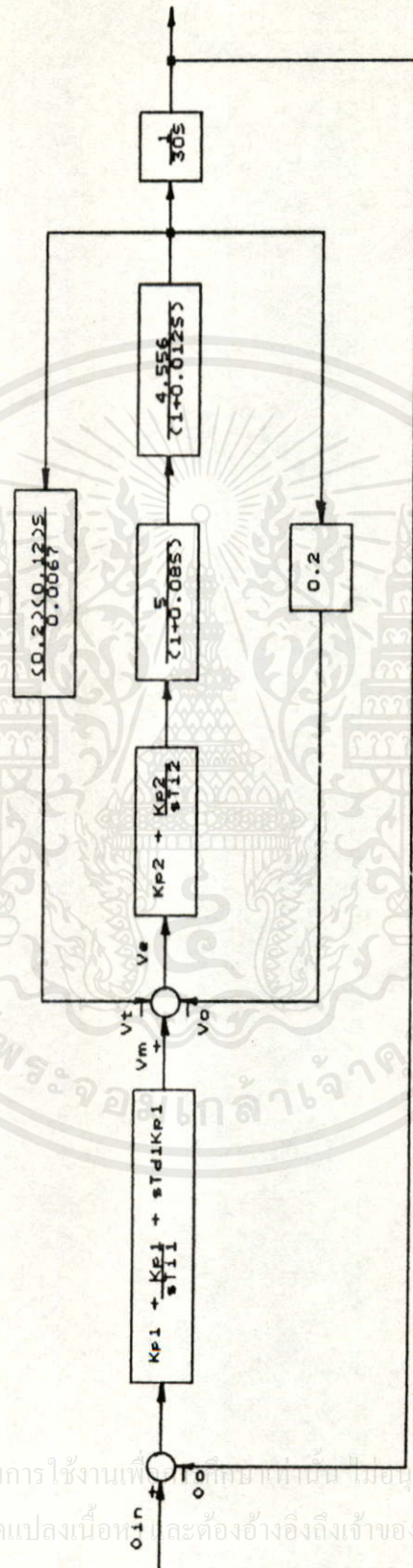
จากสมการที่ (3.39) เราสามารถหาพารามิเตอร์ K_{x1} และ K_{z2} ได้ดังนี้

$$K_{x1} = \left[\frac{K_{p1} (1 + s\tau_{l1}) (1 + s\tau_{d1})}{s\tau_{l1}} \right]$$

$$K_{z2} = \left[\frac{K_{p2} (1 + s\tau_{l2})}{s\tau_{l2}} \right]$$

3.9 การจำลองรูปแบบระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

ในตอนท้ายนี้เราจะนำมาเสนอข้อมูลที่ได้จากการจำลองระบบที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยที่เราได้นำข้อมูลที่ได้จากค่าเกณฑ์ต่างๆ ที่สามารถหาค่าได้จากสเปคภายในมอเตอร์ในแต่ละตัวนำเข้าไปแทนค่าโดยการจำลองภายในระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์ และระบบระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ ที่สามารถนำค่ามาจำลองได้จากรูปที่ 3.17 ที่ใช้เป็นการจำลองส่วนการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ใช้ระบบปรีอพลอร์ซันนัลอินติกรัล ที่นำมาใช้เป็นตัวควบคุมและจากส่วนภายใน



รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยบล็อกการป้อนกลับของความเร็ว และบล็อกการป้อนกลับของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา... และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบที่ใช้ในการจำลองส่วนการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ เราจะใช้ระบบป้อนพอร์ซันเนลอินติกรัลดิริเวทีฟที่มาใช้เป็นตัวควบคุม นำมาควบคุมตัวแปรเอาต์พุตให้เข้าสู่ค่าระบบที่กำหนดไว้เพื่อที่จะรักษาระบบให้มีค่าที่เป็นไปได้ในวิถีทางที่เหมาะสมด้วยการควบคุมระบบให้ได้ตามข้อกำหนด สันนิษฐานความแตกต่างจะต้องมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้และเพื่อให้มีคุณสมบัติของทรานเซียนส์ที่ดี ระบบควบคุมตำแหน่งซึ่งมีคุณสมบัติตามต้องการวิธีหนึ่งสามารถทำได้ โดยทำการวิเคราะห์ที่จะให้คุณสมบัติของระบบตามต้องการได้แล้ว ก็จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมชนิดต่างๆ ได้ก็จะสามารถเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดกับระบบนั้นๆ ได้ โดยในการออกแบบตัวควบคุมที่มีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมกับระบบที่ต้องการจะควบคุมนั่นเอง โดยเราจะทำการหาตัวควบคุมที่จะกล่าวถึงของระบบดังนี้

3.9.1 การจำลองแบบข้อมูลที่ใช้ในระบบตัวควบคุม

ในส่วนนี้เป็นการเสนอการจำลองระบบตัวควบคุมภายในส่วนของมอเตอร์ โดยเราจะนำค่าของพารามิเตอร์ที่ได้มาจากรูปที่ 3.17 ที่มีการนำมาคำนวณค่าต่างๆ ที่ได้มาจากในส่วนตัวแปรของสเปคมอเตอร์ที่เราสามารถหาได้ภายในมอเตอร์ในแต่ละตัว จากนั้นเราจะได้ทำการจำลองข้อมูลภายในซอฟต์แวร์โดยวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากภายในระบบ

$$K_u = \text{เกนของไคร์เวอร์} = 5$$

$$K_u = \text{การป้อนกลับกระแส} = 0.067 \text{ V/A}$$

$$K_u = \text{เกนของทาโคเจนเนอเรเตอร์} = 7V/Krpm = 2.24 \times 10^3 \text{ V/rad/sec.}$$

$$K_u = \text{ค่าคงที่ back emf ของมอเตอร์} = 12 \text{ msec} = 0.012 \text{ sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมี เหตุผลแบบลงมือทำและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_u = \text{โหลดตัวต้านทานการป้อนกลับกระแส} = 0.2 \text{ n/5W}$$

$$T_u = \text{ค่าเวลาคงที่ในส่วนมอเตอร์} = 12 \text{ msec} = 0.012 \text{ sec}$$

$\tau_u =$ ค่าคงที่เวลาการป้อนกลับกระแส = 0.08 sec

$J =$ ค่าความเฉื่อยโรเตอร์ = 0.12 g/cm/sec²

$B =$ โหลดความผิด = 0

$n =$ ค่าตรอบของเกียร์บล็อก = 30

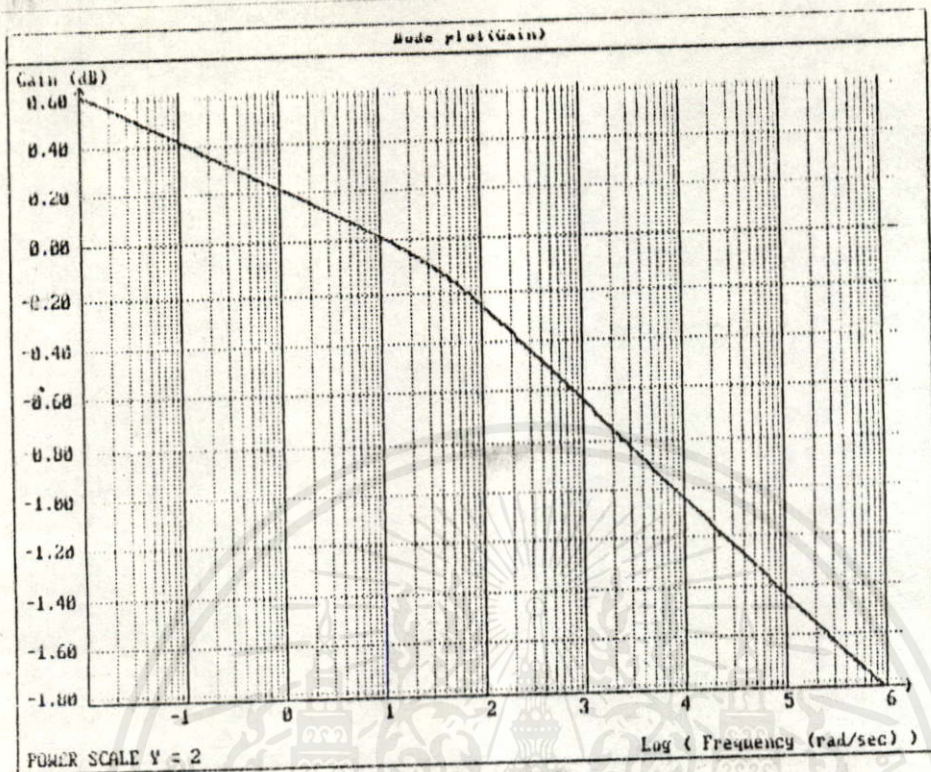
จากรูปที่ 3.17 เราสามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการจำลองระบบที่มีการนำมาคำนวณค่าต่างๆ ที่ได้ มาจากในส่วนตัวแปรของสเปคโตรัมที่เราสามารถหาได้ภายในมอเตอร์ดังนี้

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

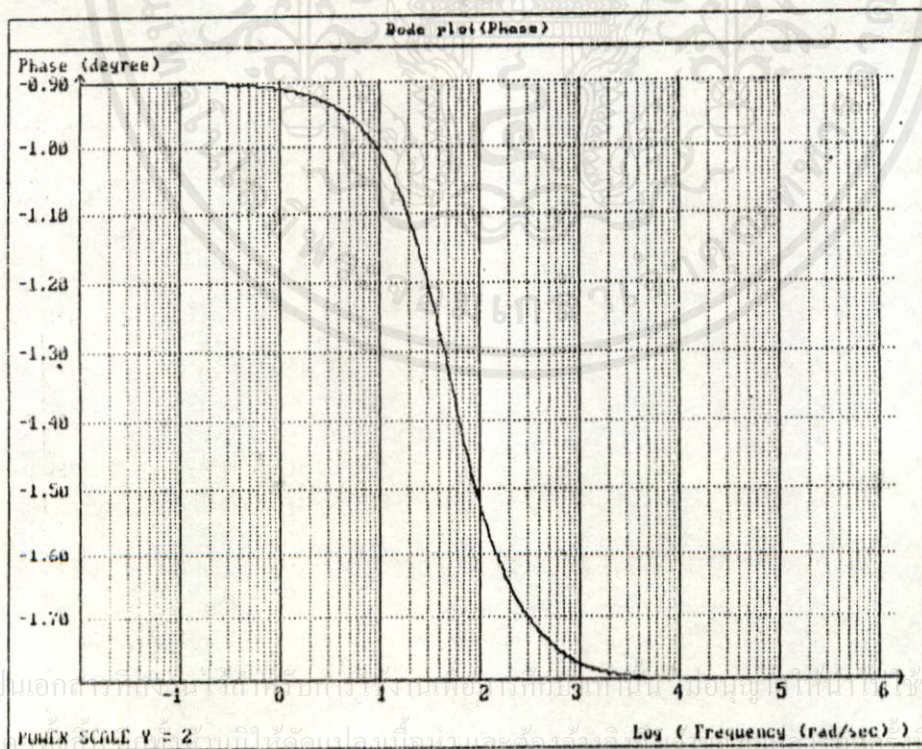
$$= \frac{8499.689s + 47.45}{s^2 + 9.583s + 104.166} \quad (3.40)$$

จากสมการที่ (3.40) ที่เราสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในระบบการควบคุมความเร็วจากวิธีการของโบคพล็อต (เกน) และโบคพล็อต (เฟส) ของระบบได้ดังรูปที่ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าเกนต่างๆ เพื่อที่จะนำมาใช้แก้ค่าภายในระบบการควบคุมความเร็วและตำแหน่งมอเตอร์ เพื่อที่เราสามารถนำมาใช้ในการตั้งค่าตัวควบคุมแบบปรีอปรอร์ชันนัลอินทิกรัล (PI) ในการควบคุมความเร็วและแบบปรีอปรอร์ชันนัลอินทิกรัลดิริเวทีฟ (PID) ที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 โพลพล็อต (เกน) ของระบบจากสมการที่ 3.40

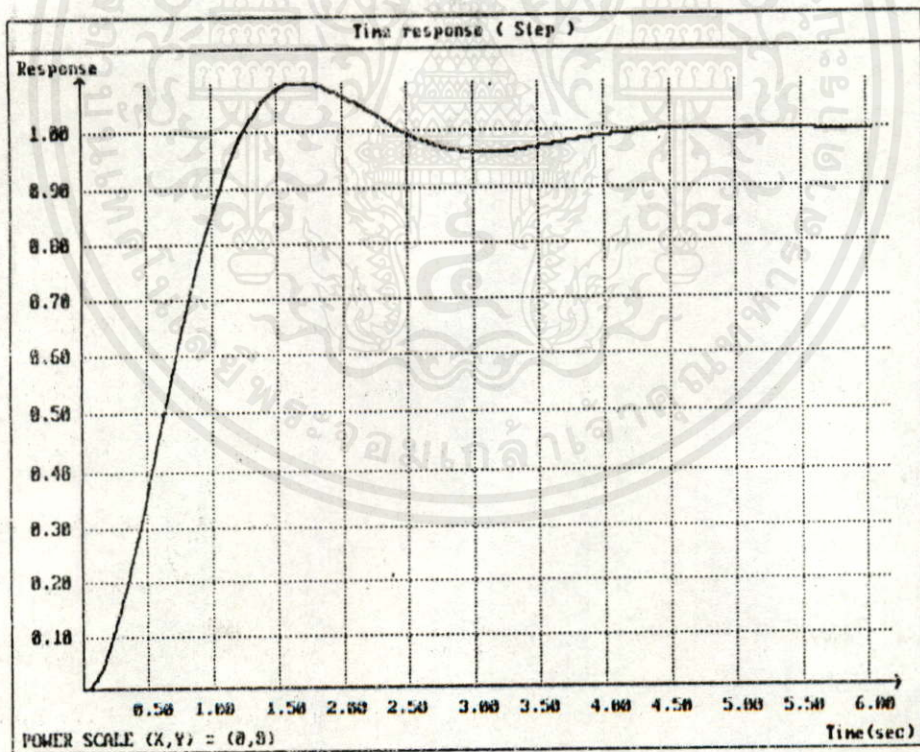


รูปที่ 3.19 โพลพล็อต (เฟส) ของระบบจากสมการที่ 3.40

การออกแบบเริ่มต้นด้วยการกำหนดเฟสแมริจินของระบบที่ต้องการให้ค่าเท่ากับ 60 องศา แล้วใช้โบคพล็อตของระบบพิจารณาค่าความถี่ที่เหมาะสม (ω_c) ของระบบจากนั้นหาค่าพารามิเตอร์ปรีออปพอร์ตินัล (K_D) รีเซทไทม์ (τ_c) และค่าคิริเวทไฟคอนสแตนท์ (τ_D) ที่เหมาะสมต่อไป

ต่อไปเราจะนำสมการที่ (3.40) ของระบบที่อยู่ภายในรูปแบบ $G(s)H(s)$ ที่ใช้ในการสร้างโบคพล็อต(เกน) และโบคพล็อต(เฟส) ที่นำมาใช้ในส่วนของการระบบมอเตอร์ พร้อมทั้งนำระบบมาแปลงให้อยู่ภายในรูปแบบตามสมการที่ (3.41) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.20 เป็นการแสดงค่ากราฟภายในระบบที่ยังไม่มีการเซ็ค่าตัวแปรภายในการควบคุมที่อยู่ภายในระบบ

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า
รูปที่ 3.20 ผลตอบสนองการจำลองระบบภายในส่วนของดีซีมอเตอร์ จากสมการที่ 3.41
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 การจำลองแบบข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

เราสามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจากสมการที่ (3.41) ที่นำมาใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากวิธีการของโบทพล็อตตัวควบคุมที่ออกแบบเป็นชนิดปรีอพรชันนัลอินทิกรัล (PI) ที่ใช้ในส่วนการควบคุมความเร็วมอเตอร์ในส่วนของการจำลองข้อมูลต่างๆ ที่เราจะนำมาทำการจำลองในส่วนที่มีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ของการออกแบบตัวควบคุมความเร็ว เราต้องการที่จะนำวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมความเร็ว โดยอาศัยวิธีการของโบทพล็อตตัวควบคุมที่ออกแบบเป็นชนิดปรีอพรชันนัลอินทิกรัล (PI) ในการควบคุมความเร็วการออกแบบเริ่มต้นด้วยการกำหนดเฟสแมร์จิน ของระบบถ้าเรากำหนดให้เฟสแมร์จินของระบบที่ต้องการเท่ากับ 60 องศา แล้วใช้โบทพล็อตของระบบพิจารณาหาความถี่ที่เหมาะสม (ω_c) ของระบบโดยทำการเพิ่มหรือลดค่าอัตราขยายสูงสุดได้ โดยค่าความแตกต่างของเกนของระบบ K_u ที่ต่างไปจากเดิม 0 dB จะเป็นค่าอัตราขยายสูงสุดของระบบ $K_{p2} = -K_u$ ต่อไปเลือกความถี่ของการอินทิเกรเตอร์ ω_i ให้ค่าประมาณ 10% ของ ω_c เพื่อไม่ให้ผลไปเพิ่มที่เฟสแล็คความถี่ ω_c จากค่า ω_c จะหาค่าพารามิเตอร์รีเซทไทม์ (τ_{i2}) ได้เท่ากับ $1/\omega_i$ ดังนั้นอัตราการขยายตัวควบคุมแบบ PI จะได้เป็น $K_{p2}(1+1/s\tau_{i2})$ ในส่วนที่มีการควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยจะทำการเลือกค่า ω_c จากโบทพล็อต(เฟส) ของระบบที่มีค่าการเลื่อนเฟส -120 องศา จะได้ค่า ω_c ประมาณ 30.524 rad/sec ที่ความถี่นี้เกนของระบบมีค่า 9.1338 dB หรือจะได้ $K_{p2} = 2.862$ ต่อไปให้ $\omega_i = 10\% \omega_c$ ดังนั้นเราสามารถหาค่า $\omega_i = 3.0524$ rad/sec เพื่อที่เราจะนำเอาไปหา $\tau_{i2} = 1/\omega_i$ ที่เรานำมาใช้ในการหา $\tau_{i2} = 0.3276$ เพื่อที่นำมาใช้หาค่า $K_{i2} = K_{p2}/\tau_{i2}$ จะได้เป็น $K_{i2} = 8.736$ ตามลำดับ

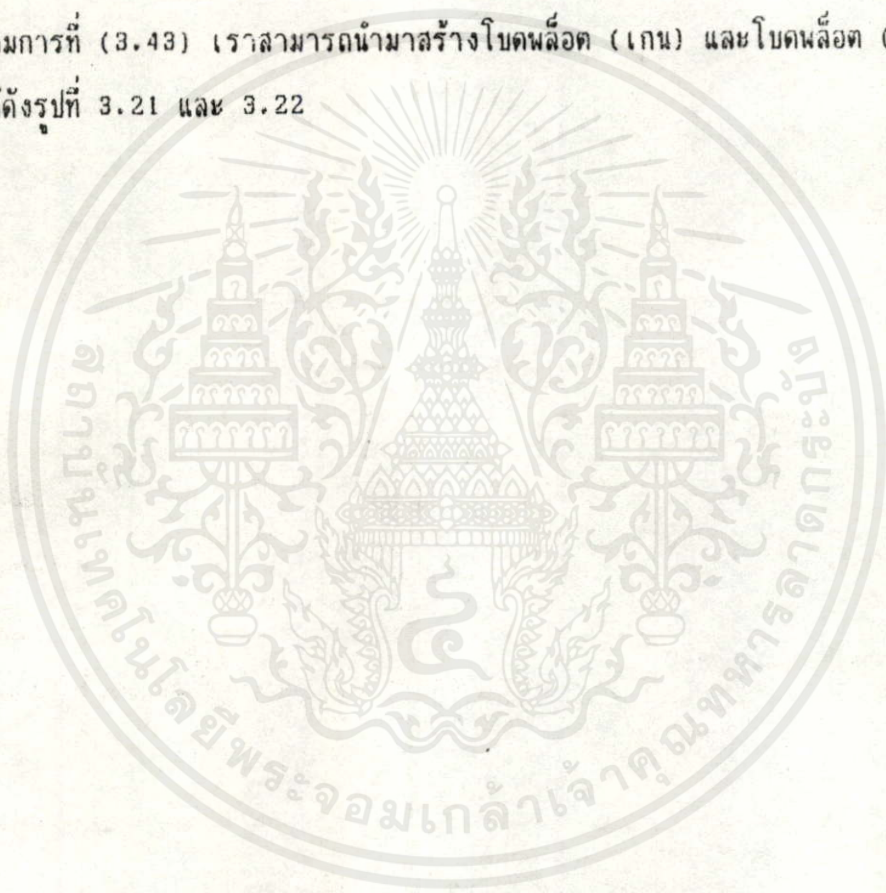
$$\text{ตัวควบคุม PI} = \frac{2.862s + 8.736}{s} \tag{3.42}$$

S

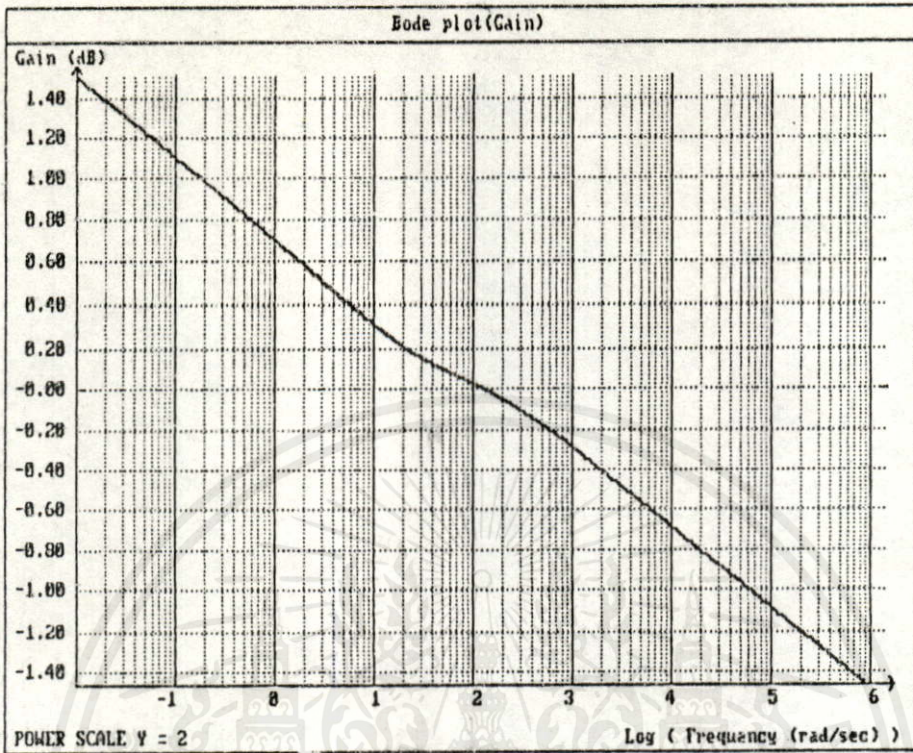
นำสมการที่ (3.41) เป็นส่วนที่เรานำมาใช้ภายในระบบของมอเตอร์ เพื่อที่จะนำส่วนนี้มาวิเคราะห์ ออกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้นำสำหรับความรู้ทางเทคนิคเรื่องมอเตอร์ตั้งสมการที่ (3.43) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(s)H(s)(\text{ตัวควบคุม } P1) = \left(\frac{2.862s+8.736}{s} \right) \left(\frac{8499.689s+47.450}{s^2+8509.272s+151.617} \right)$$
$$= \frac{24326.110s^2+74389.087s+414.5249}{s(s^2+8509.272s+151.617)} \quad (3.43)$$

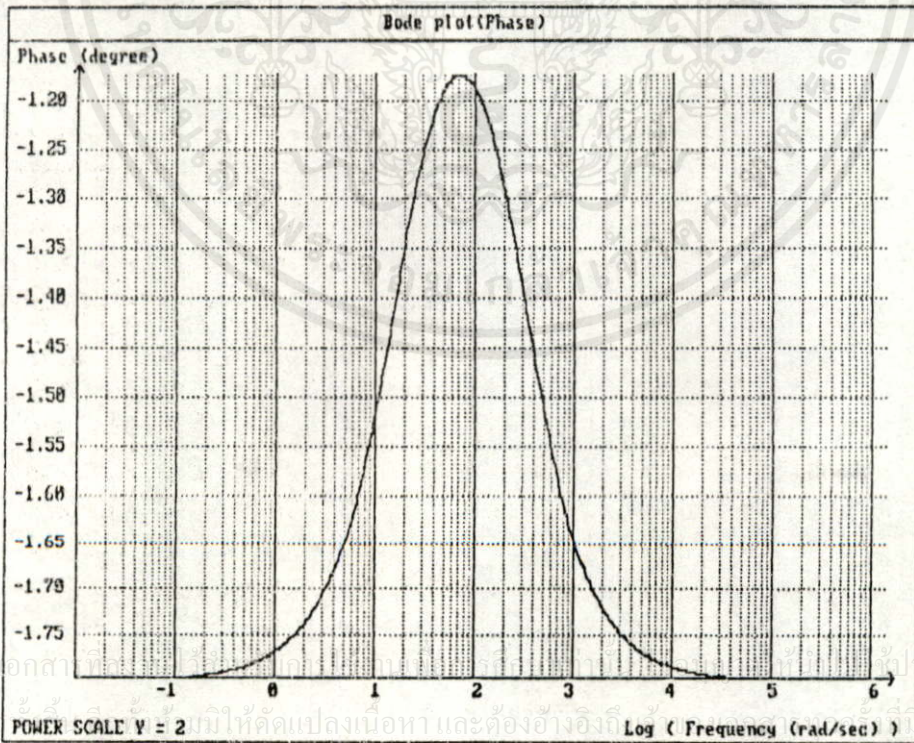
ระบบจากสมการที่ (3.43) เราสามารถนำมาสร้างโบคพล็อต (เกน) และโบคพล็อต (เฟส) ที่จะนำมาแสดงได้ดังรูปที่ 3.21 และ 3.22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



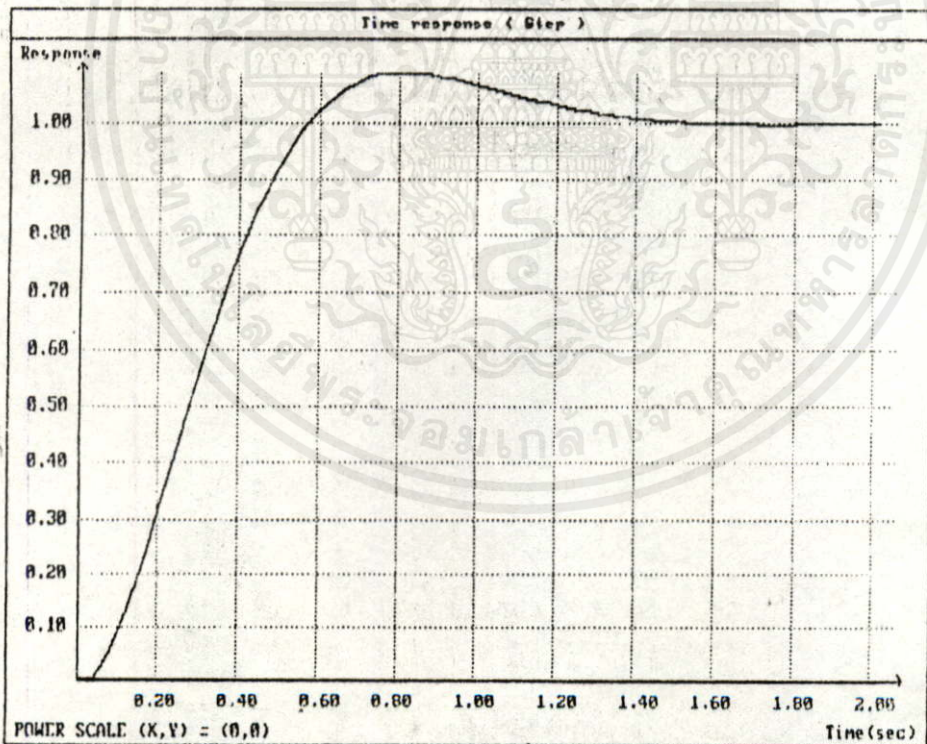
รูปที่ 3.21 โบทพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.43



รูปที่ 3.22 โบทพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.43

จากสมการที่ (3.43) เราสามารถนำระบบในส่วนของการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PI ที่อยู่ในรูป $G(s)H(s)$ ที่ใช้ในการสร้างโพลล้อย (เกน) และโพลล้อย (เฟส) นำมาใช้ในการสร้างระบบที่ใช้ในส่วนที่มีการควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยเรานำระบบมาแปลงให้อยู่ภายในรูปแบบตามสมการที่ (3.44) เพื่อให้เราสามารถนำมาใช้ในการแปลงระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PI ดังที่เราสามารถแปลงค่าได้ดังสมการที่ (3.44) ที่ความถี่ 170 rad/sec ของระบบจะมีเกน 0 dB และเฟส -120 องศา ตามต้องการซึ่งเราสามารถนำไปสร้างผลตอบสนองของระบบ PI ที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ 3.23

$$\frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} = \frac{24326.110s^2 + 74386.086s + 414.525}{s^3 + 32835.383s^2 + 74540.703s + 414.525} \quad (3.44)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.23 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมความเร็วตัวมอเตอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกฉบับที่มีให้ดูฉบับแปลเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PI จากสมการที่ 3.44

3.9.3 การจำลองแบบข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ ^{๑๑}

ในส่วนของการจำลองข้อมูลในส่วนนี้เราจะนำมาทำการจำลอง ในส่วนที่มีการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ ในส่วนของการออกแบบตัวควบคุมให้ดีที่สุด เราต้องคำนึงถึงวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ของตัวควบคุมตำแหน่งโดยอาศัยวิธีการของโบลลือตตัวควบคุมที่ออกแบบได้ 2 ชนิด

3.9.3.1 ตัวควบคุมปรับพอร์ซันนัลอินเตกรัลดิริเวทิฟ (PID)

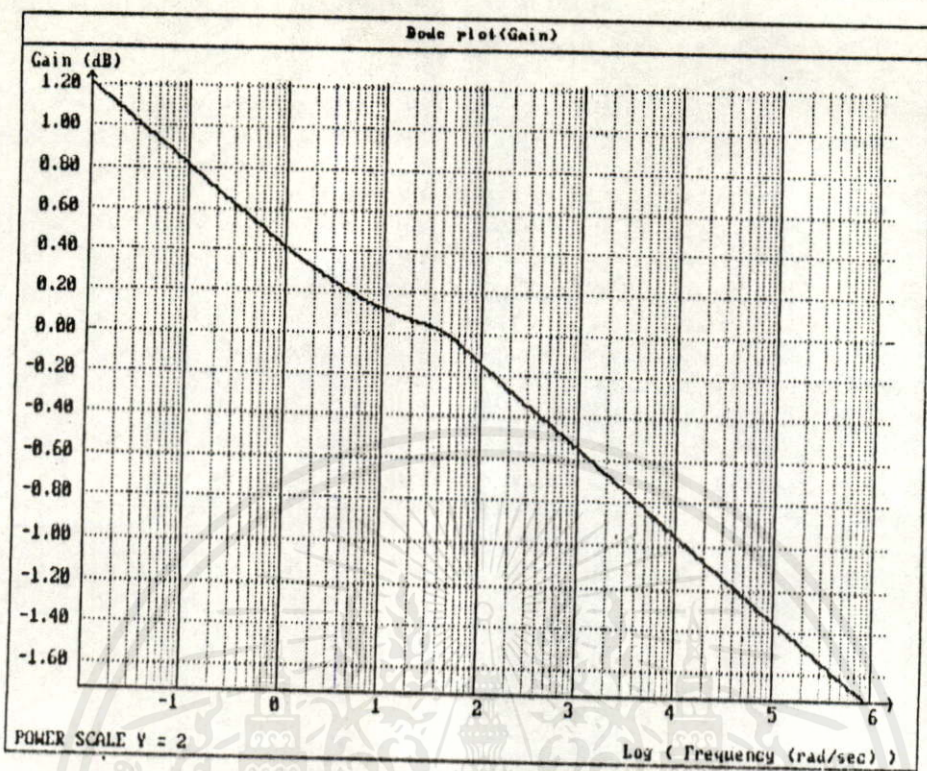
ขั้นตอนของการออกแบบตัวควบคุม PID ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเราจะพิจารณาจากระบบหาค่าความถี่ที่ค่าเกินเป็นหนึ่ง (ω_u) ได้จากค่าความถี่ที่เฟสเดิมมีค่าเท่ากับ -120 องศา แต่สำหรับในส่วนการควบคุม PID ที่มีค่าของเฟสล็ค ω_u อยู่ 45 องศา ดังนั้นจากโบลลือตของระบบ ถ้าเรากำหนดให้เฟสมาร์จินของระบบที่ต้องการเท่ากับ 15 องศา แล้วใช้โบลลือตของระบบพิจารณาค่าความถี่ที่เหมาะสม ω_c ของระบบโดยทำการเพิ่มหรือลดค่าอัตราขยายสูงสุดได้โดยค่าความแตกต่างของเกนของระบบ K_{pu} ที่ต่างไปจากเดิม 0 dB จะเป็นค่าอัตราขยายสูงสุดของระบบ $K_{pu} = -K_{pu}$ โดยเรากำหนดค่าความถี่การอินเตกรัลเตอร์ ω_i ให้ค่าประมาณ 10% ของ ω_c เพื่อไม่ให้ผลไปเพิ่มที่เฟสล็คความถี่ ω_c จากค่า ω_c จะหาค่าพารามิเตอร์รีเซทไทม์ (τ_{ri}) ได้เท่ากับ $1/\omega_i$ พร้อมทั้งกำหนดในส่วนของ $\omega_c = \omega_u$ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์เดริเวทิฟไทม์คอนสแตนท์ (τ_{rd}) เท่ากับ τ_{ri} ดังนั้นอัตราการขยายตัวควบคุมแบบ PID จะได้เป็น $K_{pu}(1+s\tau_{ri})(1+s\tau_{rd})/s\tau_{ri}$ ในส่วนที่มีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์โดยมีการกำหนดค่าเฟสล็คของระบบอยู่ 42.372 องศา จะทำการเลือกค่า ω_c จากโบลลือตเฟสของระบบที่มีค่าการเลื่อนเฟส -162.372 องศา จะได้ค่า ω_c ประมาณ 34.262 rad/sec ที่ความถี่นี้เกนของระบบมีค่า -30.285 dB หรือจะได้ $K_{pu} = 32.677$ ต่อไปให้ $\omega_c = -3.028$ ($\omega_c = 10\% \omega_u$) และเราจะกำหนดให้ $\omega_c = \omega_u$ จะได้ $\omega_c = 30.285$ เพื่อที่จะนำมาหาค่าพารามิเตอร์ปรับพอร์ซันนัลรีเซทไทม์ (τ_{ri}) จะได้เป็น $\tau_{ri} = 0.33$ rad/sec ($\tau_{ri} = 1/\omega_i$) และหาค่าพารามิเตอร์เดริเวทิฟคอนสแตนท์ (τ_{rd}) จะได้เป็น $\tau_{rd} = 0.033$ rad/sec ($\tau_{rd} = 1/\omega_d$) เพื่อที่จะนำมาใช้ในการออกแบบ $K_{pu} = 99.021$ ($K_{pu} = K_{pu} / \tau_{ri}$) และ $K_{pu} = 1.078$ ตามลำดับ

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

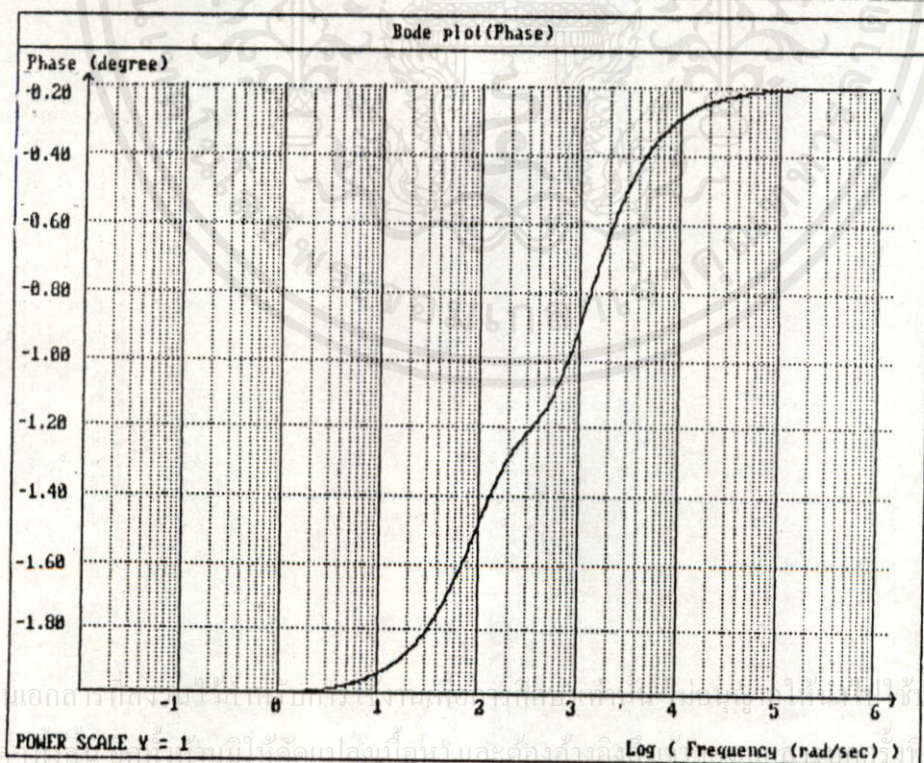
นำสมการที่ (3.45) ภายในระบบการควบคุมในส่วนของการควบคุมความเร็วมอเตอร์เราสามารถนำมาใช้ในการสร้างค่าในส่วนของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์จากสมการที่ (3.46) เพื่อที่เราจะนำมาวิเคราะห์ระบบการควบคุมตั้งค่าเกนตัวควบคุมแบบ PID ดังนั้นระบบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PID จะเป็นดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} G(s)H(s) & (\text{ตัวควบคุม PID}) \\ &= \frac{(1.078S^2+32.677S+99.021)}{30S^2} \frac{(24326.110S^2+74389.086S+414.525)}{S^3+32835.383S^2+74540.703S+414.525} \\ &= \frac{874.118S^4+29169.857S^3+161335.159S^2+245987.572S+1368.223}{S^2(S^3+32835.383S^2+74540.703S+414.525)} \quad (3.46) \end{aligned}$$

จากสมการที่ (3.46) เราสามารถนำมาสร้างโพลล้อยอด (เกน) และโพลล้อยอด (เฟส) ที่จะได้ดังรูปที่ 3.24 และ 3.25



รูปที่ 3.24 โบทพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.46



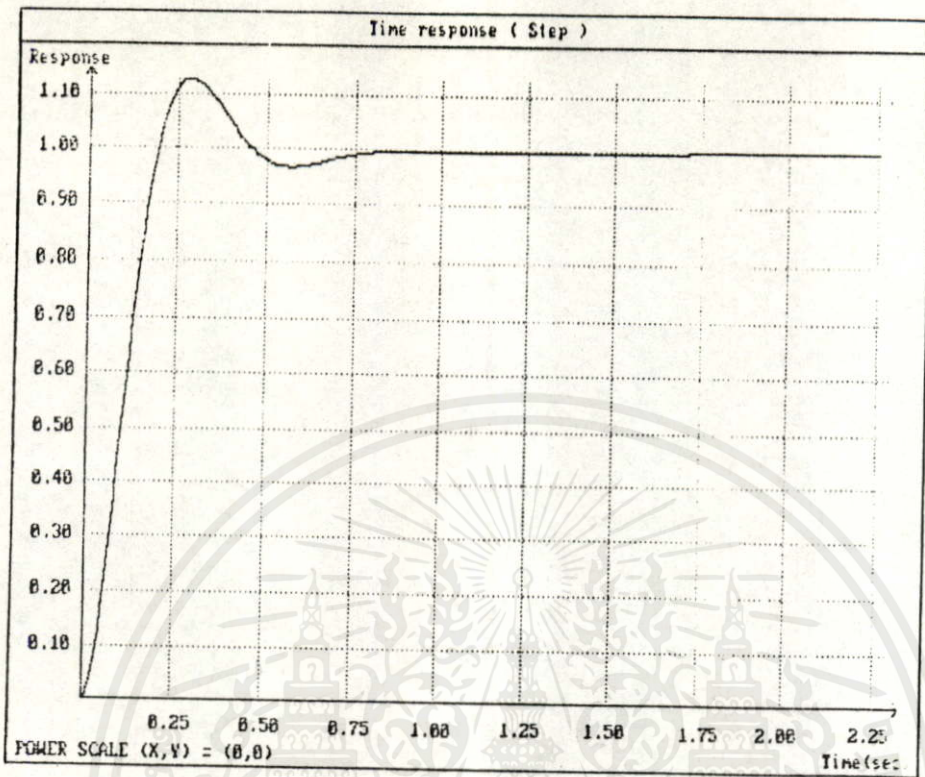
รูปที่ 3.25 โบทพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.46

การจำลองข้อมูลเราจะมีค่าปรับค่าเกน PID ค่าใหม่เพื่อให้ระบบที่ได้ออกมาเหมาะสมยิ่งขึ้นโดยเราจะทำการจำลองปรับค่าตัวเลข ที่เราสามารถแยกการจำลองข้อมูลได้จากค่าสมการที่ (3.46) นำมาหาค่าหาความถี่ 170 rad/sec ของระบบจะมีเกน 0 dB และเฟส -162.372 องศา ตามต้องการจากรูปที่ 3.24 และ 3.25 ซึ่งเราสามารถนำไปสร้างผลตอบสนองของระบบ PID ได้ดังรูปที่ 3.26 โดยจะมีการหาค่าเกน PID ในช่วงที่ใช้การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ จะเป็นส่วนของการจำลองค่าเกน $K_{p1} = 32.677$ $K_{i1} = 99.021$ และ $K_{d1} = 1.078$ โดยการนำสมการที่ (3.45) เราสามารถนำระบบที่ใช้ในส่วนของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PID ที่อยู่ภายในรูปสมการ $G(s)H(s)$ ที่ใช้ในการสร้างโพลล๊อต (เกน) และโพลล๊อต (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

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

$$= \frac{874.118s^4 + 29169.857s^3 + 161335.159s^2 + 245987.572s + 1368.223}{s^5 + 33709.501s^4 + 103710.565s^3 + 161749.684s^2 + 245987.572s + 1368.223} \quad (3.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PID จากสมการที่ 3.47

3.9.3.2 ตัวควบคุมปรับอัตราส่วนอินทิเกรต (PI)

ขั้นตอนของการออกแบบตัวควบคุม PI ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเราจะพิจารณาจากระบบจะหาค่าความถี่ที่ค่าเกนเป็นหนึ่ง ω_{cl} ได้จากค่าความถี่ที่เฟสเดิมมีค่าเท่ากับ -120 องศา สำหรับในส่วนการควบคุม PI ที่มีค่าของเฟสลีด ω_{cl} อยู่ 45 องศา เราควรกำหนดเฟสมาร์จิ้นของระบบที่ต้องการเท่ากับ 15 องศา แล้วใช้โบดพล็อตของระบบพิจารณาความถี่ที่เหมาะสม (ω_{cl}) ของระบบ โดยทำการเพิ่มหรือลดค่าอัตราขยายสูงสุดได้โดยค่าความแตกต่างของเกนของระบบ K_{cl} ที่ต่างไปจากเดิม 0 dB จะเป็นค่าอัตราขยายสูงสุดของระบบ $K_{cl} = -K_{cl}$ โดยเรากำหนดค่าความถี่ในส่วนของ $\omega_{cl} = \omega_{cl}$ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์อินทิเกรตเวทิงไทม์คอนสแตนท์ (τ_{cl}) ดังนั้นอัตราขยายตัวควบคุมแบบ PI จะได้เป็น $K_{cl}(1+s\tau_{cl})$ ในส่วนที่มีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์โดยมีการกำหนดค่าเฟสลีดของระบบอยู่ 42.372 องศา จะทำการเลือกค่า ω_{cl} จากโบดพล็อตเฟสของระบบที่มีค่าการเลื่อนเฟส

-162.372 องศา จะได้ค่า ω_u ประมาณ 34.262 rad/sec ที่ความถี่นี้เกนของระบบมีค่า -30.285 dB หรือจะได้ $K_{du} = 32.677$ ต่อไปให้ $\omega_u = \omega_{cu}$ จะได้ $\omega_{cu} = 30.285$ เพื่อที่จะนำมาหาค่าพารามิเตอร์เดอริเวทีฟคอนสแตนท์ (τ_{du}) จะได้เป็น $\tau_{du} = 0.033$ rad/sec ($\tau_{du} = 1/\omega_{cu}$) เพื่อที่จะนำมาใช้ในการออกแบบ และ $K_{du} = 1.078$ ตามลำดับ

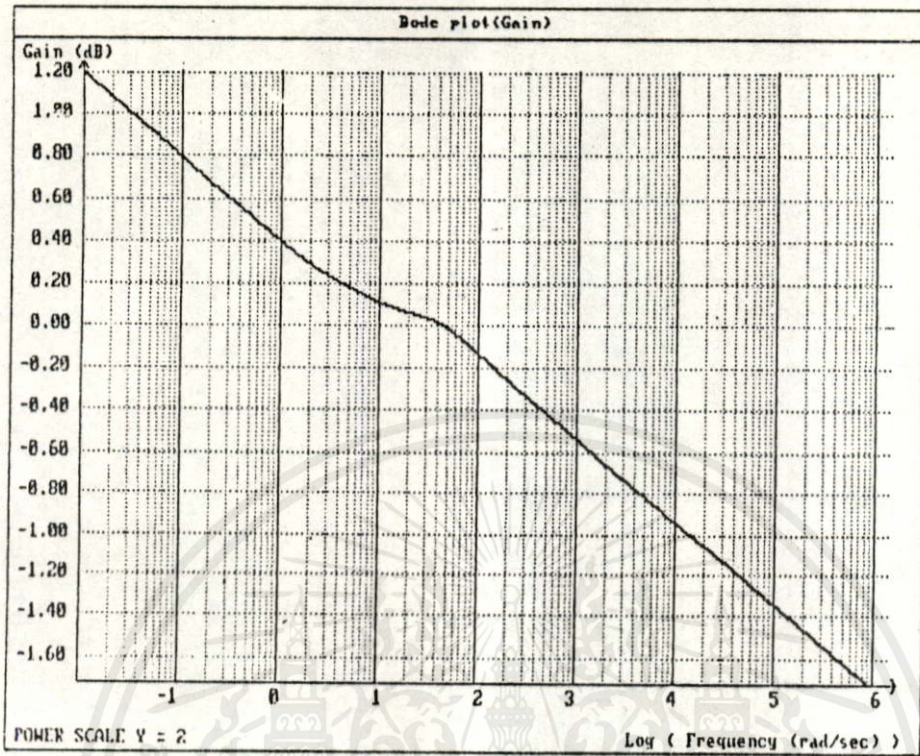
$$\text{ตัวควบคุม PD} = 32.677 + 1.078s \quad (3.48)$$

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

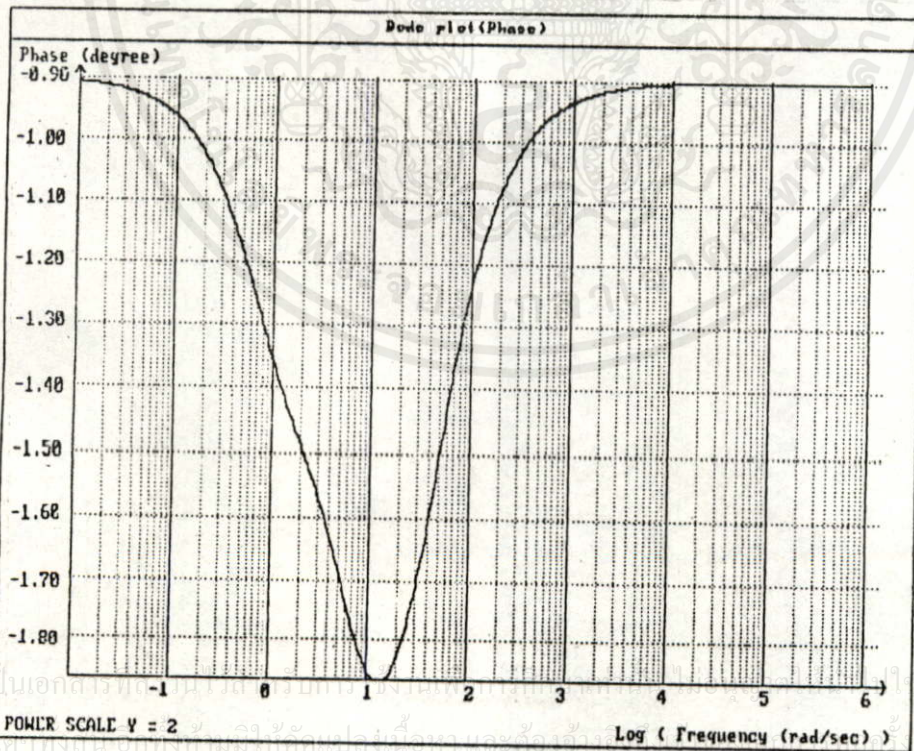
$$\begin{aligned} G(s)H(s) (\text{ตัวควบคุม PD}) &= \frac{(1.078s + 32.677)(24326.110s^2 + 74389.086s + 414.525)}{30s^3 + 32835.383s^2 + 74540.703s + 414.525} \\ &= \frac{874.118s^3 + 29169.857s^2 + 81041.967s + 451.514}{s(s^3 + 32835.383s^2 + 74540.703s + 414.525)} \quad (3.49) \end{aligned}$$

จากสมการที่ (3.49) เราสามารถนำมาสร้างโพลลีสต (เกน) และโพลลีสต (เฟส) ที่จะได้ดังรูปที่ 3.27 และ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 โคนพล็อต (เกน) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.49

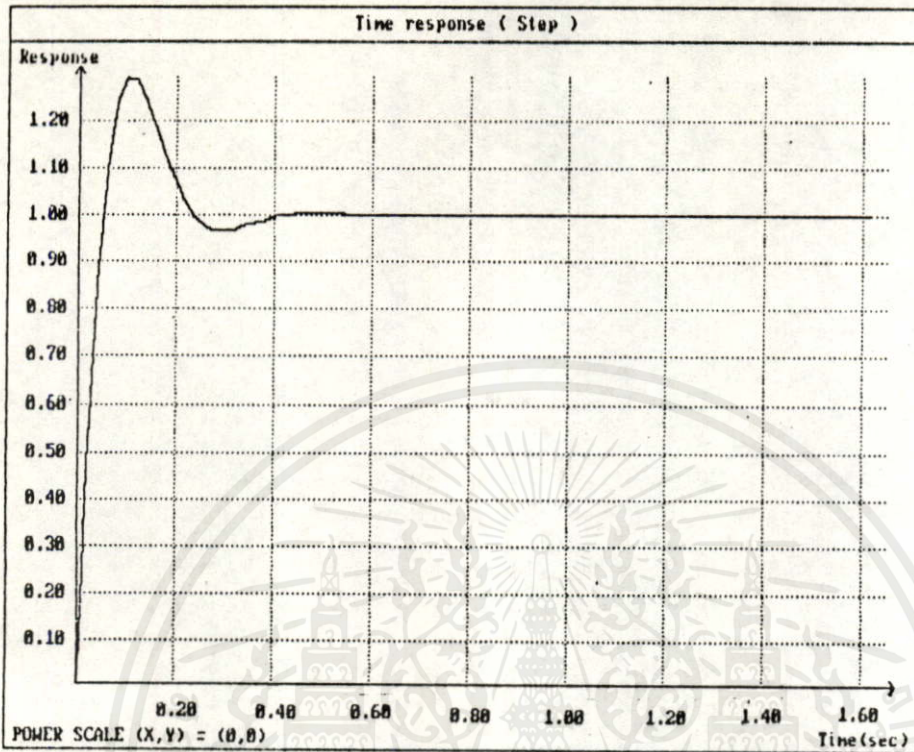


รูปที่ 3.28 โคนพล็อต (เฟส) ของระบบเมื่อมีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.49

การจำลองข้อมูลเราจะมีการปรับค่าเกน PD ค่าใหม่เพื่อให้ระบบที่ได้ออกมาเหมาะสมยิ่งขึ้นโดยเราจะทำการจำลองปรับค่าตัวเลข ที่เราสามารถแยกการจำลองข้อมูลได้จากค่าสมการที่ (3.49) นำมาหาค่าหาค่าความถี่ 170 rad/sec ของระบบจะมีเกน 0 dB และเฟส -162.372 องศา ตามต้องการจากรูปที่ 3.27 และ 3.28 ซึ่งเราสามารถนำไปสร้างผลตอบสนองของระบบ PD ได้ดังรูปที่ 3.29 โดยจะมีการหาค่าเกน PD ในช่วงที่ใช้การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ จะเป็นส่วนของการจำลองค่าเกน $K_{p1} = 32.677$ $K_{p2} = 1.078$ โดยการนำสมการที่ (3.49) เราสามารถนำระบบที่ใช้ในส่วนของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PD ที่อยู่ในรูปสมการ $G(s)H(s)$ ที่ใช้ในการสร้างโพลล้อย (เกน) และโพลล้อย (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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 ผลตอบสนองการจำลองระบบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ที่มีตัวควบคุมเป็นแบบ PD จากสมการที่ 3.50

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ระบบควบคุมตำแหน่งติซึมอเตอร์

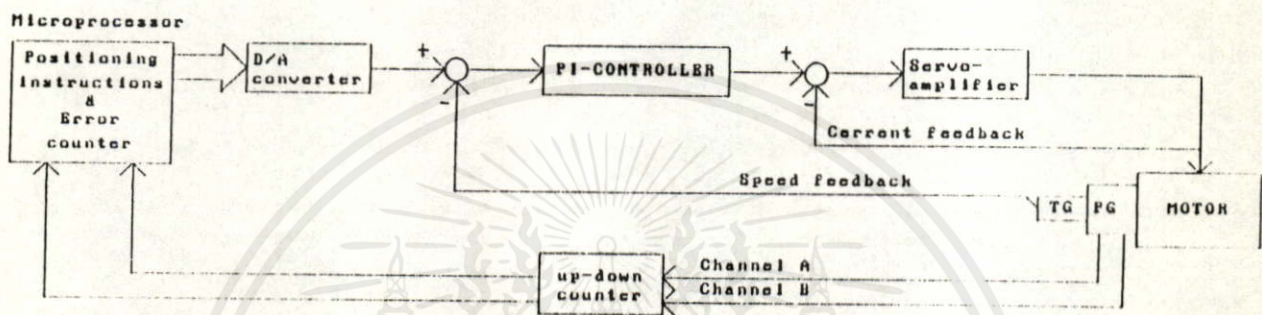
4.1 บทนำ

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงการออกแบบประยุกต์ใช้กับการควบคุมความเร็วติซึมอเตอร์แบบกระแสตรงที่ใช้ในขณะนี้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่จะนำมากล่าวในการทำวิทยานิพนธ์นี้เราจะขอกกล่าวถึงการพัฒนาระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PI โดยในส่วนนี้เราจะแสดงการสร้างและการวิเคราะห์วงจรที่ใช้ทางเทคนิคทางอานาลอก ที่แสดงผลจากสมการตัวควบคุมที่นำมาใช้ในระบบควบคุมโรงงาน พร้อมทั้งแสดงถึงการออกแบบระบบควบคุมตัวแปรโดยที่ตัวควบคุมมีอยู่ 2 อินพุตที่เรียกว่าจุดตั้ง (SP) และตัวแปรสัญญาณอินพุตอีกตัวเรียกว่าค่าที่ได้จริงจากการออกแบบซีออนแวร์ของตัวแปรที่เรียกว่าตัวแปรกระบวนการ (PV) เนื้อที่นำมาสร้างสัญญาณค่าผิดพลาด (E) เนื้อที่ใช้ในการควบคุมตัวแปรแบบ PI ต่อไปถ้าเรามีการเปลี่ยนแปลงตัวควบคุมในจุดตั้ง (SP) ตัวแปรตัวแปรกระบวนการ (PV) หรือค่าโหลดก็จะมีการเปลี่ยนแปลงในเอาท์พุทของตัวควบคุมที่ใช้วงจรขับแบบพัลส์วิดท์โมดเลชั่น (PWM) คอนเวอร์เตอร์ ที่ถูกสร้างขึ้นจากออปแอมป์ที่ทำหน้าสร้างสัญญาณพัลส์ขึ้นมาที่ควบคุมได้ทั้งตำแหน่งและทิศทางแบบสี่ควอดแรนต์ ในส่วนของวงจรกำลังในที่นี้เราจะขอกกล่าวถึงการออกแบบในวงจรสวิทช์แบบบริดจ์สมบรูณ์ ที่ทำงานด้วยทรานซิสเตอร์จะใช้ในระบบการควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงภายในระบบเซอร์โว ที่มีลักษณะการทำงานแบบไบโพลาร์โหมดรวมทั้งมีการออกแบบวงจรการป้องกันในลักษณะต่างๆ ทั้งแบบการป้องกันกระแส ทาโคเจน เนอเรเตอร์ที่นำมาใช้ในการสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดที่ใช้ในการควบคุมความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นภายในวงจรอานาลอกและพัลส์ เจนเนอเรเตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้งานในส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งภายในไมโครโปรเซสเซอร์ในแต่ละลักษณะต่อไป

4.2 ส่วนประกอบของชุดควบคุมความเร็วติซึมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์ใช้ในการศึกษานานับ ไม่นอบตาตีพิมพ์ไปใช้เผยแพร่หรือการค้า
จากรูปที่ 4.1 เราจะแสดงส่วนของบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งที่ใช้ติซึมอเตอร์ที่นำมาใช้สำหรับศึกษาทางปฏิบัตินำมาประยุกต์ใช้ทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ ที่นำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่ง PID ในส่วนของวงจรชุดควบคุมความเร็วที่เรานำมาประยุกต์แบบวงจรอานาลอกที่ใช้แบบ PI

ตัวควบคุม นำมาควบคุมแบบใช้สัญญาณแบบ PWM เป็นตัวควบคุมชุดขับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อที่จะนำไปเข้าสู่จรรยาซึ่งเซอร์โวแอมป์ที่นำไปใช้ในการควบคุมทั้งทิศทางและความเร็วติซึมอเตอร์ จากนั้นจะนำสัญญาณการป้อนกลับจากพัลส์เจนเนอเรเตอร์ ที่ถูกป้อนกลับเข้ามายังส่วนไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อที่นำมาสร้างสัญญาณค่าผิดพลาด ที่นำมาใช้เข้าสู่ระบบควบคุมตำแหน่ง PID และนำสัญญาณที่ได้ นำ

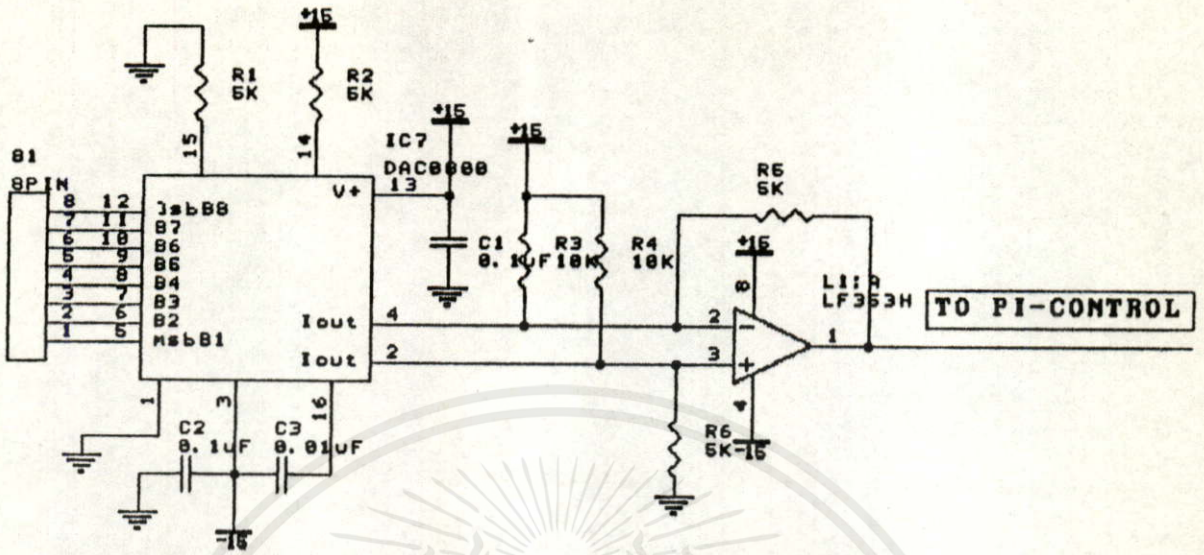


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งของติซึมอเตอร์ซึ่งมี uP เป็นตัวควบคุม

มาทำการอินเตอร์รัพท์ ที่ใช้ในการกำหนดทิศทางของมอเตอร์ที่ถูกเขียนขึ้นโดยไมโครโปรเซสเซอร์ พร้อมกันนั้นจะมีการนำสัญญาณการป้อนกลับมาจากสัญญาณทาโคเจนเนอเรเตอร์ นำมาสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดในส่วนของชุดควบคุมความเร็วแบบ PI พร้อมกับนำสัญญาณจากการป้อนกลับกระแสที่เข้าสู่ชุดควบคุมมอเตอร์ต้องการทำให้ระบบมีเสถียรภาพยิ่งขึ้น

4.3 การออกแบบวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก

วงจรที่เปลี่ยนข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก พร้อมทั้งมีการนำมาข้อมูลแปลงเข้าสู่ออปแอมป์ที่ทำหน้าที่แปลงออกมาเป็นโวลท์เตจดังรูปที่ 4.2 โดยลักษณะการต่อดังรูปจะสามารถมีแรงดันออกมาได้ทั้งแรงดันบวก (+V_{out}) และแรงดันลบ (-V_{out}) โดยที่เราจะนำข้อมูลดิจิตอลผ่านมาทางเอาต์พุทพอร์ท A ของ 8255 ที่ให้สัญญาณเป็นอนาลอก ซึ่งขนาดของสัญญาณดิจิตอลเป็นตัวบอกระดับความเร็วไม่ว่ากรณีใดก็ตามที่ได้ ซึ่งสัญญาณอนาลอกที่บีทบนสุด (MSB) เป็นตัวกำหนดทิศทางของมอเตอร์ นำแรงดันที่ได้จากส่วนของออปแอมป์ L1 ผ่านเข้าไปสู่ในชุดควบคุม PI ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.2 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกที่ให้เอาท์พุทเป็นได้ทั้งโวลต์เตจบวกและลบ

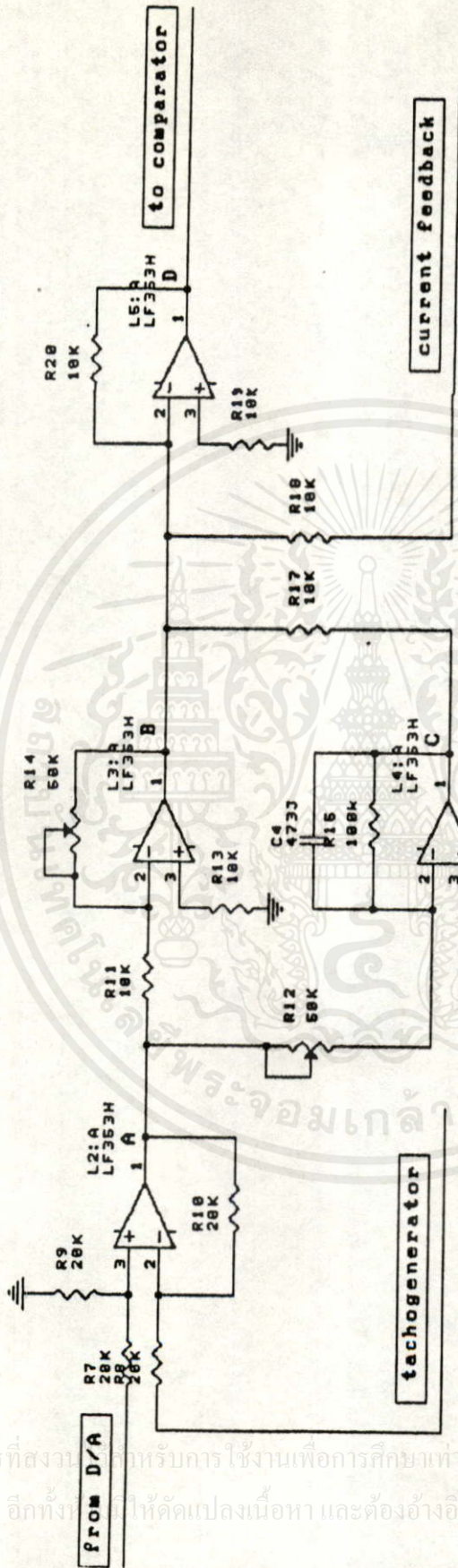
4.4 การออกแบบวงจรระบบควบคุมความเร็วติซึมอเตอร์

ในการออกแบบวงจรการควบคุมออปแอมป์แต่ละตัวจะมีจุดมุ่งหมายที่แตกต่างกัน โดยที่ออปแอมป์ตัวแรกจะทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอเรนซ์แอมป์ปรีไฟล์ โดยจะได้รับสัญญาณมาจากแรงดันที่ได้จากการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (D/A) V_o พร้อมทั้งรับสัญญาณการป้อนกลับแรงดัน V_c มาจากทาคิเจนเนอเรเตอร์ผ่านเข้าสู่ออปแอมป์ L2 จะปรากฏว่าแรงดันที่จุด A เป็น $(V_o - V_c)$ จากนั้นจะนำแรงดันที่จุด A นำผ่านเข้ายังออปแอมป์ L2 และ L3 โดยจะนำไปทำหน้าที่เป็นปร็อพออร์ซันนลและอินติกรัลตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3 แรงดันที่จุด B เป็น $K_1 (V_o - V_c)$ และแรงดันที่จุด C เป็น $K_1 \int (V_o - V_c) dt$ จากนั้นจะนำสัญญาณแรงดันที่ได้เข้าสู่ออปแอมป์ L5 ที่ทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอเรนซ์แอมป์ปรีไฟล์ โดยทำหน้าที่รับแรงดันที่จุด B และ จุด C พร้อมทั้งรับแรงดันการป้อนกลับจากกระแสป้อนกลับ V_c ผ่านเข้าสู่ออปแอมป์ L5 ที่ทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอเรนซ์แอมป์ปรีไฟล์ เราจะได้รับแรงดันที่จุด D เป็น $K_2 (V_o - V_c) + K_1 \int (V_o - V_c) dt + V_c$ โดยที่จะนำแรงดันที่จุดนี้ไปใช้ในการควบคุมมอเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

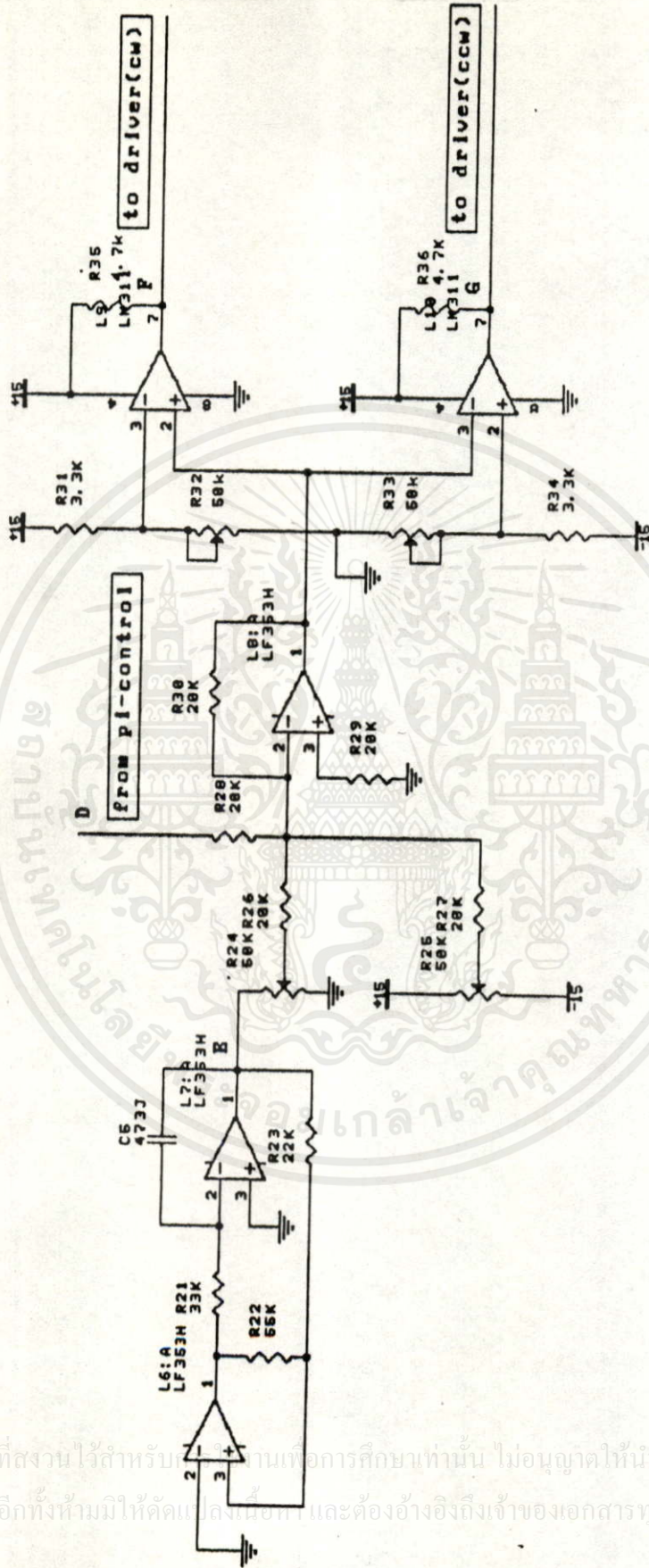
4.5 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณความถี่

ในส่วนของการออกแบบในวงจรสร้างสัญญาณความถี่ดังรูปที่ 4.4 จากในส่วนของวงจรมันเราได้ รับแรงดันที่จุด D จากรูปที่ 4.3 พร้อมทั้งรับแรงดันที่ได้จากโครงสร้างการสร้างสัญญาณ พัลส์-วิด-มอดคูล (PWM) เป็นวงจรสร้างสัญญาณความถี่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณสามเหลี่ยมที่สามารถเปลี่ยนแปลง ความกว้างพัลส์ตามระดับแรงดันโวลต์เต็มจุด E โดยเราสามารถปรับแรงดันโดยจากการตัวต้านทาน R24 และ R25 เพื่อให้ได้แรงดันที่จุด E อย่างเหมาะสมเพื่อที่ใช้ควบคุมร่วมกับสัญญาณควบคุมจาก แรงดันที่จุด D เพื่อที่จะนำไปขับวงจรสวิทซ์ซึ่งเซอโรไวแอมป์ที่ประกอบด้วยวงจรมันที่ใช้ในการออกแบบ วงจรเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 4.4 เราสามารถดูได้ว่าออปแอมป์ L8 จะทำหน้าที่คิฟเฟอเรนซ์ แอมป์ไปใส่ไฟส์ โดยเราจะมีสัญญาณจากวงจรควบคุม PI และวงจรสร้างสัญญาณความถี่นำมา รวมกัน ผ่านเข้าสู่ออปแอมป์ L8 ไปยังออปแอมป์ L9 และ L10 ที่ใช้ทำหน้าที่เป็นวงจรคอมพาราเตอร์ที่มี หน้าที่สร้างพัลส์ โดยที่ตัวต้านทาน R32 และ R33 มีหน้าที่ในการปรับระดับแรงดันเพื่อทำหน้าที่สร้าง ขอบบนและขอบล่างของรูปคลื่น PWM เมื่อแรงดัน V_c มีค่าเป็นบวกจะทำให้แรงดันที่จุด F สร้างสัญญาณ พัลส์ที่ได้ออกมาทาง P_{csw} มีผลทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ในทางตรงกันข้ามเมื่อ แรงดัน V_c มีค่าเป็นลบจะทำให้แรงดันที่จุด G สร้างสัญญาณพัลส์ออกมาทาง P_{csw} ทำให้มอเตอร์หมุน กลับทิศทางไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา โดยความกว้างของพัลส์ทั้งสองเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสัมบูรณ์ ของแรงดันที่จุด E



รูปที่ 4.3 วงจรควบคุมความเร็วด้วยมอเตอร์แบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกานำไปใช้



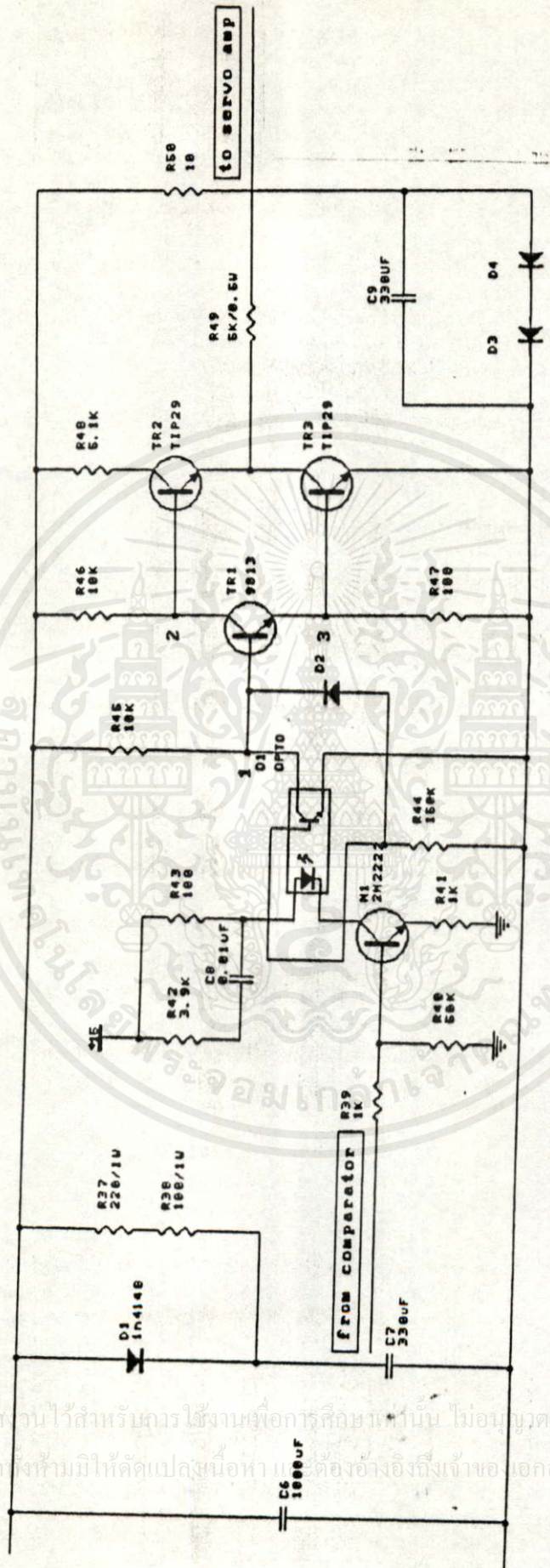
รูปที่ 4.4 วงจรสร้างลูกคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อใช้สร้างสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกัรนำไปใช้

4.6 การออกแบบวงจรชุดขับเซอร์โวมอเตอร์

การอินเตอร์เฟสสัญญาณการควบคุมสำหรับโครงสร้างความถี่สัญญาณ PWM ความถี่กับโครงสร้างที่ใช้กับทรานซิสเตอร์ NPN นี้จะใช้อุปกรณ์ไอโซเรสที่ทำหน้าที่เป็นตัวแยกแรงดันไฟฟ้าระหว่างวงจรควบคุมและวงจรชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ออกจากกันดังแสดงในรูปที่ 4.5 สิ่งจำเป็นที่ทำให้เกิดแรงดันสำหรับสภาวะการอินเตอร์เฟสของวงจรชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ จากการนำค่าสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของแรงดันวงจรเปรียบเทียบ นำเข้ามาสู่ส่วนของชุดออปโตไอโซเรสที่ขา 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 ไม่ทำงานที่ลอจิก 0 แรงดันเอาต์พุตของชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ที่จุด 4 มีลอจิกเป็น 1 ที่จะนำไปใช้และในทางกลับกันถ้าเราให้สัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของแรงดันวงจรเปรียบเทียบเข้ามาสู่ส่วนของชุดออปโตไอโซเรสที่ขา 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 แรงดันเอาต์พุตของชุดขับเซอร์โวมอเตอร์ที่จุด 4 มีลอจิกเป็น 0 ที่จะนำไปใช้งานต่อไป

จากการสังเกตวงจรมีการรวมกันของคาปาซิเตอร์ C และไดโอด ๒ ตัว ดูจากรูปที่ 4.5 สำหรับเตรียมไว้ที่อาจจะเกิดกรณี negative สำหรับการเปลี่ยนค่าอย่างรวดเร็วของประจุที่มากเกินไปจากขาเบสจากเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ทำให้ลดค่าเวลาในการ turning-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 เพราะว่ามีแรงดันไฟฟ้าอิมิตเตอร์ของ Tr3 ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด a กับค่าอิมิตเตอร์ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำมาต่อกันกับวงจรสวิตซ์ซิงเซอร์โวมอเตอร์ไฟฟ้

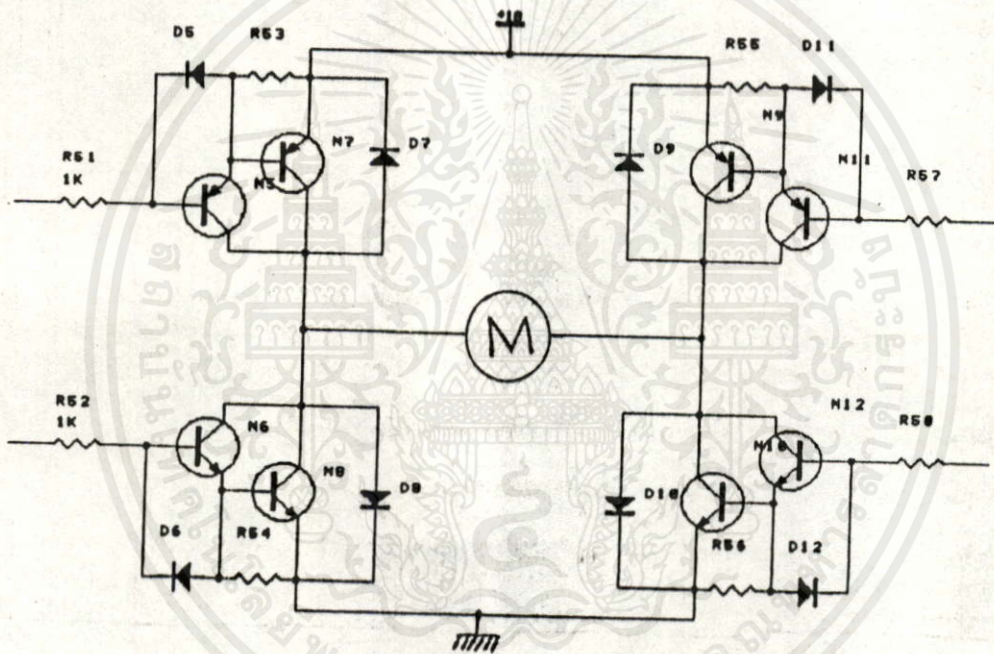


รูปที่ 4.5 วงจรชุดขับมอเตอร์เซอร์โว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การออกแบบวงจรสวิตช์ซึ่งเซอร์โวแอมป์ลิไฟล์

วงจรสวิตช์ซึ่งเซอร์โวแอมป์ลิไฟล์มีหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุต สำหรับการสวิตช์ซึ่งที่มีกระแสสูงๆ แต่กลับใช้กระแสอินพุตน้อยๆจะเรียกการต่อกันแบบนี้ว่าวงจร Darlington ที่นำทรานซิสเตอร์ มาใช้ดังรูปที่ 4.6 กระแสอิมิตเตอร์ในทรานซิสเตอร์MPN ทั้ง ๒ ตัว จะสังเกตได้ว่าโครงสร้าง Darlington จะมีการเพิ่มแรงดัน Saturation ใน Tr5 เพื่อที่จะนำไปใช้ในการควบคุมดีซีมอเตอร์รายละเอียดของวงจรดูได้จากรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วงจรสวิตช์ซึ่งเซอร์โวแอมป์ลิไฟล์

4.8 การออกแบบวงจรควบคุมทิศทางการป้อนกลับ

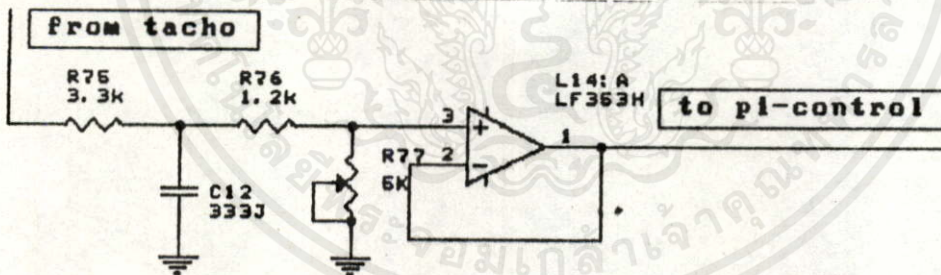
การป้อนกลับของกระแสมอเตอร์ที่มีการใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ มีทั้งแบบการป้อนทิศทางการป้อนกลับของกระแสเซอร์โวมอเตอร์ การป้อนกลับของสัญญาณทาโคเจนเนอร์และการป้อนกลับของสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ อย่างไรก็ตามหนึ่งหรือเราอาจจะใช้การป้อนกลับทั้ง 3 แบบก็ได้อย่างที่เรากำลังใช้ในการทำวิทยานิพนธ์อยู่ในตอนนี้ โดยที่มอเตอร์ที่ถูกใช้อยู่นี้จะมีโรเตอร์ทั้งในระบบทาโคเจนเนอร์เรเตอร์และพัลส์เจนเนอเรเตอร์โดยที่ทั้งคู่จะมีทิศทางไปในทาง shaft

4.8.1 ทิศทางการป้องกันกระแสเซอร์โวมอเตอร์

มอเตอร์ที่ถูกใช้ภายในระบบการป้องกันกระแส จากรูปที่ 4.8 โดยเรานำกระแสการป้องกันจากมอเตอร์เข้ามาสู่อปแอมป์ L11 ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วเฟ้อร์ จากนั้นเรานำกระแสที่ได้ผ่านเข้ามาสู่ optoisolate ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแยกแรงดันและกราวส์ออกจากกัน เพื่อนำแรงดันที่ได้จากการป้องกันกระแสเข้ามาสู่ชุดควบคุมภายในระบบ PI โดยที่เราจะทราบได้จากคุณสมบัติของ optoisolate ถ้ามีการป้องกันของกระแสมอเตอร์ optoisolate ก็จะทำงานที่ตอนนั้น

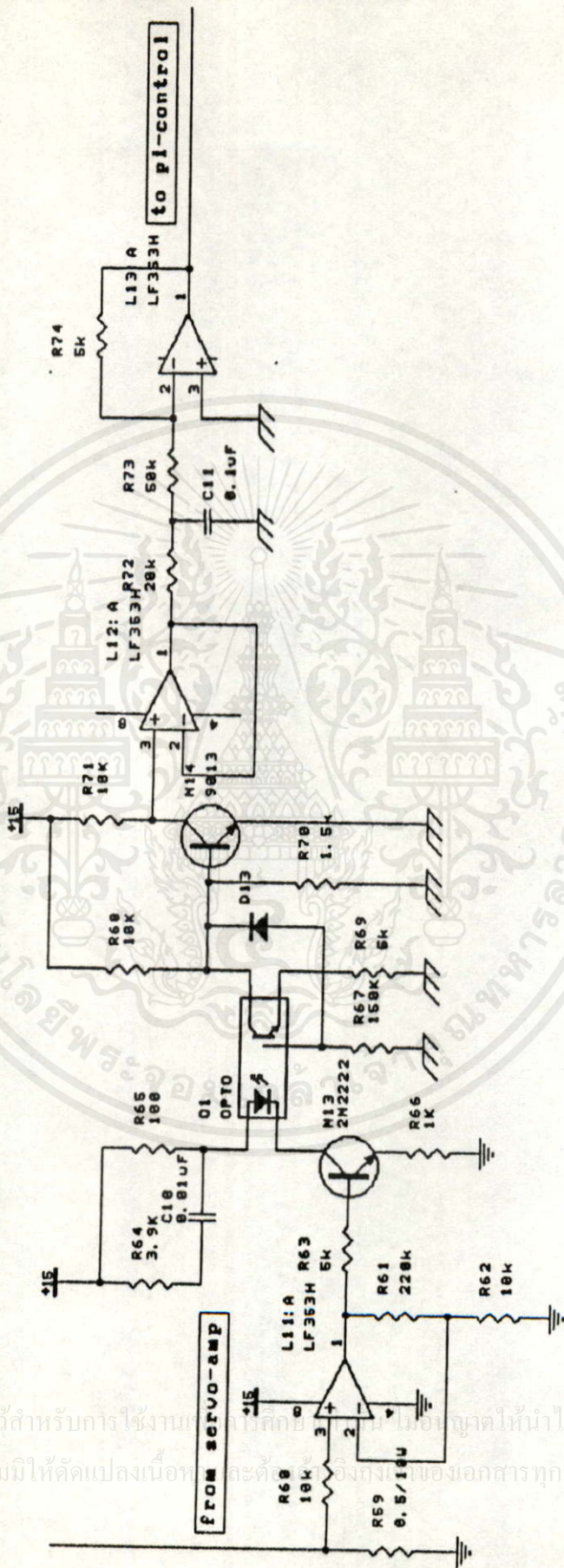
4.8.2 ทิศทางการป้องกันทาโคเจนเนอเรเตอร์

ทาโคเจนเนอเรเตอร์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แปลงค่าการหมุนความเร็วเข้าไปในแรงดันดิซีจากรูปที่ 4.8 เป็นการนำสัญญาณการป้องกันจากทาโคโรเจนเนอเรเตอร์ เข้าสู่วงจรมอเตอร์อย่างง่ายที่จะนำแรงดันจากทาโคโรเจนเนอเรเตอร์เข้าสู่อปแอมป์ L14 ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วเฟ้อร์ก่อนที่จะนำสัญญาณกลับเข้าไปสู่วงจรมอเตอร์ที่ตั้งที่ได้อีกแล้วข้างต้น



รูปที่ 4.7 วงจรแรงดันการป้องกันทาโคเจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



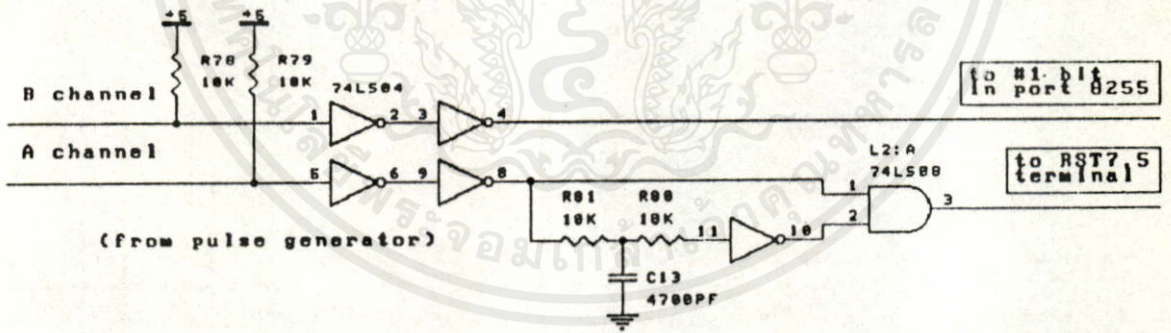
รูปที่ 4.8 วงจรการป้อนกลับทิศทางของกระแสตีโมเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาสาระสำคัญของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.3 ทิศทางการป้อนกลับพัลส์เจเนอเรเตอร์

พัลส์เจเนอเรเตอร์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่โรเตอร์ของมอเตอร์ที่มีเฟสแตกต่างกัน 90° ระยะเวลาสัญญาณจากแชนแนล A และ B ทิศทางการเคลื่อนที่ที่สามารถนำมาตรวจสอบ ในวิธีการควบคุมตำแหน่งที่ถูกสร้างในสัญญาณ encoder ถูกกำหนดโดยไมโครโปรเซสเซอร์ มีการอินเตอร์รัพท์ความถี่ได้สูงสุด (สมมุติว่าเป็น 10 KHz) เพื่อใช้ในการกำหนดตำแหน่งของดีซีมอเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์กับค่าเวลาจากการเริ่มต้นของ subroutine การนับค่าผิดพลาดในช่วงการอินเตอร์รัพท์ (ใช้เวลา 40 ms สำหรับ ความถี่ clock 2.5 MHz) ค่าความถี่อินเตอร์รัพท์สูงสุด 25 kHz

สัญญาณจากพัลส์เจเนอเรเตอร์บนมอเตอร์ที่นำมาป้อนให้กับวงจรดังแสดงในรูปที่ 4.10 ก่อนที่จะนำมาส่งไปยังอินพุตพอร์ต 8255 และเข้าสู่ขาอินเตอร์รัพท์ INT ของไมโครโปรเซสเซอร์ โดยที่เราต้องนำมาผ่านอินเวอร์เตอร์ 2 ลอจิก สัญญาณจากแชนแนล B ไปยังบิตที่ 1 ของพอร์ตอินพุตแอดเดรส ส่วนของสัญญาณแชนแนล A การอินเตอร์รัพท์ที่มีผลต่อการสร้างสัญญาณขอบขึ้นของสัญญาณแชนแนล A โดยใช้วงจรดีเลย์ RC และ AND เกทพัลส์ที่ต่อเนื่องได้มาจากสัญญาณแชนแนล A และส่งต่อไปถึง INT



รูปที่ 4.9 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์เจเนอเรเตอร์

4.9 การออกแบบวงจรการวัดตำแหน่งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตามโดยไม่ได้รับอนุญาตก่อน ในกรณีที่ท่านต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารฉบับนี้

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

นำสัญญาณที่ได้จากสัญญาณพัลส์เจเนอเรเตอร์ผ่านเข้าสู่วงจรนับ โดยในการทดลองอยู่ที่เราได้ใช้วงจรการนับขนาด 16 บิต ที่มีความละเอียดต่อการนับโดยเราใช้ IC 74LS193 เป็นตัวที่ใช้ในการนับขนาด 4 บิต จำนวน 4 ตัว จากนั้นนำมาผ่าน IC 74LS244 ที่จะรับข้อมูลครั้งละ 4 บิต จำนวน 2 ตัว โดยตัวแรกจะรับข้อมูล 4 บิตบน และตัวที่สองจะรับข้อมูล 4 บิตล่าง ในขั้นตอนสุดท้ายเราจะนำข้อมูลที่ได้ออกทั้งหมด 16 บิต ผ่านเข้าไปสู่วงจร D/A ขนาด 16 บิต ที่ได้จากการสร้างขึ้นมาจากทรานซิสเตอร์ NPN ขนาด 2 ตัว โดยนำมาใช้ในการต่อแบบอนุกรมทั้ง 16 บิต ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

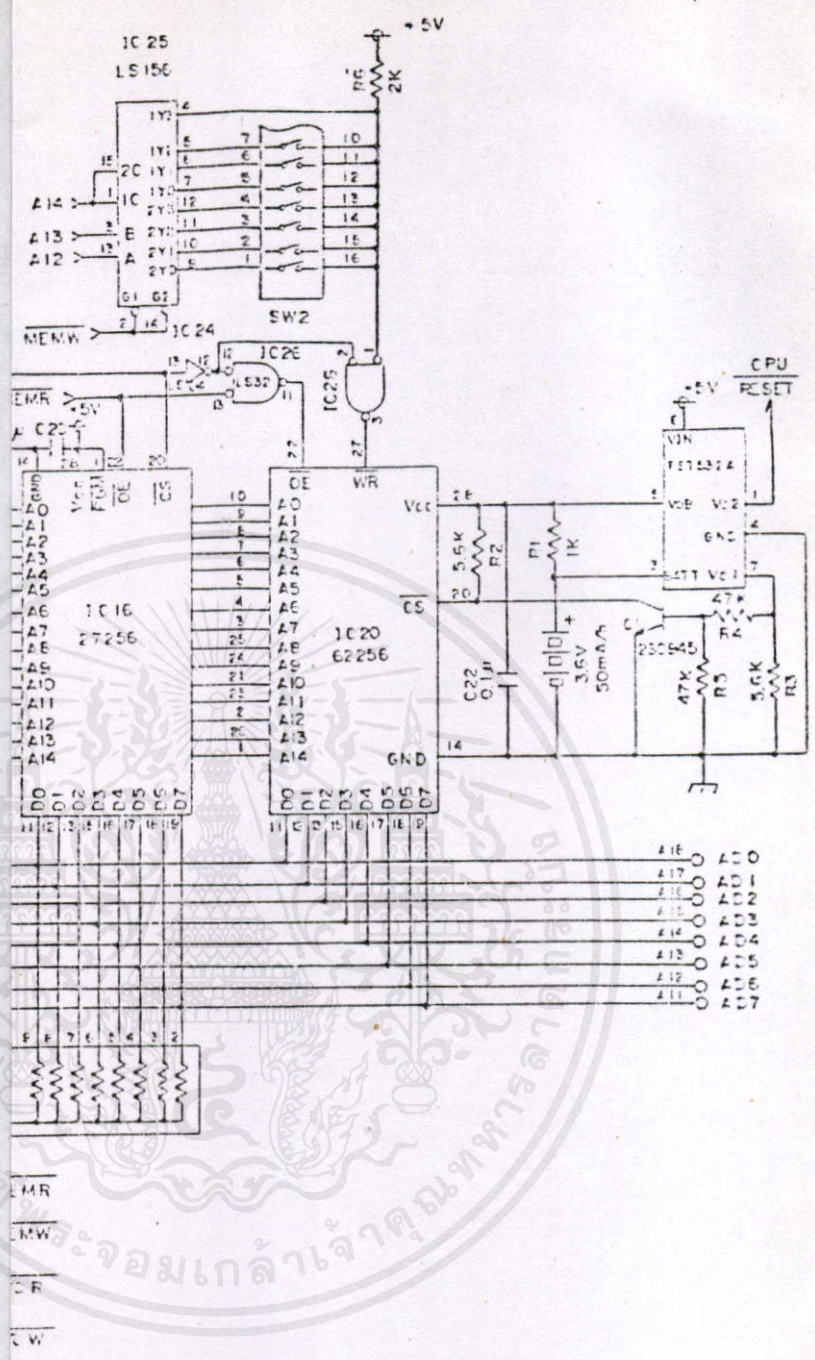
5.1 บทนำ

ปัจจุบันเราจะพบว่าไมโครโปรเซสเซอร์มีประโยชน์มากในการพัฒนาระบบต่างๆ ทั้งในชีวิตประจำวันและในโรงงานอุตสาหกรรม ในบทนี้เราจะขอก้าวถึงคุณสมบัติของไมโครโปรเซสเซอร์ที่เรานำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ภายในระบบ PID และ PD ที่ควบคุมได้ทั้งตำแหน่งและทิศทางแบบสี่ควอดแรนต์ ซึ่งความสำเร็จในการควบคุมตำแหน่งนี้ขึ้นอยู่กับารออกแบบการตั้งค่าเกณฑ์ต่างๆ ที่อยู่ในระบบ PID และ PD จะได้ตำแหน่งหยุดได้อย่างเที่ยงตรงและแม่นยำยิ่งขึ้น เราทราบกันดีอยู่แล้วว่าซอฟต์แวร์มีความอ่อนตัวง่ายต่อการแก้ไขภายในระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับทางด้านระบบไมโครโปรเซสเซอร์โดยที่เราไม่ต้องไปยุ่งเกี่ยวกับระบบโครงสร้างภายในฮาร์ดแวร์แต่อย่างใด

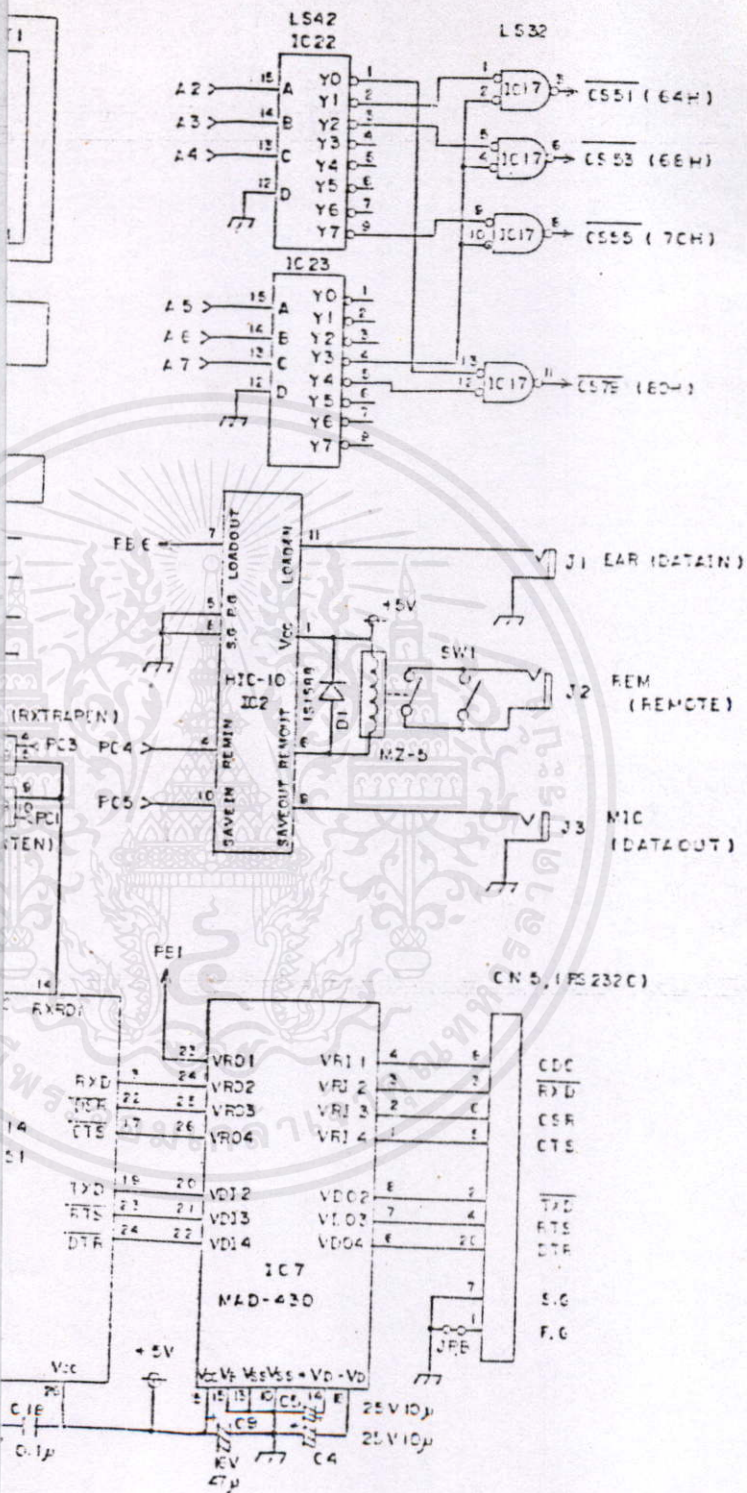
ระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ส่วนมากมักต้องการหมุนโพลิต์ให้ไปหยุดในตำแหน่งที่กำหนด และยึดตำแหน่งนั้นไว้จนกว่าจะได้รับคำสั่งการควบคุมการหมุนใหม่ การเคลื่อนที่อีกแบบหนึ่งของระบบนี้คือในบางครั้งต้องการให้โพลิต์เคลื่อนที่ไปตามระยะตำแหน่งที่กำหนดให้ ข้อกำหนดการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยอาศัยระบบการควบคุมตำแหน่ง ตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งอาจเป็นพวกที่ให้สัญญาณเอาท์พุทได้ต่อเนื่องซึ่งระบบการควบคุมแบบนี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เป็นระบบการควบคุมแบบอนาลอกระบบตัวควบคุมตำแหน่งแบบอนาลอกมีความละเอียดในการควบคุมตำแหน่งได้ดีเยี่ยม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการควบคุมตำแหน่ง อย่างไรก็ตามสัญญาณของตำแหน่งที่มีการแปรอย่างต่อเนื่องจะถูกจำกัดอยู่ในช่วงตำแหน่งช่วงหนึ่งเท่านั้น และการลิมิตนี้จะเป็นตัวจำกัดการเคลื่อนที่ตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งแบบอื่นได้แก่ เซ็นเซอร์แบบดิจิตอลคือ พวงเอนโคเดอร์สำหรับตำแหน่งของเพลลา พวงเซ็นเซอร์แบบนี้มีช่วงการทำงานของตำแหน่งไม่มีขีดจำกัด อย่างไรก็ตามเช่นเซอร์พวงนี้มีข้อเสียในเรื่องความละเอียดของการควบคุมตำแหน่งอยู่ภายในค่าที่จำกัด นอกจากนั้นสัญญาณของตำแหน่งจะอยู่ในลักษณะของสัญญาณดิจิตอลซึ่งสัญญาณนี้จะต้องป้อนเข้า D-A คอนเวอร์เตอร์ก่อนเพื่อแปลงเป็นสัญญาณของตำแหน่งแบบอนาลอก

มีหลักความจริงอยู่ที่ว่า เราไม่สามารถจะการควบคุมตำแหน่งเอาท์พุทของระบบให้เที่ยงตรงได้มากไปกว่าความเที่ยงตรงที่วัดได้จากตัวเซ็นเซอร์ ปัญหาหลักในการออกแบบระบบการควบคุมตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทเอกชนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกครั้งนี้ให้คัดลอกไปเพื่อความรู้และศึกษาวิจัยในวงวิชาการเพื่อผู้สนใจได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

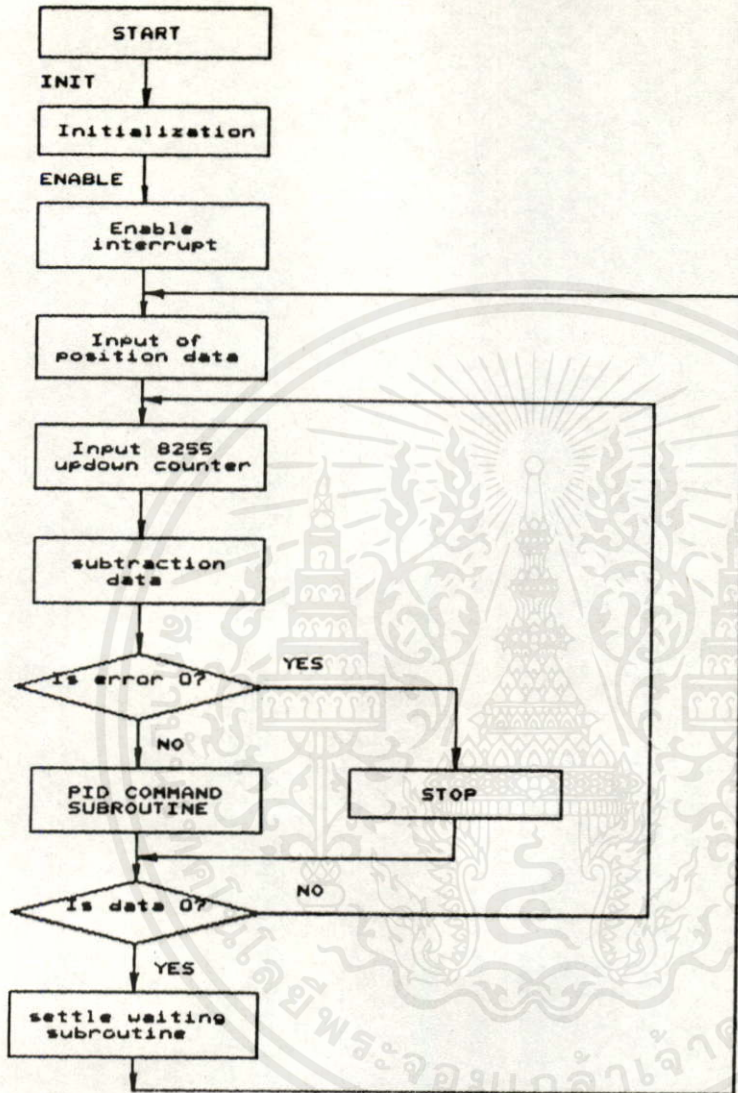
คือการทำให้ระบบมีเสถียรภาพภายใต้อัตราขยายที่เหมาะสม และมีแบนด์วิดท์ของลูอย่างพอเพียง ดังนั้นเราจะได้นับถึงปัญหาของเสถียรภาพและหลักการออกแบบต่อไป ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไปจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ระบบมีความเที่ยงตรงสภาวะคงที่เป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นระบบจึงไม่นิยมจะให้มีการลดอัตราขยายลงเพื่อทำให้ระบบมีเสถียรภาพ ถ้าอัตราการขยายต้องการเพื่อกำหนดความเที่ยงตรงทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพหรือผลตอบสนองมีการแกว่งที่เร็ว เมื่อนั้นระบบจะต้องได้รับการเปลี่ยนแปลง (มีการชดเชย) ในวิถีทางที่จะให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการโดยไม่ทำให้ความเที่ยงตรงด้อยลงไป

5.2 การออกแบบชุดควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ในส่วนของไมโครโปรเซสเซอร์

การออกแบบชุดควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ในระบบ PID ที่ถูกสร้างขึ้นในส่วนของไมโครโปรเซสเซอร์ ดังแสดงในรูป 5.1 เราแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งที่จะประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 ที่ผ่านวงจรการแปลงดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนาล็อกโดยใช้ DAC0800 ผ่านออกไปโดยที่มีการเพิ่มลดแรงดันต่างๆ จากการออกแบบภายในไมโครโปรเซสเซอร์โดยเราจะมากล่าวรายละเอียดต่อไป ในส่วนที่สองเราจะนำมาใช้ในการควบคุมทิศทางของมอเตอร์โดยเราได้นำสัญญาณจากพัลส์เจนเนอเรเตอร์ที่นำมาเข้าอินเทอร์รัพท์และขาพอร์ต 8255 ของไมโครโปรเซสเซอร์ตั้งที่เราได้กล่าวมาแล้ว

5.3 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

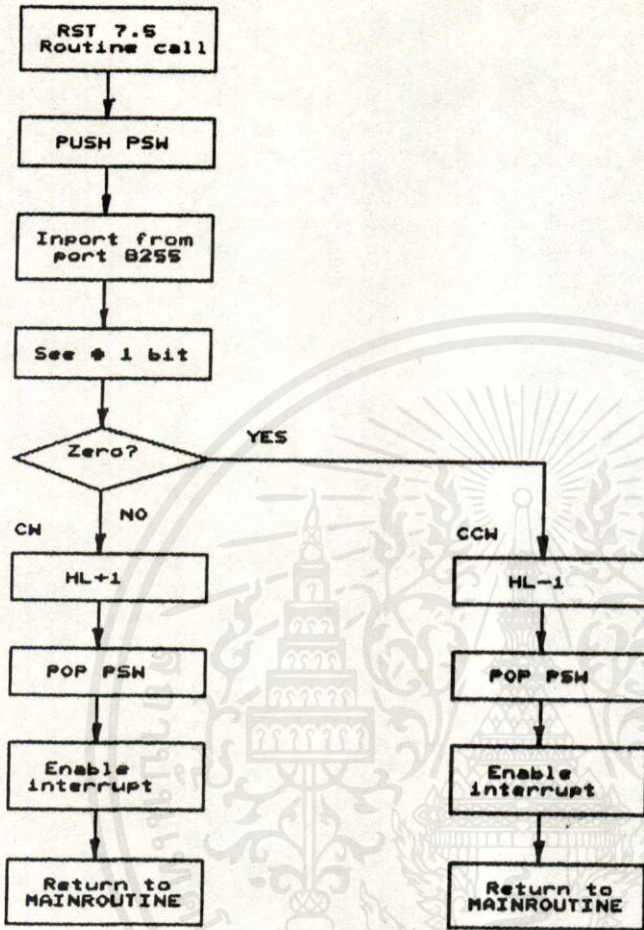
ในส่วนเริ่มต้นของโปรแกรมหลักที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเราจะนำสัญญาณที่ได้นำมาทำการอินเทอร์รัพท์ที่ใช้การกำหนดทิศทางของมอเตอร์ คุ้ได้จากไฟร์ชาร์ตที่ 5.2 ในส่วนโปรแกรมต่อไปที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งมอเตอร์ เราสามารถนำมาสร้างขึ้นได้จากการตั้งค่าตำแหน่งต่างๆ ที่ถูกสร้างขึ้นภายในโปรแกรม พร้อมทั้งนำข้อมูลจากสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์ผ่านเข้าสู่วงจรนับเพื่อจะนำเข้ามาสู่พอร์ต 8255 ที่ใช้มาสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดโดยนำสัญญาณที่ได้นำมาลบออกจากส่วนของโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรม ในส่วนต่อไปเราจะนำสัญญาณที่ได้จากการสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดจากโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้น เราจะนำเข้ามาสู่วงจรระบบ PID ที่นำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 5.2 โปรแกรมการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

5.4) โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมทิศทางมอเตอร์ ^{๕.๑๖}

เอกสารในส่วนเริ่มต้นของโปรแกรมหลักที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ โดยเริ่มต้นใช้โปรแกรมหลัก กำหนดค่าแอด्रेसและค่าผิดพลาดเป็นศูนย์ เริ่มต้นของการอินเตอร์รัพท์ ไว้ที่โปรแกรมหลักจากนั้นเราจะทำการเรียกโปรแกรมย่อยอินเตอร์รัพท์ที่ได้รับสัญญาณจากพัลส์เจเนอเรเตอร์ ในส่วนของแชลแนล



รูปที่ 5.3 โปรแกรมการควบคุมทิศทางมอเตอร์

A จะเข้าสู่ขาอินเทอร์รัพท์ บน CPU-8085 และ แชลแนล B จะผ่านทางอัปดาวนด์เคาเตอร์เข้าสู่พอร์ต C บิตที่ 1 ของ IC-8255 จากโฟร์ซาร์ตที่ 1 โปรแกรมจะนำสัญญาณบิตที่ 1 เพื่อทำการตรวจสอบทิศทางและการหมุนของมอเตอร์โดยทำการทดสอบค่าคันท์ฟลै็ก จากโฟร์ซาร์ตที่ 1 ถ้าค่าฟลै็กเป็นศูนย์ เราจะพิจารณาเฉพาะค่าบวก พร้อมกับมีการเพิ่มค่าตำแหน่งค่าผิดพลาด 1 สเตปสำหรับการเคลื่อนที่ในทิศทาง CCW แต่ถ้าฟลै็กเป็นหนึ่งเราจะพิจารณาเฉพาะค่าลบพร้อมกับมีการลดค่าตำแหน่งค่าผิดพลาด 1 สเตป สำหรับการเคลื่อนที่ในทิศทาง CW จากนั้นโปรแกรมจะไปทำการ "Enable interrupt" ก่อนที่โปรแกรมจะกลับไปโปรแกรมจากนั้นโปรแกรมคำสั่ง "Disenable interrupt" นำมาเชื่อมต่อ ไมโครมิเตอร์กลับ อีกทั้งนำมิเตอร์ไปวัดแปลงเป็นค่า และต้องนำค่านี้เข้าเองเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ โนมิตีเมื่อนำสัญญาณอินเทอร์รัพท์ INT มาใช้การนำมาเรียกใช้ในโปรแกรมน้อย A/D โดยนำมาจาก สัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์จากแชลแนล B ของมอเตอร์

5.5) โปรแกรมการควบคุมภายในระบบปร็ออปฟอร์ชั่น์นัลอินติกรัลคิรีเวทึฟ^{๕๖}

จากโฟร์ซาร์ตเป็นการควบคุมตัวแปรอินพุตตารางตำแหน่ง (DV) รับข้อมูลจากการกำหนดค่าตัวแปรภายในซีพแวลว่ ตัวแปรอินพุตจะถูกควบคุมโดยอัลกอริทึมของไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 ขนาด 8 บิต โดยจะมีค่าจาก 00H ถึง FFH (ประมาณ 256 ค่า) ส่วนตัวแปรเซตหน่วยที่สร้างสัญญาณค่าผิดพลาดจะได้มาจากสัญญาณ DSP เป็นสัญญาณการป้อนกลับที่ป้อนกลับมาจากส่วนของพัลส์เจนเนอเรเตอร์ของดีซีมอเตอร์ผ่าน A/D เข้าสู่ ไมโครโปรเซสเซอร์ 8085

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

สัญญาณ DE เป็นสัญญาณค่าผิดพลาดได้จากการกำหนดค่าความแตกต่างกันระหว่างตัวแปรอินพุต DV ลบออกจากสัญญาณ DSP ค่าสัญญาณค่าผิดพลาดจากสมการที่ 1 สามารถนำมาตรวจสอบเครื่องหมายของค่า DE ได้จากค่าแครีรีทถ้าค่าของแปรอินพุต $DV > DSP$ จะมีเครื่องหมายเป็นบวกเราจะเซตบิตเครื่องหมายเป็นศูนย์ (SGN=0) จะมีการทดเซตแครีรีทค่าเป็น 1 แต่ถ้าตัวแปรอินพุต $DV < DSP$ จะมีเครื่องหมายออกมาเป็นลบเราจะเซตบิตเครื่องหมายเป็นหนึ่ง (SGN=1) จะไม่มีการทดเซตแครีรีทค่าเป็น 0 พร้อมกลับทำการแปลงผลลันท์ให้อยู่ภายใต้ค่า 2 complement ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงอัลกอริทึมของการคำนวณทั้ง 3 โหมดปร็ออปฟอร์ชั่น์นัลอินติกรัล (reset) และดิฟเฟอเรนเทรียเอท (rate) เราสามารถบรรยายโฟร์ซาร์ต

5.5.1) โหมดปร็ออปฟอร์ชั่น์นัล

สมการเอาท์พุทโหมดปร็ออปฟอร์ชั่น์นัลค่าที่ได้จากสมการสำหรับโหมดนี้ จะได้ค่าสมการอัลกอริทึมสำหรับใช้สมการควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 รูปแบบที่ได้ถ้าตัวควบคุมตัวแปรอินพุตจากตารางตำแหน่ง (DV) เท่ากันกับสัญญาณอินพุทพัลส์เจนเนอเรเตอร์ (DSP) จากดีซีมอเตอร์สัญญาณค่าผิดพลาด (DE) จะเท่ากับศูนย์ตัวควบคุมเอาท์พุทจะมีค่าเป็นศูนย์ (จากสมการที่ 2) แต่ถ้าตัวควบคุมตัวแปรอินพุตตำแหน่ง (DV) มีค่าไม่เท่ากับสัญญาณอินพุตจากพัลส์เจนเนอเรเตอร์ (DSP) จากดีซีมอเตอร์สัญญาณค่าผิดพลาด (DE) จะไม่เท่ากับศูนย์ KP จะเป็นแกนของโหมด

DCP = KP*DE

(5.2)

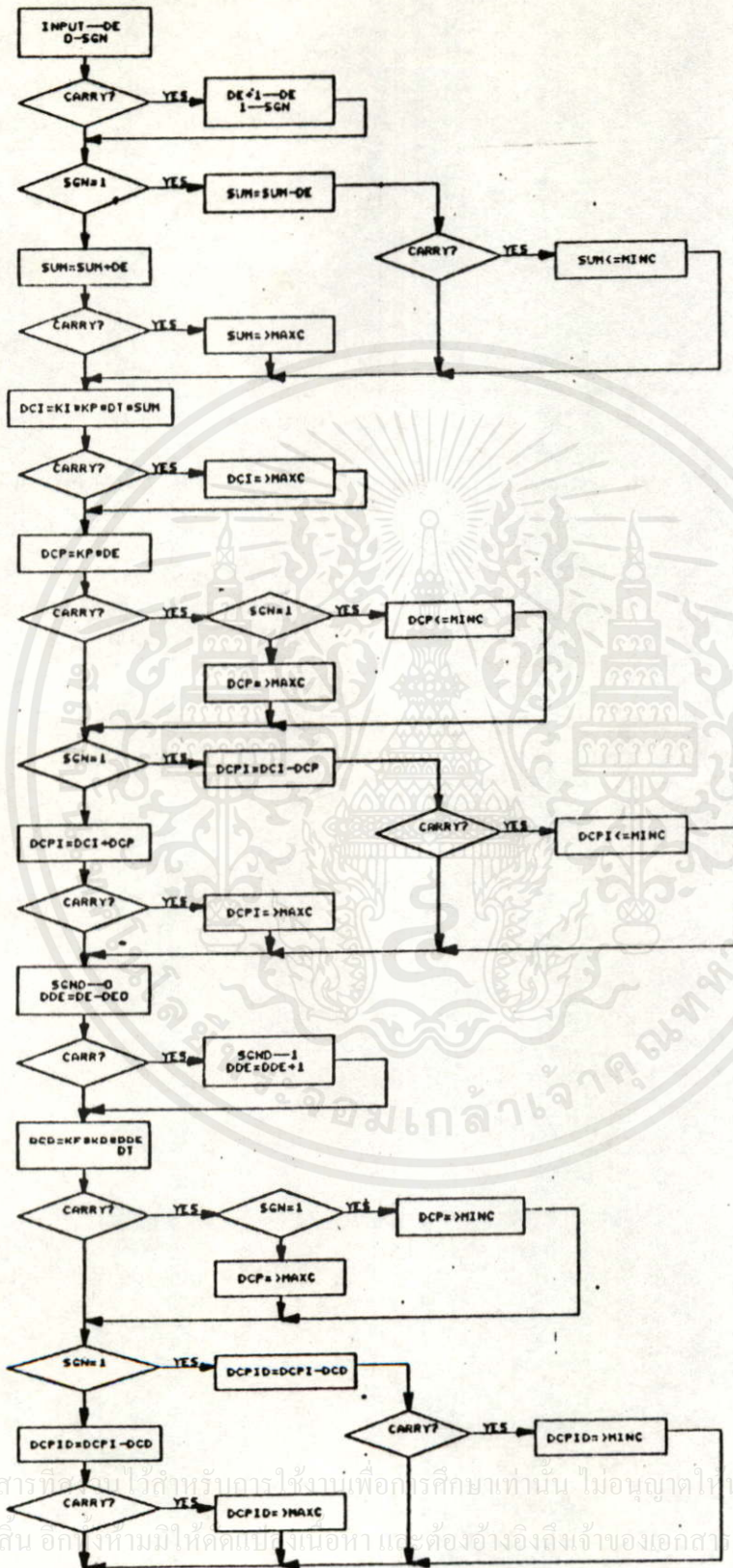
DCP = ตัวควบคุมดิจิทัลเอาต์พุตรีโอปอร์ชั่นนัล

KP = เกนดิจิทัลรีโอปอร์ชั่นนัล

DE = สัญญาณค่าผิดพลาด

รีโอปอร์ชั่นนัลโดยนำเกน KP ที่ได้คูณกับสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ผลลัพธ์ที่ได้จาก KP*DE อาจจะเกิดการโอเวอร์ไฟร์หรือแอนเดอร์ไฟร์ เกิดขึ้นโดยเราใช้แคร์ริบเป็นตัวตรวจสอบเกน KP จะเป็นตัวกำหนดทิศทางการควบคุมว่าเป็นแบบทิศทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาโดยที่มีทิศทางตามเข็มนาฬิกาเมื่อค่าสัญญาณค่าผิดพลาด ที่ได้มีค่าเป็นบวกจะเพิ่มค่าการควบคุมตัวแปรเอาต์พุตและสำหรับทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางตามเข็มนาฬิกากับค่าสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ที่ได้มีค่าเป็นลบจะลดค่าการควบคุมตัวแปรเอาต์พุตโดยเราตรวจสอบจากนิทเครื่องหมาย (SGN) เมื่อผลลัพธ์เกิดการโอเวอร์ไฟร์หรือแอนเดอร์ไฟร์ เกิดขึ้นกรณีเราใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8085 ที่แปรค่าจาก 00H ถึง FFH จากไฟร์ชาร์ตพบว่า DCP เกิดการโอเวอร์ไฟร์ ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าสูงสุดไม่เกิน FFH ส่วนกรณีที่ DCP เกิดการแอนเดอร์ไฟร์ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าไม่น้อยกว่า 00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 โปรแกรมการควบคุมตำแหน่งแบบปร็อพออร์ชันนัลอินเตกรัลดิวิเวทิฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแบบเรียนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2) โหมดอินติกรัล (RESET)

โหมดอินติกรัลเป็นตัวเลือกการตอบสนองค่าผิดพลาดในสมการอินติกรัลของค่าผิดพลาดจะถูกนำมาเลือกใช้โหมดรีเซ็ตขึ้นนัลโดยการ "reset" อยู่ในเทอมค่าผิดพลาดคูณสมการคำนวณค่าของโหมดอินติกรัลตัวควบคุมเอาท์พุท

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

DCI = ตัวควบคุมดิจิทัลเอาท์พุทอินติกรัล

KI = เกนดิจิทัลอินติกรัล

DT = เวลาในการดำเนินการ

SUM = ค่าผิดพลาดของการอินติกรัล

การกำหนดค่าตัวแปรใหม่ที่แสดงผลลัพท์ในเทอม SUM ในส่วนของค่าผิดพลาดทั้งหมดโดยเราจะต้องทำการตรวจสอบบิตเครื่องหมาย (SGN) ของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ถ้าสัญญาณค่าผิดพลาดมีค่าเป็นบวกเราจะมีการเพิ่มค่าบริเวณหน่วยความจำที่ SUM โดยนำมารวมกับสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) และแต่ถ้าสำหรับสัญญาณค่าผิดพลาดมีค่าเป็นลบเราจะมีการลดค่าบริเวณหน่วยความจำที่ SUM โดยนำมาลดออกจากสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ผลลัพท์ที่ได้ อาจเกิดการโอเวอร์ไฟร์หรืออันเดอร์ไฟร์ โดยทำการตรวจสอบแครี่ริบิท เพราะถ้าค่า SUM ที่ได้มีการโอเวอร์ไฟร์ เกิดขึ้นผลลัพท์ที่ได้เราจะเซ็ทค่าบริเวณหน่วยความจำสูงสุดได้ไม่เกิน FFFFH แต่ถ้าค่า SUM ที่ได้มีการอันเดอร์ไฟร์เกิดขึ้นผลลัพท์ที่ได้เราจะเซ็ทค่าบริเวณหน่วยความจำต่ำสุดไม่น้อยกว่า 0000H จากนั้นเราจะนำเกนของโหมดรีเซ็ตขึ้นนัล KP มาคูณกับเกนของโหมดอินติกรัล (reset) KI ซึ่งใช้ในการลดค่าระยะขบถนอกและค่าผิดพลาดที่อยู่ภายในบริเวณหน่วยความจำในเทอม SUM ที่แปรตามค่าเวลา DT มีหน่วยเป็นวินาทีผลลัพท์ DCI ที่ได้เราจะนำมาตรวจสอบกรณีการเกิดการโอเวอร์ไฟร์ โดยการตรวจสอบแครี่ริบิทของผลลัพท์ที่ได้มีการโอเวอร์ไฟร์เกิดขึ้น เราจะเซ็ทค่า DCI สูงสุดได้ไม่เกิน FFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทไมโครอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอมพิวเตอร์ ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3) โหมดรีเซ็ตพอร์ซันนัลอินติกรัล

การนำโหมดรีเซ็ตพอร์ซันนัลและอินติกรัล นำมารวมเข้าด้วยกันสามารถนำระบบของโปรแกรมมาปรับปรุงเพื่อให้ได้เกณฑ์เสถียรภาพยิ่งขึ้น โดยการนำเกณฑ์โหมดรีเซ็ตพอร์ซันนัล KP มาคูณเข้ากับทั้ง 2 เทอมของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ทั้งโหมดอินติกรัล (reset) ที่อยู่ในบริเวณหน่วยความจำ บริเวณค่า SUM ของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ที่แปรค่าตามค่าเวลา DT และโหมดรีเซ็ตพอร์ซันนัลที่แปรค่าตามสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) แต่เพียงอย่างเดียวถึงแม้ว่าสมการนี้ต้องนำมาแยกค่าตามความสัมพันธ์ที่เข้าไปอยู่ในจำนวนเต็ม

$$DCPI = (KP*DE)+(KP*KI*SUM*DT) \tag{5.4}$$

เราต้องนำสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ของทั้ง 2 โหมดนำมาตรวจสอบกับเครื่องหมาย (SGN) ถ้าสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) เป็นบวกจะมีการเพิ่มค่าผลลัพธ์ DCPI โดยการนำผลลัพธ์ DCI มารวมกันกับผลลัพธ์ DCP แต่ถ้าสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) เป็นลบจะมีการลดค่าผลลัพธ์ DCPI โดยการนำผลลัพธ์ DCI มาลบออกจากผลลัพธ์ DCP ผลลัพธ์ DCPI ที่ได้เราจะนำมาตรวจสอบกรณีโอเวอร์ไฟร์หรืออันเดอร์ไฟร์ โดยทำการตรวจสอบแคร์รี่บิตถ้าผลลัพธ์ที่ได้เกิดการโอเวอร์ไฟร์เราจะเซ็ทค่าผลลัพธ์ DCPI ที่ได้มีค่าไม่เกิน FFH แต่ถ้าผลลัพธ์ที่ได้เกิดการอันเดอร์ไฟร์เราจะเซ็ทค่าผลลัพธ์ DCPI ที่ได้ไม่น้อยกว่า 00H

5.5.4) โหมดดริเวทิว (RATE)

ในส่วนของโหมดดริเวทิวที่มีการควบคุมสัญญาณการย้อนกลับเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณค่าผิดพลาด (DDE) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรเวลา DT

$$DCD = KP*KD*DDE \tag{5.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะตีพิมพ์ขึ้น หรือใช้ในรูปแบบใดก็ตาม จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCD = ตัวควบคุมดริเวทิว

KD = เกนดริเวทิว

DDE = การเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณค่าผิดพลาด

สัญญาณค่าผิดพลาด (DDE) ของโหมคตรีเวทไฟที่ได้จากค่าความแตกต่างกันระหว่างตัวแปรอินพุตตารางตำแหน่ง (DV[N]) ลบออกจากตัวควบคุมตัวแปรอินพุตตารางตำแหน่ง (DV[N-1]) ของค่าที่แล้วผลลัพท์ของสัญญาณค่าผิดพลาด (DDE) สามารถนำมาตรวจสอบเครื่องหมาย DDE โดยใช้แครีริบิทนำมาตรวจสอบถ้าค่าของตัวแปร $DV > DVO$ จะมีเครื่องหมายเป็นบวกเราจะเซตบิทเครื่องหมายเป็นศูนย์ (SGN=0) มันจะมีการทดแครีริบิทมีค่าเป็นหนึ่ง แต่ถ้าตัวแปร $DV < DVO$ จะมีเครื่องหมายเป็นลบเราจะเซตบิทเครื่องหมายเป็นหนึ่ง (SGN=1) มันจะไม่มีการทดแครีริบิท มีค่าเป็นศูนย์พร้อมกับทำการแปลงผลลัพท์ให้อยู่ภายในค่า 2 s complement จากนั้นเรานำผลลัพท์ที่ได้มาคูณกับเกนโหมคปร็อพออร์ชันนัล KP และเกนโหมคตรีเวทไฟ KD ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของเกนโหมคตรีเวทไฟ KD ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงในขอบเขตการแปรตามค่าเวลา DT ซึ่งอยู่ในสมการ KD/DT ผลลัพท์ DCD ที่ได้จากการคูณนำมาตรวจสอบการเกิดโอเวอร์โฟร์ หรือไม่โดยการตรวจสอบแครีริบิทถ้ามีการโอเวอร์โฟร์เกิดขึ้นเราจะทำการเซตค่าผลลัพท์ DCD ได้ค่าสูงสุดไม่เกิน FFH

5.5.5) โหมคปร็อพออร์ชันนัลอินติกรัลตรีเวทไฟ

การนำโหมคปร็อพออร์ชันนัลอินติกรัลและตรีเวทไฟนำมารวมเข้าด้วยกัน สามารถนำระบบส่วนของโปรแกรมมาปรับปรุงเพื่อให้ได้เกนที่เสถียรภาพยิ่งขึ้น โดยการนำเกนโหมคปร็อพออร์ชันนัล KP มาคูณเข้ากับทั้ง 3 เทอมของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ทั้งโหมคอินติกรัล (reset) ที่อยู่ในบริเวณหน่วยความจำบริเวณค่า SUM ของสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ที่แปรค่าตามค่าเวลา DT เกนโหมคตรีเวทไฟ KD ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงในขอบเขตแปรตามค่าเวลา DT ซึ่งอยู่ในสมการ KD/DT และโหมคปร็อพออร์ชันนัลที่แปรค่าตามสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) แต่เพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าสมการนี้ต้องนำมาแยกค่าตามความสัมพันธ์ที่เข้าไปอยู่ในจำนวนเต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$DCPID = (KP*DE + KP*KI*SUM*DT) + (KP*KD*DDE/DT) \quad (5.6)$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราต้องนำสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) ของทั้ง 2 โหมคมาตรวจสอบบิทเครื่องหมาย (SGN) ถ้าสัญญาณ

ค่าผิดพลาด (DE) เป็นบวกจะมีการเพิ่มค่าผลลัพธ์ DCPID โดยการนำส่วนของผลลัพธ์ DCPI มารวมกันกับผลลัพธ์ DCD แต่ถ้าสัญญาณค่าผิดพลาด (DE) เป็นลบจะมีการลดค่าผลลัพธ์ DCPID โดยการนำผลลัพธ์ DCPI มาลบออกจากผลลัพธ์ DCD ผลลัพธ์ DCPID ที่ได้เราจะนำมาตรวจสอบกรณีโอเวอร์ไฟร์หรือแอนเดอร์ไฟร์โดยทำการตรวจสอบแคร์รี่ที่ถ้าผลลัพธ์ที่ได้เกิดการโอเวอร์ไฟร์ เราจะเช็คค่าผลลัพธ์ DCPID ที่ได้มีค่าไม่เกิน FFH แต่ถ้าผลลัพธ์ที่ได้เกิดการแอนเดอร์ไฟร์ เราจะเช็คค่าผลลัพธ์ DCPID ที่ได้ไม่น้อยกว่า 00H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 บทนำ

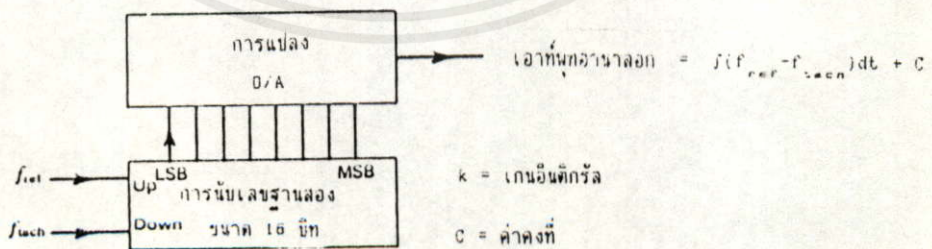
ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้กล่าวมาตั้งแต่ต้นจนถึงผลการทดลองภายในบทสุดท้าย พร้อมทั้งสรุป โดยการนำเสนอแนวความคิดการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์แบบ PID และ PD โดยนำไมโครโปรเซสเซอร์นำมาประยุกต์ใช้ที่มีการออกแบบโมเดลอัลกอริทึมแบบ PID และ PD ที่มีการแปลงระบบโดยการตั้งค่าพารามิเตอร์จากวิธีการจำลองข้อมูลตัวควบคุมตำแหน่งแบบ PID และ PD จากที่ได้นำมากล่าวไว้แล้วในตอนต้น (บทที่ 4) ซึ่งโดยปกติการหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองการควบคุมแบบ PID และ PD จะมีอยู่หลายวิธีด้วยกันแต่เราจะใช้วิธีการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์กระบวนการและจุดตามวิธีแบบโบลด์ต เพื่อที่จะนำค่าในโหมดปร็อบพอร์ตขึ้นนลินตกรัลลติริเวทึฟมาคำนวณหาค่าเกนของ K_p , K_i และ K_d ได้เพื่อที่จะนำมาใช้หาค่าแรงดันที่ได้จากการเคลื่อนที่ในตำแหน่งแรกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปเราจะนำค่าที่ได้มาใช้คำนวณมุม θ_1 เป็นระยะที่มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้จริงพร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดจากภายนอก โดยเมื่อเราทำการเพิ่มค่าในส่วนของโหลดมอเตอร์เข้าไปมุมที่มอเตอร์เคลื่อนที่ได้ไม่เปลี่ยนไปจากเดิมคือ θ_1 คงเดิมจากนั้นจะทำการเซตนำค่าจากตารางภายในไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อที่เราจะสามารถกำหนดค่าใหม่ให้ตำแหน่งของมอเตอร์เปลี่ยนไปจากเดิมไปเป็น θ_2 โดยที่เกนของ K_p , K_i , K_d ยังคงเท่าเดิมพร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดของมอเตอร์โดยเราจะทำการปรับค่าตำแหน่งเช่นเดียวกับมุม θ_1 ในส่วนของมุม θ_2 ก็จะทำแบบเดียวกันกับ θ_1 พร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดพร้อมทั้งปรับแต่งตำแหน่งแบบเดียวกันนี้

ในส่วนต่อไปเราจะทำการปรับค่าเกน K_p , K_i , K_d เพื่อที่จะปรับแต่งค่าใหม่เพื่อจะให้ผลตอบสนองของระบบดีขึ้นพร้อมทั้งหาค่าในตำแหน่งแรกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปเราจะนำค่าที่ได้มาใช้คำนวณมุม θ_1 เป็นระยะที่มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้จริงซึ่งทำในลักษณะเดียวกับค่าในมุม θ_1 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากนั้นเราจะทำการเพิ่มโหลดโดยการต่อกับมอเตอร์เช่นเดียวกัน จากนั้นเราจะนำมาสร้างค่าตารางเพิ่มขึ้นภายในไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อที่เราจะหาค่าตำแหน่งใหม่ของมอเตอร์ที่เปลี่ยนไปจากเดิมไปเป็น θ_2 โดยเกนของ K_p , K_i , K_d ยังคงเดิมพร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดของมอเตอร์ในส่วนของมุม θ_2 ก็จะทำแบบเดียวกันกับ θ_1 พร้อมทั้งมีการเพิ่มโหลดและปรับค่าเกนแบบเดียวกันนี้ จากนั้น

เราจะนำค่าที่ได้จากการทดลองที่ได้จากการตั้งค่าเกน PID ทั้ง 2 ค่า เพื่อที่เราจะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลองได้จากค่า rise time = T_r overshoot และ settling time = T_s เพื่อที่เราจะนำผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการตั้งค่าเกนต่างๆ โดยเราจะต้องนำผลทั้ง 3 ชนิดมาใช้ในการพิจารณาควบคู่กันไปถึง 3 กรณี

6.2 ผลการทดลองที่ได้จากการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PID และ PD

ในการทดลองภายในวิทยานิพนธ์ที่จะนำมากล่าวต่อไปนี้เป็นผลจากการวัดผลการตอบสนองของความเร็วที่วัดได้จากสัญญาณแทโครเจนเนอเรเตอร์ และทำการวัดผลของการตอบสนองชั่วขณะของตำแหน่งจากสัญญาณพัลส์เจนเนอเรเตอร์พร้อมกัน โดยมีการควบคุมในลักษณะแบบ PID และ PD ที่ได้จากการเริ่มปรับค่าเกน K_p, K_i, K_d เพื่อที่จะนำมาใช้แต่เฉพาะในส่วนการควบคุมตำแหน่งเราจะทำการวัดเวลาที่สัญญาณเข้าสู่สภาวะคงที่ ตามค่าเวลา settling time = T_s rise time = T_r เปอร์เซ็นต์ของการเกิดค่า overshoot พร้อมทั้งวัดช่วงแรงดันจากช่วงที่มอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งแรกที่มอเตอร์หยุดไปยังตำแหน่งที่สองที่มอเตอร์หยุด เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหามุมการเคลื่อนที่ θ_1 ที่มอเตอร์ได้เคลื่อนออกไปต่อไปเราจะนำโพลสมอเตอร์อีกตัวต่อเข้าไปโดยที่เราจะทำการต่อแบบ (open) จากนั้นเราจะนำโพลสมอเตอร์ที่เราได้ต่อเข้าไปมาทำการลัดวงจรมอเตอร์ หรือที่เราเรียกว่าการต่อแบบ (close) จากนั้นเราจะทำการปรับหามุม θ_2 และ θ_3 ใหม่ที่ตอนสุดท้ายนี้เราจะนำวิธีการคำนวณหาค่ามุมโดยสามารถนำมาใช้ในการได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 วงจรสร้างสัญญาณการนับข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งมอเตอร์

จากรูปที่ 6.1 เป็นการแสดงส่วนของอานาล็อกเอาท์พุทการแปลง D/A ที่ได้ดังสมการที่ 6.1

$$\text{อนุลอกเอาท์พุท} = k_t \int (f_{ref} - f_{tach}) dt + C \quad (6.1)$$

k_t = เกนอินติกรัล

C = ค่าคงที่

การนำขอบการนับขึ้นของ f_{ref} และขอบการนับลงของ f_{tach} โดยถ้าขอบทั้งสองเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน เอาท์พุทของตัวนับจะถูกนำมาต่อกันไปยัง D/A ขนาด 16 บิต ในส่วนความสัมพันธ์ในระหว่างแรงดัน เอาท์พุทและในส่วนของการนับเลขฐานสองสามารถนำมาแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta V_o = k_t (\Delta count) \quad (6.2)$$

$\Delta count$ = การเปลี่ยนแปลงในส่วนการนับ

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

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

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

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

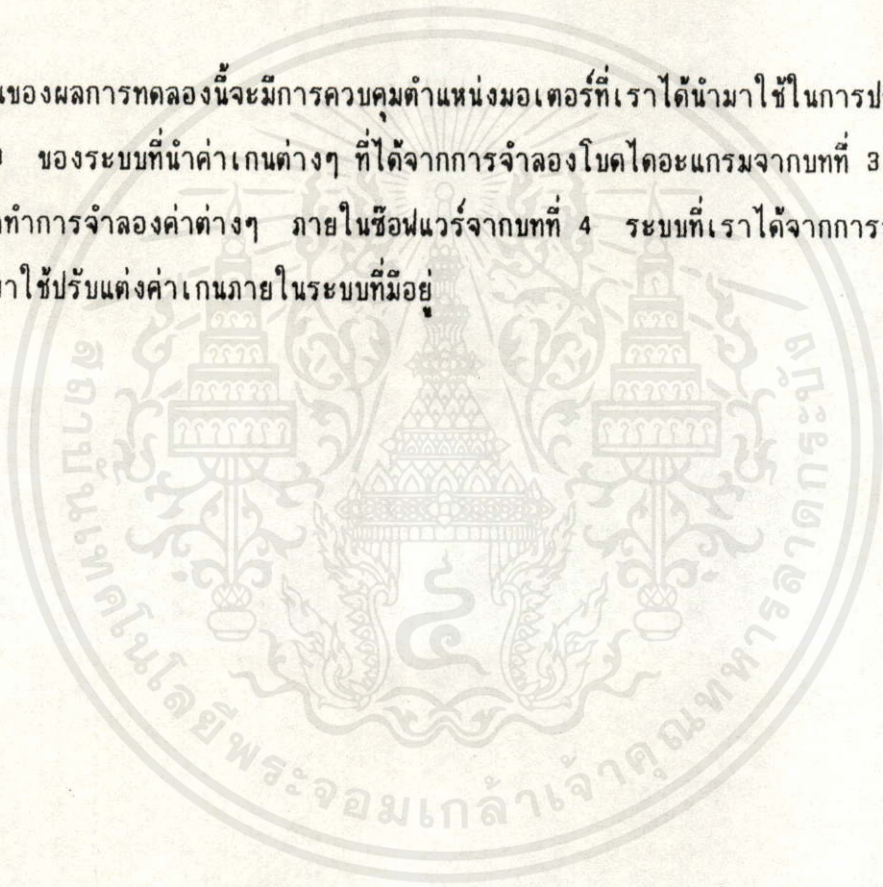
$\Delta count_{max}$ = การนับค่าสูงสุดในการนับค่าเลขฐานสอง

จากในส่วนของอัตราการนับของสเปคิฟิเคชันมอเตอร์จะพบว่าม็อดูเลชันการนับ 256 ค่า ที่มองค่าม็อดูเลชันการนับเคลื่อนที่ไป 360 องศา โดยเราสามารถหามุมที่ม็อดูเลชันการนับเคลื่อนที่ไปได้จริงที่นำมาหาค่าได้จากแรงดันจากผลการทดลอง ΔV_o เพื่อที่จะนำมาใช้หาค่ามุมที่ตำแหน่งม็อดูเลชันการนับเคลื่อนที่ต่อไป

ต่อไปเราจะนำมาหาค่าในส่วนของผลการทดลองโดยทำการปรับค่า K_p , K_i , K_d ค่าใหม่เพื่อที่จะให้มอเตอร์เข้าสู่สภาวะคงที่ค่าใหม่ตามค่าเวลา $\text{settling time} = T_s$ $\text{rise time} = T_r$ และเปอร์เซ็นต์ของการ overshoot ที่เหมาะสมพร้อมทั้งนำผลที่ได้จากการทดลองในแต่ละค่านำมาเปรียบเทียบต่อไป

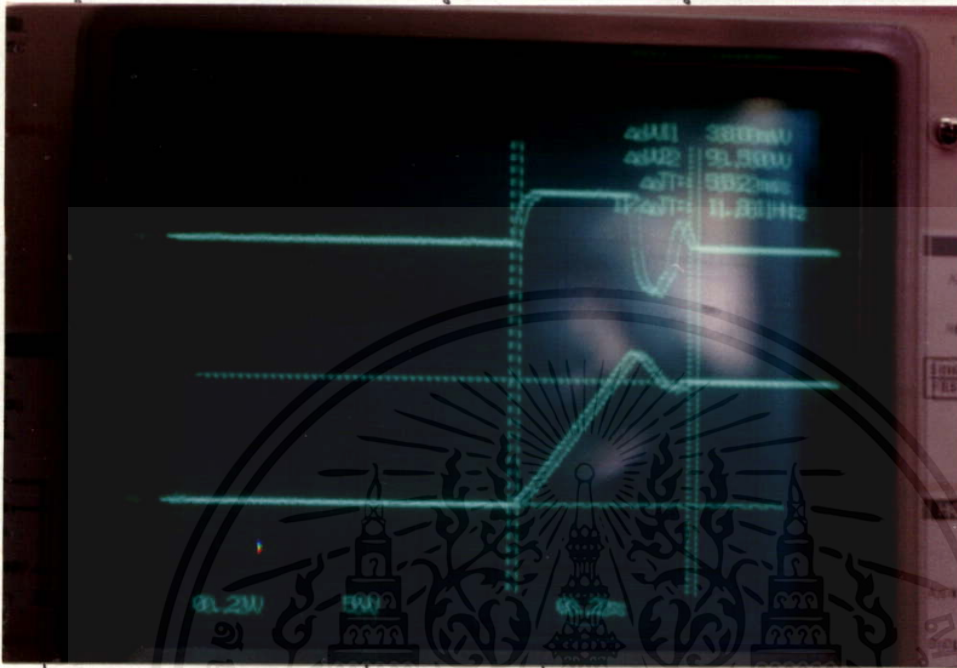
6.2.1 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PID แบบที่ 1 ($K_p=32.5$ $K_i=99$ $K_d=1$)

ในส่วนของผลการทดลองนี้จะมีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ที่เราได้นำมาใช้ในการปรับแต่งการจูนค่าเกน PID ของระบบที่นำค่าเกนต่างๆ ที่ได้จากการจำลองโบลโดยแกรมจากบทที่ 3 โดยเราจะนำผลที่ได้มาทำการจำลองค่าต่างๆ ภายในซีอนแวร์จากบทที่ 4 ระบบที่เราได้จากการปรับแต่งนี้เราสามารถนำมาใช้ปรับแต่งค่าเกนภายในระบบที่มีอยู่



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

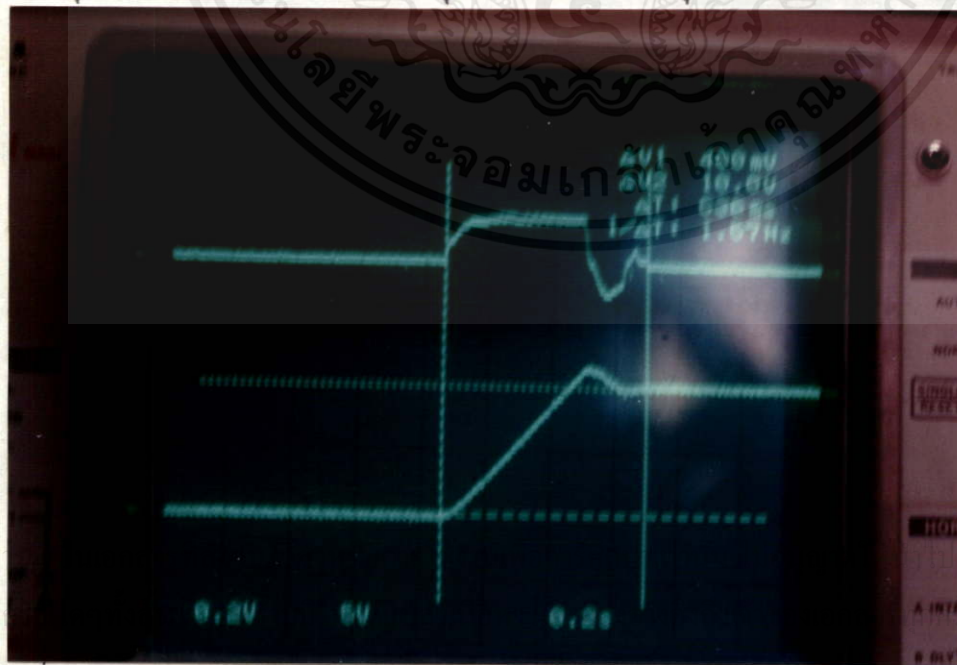
เอาที่พหุคูณบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พหุคูณล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.2 การควบคุมตำแหน่งที่ $\theta_L = 240^\circ$ 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

เอาที่พหุคูณบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พหุคูณล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



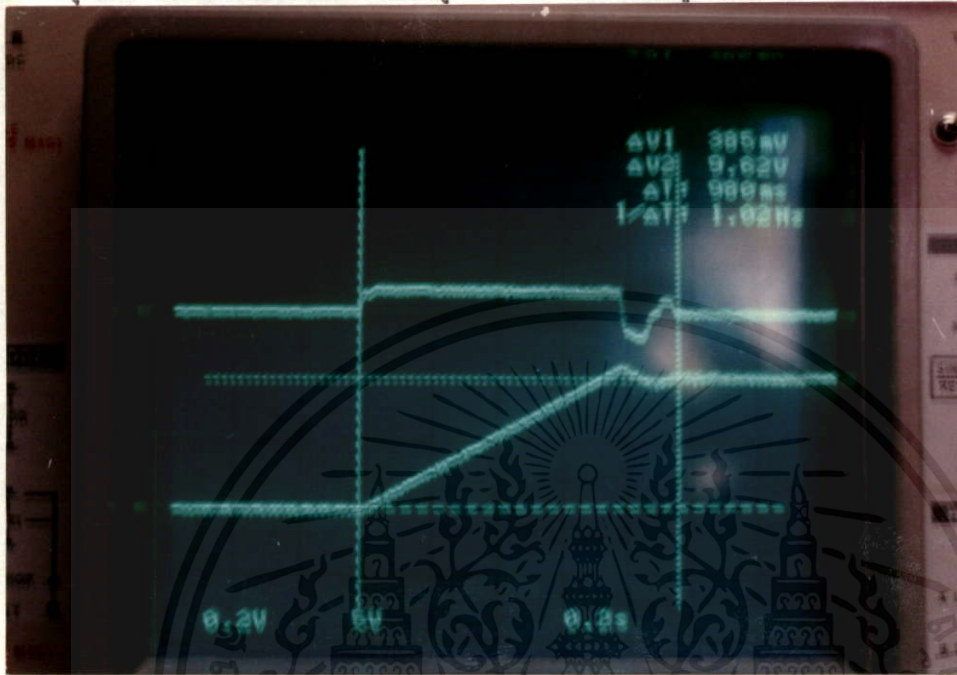
รูปที่ 6.3 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_L = 240^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (open) $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$

เอกสาร
ไม่ว่า

ข้อประโยชน์ด้านการค้า
ที่มีการนำไปใช้

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

เอาที่หน้าด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่หน้าด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.4 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_1 = 240^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (close) $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

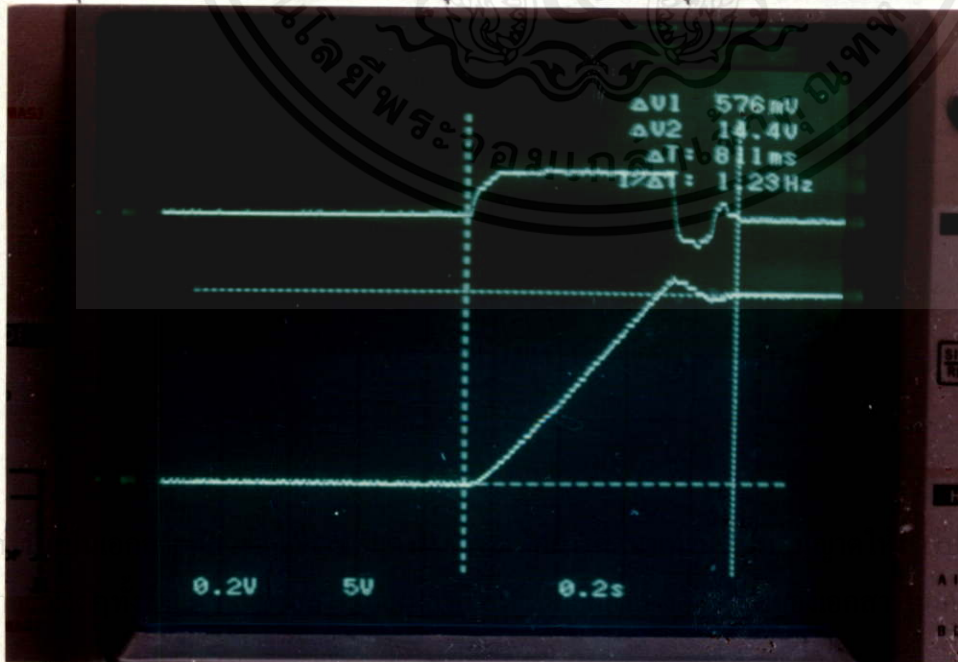
เอาที่พหุคูณบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พหุคูณล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.5 การควบคุมตำแหน่งที่ $\theta_2 = 360^\circ$ เมื่อไม่ต่อโหลด $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$

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

เอาที่พหุคูณบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พหุคูณล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.6 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 360^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (open) $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$

เอกล
ไม่ว่า

นี้ประโยชน์ด้านการค้า
งที่มีการนำไปใช้

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

เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.7 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 360^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (close) $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

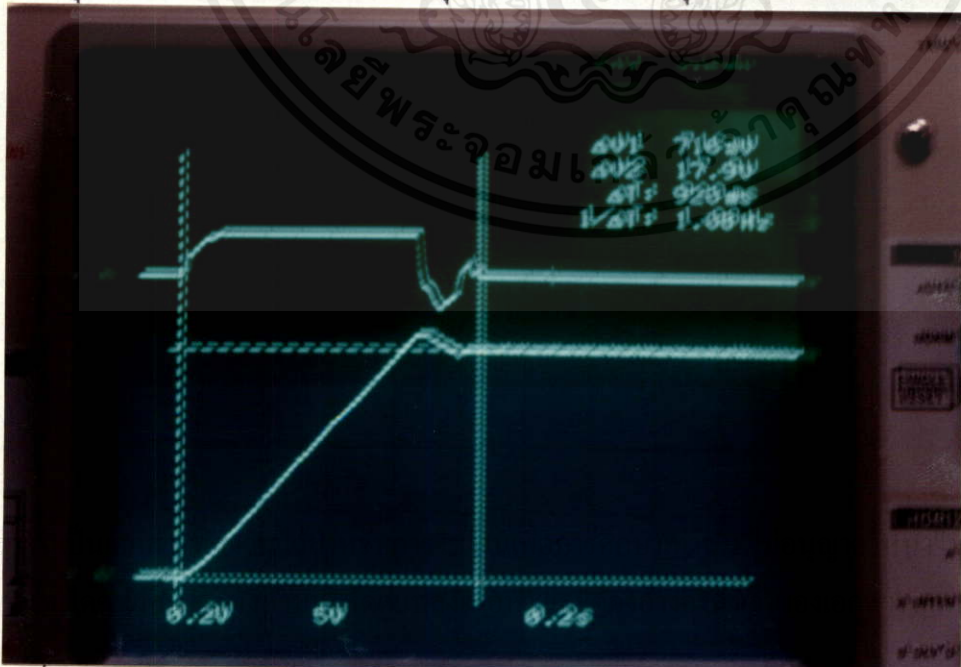
เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.8 การควบคุมตำแหน่งที่ $\theta_s = 450^\circ$ 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

เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



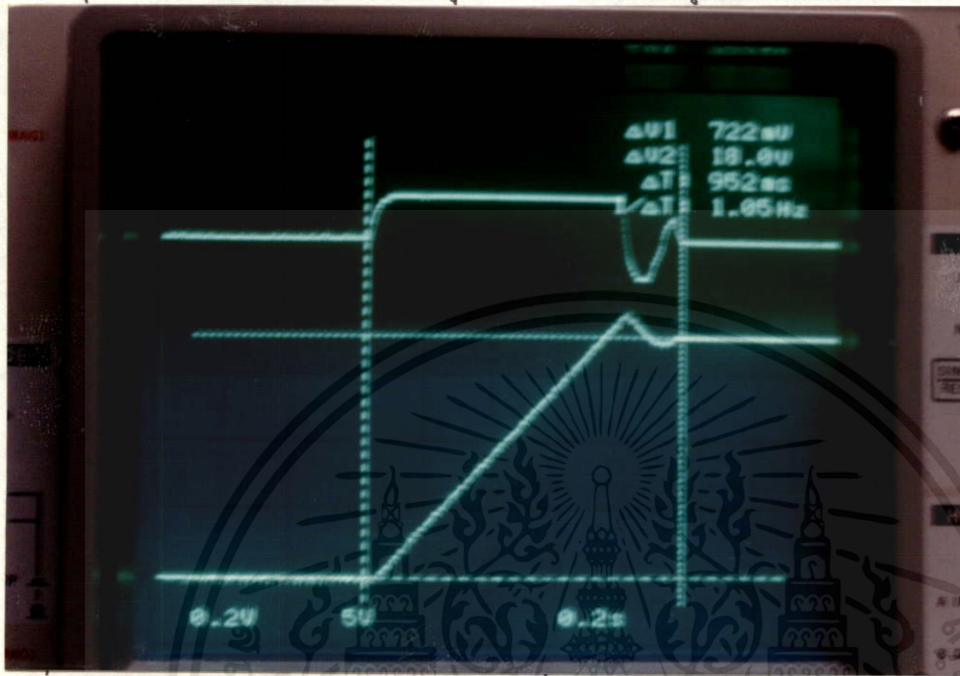
รูปที่ 6.9 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_s = 450^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (open) $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$

เอก
ไม

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จึงที่มีการนำไปใช้

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

เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.10 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_s = 450^\circ$ เมื่อต่อโพลแบบ (close) $K_p = 32.5$ $K_i = 99$ $K_d = 1$

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

ในส่วนของการทดลองนี้จะมีการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ที่เราได้นำมาใช้ในการปรับแต่งการจูนค่าเกน PID ของระบบเพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบที่ดีที่สุดที่นำค่าเกนต่างๆ ที่ได้โดยเราจะนำผลที่ได้จากการจำลองค่าต่างๆ ภายในข้อแหว่จากบทที่ 4 ระบบที่เราได้จากการปรับแต่งนี้เราสามารถนำมาใช้ปรับแต่งค่าเกนภายในระบบที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอาที่พาด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พาด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.11 การควบคุมตำแหน่งที่ $\theta_1 = 210^\circ$ เมื่อไม่ต่อโหลด $K_p = 125$ $K_t = 124.5$ $K_d = 2.5$

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

เอาที่พาด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พาด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.12 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_1 = 210^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (open) $K_p = 125$ $K_t = 124.5$ $K_d = 2.5$

ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รังที่มีการนำไปใช้

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

เอาที่พาด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พาด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

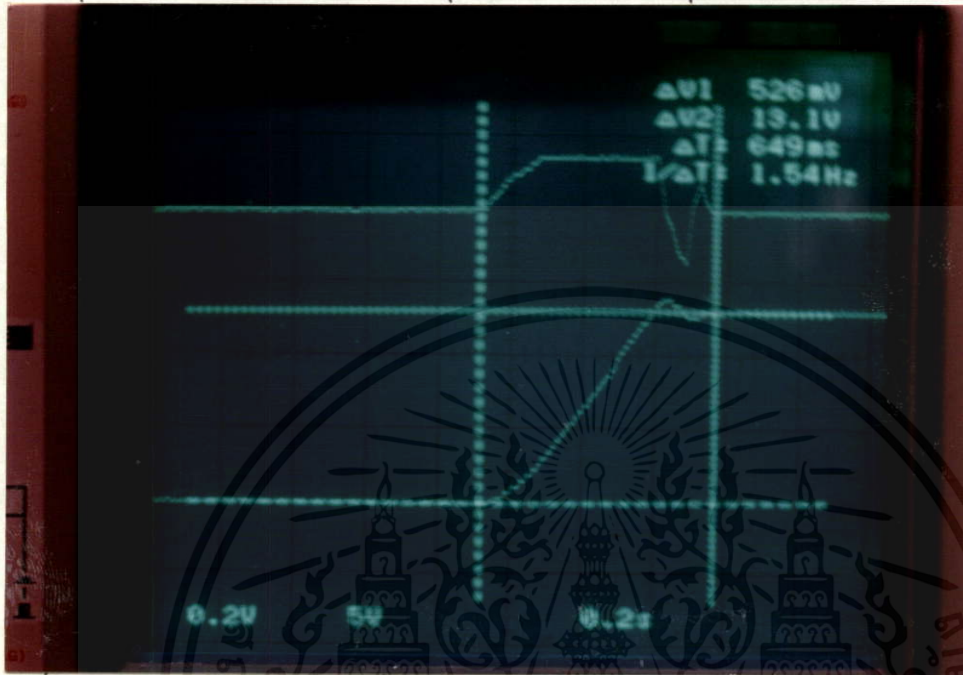


รูปที่ 6.18 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_L = 210^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (close) $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

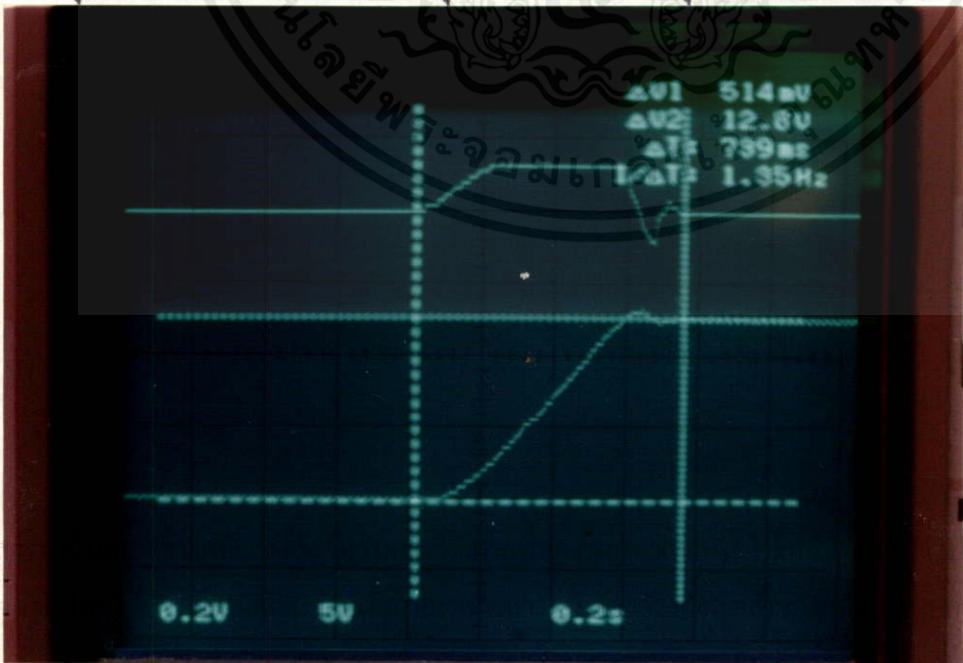
เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.14 การควบคุมตำแหน่งที่ $\theta_2 = 320^\circ$ 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

เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.15 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 320^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (open) $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ซึ่งที่มีการนำไปใช้

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

เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

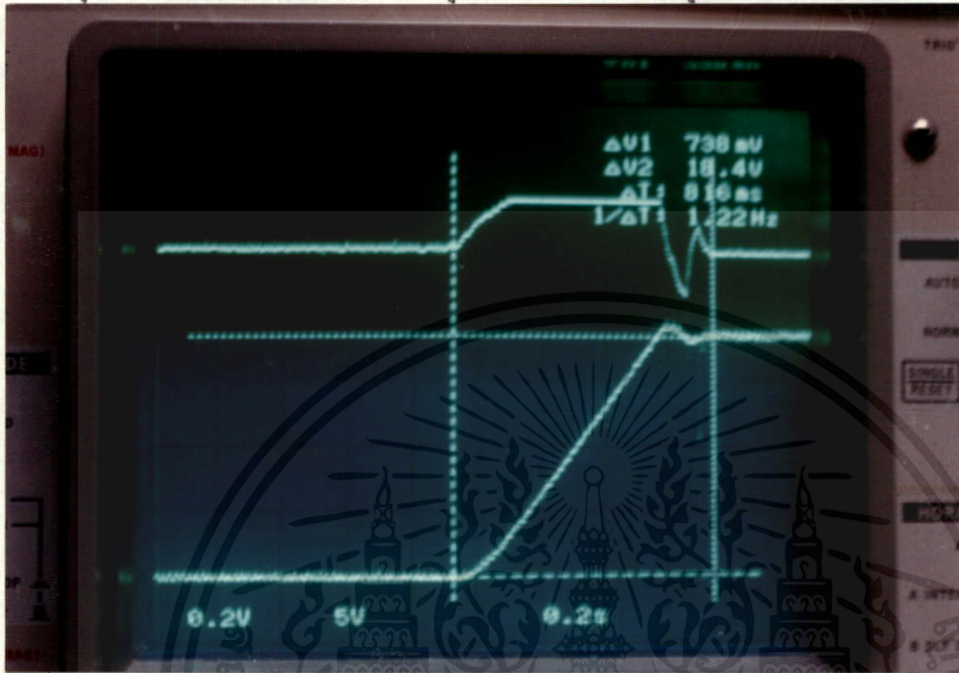


รูปที่ 6.16 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_2 = 320^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (close) $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

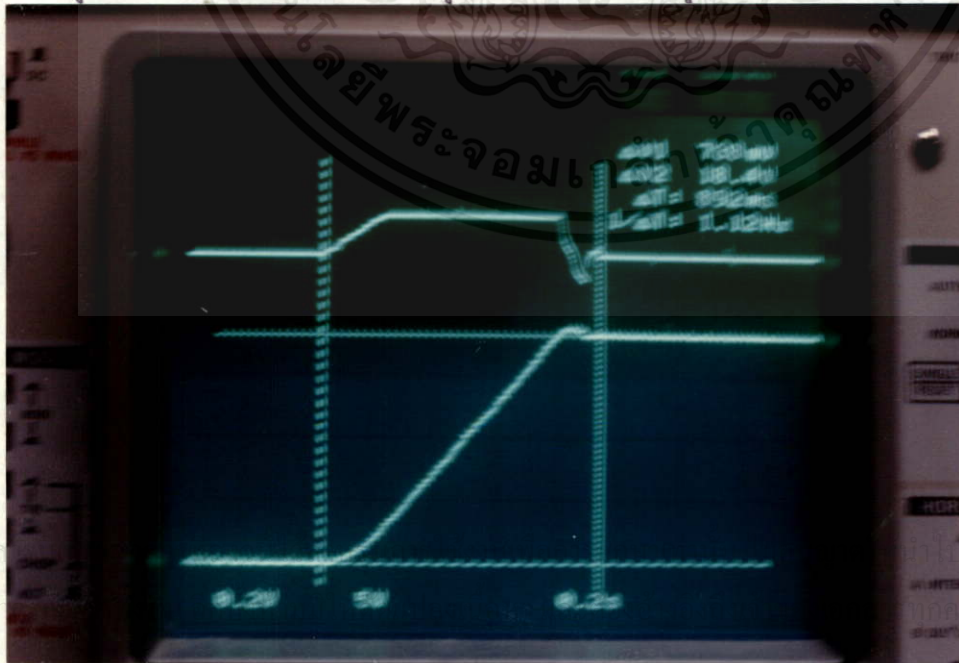
เอาที่พาด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พาด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.17 การควบคุมตำแหน่งที่ $\theta_s = 460^\circ$ 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

เอาที่พาด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พาด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.18 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_s = 460^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (open) $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$

เอกสาร
ไม่ว่า

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ทั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอาที่หน้าต่างบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่หน้าต่างล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.19 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_u = 460^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (close) $K_p = 125$ $K_i = 124.5$ $K_d = 2.5$

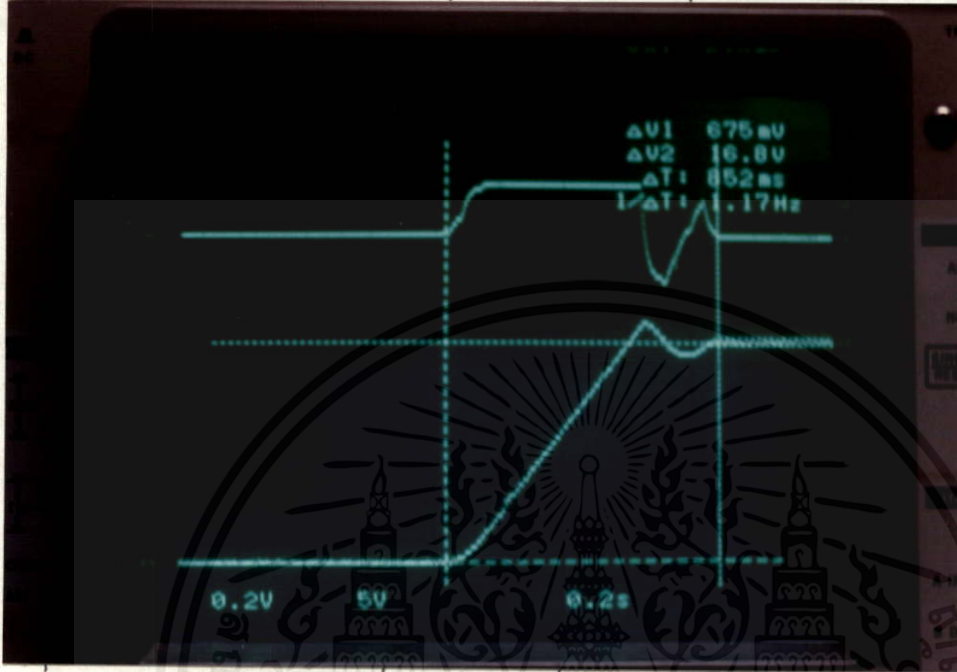
6.2.3 ผลตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ PD ($K_p = 125$ $K_d = 2.5$)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

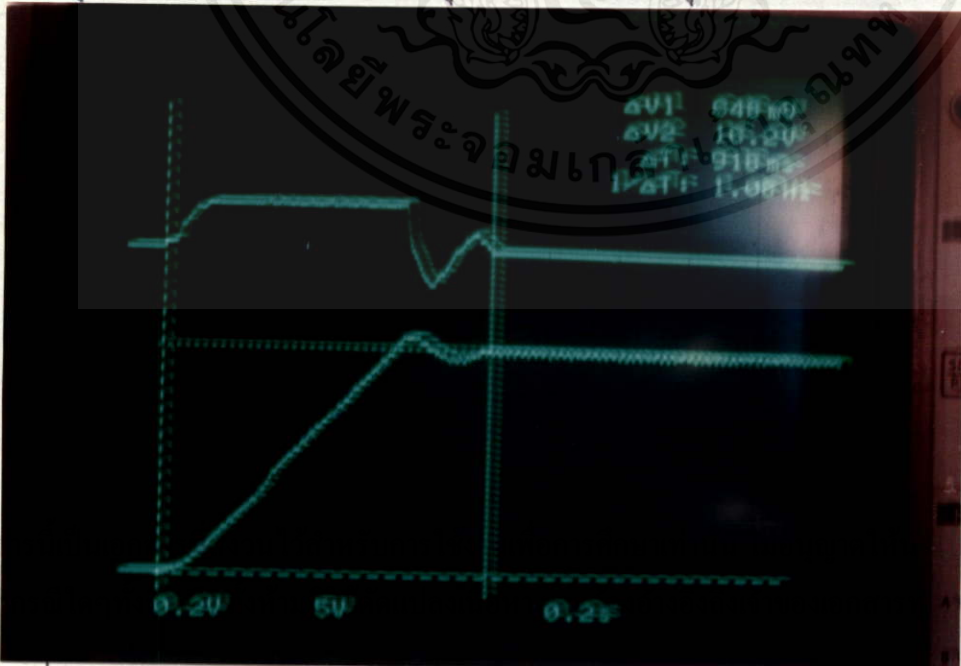
เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.20 การควบคุมตำแหน่งที่ $\theta_s = 410^\circ$ เมื่อไม่ต่อโหลด $K_p = 125$ $K_d = 2.5$

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

เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง

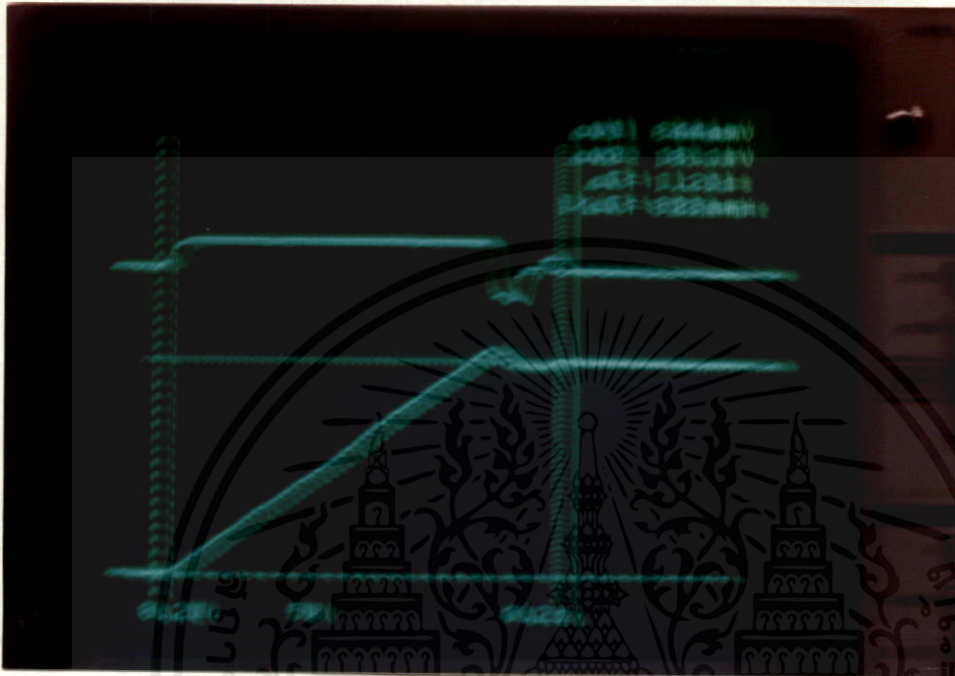


รูปที่ 6.21 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_s = 410^\circ$ เมื่อต่อโหลดแบบ (open) $K_p = 125$ $K_d = 2.5$

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ซึ่งที่มีการนำไปใช้

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

เอาที่พิกัดด้านบนแสดงผลตอบสนองควบคุมความเร็ว เอาที่พิกัดด้านล่างแสดงผลตอบสนองควบคุมตำแหน่ง



รูปที่ 6.22 การควบคุมตำแหน่ง $\theta_s = 410^\circ$ เมื่อต่อโพลคแบบ (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 จะมีเปอร์เซ็นต์ของส่วนโอเวอร์ชุตสูงกว่าการตั้งค่าเกน PID ในแบบที่ 2 ในส่วนของตำแหน่งต่างๆ ในค่าของมอเตอร์ที่ตั้งค่าเกนเดียวกันจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การโอเวอร์ชุตน้อยมากหรืออาจกล่าวได้รวมๆ ว่าแทบจะไม่มีผลเลยแต่จากการเพิ่มโพลคของมอเตอร์เข้าไปเราจะพบว่าอัตราส่วนของเปอร์เซ็นต์การโอเวอร์ชุตจะยิ่งลดต่ำลง โดยที่โพลคหนักจะมีโอเวอร์ชุตต่ำกว่าโพลคเบา

ส่วนค่าของ settling time นั้นถ้าเรานำค่าที่ได้นำมาเปรียบเทียบ เราจะพบว่าที่ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่วนวิศวกรรมโรงงานเพื่อการศึกษานำมาใช้โดยไม่เอาค่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
 มอเตอร์หยุด ณ. ที่ตำแหน่งเดียวกันค่าเกน PID แบบที่ 2 จะเข้าสู่ค่า settling time ได้เร็ว
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 กว่าแบบการตั้งค่าเกนในแบบที่ 1 แต่ถ้ามีการเปลี่ยนตำแหน่งเกิดขึ้นค่า settling time จะแปร
 ตามตำแหน่งที่มอเตอร์หยุดโดยที่ตำแหน่งมอเตอร์ยิ่งมากค่า settling time ก็จะมีนานขึ้นรวมทั้ง

การเพิ่มโหลดของมอเตอร์ก็จะมีผลต่อค่า settling time ด้วยโดยถ้าโหลดยิ่งเพิ่มขึ้นระยะเวลาในการเข้าสู่ settling time ก็จะมีนานขึ้น

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_2 มาใช้เป็นตัวแทนนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองในส่วนของการควบคุมตำแหน่ง PD ที่มุม θ_2 เราจะสังเกตได้ว่าในช่วงการ 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_2 และแบบ PD เราพบว่าในส่วนนี้ค่า rise time ในส่วนของ PD จะสั้นกว่าของ PID แบบที่ 2 ที่มุม θ_2 ทั้งที่มีการต่อโหลดและที่ไม่มีการต่อโหลดทั้ง 3 แบบ

ต่อไปเราจะหันไปดูค่าเปอร์เซ็นต์ของการเกิด overshoot ถ้าเราจะทำการเปรียบเทียบค่านี้ โดยเราเอาส่วนของ no load เปรียบเทียบกับส่วนของ no load และส่วนของ load เปรียบเทียบกับส่วนของ load เราจะพบว่าการควบคุมตำแหน่งแบบ PID แบบที่ 2 จะมีเปอร์เซ็นต์ของการเกิด overshoot ต่ำกว่าส่วนของการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ PD

ในส่วนการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ทั้ง PID แบบที่ 2 และแบบ PD มุม θ_2 เราสามารถนำมาสรุปผลของการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วดังแสดงในตารางที่ 6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 1									
	$K_p=32.5 \quad K_i=93.5 \quad K_d=2.5$								
	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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 2

$K_p = 125 \quad K_i = 124.5 \quad K_d = 2.5$									
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 2 และ PD ที่มุม θ_s						
	$K_p = 125 \quad K_i = 124.5 \quad K_d = 2.5$			$K_p = 125 \quad K_d = 2.5$		
	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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 บทสรุป

ในส่วนนี้เราจะทำการสรุปผลที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ในการควบคุมตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ พร้อมทั้งสรุปได้ว่าการนำเอาไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้ในการควบคุมตำแหน่งได้อย่างค่อนข้างแม่นยำและถูกต้องได้อย่างมาก โดยที่เราสามารถสรุปผลที่ได้จากการทำวิจัยได้ดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาวิธีการออกแบบตัวคอนโทรลเลอร์ระบบการควบคุมความเร็วและตำแหน่ง ด้วยวิธีโบทโคอะแกรม
- 2) ศึกษาการควบคุมความเร็วโดยวิธีการจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบกับระบบจริง
- 3) ศึกษาการควบคุมตำแหน่งโดยวิธีการจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบกับระบบจริง
- 4) ศึกษาตัวติจิตอลคอนโทรลเลอร์แบบ 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 ดังนั้นระบบที่เราต้องการจะต้องกำหนดค่าเฟลมาร์จินเท่ากับ 60 องศา

- 1) ตั้งค่าระบบของ Bode plot (phase) จากโปรแกรม
- 2) ทำการหาค่า phase ของ Bode plot (phase) โดยเราสามารถกำหนดค่าได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $Y = -120$ องศา dB
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 $X = ?$ rad/sec [ค่า X ที่ได้จะเป็นค่าความถี่ของ ω]
- 3) ตั้งค่าระบบของ Bode plot (gain) จากโปรแกรม

X = ω_g rad/sec (หามาจากข้อที่ 2)

Y = ? (เพื่อที่นำมาใช้หาค่าพารามิเตอร์ K_u ต่อไป)

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

$20 \log A = Y$

$\log A = Y/20$

$A = 10^{Y/20}$

A = ? (ค่าที่หาได้เป็นค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ K_u)

5) นำค่า ω_g (ที่หาได้จากข้อ 2) เพื่อที่เราจะสามารถนำมาหาค่าความถี่ของ ω_i ได้จากสูตร

$\omega_i = 10\%$ ของ ω_g

6) นำค่าความถี่ ω_i (จากข้อที่ 5) เพื่อที่จะนำมาใช้หาค่า τ_c ได้จากสูตร

$\tau_c = 1/\omega_i$

7) นำค่าในส่วนของ τ_c ที่ได้ (จากข้อที่ 6) เพื่อที่นำมาหาค่าในส่วนของพารามิเตอร์ K_c

$K_c = K_u / \tau_c$

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

9) นำค่าสมการที่ได้จากข้อที่ 8 มาทำการทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันที่ได้จากสูตร

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

วิธีการในการตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนควบคุมตำแหน่งแบบ PID และแบบ PD โดยที่เราตั้งค่าพารามิเตอร์ของ PID และ PD ของระบบจะมีค่า Phase shift = -120 องศา dB พร้อมทั้งระบบของเราจะต้องเพิ่มค่า Phase lead เข้าไปอีก 45 องศา dB ดังนั้นระบบของเราก็จะมีค่า 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

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

3) ตั้งค่าระบบของ Bode plot (gain) จากโปรแกรม

X = ω_g rad/sec (หามาจากข้อที่ 2)

Y = ? (เพื่อที่นำมาใช้หาค่าพารามิเตอร์ K_u ต่อไป)

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

$20 \log A = Y$

$\log A = Y/20$

$A = 10^{Y/20}$

A = ? (ค่าที่หาได้เป็นค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ K_u)

5) นำค่า ω_g (ที่หาได้จากข้อ 2) เพื่อที่เราจะสามารถนำมาหาค่าความถี่ของ ω_i ได้จากสูตร

$\omega_i = 10\%$ 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_t และ K_d จากสูตร

$K_t = K_u / \tau_i$

$K_d = K_t \tau_d$

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

9) นำค่าสมการที่ได้จากข้อที่ 8 มาทำการทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันที่ได้จากสูตร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ในส่วนที่มีการสร้างในส่วนประกอบต่างๆ ทั้งวงจรการออกแบบชุดควบคุมในระบบ PI และส่วนประกอบ
ของวงจรขับเคลื่อน PWM คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม วงจรเปรียบเทียบ

เทียบ วงจรขับเบสและวงจรถูกกำลังทั้งวงจรถูกป้อนกลับทั้งในส่วนของกระแส ทาโคเจนเนอเรเตอร์ และพัลส์เจนเนอเรเตอร์ ในส่วนการเชื่อมต่อระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์และระบบควบคุมตำแหน่ง โดยการผ่านการอินเทอร์เฟส 8255 ที่เป็นตัวเชื่อมต่อเข้าด้วยกันพร้อมทั้งผ่านชุด D/A ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกที่เรานำมาใช้ในการควบคุมมอเตอร์ โดยที่เราสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนต่างๆสรุปได้ดังต่อไปนี้

- 1) เราสามารถนำค่าของพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองในค่า PI เพื่อที่จะนำค่าต่างๆ ที่ได้นำมา เช็ทเกณฑ์ PI ทางฮาร์ดแวร์ทางด้านวงจรถูกอนาลอก (บทที่ 4)
 - 2) เราสามารถนำค่าของพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองในค่า PD และ PID เพื่อที่จะนำค่าต่าง ๆ ที่ได้นำมาเช็ทเกณฑ์ทั้งแบบ PD และ แบบ PID ที่สามารถนำมาใช้ในส่วนของการเช็ทค่าทางโปรแกรมไมโครโปรเซสเซอร์ (บทที่ 5)
 - 3) การควบคุมตำแหน่ง PID ในแบบที่ 2 ที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์โดยวิธีการของ Zeigler-Nichol มีผลตอบสนองต่อระบบดีกว่าการควบคุมตำแหน่ง PID ในแบบที่ 1 ที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนของการจำลองข้อมูลในบทที่ 3 เนื่องมาจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจำลองข้อมูลจะไม่ถูกต้อง 100 % รวมทั้งค่า time constant ของระบบเซอร์โว
 - 4) เปอร์เซ็นต์ของการเกิดค่า 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 ที่มี θ_s ถ้าในส่วนที่ไม่มีการต่อโหลด no load การควบคุมตำแหน่ง PD จะดีกว่าการควบคุมแบบ PID แต่ถ้าในส่วนที่ระบบที่มีการต่อโหลดเพิ่มทั้งแบบ load (close) และแบบ load (close) การควบคุมตำแหน่งแบบ PID จะดีกว่าการควบคุมแบบ PD
- ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
- ในส่วนที่มีการตั้งค่าระบบทั้งแบบการควบคุมตำแหน่งแบบ PD และในการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 1

และ PID แบบที่ 2 ดังที่เราสามารถสรุปได้ดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ทั้ง ($\theta_1 : \theta_2 : \theta_3$)						
	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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการเปรียบเทียบการควบคุมตำแหน่ง PID แบบที่ 2 และ PD ที่มุม θ_2						
	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

ส่วนแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขตัวควบคุมนั้นการแก้ไขขบวนการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์เพื่อให้สามารถศึกษาการควบคุมและพฤติกรรมของการผลการควบคุมได้อย่างชัดเจน อาจจะต้องตัดแปลงบางส่วนภายในกระบวนการให้เหมาะสม ในส่วนของวงจรชุดขับเซอร์โวมอเตอร์จากสเปคนิคต์มอเตอร์ 20V : 3.4 A : 68 W โดยเราจะเริ่มการออกแบบแรงดันที่มีการเพิ่มกระแส จากนั้นเราควรจะปรับปรุงไมโครโปรเซสเซอร์ที่เรานำมาใช้จาก 8 บิต เพิ่มความละเอียดมากขึ้นเป็นแบบ 16 บิต เพื่อเราสามารถเพิ่มระยะการควบคุมในช่วงตำแหน่งมอเตอร์ได้ละเอียดมากขึ้น แต่ขีดความสามารถของอุปกรณ์ในส่วนของ D/A ที่มีขายอยู่ในปัจจุบันมีอยู่เพียง 12 บิต แต่เราก็สามารถออกแบบขึ้นมาได้เอง

สุดท้ายเราจะนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขทางด้านฮาร์ดแวร์ ตัวควบคุมที่จัดทำขึ้นจัดว่าเป็นตัวควบคุมที่อยู่ในขั้นการทดลองใช้ปัจจัยที่ใช้ในการควบคุมยังมีประสิทธิภาพไม่มากนัก เช่น โปรแกรมและอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์การอินเตอร์เฟสต่างๆ ที่เป็นโครงสร้างของอัลกอริทึมและการแทนรูปแบบการแทนรูปแบบของกระบวนการ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดปลีกย่อยอาจจะต้องปรับปรุงไม่ว่าจะด้านใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหามาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานต่างๆ ในมากขึ้น รวมถึงเทคนิคการเขียนโปรแกรมที่มีความสำคัญในการควบคุมกระบวนการมาก โดยเราควรจะต้องปรับปรุงโครงสร้างสำหรับการทดลองเป็นการควบคุม

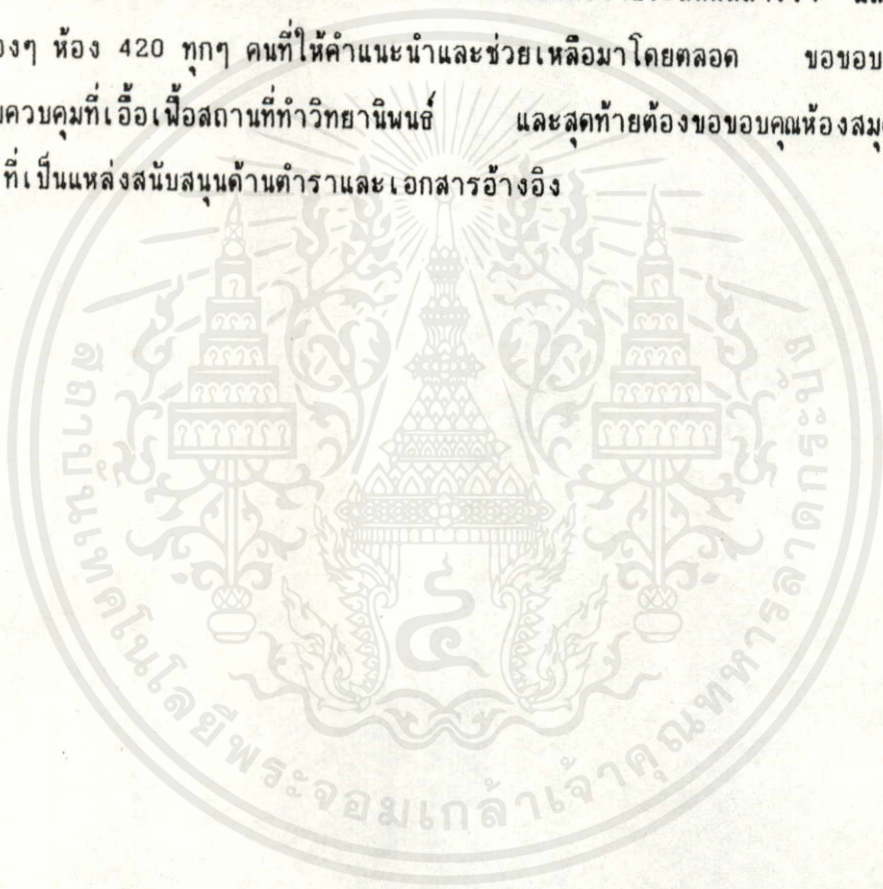
คุมแบบหนึ่งอันหนึ่งเอาทันที เป็นแบบโครงสร้างอัลกอริทึมที่แทนค่ากระบวนการแบบหลายอันหลาย
เอาทันที ซึ่งการตัดแปลงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการที่มีขนาดใหญ่จะทำได้ยากขึ้นต้องใช้
เวลาในการออกแบบนาน ซึ่งในอนาคตจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานควบคุมด้วยไมโครโปรเซส
เซอร์ได้อย่างแน่นอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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", Prattice-Hall International Editions
- [5] รศ.ดร.โยชิน เปรมปราณีรัตน์, "ระบบเซอร์โวและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์", 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
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
- [9] Noel M.Morris, "Control Engineering" Third Edition McGraw-Hill

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\begin{aligned} DV &= 00H \\ DSP &= 85H \\ DE &= DV - DSP \\ &= 00H - 85H \\ &= 85H \quad (\text{SGN} = -1) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} DV &= 15H \\ DSP &= 85H \\ DE &= DV - DSP \\ &= 15H - 85H \\ &= 70H \quad (\text{SGN} = -1) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} DV &= 3AH \\ DSP &= 85H \\ DE &= DV - DSP \\ &= 3AH - 85H \\ &= 4BH \quad (\text{SGN} = -1) \end{aligned} \quad (3)$$

$$DV = 42H$$

$$DSP = 85H$$

$$DE = DV - DSP$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 42H - 85H$$

$$= 43H \quad (SGN = -1) \quad (4)$$

$$DV = 5AH$$

$$DSP = 85H$$

$$DE = DV - DSP$$

$$= 5AH - 85H$$

$$= 2BH \quad (SGN = -1) \quad (5)$$

$$DV = 7BH$$

$$DSP = 85H$$

$$DE = DV - DSP$$

$$= 7BH - 85H$$

$$= 0AH \quad (SGN = -1) \quad (6)$$

$$DV = 92H$$

$$DSP = 85H$$

$$DE = DV - DSP$$

$$= 92H - 85H$$

$$= 0DH \quad (SGN = 1) \quad (7)$$

$$DV = A7H$$

$$DSP = 85H$$

$$DE = DV - DSP$$

$$= A7H - 85H$$

$$= 22H \quad (SGN = 1) \quad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 DV &= C4H \\
 DSP &= 85H \\
 DE &= DV - DSP \\
 &= C4H - 85H \\
 &= 3FH \quad (SGN = 1) \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DV &= DEH \\
 DSP &= 85H \\
 DE &= DV - DSP \\
 &= DEH - 85H \\
 &= 59H \quad (SGN = 1) \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DV &= B3H \\
 DSP &= 85H \\
 DE &= DV - DSP \\
 &= B3H - 85H \\
 &= 2EH \quad (SGN = 1) \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DV &= A5H \\
 DSP &= 85H \\
 DE &= DV - DSP \\
 &= A5H - 85H \\
 &= 20H \quad (SGN = 1) \quad (12)
 \end{aligned}$$

อีกเราจะเห็นได้ว่าจะมีอยู่ทั้ง 2 กรณี ที่มีค่าเป็นได้ทั้งค่าเป็นบวก (SGN = 1) นั่นและในกรณีที่สองมีค่า
ไม่เป็นลบ (SGN = -1) ดังที่เราสามารถดูได้จากส่วนของโปรแกรมการตรวจสอบเครื่องหมายนำไปใช้

ตัวอย่าง 2 เรานำสมการจากตัวอย่าง 1 นำมาหาผลลัพท์ในส่วนของโหมคปรีอพออร์ชั้นนัล โดยที่เราสมมุติว่าให้เกนของปรีอพออร์ชั้นนัล 1.42 และกำหนดให้เอาท์พุทค่าผิดพลาดคูนย์ (DCO) เป็น 15H จงหาเอาท์พุทในสมการควบคุมของโหมคปรีอพออร์ชั้นนัล (โดยนำค่าลัญญานผิดพลาด (DE)) จากตัวอย่างที่ 1)

$$\begin{aligned}K_p &= 1.42 \\DCO &= 15H \\DCP &= K_p DE + DCO \\DCP &= 1.42 * 85H + 15H \\DCP &= 6CH \tag{13}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_p &= 1.42 \\DCO &= 15H \\DCP &= K_p DE + DCO \\DCP &= 1.42 * 70H + 15H \\DCP &= A1H \tag{14}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_p &= 1.42 \\DCO &= 15H \\DCP &= K_p DE + DCO \\DCP &= 1.42 * 48H + 15H \\DCP &= 73H \tag{15}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_p &= 1.42 \\DCO &= 15H \\DCP &= K_p DE + DCO\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะริได้ทางสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$DCP = 1.42*43H + 15H$$

$$DCP = 69H \tag{16}$$

$$K_p = 1.42$$

$$DCO = 15H$$

$$DCP = K_p DE + DCO$$

$$DCP = 1.42*2BH + 15H$$

$$DCP = 4BH \tag{17}$$

$$K_p = 1.42$$

$$DCO = 15H$$

$$DCP = K_p DE + DCO$$

$$DCP = 1.42*0AH + 15H$$

$$DCP = 21H \tag{18}$$

$$K_p = 1.42$$

$$DCO = 15H$$

$$DCP = K_p DE + DCO$$

$$DCP = 1.42*0DH + 15H$$

$$DCP = 25H \tag{19}$$

$$K_p = 1.42$$

$$DCO = 15H$$

$$DCP = K_p DE + DCO$$

$$DCP = 1.42*22H + 15H$$

$$DCP = 3FH \tag{20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการปฏิบัติงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_p = 1.42$$

$$DCO = 15H$$

$$DCP = K_p DE + DCO$$

$$DCP = 1.42 * 3FH + 15H$$

$$DCP = 64H$$

(21)

$$K_p = 1.42$$

$$DCO = 15H$$

$$DCP = K_p DE + DCO$$

$$DCP = 1.42 * 59H + 15H$$

$$DCP = 84H$$

(22)

$$K_p = 1.42$$

$$DCO = 15H$$

$$DCP = K_p DE + DCO$$

$$DCP = 1.42 * 2EH + 15H$$

$$DCP = 4EH$$

(23)

$$K_p = 1.42$$

$$DCO = 15H$$

$$DCP = K_p DE + DCO$$

$$DCP = 1.42 * 20H + 15H$$

$$DCP = 3DH$$

(24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง 3 จงหาไหมติอินติกรัลที่จะนำมาใช้กับระบบโดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง 2 กำหนดให้เกนของอินติกรัล = 0.489 โดยนำมาสร้างสมการควบคุมภายในไหมติอินติกรัล สมมติให้ SUM ที่ค่าเริ่มต้นมีค่าเป็นศูนย์

$$\begin{aligned}K_1 &= 0.0625 \\ \text{SUM} &= 0000\text{H} \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น}) \\ \text{SUM} &= \text{SUM} + \text{DE} \\ &= 0000\text{H} + 85\text{H} \\ &= 0085\text{H} \\ \text{DCI} &= K_1 * \text{SUM} \\ &= 0.0625 * 0085\text{H} \\ &= 08\text{H} \quad (25)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_1 &= 0.0625 \\ \text{SUM} &= 0085\text{H} \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น}) \\ \text{SUM} &= \text{SUM} + \text{DE} \\ &= 0085\text{H} + 70\text{H} \\ &= 00\text{F5H} \\ \text{DCI} &= K_1 * \text{SUM} \\ &= 0.0625 * 00\text{F5H} \\ &= 0\text{FH} \quad (26)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_1 &= 0.0625 \\ \text{SUM} &= 00\text{F5H} \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น}) \\ \text{SUM} &= \text{SUM} + \text{DE} \\ &= 00\text{F5H} + 4\text{BH} \\ &= 0140\text{H}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} DCI &= K_1 * SUM \\ &= 0.0625 * 0140H \\ &= 14H \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} K_1 &= 0.0625 \\ SUM &= 0140H \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SUM &= SUM + DE \\ &= 0140H + 43H \\ &= 0183H \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DCI &= K_1 * SUM \\ &= 0.0625 * 0183H \\ &= 18H \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} K_1 &= 0.0625 \\ SUM &= 0183H \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SUM &= SUM + DE \\ &= 0183H + 2BH \\ &= 01AEH \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DCI &= K_1 * SUM \\ &= 0.0625 * 01AEH \\ &= 1AH \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} K_1 &= 0.0625 \\ SUM &= 01AEH \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SUM &= SUM + DE \\ &= 01AEH + 0AH \\ &= 01B8H \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
DCI &= K_1 * SUM \\
&= 0.0625 * 01B8H \\
&= 1BH \qquad \qquad \qquad (30)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_1 &= 0.0625 \\
SUM &= 01B8H \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SUM &= SUM + DE \\
&= 01B8H + 0DH \\
&= 01ABH
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
DCI &= K_1 * SUM \\
&= 0.0625 * 01ABH \\
&= 1AH \qquad \qquad \qquad (31)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_1 &= 0.0625 \\
SUM &= 01ABH \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SUM &= SUM + DE \\
&= 01ABH + 22H \\
&= 189H
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
DCI &= K_1 * SUM \\
&= 0.0625 * 0189H \\
&= 18H \qquad \qquad \qquad (32)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_1 &= 0.0625 \\
SUM &= 0189H \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SUM &= SUM + DE \\
&= 0189H + 3FH \\
&= 014AH
\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
DCI &= K_1 * SUM \\
&= 0.0625 * 014AH \\
&= 14H
\end{aligned}
\tag{33}$$

$$\begin{aligned}
K_1 &= 0.0625 \\
SUM &= 14AH \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SUM &= SUM + DE \\
&= 014AH + 3FH \\
&= 00F1H
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
DCI &= K_1 * SUM \\
&= 0.0625 * 00F1H \\
&= 0FH
\end{aligned}
\tag{34}$$

$$\begin{aligned}
K_1 &= 0.0625 \\
SUM &= 00F1H \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SUM &= SUM + DE \\
&= 00F1H + 59H \\
&= 00C3H
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
DCI &= K_1 * SUM \\
&= 0.0625 * 00C3H \\
&= 0CH
\end{aligned}
\tag{35}$$

$$\begin{aligned}
K_1 &= 0.0625 \\
SUM &= 00C3H \quad (\text{โดยกำหนดค่า SUM ในส่วนเริ่มต้น})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SUM &= SUM + DE \\
&= 00C3H + 2EH \\
&= 00A3H
\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCI = K₁*SUM

= 0.0625*00A3H

= 0AH

(36)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 4 จงหาสมการของภายในระบบร็อบพอร์ตชั้นไอเทกรัล (DCPI) ที่ได้จากการหาค่าของ โหมดร็อบพอร์ตชั้นไอ (DCP) และโหมดไอเทกรัล (DCI) ตามดังตัวอย่างที่ 2 และ 3 เพื่อนำมาหาค่าในโหมดร็อบพอร์ตชั้นไอเทกรัลดังต่อไปนี้

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\begin{aligned} \text{DCPI} &= \text{DCP} + \text{DCI} \\ &= 21\text{H} + 18\text{H} \\ &= 3\text{CH} \end{aligned} \tag{42}$$

$$\begin{aligned} \text{DCPI} &= \text{DCP} + \text{DCI} \\ &= 25\text{H} + 1\text{AH} \\ &= 3\text{FH} \end{aligned} \tag{43}$$

$$\begin{aligned} \text{DCPI} &= \text{DCP} + \text{DCI} \\ &= 3\text{FH} + 18\text{H} \\ &= 57\text{H} \end{aligned} \tag{44}$$

$$\begin{aligned} \text{DCPI} &= \text{DCP} + \text{DCI} \\ &= 64\text{H} + 14\text{H} \\ &= 78\text{H} \end{aligned} \tag{45}$$

$$\begin{aligned} \text{DCPI} &= \text{DCP} + \text{DCI} \\ &= 84\text{H} + 0\text{FH} \\ &= 93\text{H} \end{aligned} \tag{46}$$

$$\begin{aligned} \text{DCPI} &= \text{DCP} + \text{DCI} \\ &= 4\text{EH} + 0\text{CH} \\ &= 5\text{AH} \end{aligned} \tag{47}$$

$$\begin{aligned} \text{DCPI} &= \text{DCP} + \text{DCI} \\ &= 3\text{DH} + 0\text{AH} \\ &= 47\text{H} \end{aligned} \tag{48}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง 5 จงหาค่าโหมคเอาท์พุทของโหมคตรีเวทึฟ (DCD) จากตัวอย่างที่ 1,2 และ 3 โดยเรากำหนดให้เกนตรีเวทึฟ $K_D = 1.68$

$$\begin{aligned} DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนที่ได้จากตัวอย่าง 1}) \\ &= 70H - 85H \\ &= 15H \quad (SGN = -1) \\ DCD &= K_D * DDE \\ &= 1.68 * 15H \\ &= 10H \end{aligned} \tag{49}$$

$$\begin{aligned} DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนที่ได้จากตัวอย่าง 1}) \\ &= 48H - 70H \\ &= 25H \quad (SGN = -1) \\ DCD &= K_D * DDE \\ &= 1.68 * 25H \\ &= 34H \end{aligned} \tag{50}$$

$$\begin{aligned} DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนที่ได้จากตัวอย่าง 1}) \\ &= 43H - 4BH \\ &= 08H \quad (SGN = -1) \\ DCD &= K_D * DDE \\ &= 1.68 * 08H \\ &= 0BH \end{aligned} \tag{51}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
DDE = DV - DVO (DVO = ค่าที่กำหนดมาก่อนที่ได้จากตัวอย่าง 1)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
= 2BH - 43H
= 18H (SGN = -1)

$$\begin{aligned}
 DCD &= K_D * DDE \\
 &= 1.68 * 18H \\
 &= 21H \qquad (52)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนได้จากตัวอย่าง 1}) \\
 &= 0AH - 2BH \\
 &= 21H \quad (SGN = -1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DCD &= K_D * DDE \\
 &= 1.68 * 21H \\
 &= 2EH \qquad (53)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนได้จากตัวอย่าง 1}) \\
 &= 0DH - 0AH \\
 &= 03H \quad (SGN = 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DCD &= K_D * DDE \\
 &= 1.68 * 03H \\
 &= 04H \qquad (54)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนได้จากตัวอย่าง 1}) \\
 &= 22H - 0DH \\
 &= 15H \quad (SGN = 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DCD &= K_D * DDE \\
 &= 1.68 * 15H \\
 &= 1DH \qquad (55)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$DDE = DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนได้จากตัวอย่าง 1})$$

$$\begin{aligned}
 &= 3FH - 22H \\
 &= 0DH \quad (SGN = 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DCD &= K_D * DDE \\
 &= 1.68 * 0DH \\
 &= 12H \quad (56)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1}) \\
 &= 59H - 3FH \\
 &= 1AH \quad (SGN = 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DCD &= K_D * DDE \\
 &= 1.68 * 1AH \\
 &= 24H \quad (57)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1}) \\
 &= 2EH - 59H \\
 &= 2BH \quad (SGN = -1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DCD &= K_D * DDE \\
 &= 1.68 * 2BH \\
 &= 3CH \quad (58)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนดูได้จากตัวอย่าง 1}) \\
 &= 20H - 2EH \\
 &= 0EH \quad (SGN = -1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DCD &= K_D * DDE \\
 &= 1.68 * 0EH \\
 &= 13H \quad (59)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} DDE &= DV - DVO \quad (DVO = \text{ค่าที่กำหนดมาก่อนได้จากตัวอย่าง 1}) \\ &= 03H - 20H \\ &= 1DH \quad (SGN = -1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DCD &= K_D * DDE \\ &= 1.68 * 1DH \\ &= 28H \end{aligned}$$

(60)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 6 จงหาสมการของภายในระบบรีופןอร์ชั้่นนัลอินตึกรัลเดรีเวทึฟ (DCPID) ที่ได้จากการหาค่าของโหมคปรีופןอร์ชั้่นนัล (DCPI) ตามดั่งตัวอย่างที่ 4 และโหมคเดรีเวทึฟ (DCD) ตามดั่งตัวอย่างที่ 5 เพื่อนำมาหาค่าในโหมคปรีופןอร์ชั้่นนัลอินตึกรัลเดรีเวทึฟดั่งต้อไปนั้

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

$$\begin{aligned} \text{DCPID} &= \text{DCPI} + \text{DCD} \\ &= 80\text{H} + 34\text{H} \\ &= \text{E4H} \end{aligned} \tag{62}$$

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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	0188H	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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวโดยพอที่จะสรุปการนำเสนอแนวความคิดการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ กระแสตรงด้วยวิธี PID และ PD โดยเริ่มนำไมโครโปรเซสเซอร์นำมาประยุกต์ใช้ภายในระบบการควบคุมตำแหน่ง ที่มีการออกแบบโมเดลอัลกอริทึมแบบ 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 Ultimate sensitivity method ซึ่งใช้หาเกนและคาบของระบบ (Natural Time : τ_0) ในการจำลองการควบคุมตำแหน่งแบบ PID และ PD ในส่วนที่เราจะนำมาวิเคราะห์กระบวนการหาค่าพารามิเตอร์และการจูนค่าตามวิธีของ Ziegler and Nichols คือ การตั้งค่าระบบหลังจากที่ได้เลือกใช้ชนิดของตัวควบคุมจะต้องปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้ได้ค่าที่ดีที่สุดโดยทั่วๆ ไปจะมีอยู่ 3 วิธี คือ

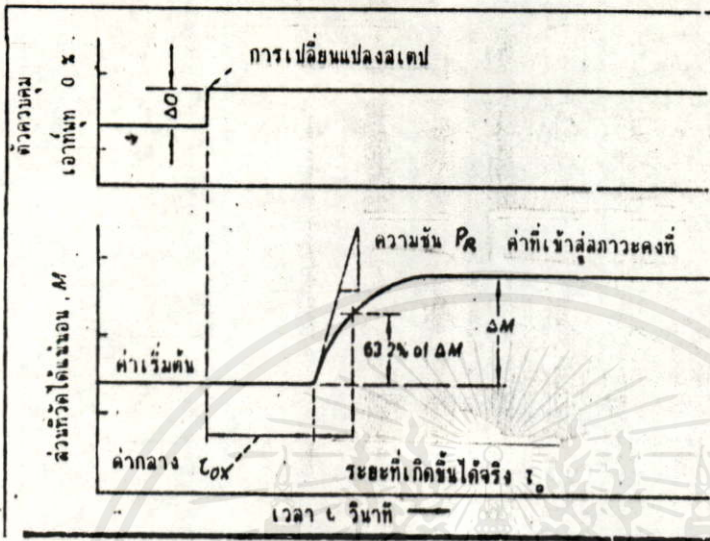
1) ใช้ Criteria อย่างง่าย ๆ เช่น one-quarter delay ratio ; minimum settling time เป็นต้น วิธีนี้มีความสะดวกและง่ายแต่จะให้หลายค่าจึงไม่เป็นที่นิยมแต่อย่างใด

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

3) ใช้ semiempirical rules ซึ่งได้พิสูจน์แล้วในทางปฏิบัติซึ่งเรานำมาใช้ในการทดลองภายในส่วนของวิทยานิพนธ์อยู่นี้ และเป็นที่นิยมใช้กันซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

3.1) วิธีการตอบสนองทรานเซียนลูปเปิดหรือที่เรียกกันว่า Process reaction curve method วิธีนี้เป็นวิธีที่ Ziegler and Nichols คิดขึ้นซึ่งมีวิธีการคือเปิดลูปของกระบวนการควบคุมออกเพื่อไม่ให้เกิด control action และกระทำได้โดยแยกตัวควบคุมออกจาก final control element

เมื่อให้เอาท์พุทของตัวควบคุมเปลี่ยนแปลงเป็นแบบสเตปจากค่าคงที่หนึ่ง เช่น 5 % ถึง 10 % ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกหนึ่งขั้นให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทดลองที่มีการนำไปใช้จะได้ผลตอบสนองดังรูปที่ 6.1 จากเส้นตรงผ่านจุด infection ของเส้นโค้งไปสู่แกนเวลาจะได้



รูปที่ 6.1 การกระทำกระบวนกรทางกราฟ

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

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

โดยที่

N = อัตราการตอบสนอง (% : นาที)

ΔC_p = การเปลี่ยนแปลงตัวแปร (%)

T = การเปลี่ยนแปลงเวลา (นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สมการ (1) และ (2) ถูกใช้ร่วมกับตัวควบคุมที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปร ΔP เพื่อในการปรับแต่งตัว
 ควบคุม เนื้อหาต่อไปนี้จะให้นิยามของการควบคุมให้มีเสถียรภาพสำหรับโหมดต่างๆ ซึ่งถูกพัฒนาโดย
 Ziegler and Nichols

กรณีโหมดปรีอพออร์ชันนัล

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

กรณีโหมดปรีอพออร์ชันนัลอินติกรัล

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

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

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

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

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

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

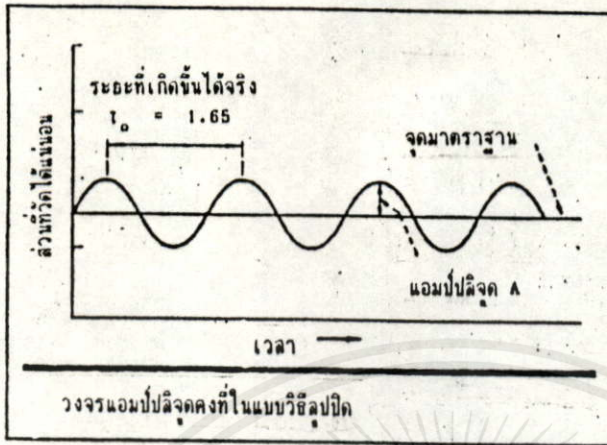
1) ลดค่าอินติกรัลและคิริเวทไฟให้ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่อยๆเพิ่มเกนปรีอพออร์ชันนัล K_c จนกว่าจะเกิดการแกว่งที่มีแอมป์ปลิติดจุดและระยะเวลา

ตามธรรมชาติ



รูปที่ 6.2 รูปคลื่นในส่วนของแอมป์ลิจูดคงที่ที่ใช้ในแบบวิธีการ close-loop

กรณีโหมดปรับฟอร์ซันแนล

$$\text{Ziegler - Nichols} : K_p = 0.5 K_c \quad (9)$$

กรณีโหมดปรับฟอร์ซันแนลอินทิกรัล

$$\text{Ziegler - Nichols} : K_p = 0.45 K_c \quad (10)$$

$$\text{Ziegler - Nichols} : T_i = T_0 / 1.2 \quad (11)$$

กรณีโหมดปรับฟอร์ซันแนลอินทิกรัลดิริเวทีฟ

$$\text{Ziegler - Nichols} : K_p = 0.6 K_c \quad (12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Ziegler - Nichols} : T_d = T_0 / 8 \quad (14)$$

จากสมการที่ (12), (13) และ (14) นี้เราสามารถนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของค่า K_p , K_i และ K_d ได้เพื่อที่เราจะสามารถนำมาหาค่าแรงดันที่ได้จากการเคลื่อนที่ ในค่าตำแหน่งแรกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งถัดไปเราจะนำค่าที่ได้มาใช้คำนวณมุม θ_1 เป็นระยะที่มอเตอร์สามารถเคลื่อนที่ได้จริง จากนั้นเราจะทำการค่าจากตารางภายในไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อที่เราจะสามารถกำหนดค่าใหม่ให้ตำแหน่งของมอเตอร์เปลี่ยนไปจากเดิมไปเป็น θ_2 โดยที่แกนของ K_p , K_i , K_d ยังคงเท่าเดิมพร้อมทั้งมีการเพิ่มโพลขของมอเตอร์และมีการปรับแต่งตำแหน่งมอเตอร์เพื่อให้ระยะตำแหน่งที่มอเตอร์เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งเดิม θ_2 ในส่วนของมุม θ_3 ก็จะทำแบบเดียวกันกับ θ_2 พร้อมทั้งมีการเพิ่มโพล

จากนั้นเราจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_d เพื่อที่จะปรับแต่งค่าพารามิเตอร์แบบ PD พร้อมทั้งหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ ที่ได้มาจากการคำนวณหามุม θ_3 จากนั้นเราจะทำการเพิ่มโพลมอเตอร์ที่นำมาใช้ในการเคลื่อนที่โดยที่แกนของ K_p , K_d ยังคงเดิม

การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่ง ในส่วนของการทดลองที่จะนำมากล่าวต่อไปนี้เป็นผลจากการวัดผลการตอบสนองของความเร็วชั่วขณะจากสัญญาณทาโคเจนเนอเรเตอร์ และทำการวัดผลการตอบสนองชั่วขณะของตำแหน่งจากสัญญาณพัลส์ เจเนอเรเตอร์พร้อมกันโดยมีการควบคุมตำแหน่งในลักษณะแบบ PID และ PD ที่ได้จากการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i , K_d เพื่อที่จะนำมาใช้แต่เฉพาะในส่วนการควบคุมตำแหน่ง เราจะทำการวัดเวลาที่สัญญาณเข้าสู่ระยะ steady-state ตามค่าเวลา settling time = T_s พร้อมทั้งวัดช่วงแรงดันจากช่วงตำแหน่งแรก ที่มอเตอร์หยุดไปยังตำแหน่งที่สองที่มอเตอร์หยุด เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหามุม θ_1 ที่มอเตอร์ได้เคลื่อนออกไป ต่อไปเราจะนำโพลมอเตอร์อีกตัวต่อเข้าไปโดยที่เราจะทำการต่อแบบ (open) จากนั้นเราจะนำโพลมอเตอร์ที่เราได้ต่อเข้าไปมาทำการลัดวงจรมอเตอร์ หรือที่เราเรียกว่าการต่อแบบ (close) จากนั้นเราจะทำการปรับหามุม θ_2 และ θ_3

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

การตอบสนองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ที่มีการปรับแต่งการจูน PID ของ Ziegler-Nichols ดังที่ได้เคยนำมากล่าวไว้แล้วในตอนต้นภายในระบบที่เราได้ทำการปรับแต่งอยู่นี้เราจะได้ $K_c=60$: $\tau_o = 0.58$ เพื่อที่จะนำไปหาค่า K_p, K_i, K_d ที่ได้จากการคำนวณต่างๆจากสมการที่ (12), (13) และ (14) ดังนี้

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเกณฑ์ K_p ที่ได้จากการคำนวณ

$$K_p = 0.6K_c$$

$$K_p = 0.6*60$$

$$K_p = 36$$

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเกณฑ์ K_i ที่ได้จากการคำนวณ

$$\tau_i = 0.5\tau_o$$

$$\tau_i = 0.5*0.58$$

$$\tau_i = 0.29$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$K_1 = \frac{36}{s * 0.29}$$

$$K_1 = \frac{124.13}{s}$$

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าเกณฑ์ K_D ที่ได้จากการคำนวณ

$$\zeta_D = \zeta_0 / 8$$

$$\zeta_D = 0.58 / 8$$

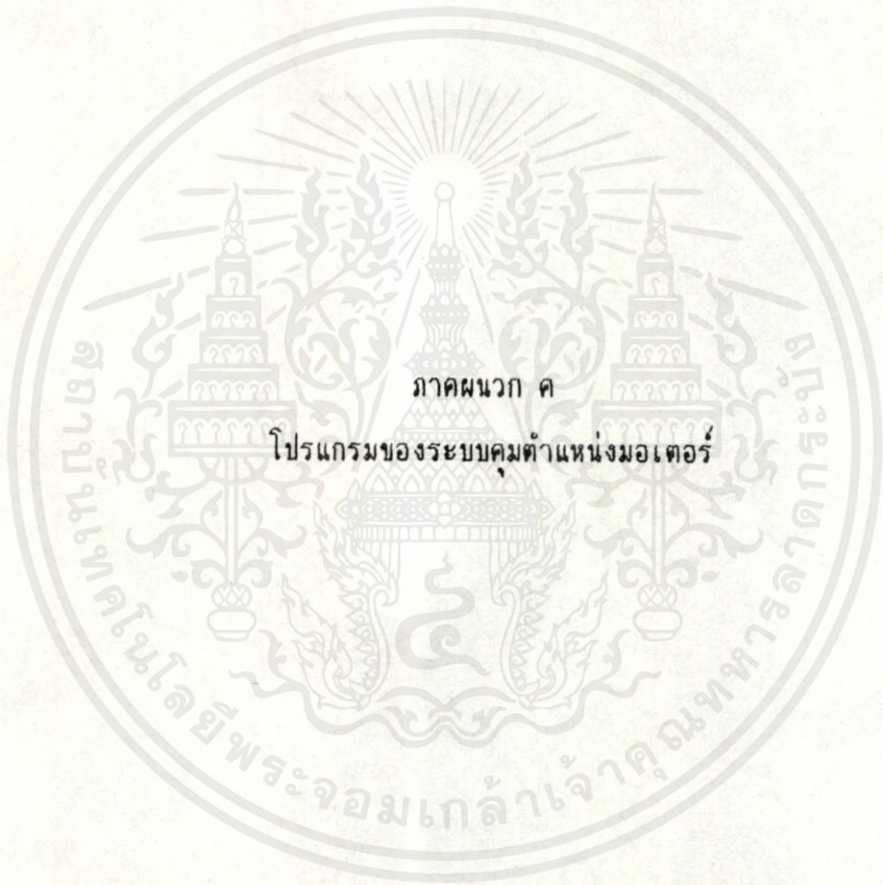
$$\zeta_D = 0.0725$$

$$K_D = s \zeta_D K_P$$

$$K_D = s * 0.0725 * 36$$

$$K_D = 2.61$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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    OFF12H         ;
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,OFFFFH       ;
        SHLD   WDATA          ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น... ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;  
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
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ จะถือว่าผิดกฎหมายและต้องรับผิดชอบต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง

```

; 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 OOH ; 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 OOH ; 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 OOH ; 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

```

```
LOOP2: LDAX D ;
SUB C ;
;
IFSTOP: ORI OOH ; 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 OOH ; 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 OOH ; 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 OOH ; 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
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีให้คัดแปลงเนื้อหา กรุณาแจ้งมายังเจ้าของเอกสารทุกครั้งเพื่อทราบเป็นขอ

```

; 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 OOH ; 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 OOH ; 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 OOH ; 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 OOH ; Logical OR IF=0 goto STOP
JZ STOP ;
;
; LDAX D ; Input DV from position control
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและขอปรับปรุงเนื้อหาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป


```

MOV    E,A          ;
MVI    C,00H       ;
MOV    A,E          ; Calculate value ERROR DE=DV-DSP
JNC    KI           ; B=DE
CMA    A            ; (-)DE
ADI    01H          ; (-)DE+1
MVI    C,OFFH      ; 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,OFFH      ;
        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,OFFH      ;
OUT1:   MOV    E,A          ;

```

```

;
;*****
;*
;* THIS SECTION CALCULATES PROPORTIONAL KP*DE=3.5*DE
;*
;*****
;

```

```

KP:    MOV    A,B          ; A=DE
        ADD    B            ; B=2*DE

```

```

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      ;
MINP:   MVI     A,OFFH ;
JMP     DCP       ;
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,OFFH    ;
JMP     OUTP      ;
SUBP:   SUB     D  ; DCO-KP*DE
JNC     OUTP      ;
MVI     A,OOH     ;
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,OFFH    ;
JMP     OUTPI     ;
SUBPI:  SUB     D  ; DCPI=DCI-DCP
JNC     OUTPI     ;
MVI     A,OOH     ;
OUTPI:  MOV     D,A ;
;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัยใดๆ กรุณาแจ้งมาที่ฝ่ายเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; *****
; *
; *      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,OFFH       ; 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,OFFH       ;
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,OFFH       ;
        JMP     OUTPID       ;
SUBPID: SUB     E             ; DCPID=DCPI-DCD
        JNC     OUTPID       ;
        MVI     A,00H        ;
OUTPID: CALL    DELAY        ;
        POP     B             ;
        POP     D             ;
        RET

```

เอกสาร OUTPID: CALL DELAY การใช้งานเพื่อศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ มิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*****  
*  
*          POSITION COMMAND DATA          *  
*  
*****
```

```
ORG      BE00H      ;  
;   
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
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมี...
สำนักงานคณะกรรมการก...

```
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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57

```
*****
*
* "MP-85 mkII" MONITOR PROGRAM REV 1
*
*****
```

```
.8085
TITLE MON.MAC
SUBTTL 1987,10,20
```

```
0000 MONSTR EQU 0000H
FD00 WRKSTR EQU 0F000H
0000 MONSTK EQU 0000H ;MONITOR STACK
8000 INITPC EQU 8000H ;INITIAL PC

0080 DT8279 EQU 0080H ;I8279 DATA PORT
0081 CM8279 EQU 0081H ;I8279 COMMAND PORT

007C PA8255 EQU 007CH ;I8255 PORT A
007D PB8255 EQU 007DH ;I8255 PORT B
007E PC8255 EQU 007EH ;I8255 PORT C
007F CT8255 EQU 007FH ;I8255 CONTROL PORT

0066 USARTD EQU 0064H ;I8251 DATA PORT
0067 USARTC EQU 0065H ;I8251 COMMAND PORT

0068 PITCT0 EQU 0068H ;I8253 COUNTER 0 PORT
0069 PITCT1 EQU 0069H ;I8253 COUNTER 1 PORT
006A PITCT2 EQU 006AH ;I8253 COUNTER 2 PORT
006B PITCTM EQU 006BH ;I8253 COMMAND PORT

00E0 EWPPIA EQU 00E0H ;ROM WRITER DATA PORT
00E1 EWPPIB EQU 00E1H ;ROM WRITER ADDR (HIGH) PORT
00E2 EWPPIC EQU 00E2H ;ROM WRITER PULSE PORT
00E3 EWPPIM EQU 00E3H ;ROM WRITER CONTROL PORT
00E4 EWPPID EQU 00E4H ;ROM WRITER ADDR (LOW) PORT
```

```
0000 ASEG
ORG MONSTR
```

```
*****
*
* RESET AND INTERRUPT JUMP VECTOR *
*
*****
```

```
----- RESET -----
```

```
55 0000 AF XRA A ;TIME DELAY
56 0001 3D INTMDL: DCR A
57 0002 C2 0001 JNZ INTMDL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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 FFOC JMP TRAP ;TRAP INTERRUPT
84 0027 DS 1
85 ;
86 ----- RST 5 -----
87 ;
88 0028 C3 FFOF JMP RST5 ;RST 5 INTERRUPT
89 002B DS 1
90 ;
91 ----- RST 5.5 -----
92 ;
93 002C C3 FF12 JMP DS 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 01AD 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

116 ;*****
117 ;#
118 ;# MONITOR SUBROUTINE ENTRY ;#
119 ;#
120 ;*****
121 ;
122 0040 C3 0621 JMP DISP ;LED DISPLAY
123 0043 C3 0663 JMP DHEX1
124 0046 C3 0654 JMP DHEX2
125 0049 C3 0649 JMP DHEX4
126 004C C3 068D JMP DSET
127 ;
128 004F C3 0574 JMP KEYIN ;KEYBOARD
129 0052 C3 058C JMP KEYINP
130 0055 C3 061C JMP CHKMIK
131 ;
132 0058 C3 0825 JMP MTRON ;CASSETTE INTERFACE
133 005B C3 081F JMP MTROFF
134 005E C3 0798 JMP LEADER
135 0061 C3 07B9 JMP BYTOTO
136 0064 C3 08ED JMP LEADIN
137 0067 C3 089F JMP BYTEIN
138 ;
139 006A C3 0912 JMP PRTINI ;PRINTER
140 006D C3 0939 JMP PRTPUT
141 0070 C3 0919 JMP PRTLF1
142 0073 C3 0921 JMP PRTLFN
143 0076 C3 0A77 JMP PRTSTR
144 0079 C3 0A53 JMP PRTHX1
145 007C C3 0A44 JMP PRTHX2
146 007F C3 0A39 JMP PRTHX4
147 ;
148 0082 C3 0B78 JMP RAMSET ;RAM FILL
149 0085 C3 0BB2 JMP RAMTST ;RAM TEST
150 0088 C3 0BE1 JMP RAMMOV ;RAM MOVE
151 ;
152 008B C3 0D07 JMP ROMWRT ;ROM WRITER
153 ;
154 008E C3 0C18 JMP SINIT ;SIO (RS-232C)
155 0091 C3 0C6F JMP SIINTE
156 0094 C3 0C7C JMP SIINTD
157 0097 C3 0C89 JMP SETSIM
158 ;
159 009A C3 0C96 JMP TMINIT ;TIMER
160 009D C3 0CCA JMP TMINTE
161 00A0 C3 0CD7 JMP TMINTD
162 00A3 C3 0CE4 JMP SETTMM
163 ;
164 00A6 C3 0CF8 JMP SETUPR ;USER PROGRAM
165 ;
166 00A9 C3 00CD JMP MONINI ;MONITOR ENTRANCE
167 ;
168 ;*****
169 ;#
170 ;# INITIALIZE ;#
171 ;#
172 ;*****
173 ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

174          RESET:
175 00AC 31 0000          LXI    SP,MONSTK          ;MONITOR COLD START
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:
215 00D3 CD 06BB          CALL   DMEMS            ;MONITOR HOT START
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          ;
227 00E5 D3 81          MVI    A,0C2H         ;RESET FIFO
228          ;
229          ;*****
230          ;*
231          ;*      DISPLAY AND KEYIN
232          ;*

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
232 ;*
233 ;*****
234 ;
235 00E7 CD 06FA LOOP: CALL DISTKP ;DISABLE TRAP
236 00EA CD 0621 CALL DISP ;DISPLAY
237 ;
238 00ED CD 058C LOOPK: CALL KEYINP ;KEYBOARD INPUT
239 00F0 D2 00ED JNC LOOPK ;IF NO KEY THEN WAIT
240 ;
241 00F3 FE 10 CPI 16 ;CHECK 0,1,...,F
242 00F5 D2 0132 JNC CNTKEY
243 ;
244 00F8 21 FF60 LXI H,FCFLG ;CHECK FUNCTION FLAG
245 00FB 34 INR M
246 00FC 35 DCR M ;0?
247 00FD C2 0241 JNZ DIGFNC
248 ;
249 ;*****
250 ;*
251 ;* DIGIT KEY PROCESS *
252 ;* *
253 ;*****
254 ;
255 0100 F5 PUSH PSW ;SAVE KEY CODE
256 0101 3A FF63 LDA CLFLG ;CHECK CLEAR FLAG
257 0104 A7 ANA A ;IF CLFLG = 1
258 0105 CA 0112 JZ INSFT ; THEN CLFLG:=0 , INRG:=0
259 ;
260 0108 AF XRA A
261 0109 32 FF63 STA CLFLG
262 010C 21 0000 LXI H,0
263 010F 22 FF5D SHLD INRG
264 ;
265 0112 F1 INSFT: POP PSW ;RESTORE KEY CODE
266 ;
267 0113 2A FF5D LHLD INRG
268 0116 29 DAD H ;SHIFT 1 DIGIT
269 0117 29 DAD H
270 0118 29 DAD H
271 0119 29 DAD H
272 011A 85 ADD L
273 011B 6F MOV L,A ;INSERT INKEY DATA
274 011C 22 FF5D SHLD INRG
275 ;
276 011F 0E 05 MVI C,5
277 0121 CD 0649 CALL DHEX4
278 ;
279 0124 21 0000 LXI H,0 ;CLEAR LED 0,1
280 0127 22 FF4E SHLD DISPM
281 012A 3E 14 MVI A,14H ;DOT := 88.88.
282 012C 32 FF4D STA DOTM
283 012F C3 00E7 JMP LOOP
284 ;
285 ;*****
286 ;*
287 ;* CONTROL KEY PROCESS *
288 ;* *
289 ;*****
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

290
291 0132 E6 OF      ; CNTKEY: ANI      OFH      ; JUMP EACH PROCESS
292 0134 CD 070B    CALL     CASE
293
294 0137 0147      DW      ADSET     ; ADDRESS SET
295 0139 0140      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 00F7      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    LHL D  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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

348 018A D2 019E      .JNC      NRWR
349
350      ;*****
351      ;*
352      ;*      REGISTER WRITE
353      ;*
354      ;*****
355
356 018D 21 FF2B      LXI      H,PCREG-2
357 0190 CD 0701      CALL     ADHLAA
358 0193 EB          XCHG
359 0194 2A FF5D      LHLD     INRG
360 0197 EB          XCHG
361 0198 73          MOV      M,E
362 0199 23          INX     H
363 019A 72          MOV      M,D
364 019B C3 024F      JMP      DSREG
365
366      ;*****
367      ;*
368      ;*      FUNCTION WRITE
369      ;*
370      ;*****
371
372 019E D6 09      NRWR:   SUI      9      ;CHECK WRFLG
373 01A0 CD 070B      CALL     CASE
374
375 01A3 0201      DW      PFWR      ;SET PRINT FLAG
376 01A5 01C1      DW      STREG1     ;SET TREG1
377 01A7 01C1      DW      STREG1     ;SET TREG1
378 01A9 01C1      DW      STREG1     ;SET TREG1
379 01AB 00E7      DW      LOOP
380 01AD 01C1      DW      STREG1     ;SET TREG1
381 01AF 0365      DW      INEX      ;IN EXECUTE
382 01B1 01C1      DW      STREG1     ;SET TREG1
383 01B3 01F0      DW      STREG2     ;SET TREG2
384 01B5 04DE      DW      VFEX      ;VERIFY EXECUTE
385 01B7 04D9      DW      LDEX      ;LOAD EXECUTE
386 01B9 04CD      DW      SVEX      ;SAVE EXECUTE
387 01BB 0212      DW      PMEX      ;PRINT MEMORY EXECUTE
388 01BD 00E7      DW      LOOP
389 01BF 0389      DW      OUTEX     ;OUT EXECUTE
390
391 01C1 2A FF5D      STREG1: LHLD     INRG      ;TREG1 := INRG
392 01C4 22 FF46      SHLD    TREG1
393 01C7 3A FF62      LDA     WRFLG      ;WRFLG := WRFLG+7
394 01CA C6 07          ADI     7
395 01CC 32 FF62      STA     WRFLG
396
397 01CF CD 06A4      ;      CALL     DREST      ;RESTORE DISP
398 01D2 FE 15      CPI     21
399 01D4 CA 01E2      JZ      WRD2
400
401 01D7 3A FF46      ;      LDA     TREG1      ;DISPLAY 1 BYTE
402 01DA 0E 03      MVI     C,3
403 01DC CD 0654      CALL    DHEX2
404 01DF C3 01EA      JMP     EDSAVE
405

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

406 01E2 2A FF46 WRD2:  LHL  D 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: LHL  D 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  LHL  D TREG1    ;SET TOP ADDRESS
435 0218 22 FF42  SHLD MDTOP
436 021B 2A FF5D  LHL  D 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

464                                     ;# REGISTER KEY PROCESS #
465                                     ;# #
466                                     ;# #
467                                     ;# #
468 0246 AF 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 02B2 DSREG: 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 FF5B 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 ;0000001B
509 028A 17 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 17 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
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

522 0297 47      ;      MOV      B,A          ;AC FLAG
523
524 0298 7E      ;      MOV      A,M
525 0299 E6 40    ;      ANI      40H
526 029B 0F      ;      RRC
527 029C 0F      ;      RRC
528 029D 0F      ;      RRC
529 029E B0      ;      ORA      B          ;00001000B
530 029F 47      ;      MOV      B,A          ;Z FLAG
531
532 02A0 7E      ;      MOV      A,M
533 02A1 E6 80    ;      ANI      80H
534 02A3 0F      ;      RRC
535 02A4 0F      ;      RRC
536 02A5 B0      ;      ORA      B          ;00100000B
537 02A6 47      ;      MOV      B,A          ;S FLAG
538
539 02A7 3A FF3D ;      LDA      IEFLG
540 02AA 07      ;      RLC
541 02AB B0      ;      ORA      B          ;00010000B
542 02AC 47      ;      MOV      B,A          ;INTERRUPT ENABLE FLAG
543
544
545 02AD 78      ;DSREGE: MOV      A,B
546 02AE 32 FF4D ;      STA      DOTM
547 02B1 C3 00DE ;      JMP      CLIN
548
549
550 02B4 7339    ;REGNM: DW      7339H      ;PC
551 02B6 6D73    ;      DW      6D73H      ;SP
552 02B8 7C77    ;      DW      7C77H      ;BA
553 02BA 7C38    ;      DW      7C38H      ;BL
554 02BC 7771    ;      DW      7771H      ;AF
555 02BE 7C39    ;      DW      7C39H      ;BC
556 02C0 5E79    ;      DW      5E79H      ;DE
557 02C2 7638    ;      DW      7638H      ;HL
558
559
560
561
562
563
564
565 02C4 AF      ;DIGNOD: XRA      A          ;CLEAR FCFLG
566 02C5 32 FF60 ;      STA      FCFLG
567 02C8 78      ;      MOV      A,B          ;WRFLG = 9,10,....
568 02C9 3C      ;      INR      A
569 02CA 32 FF62 ;      STA      WRFLG
570 02CD D6 09    ;      SUI      9          ;DECODE WRFLG
571 02CF CD 070B  ;      CALL     CASE
572
573 02D2 02E2    ;      DW      FCPF          ;FUNCTION PF
574 02D4 02F7    ;      DW      FCSAVE       ;FUNCTION SAVE
575 02D6 0304    ;      DW      FCVfy       ;FUNCTION VERIFY
576 02D8 0311    ;      DW      FCLOAD       ;FUNCTION LOAD
577 02DA 031E    ;      DW      FCPDR        ;FUNCTION PRINT REGISTERS
578 02DC 0338    ;      DW      FCPDM        ;FUNCTION PRINT DUMP MEMORY
579 02DE 0348    ;      DW      FCIN         ;FUNCTION INPUT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

580 02E0 0355          DW      FCOUT          ;FUNCTION OUTPUT
581
582
583 *****
584 *
585 *          FUNCTION PF          *
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
594 02EC 0E 03          MVI     C,3
595 02EE 3A FF41      LDA     PRFLG
596 02F1 CD 0654      CALL   DHEX2
597 02F4 C3 035F      JMP     ENDFC
598
599 *****
600 *
601 *          FUNCTION SAVE          *
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      FCFVY: 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา 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,10INST
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    10INST+1
721                ;
722 037E CD FF3E     IOEX:  CALL  10INST      ;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,10INST
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    10INST+1     ;SET PORT NUMBER
734 039D 3A FF5D     LDA    INRG          ;LOAD OUT DATA
735 03A0 C3 00DE     JMP    IOEX
736                ;
737 03A3 DB 00 C9     ININS: DB      0DBH,00H,0C9H ;IN XX , RET
738 03A6 DB 03 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
753 03AD 00 00 00   DB      00H,00H,00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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
770	03C9	AF	:	GOMD1:	XRA	A
771	03CA	C3 03CF	:	JMP	STEXF	;SET LOOP COUNT ;EXFLG = 0
772			:			
773	03CD	3E 01	:	STEP:	MVI	A,1
774	03CF	32 FF5F	:	STEXF:	STA	EXFLG
775	03D2	2A FF2D	:	LHLD	PCREG	;LOAD NEXT INST.
776	03D5	22 FF58	:	SHLD	ADRG	;SET ADRG
777	03D8	7E	:	MOV	A,M	
778	03D9	FE 76	:	CPI	76H	
779	03DB	C2 03E3	:	JNZ	ENATR	;HALT INST.
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
785	03E5	C3 03EF	:	JMP	EXEC	;ENABLE AUTO TRAP
786			:			
787			:			
788	03E8	3E 02	:	RUNMD:	MVI	A,2
789	03EA	32 FF5F	:	STA	EXFLG	;EXFLG = 2
790	03ED	3E 40	:	MVI	A,40H	;DISABLE AUTO TRAP
791			:			
792			:			
793	03EF	47	:	EXEC:	MOV	B,A
794	03F0	DB 7E	:	IN	PC8255	;OUT PC7,6
795	03F2	F6 C0	:	ORI	11000000B	;RESET F/F
796	03F4	D3 7E	:	OUT	PC8255	
797	03F6	E6 3F	:	ANI	00111111B	
798	03F8	80	:	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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

812
813 040B 2A FF39      ; LHL D   DERE G      ;RESTURE DE
814 040E EB          ; XCHG
815
816 040F 2A FF3B      ; LHL D   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
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 *
834 *      MONITOR CALL PROCESS      *
835 *      (RST 7 = OFFH)          *
836 *
837 *****
838
839 041F CD 0484      RST7PR: CALL SVREG
840
841 0422 2A FF2D      ; LHL D   PCREG      ;ADR G = 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
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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:  LHL D      ADRG      ;ADDRESS = BAREG
879 0456 EB          XCHG
880 0457 2A FF31      LHL D      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      LHL D      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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

928 0499 22 FF39          SHLD  DEREQ          ;SAVE DE
929
930 049C D1              POP   D              ;RETURN ADDRESS
931 049D E1              POP   H              ;POP PC
932 049E 22 FF2D          SHLD  PCREG          ;SAVE PC
933
934 04A1 21 0000          LXI   H,0
935 04A4 39              DAD   SP
936 04A5 22 FF2F          SHLD  SPREG          ;SAVE SP
937
938 04A8 31 FFFE          LXI   SP,MONSTK-2
939 04AB D5              PUSH  D
940 04AC C9              RET
941
942 ;*****
943 ;*
944 ;*   RST6.5 PROCESS
945 ;*
946 ;*****
947
948 04AD F5              RST65P: PUSH  PSW          ;PUSH AREG AND FLAGS
949 04AE DB 7D          IN    PB8255
950 04B0 E6 08          ANI   08H
951 04B2 C2 04B9          JNZ   RST65M
952
953 04B5 F1              POP   PSW
954 04B6 C3 FF18          JMP   RST65          ;USER RST6.5
955
956 04B9 F1              RST65M: POP  PSW
957 04BA C3 FF24          JMP   SIINT          ;8251 RX-READY
958
959 ;*****
960 ;*
961 ;*   RST7.5 PROCESS
962 ;*
963 ;*****
964
965 04BD F5              RST75P: PUSH  PSW          ;PUSH AREG AND FLAGS
966 04BE DB 7D          IN    PB8255
967 04C0 E6 10          ANI   10H
968 04C2 C2 04C9          JNZ   RST75M
969
970 04C5 F1              POP   PSW
971 04C6 C3 FF1E          JMP   RST75          ;USER RST7.5
972
973 04C9 F1              RST75M: POP  PSW
974 04CA C3 FF27          JMP   TMINT          ;8253 TIMER
975
976 ;*****
977 ;*
978 ;*   MEMORY DATA
979 ;*   SAVE/LOAD/VERIFY PROCESS
980 ;*
981 ;*****
982
983 ;*****
984 ;*
985 ;*   SAVE
986 ;*

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

986                                     ;*
987                                     ;*****
988                                     ;
989 04CD CD 071D SVEX: CALL CHADR ;CHECK ADDRESS
990 04D0 CD 06CF CALL DFNO ;DISPLAY FILE NUMBER
991 04D3 CD 073A CALL SAVE
992 04D6 C3 04E8 JMP SLVEND
993
994                                     ;*****
995                                     ;
996 LOAD ;
997 ;
998 ;*****
999 ;
1000 04D9 3E 01 LDEX: MVI A,1 ;LOAD FLAG = 1
1001 04DB C3 04DF JMP LDVFEX
1002 ;
1003 04DE AF VFEX: XRA A ;LOAD FLAG = 0
1004 ;
1005 04DF 32 FF61 LDVFEX: STA LDFLG
1006 04E2 CD 06CF CALL DFNO ;DISPLAY FILE NUMBER
1007 04E5 CD 082C CALL LDVFX
1008 ;
1009 ;
1010 04E8 CD 081F SLVEND: CALL MTROFF ;MUTOK OFF
1011 04EB C3 032E JMP ENDOSP
1012 ;
1013 ; DISPLAY ERROR MESSAGE
1014 ;
1015 04EE 31 0000 ERROSP: LXI SP,MONSTK ;RESTORE SP
1016 04F1 F5 PUSH PSW ;SAVE ERROR NUMBER
1017 04F2 CD 068D CALL DSET
1018 04F5 02 DB 02H ;DISPLAY 'ERROR.N'
1019 04F6 00 50 5C DB 00H,50H,5CH
1020 04F9 50 50 79 DB 50H,50H,79H
1021 04FC F1 POP PSW
1022 04FD 0E 00 MVI C,0 ;DISPLAY ERROR NUMBER
1023 04FF CD 0663 CALL DHEX1
1024 0502 C3 00D6 JMP CLFC
1025 ;
1026 ;*****
1027 ;
1028 ; INITIALIZE HARDWARE ;
1029 ;
1030 ;*****
1031 ;
1032 INITHW:
1033 ;
1034 ;----- 18255 MODE SET -----
1035 ;
1036 0505 3E 82 MVI A,82H ;PA,PC : OUTPUT
1037 0507 03 7F OUT CT8255 ;PB : INPUT
1038 ;
1039 ;----- 18279 INIT. -----
1040 ;
1041 0509 3E 04 MVI A,04H ;DD: 0 , KKK: 000
1042 050B 03 81 OUT CM8279
1043 050D 3E 34 MVI A,52 ;CLOCK: 1/20

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1044 050F 03 81          OUT    CM8279
1045 0511 3E A0          MVI    A,0A0H          ;RESET IW AND BL
1046 0513 03 81          OUT    CM8279
1047 0515 3E CD          MVI    A,0CDH          ;CLEAR
1048 0517 03 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,(PRTRR-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
1084 053A 3E C3          MVI    A,0C3H          ;SET TRAP / RST 7 JUMP TABLE
1085 053C 32 FF0C          STA   TRAP            ;0C3H IS "JMP" INSTRUCTION
1086 053F 32 FF1B          STA   RST7
1087 0542 32 FF2A          STA   PRTRR          ;PRINTER ERROR
1088 0545 21 0433          LXI    H,TRAPR
1089 0548 22 FF0D          SHLD  TRAP+1
1090 054B 21 041F          LXI    H,RST7PR
1091 054E 22 FF1C          SHLD  RST7+1
1092 0551 21 00D3          LXI    H,MONHS          ;MONITOR HOT START
1093 0554 22 FF2B          SHLD  PRTRR+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
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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,USPP      ;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                KYRPST EQU    200  ;REPEAT START TIME
1141                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
1156                ;
1157 05A2 3C          INR      A
1158 05A3 32 FF4B      STA      KYRPCT
1159 05A6 FE 01      CPI      1          ;FIRST TIME?

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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          ;
1168 05B2 3C              KEYIP2: 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          ;
1184          ; CHECK KEYBOARD INPUT
1185 05C5 CD 05E4         KEYCHK: CALL   KEYSN
1186 05C8 DA 05CD         JC      KEYCH1
1187 05CB 3E FF         MVI    A,OFFH          ;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    OFFH
1199 05E1 C8              RZ
1200 05E2 78              MOV    A,B          ;NO KEY (CF=0)
1201 05E3 C9              RET     ;KEY PUSHED (CF=1)
1202
1203          ;
1204          ; SCAN KEYBOARD
1205 05E4 3E 50         KEYSN: MVI    A,50H          ;SET SENSOR
1206 05E6 D3 81         OUT    CMB279          ;-RAM ADDRESS
1207 05E8 01 FF00        LXI    B,OFF00H        ;B = OFFH , C = 00H
1208
1209 05EB DB 80         KEYS1: IN     DT8279          ;READ S-RAM
1210 05ED E6 0F         ANI    OFFH
1211 05EF C2 0601        JNZ    KEYS2
1212
1213 05F2 0C              INR    C
1214 05F3 79              MOV    A,C
1215 05F4 FE 06         CPI    6
1216 05F6 DA 05EB        JC     KEYS1
1217
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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 02 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 0B           KEYWT2: DCX  B
1242 0616 78           MOV   A,B
1243 0617 B1           ORA  C
1244 0618 C2 0615          .INZ  KEYWT2
1245 061B C9           RET
1246                      ;
1247                      ; CHECK MONI IN KEY
1248                      ;
1249                      ; CHKMIK:
1250 061C DB 7D           IN    PB8255
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  DUTM
1273 0632 47           MOV  B,A
1274 0633 21 FF4E          LXI  H,DISPM
1275 0636 0E 06           MVI  C,6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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 ;* DISPLAY HEXADECIMAL 4 DIGITS *
1292 ;* *
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 ;* DISPLAY HEXADECIMAL 2 DIGITS *
1309 ;* *
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 ;* DISPLAY HEXADECIMAL 1 DIGIT *
1330 ;* *
1331 ;* *
1332 ;* A : 4 BITS DATA (LOW 4 BITS) *
1333 ;* C : LED POINTER (C=C-1) *

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1334
1335
1336
1337 0663 E5
1338 0664 D5
1339 0665 F5
1340
1341 0666 E6 0F
1342 0668 5F
1343 0669 16 00
1344 066B 21 007D
1345 066E 1B
1346 066F E5
1347 0670 59
1348 0671 21 FF4E
1349 0674 19
1350 0675 D1
1351 0676 1A
1352 0677 77
1353
1354 0678 F1
1355 0679 D1
1356 067A E1
1357 067B 0D
1358 067C C9
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366 067D 3F 06 5B 4F
1367 0681 66 6D 7D 27
1368 0685 7F 6F 77 7C
1369 0689 39 5E 79 71
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381 068D 11 0007
1382 0690 E1
1383 0691 19
1384 0692 E5
1385 0693 11 FFF9
1386 0696 19
1387 0697 11 FF4D
1388 069A EB
1389 069B 0E 07
1390 069D C3 0714
1391
;
;*****
;
DHEX1:  PUSH  H
        PUSH  D
        PUSH  PSW
;
        ANI  0FH          ;CLEAR HIGH 4 BITS
        MOV  E,A
        MVI  D,0
        LXI  H,LEDTBL    ;CONVERT TO 7 SEG. CODE
        DAD  D
        PUSH H
        MOV  E,C
        LXI  H,DISPM
        DAD  D
        POP  D
        LDAX D
        MOV  M,A          ;SET DISPLAY MEMORY
;
        POP  PSW
        POP  D
        POP  H
        DCR  C          ;DECREMENT LED POINTER
        RET
;
;*****
;
;          LED CODE (0,1,2,....,E,F)
;
;*****
LEDTBL: DB  3FH,06H,5BH,4FH ;0,1,2,3
        DB  66H,6DH,7DH,27H ;4,5,6,7
        DB  7FH,6FH,77H,7CH ;8,9,A,B
        DB  39H,5EH,79H,71H ;C,D,E,F
;
;*****
;
;          DISPLAY MEMORY SET
;
;          CALL DSET
;          DB  (DOT INF) 1 BYTE
;          DB  (IMAGE) 6 BYTES
;
;*****
;
DSET:   LXI  D,7
        POP  H
        DAD  D          ;PC = PC+7
        PUSH H
        LXI  D,-7
        DAD  D
        LXI  D,DOTM
        XCHG          ;MOVE DISPLAY DATA
        MVI  C,7
        JMP  MMOVE
;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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 87 DREST: ORA A ;RESET CF
1402 06A5 F5 DREST1: PUSH PSW
1403 06A6 C5 PUSH B
1404 06A7 05 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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 OCOH
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                                     ;*
1502                                     ;* CALL CASE
1503 DW XXXX .... IF A=0
1504 DW YYYY .... IF A=1
1505
1506                                     ;*
1507 070B E1 CASE: POP H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1508 070C CD 0701
1509 070F 5E
1510 0710 23
1511 0711 56
1512 0712 EB
1513 0713 E9
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524

```

```

CALL ADHLAA
MOV E,M
INX H
MOV D,M
XCHG
PCHL

```

```

*****
*
* MEMORY DATA MOVE
*
* DE : SOURCE TOP ADDRESS
* HL : DESTINATION TOP ADDRESS
* C : LENGTH
*
*****

```

```

1525 0714 1A
1526 0715 77
1527 0716 23
1528 0717 13
1529 0718 0D
1530 0719 C2 0714
1531 071C C9
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544

```

```

MMOVE: LDAX D
MOV M,A
INX H
INX D
DCR C
JNZ MMOVE
RET

```

```

*****
*
* CHECK ADDRESS
*
* IF A > B THEN GOTO ERRDSP
* ELSE RETURN
*
* CHADR1 A=DE , B=HL
* CHADR A=TREG2, B=INRG
*
*****

```

```

1545 071D F5
1546 071E 05
1547 071F E5
1548 0720 2A FF48
1549 0723 EB
1550 0724 2A FF50
1551 0727 C3 072D
1552
1553 072A F5
1554 072B 05
1555 072C E5
1556
1557 072D 7D
1558 072E 93
1559 072F 7C
1560 0730 9A
1561 0731 3E 02
1562 0733 DA 04EE
1563
1564 0736 E1
1565 0737 D1

```

```

CHADR: PUSH PSW
PUSH D
PUSH H
LHLD TREG2 ;LOAD TREG2 TO DE
XCHG
LHLD INRG ;LOAD INRG TO HL
JMP CHADRE

CHADR1: PUSH PSW
PUSH D
PUSH H

CHADRE: MOV A,L ;COMPARE DE AND HL
SUB E
MOV A,H
SBB D
MVI A,2 ;ERROR NUMBER = 2
JC ERRDSP

POP H
POP D

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1566 0738 F1
1567 0739 C9
1568
1569
1570

POP PSW
RET
PAGE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
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 LHL 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 LHL 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
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1686 07B8 F1                POP     PSW
1687                          ;
1688 07B9 F5                BYTOT0: 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1744 0806 0E 41          MVI    C,65          ;SET DELAY COUNT
1745 0808 CD 080E       CALL   CHG2          ;LOW OUT
1746 080B 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
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
1767 081D C1           POP   B             ;DUMMY
1768 081E C9           RET
1769
1770
1771
1772
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
1790
1791
1792
1793
1794 082C CD 08ED       LDVfy: 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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 090B      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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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 WVSCAO
1923 08DB 3E 01 MVI A,1 ; IF C > 1
1924 08D0 B9 CMP C ; THEN SET CF
1925 08DE C9 RET
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933 08DF 0E 00 WVSCAO: 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
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 WVSCAO
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 02 08EF JNC LEADR1
1962
1963 0900 1D DCR E
1964 0901 C2 08F1 JNZ LEADR2
1965
1966 0904 01 POP D
1967 0905 C1 POP B
1968 0906 C9 RET
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1976 0907 EB
 1977 0908 19
 1978 0909 EB
 1979 090A C9
 1980
 1981
 1982
 1983
 1984
 1985
 1986
 1987 090R 7B
 1988 090C 95
 1989 090D 5F
 1990 090E 7A
 1991 090F 9C
 1992 0910 57
 1993 0911 C9
 1994
 1995
 1996

ADDRGP: XCHG
 DAD D
 XCHG
 RET

```

*****
*
*      DE = DE - HL      *
*
*****

```

SUBRGP: MOV A,E
 SUB L
 MOV E,A
 MOV A,D
 SBB H
 MOV D,A
 RET

PAGE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011 0912 DB 7E
2012 0914 F6 04
2013 0916 D3 7E
2014 0918 C9
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023 0919 F5
2024 091A 3E 01
2025 091C CD 0921
2026 091F F1
2027 0920 C9
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036 0921 F5
2037 0922 C5
2038
2039 0923 B7
2040 0924 CA 0936
2041
2042 0927 4F
2043 0928 3E 0D
2044 092A CD 0939
2045 092D 3E 0A
2046 092F CD 0939
2047 0932 0D
2048 0933 C2 0928
2049
2050 0936 C1
2051 0937 F1
2052 0938 C9
2053

```

```

*****
*
* PRINTER CONTROL ROUTINES
*
*****
*****
*
* PRINTER INITIALIZE
*
*****
PRTINI EQU $
PRTINO: IN PC8255
ORL 04H ;STROBE="H"
OUT PC8255
RET
*****
*
* CR,LF ONE LINE
*
*****
PRTLFB1 EQU $
PRTLFB2: PUSH PSW ;SAVE REG
MVI A,1
CALL PRTLFB
POP PSW ;RESTRE REG
RET
*****
*
* CR,LF N LINES
*
*****
PRTLFBN EQU $
PRTLFA: PUSH PSW ;SAVE REG
PUSH B
ORA A
JZ PRTLFC
PRTLFB: MOV C,A ;N LINES FEED
MVI A,00H
CALL PRTPUT
MVI A,0AH
CALL PRTPUT
DCR C ;DCR COUNTER
JNZ PRTLFB
PRTLFC: POP B ;RESTORE REG
POP PSW
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2054 ;*****
2055 ;*
2056 ;* PRINT CHARACTER *
2057 ;*
2058 ;* <IN> A: CHARACTER DATA *
2059 ;*
2060 ;*****
2061 ;
2062 0939 PRTPUT EQU $
2063 0939 F5 PRTPUO: 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 PRTDMO: 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2112
2113 096F 2A FF42      ; LHL D MD TOP ;CHECK ADDR
2114 0972 EB          XCHG
2115 0973 2A FF44      LHL D MD END
2116 0976 70          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 OFOH
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 OFH ;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
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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	OFH	
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		DRA	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	OFH	;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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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
2292
2293
2294
2295          0A77      PRTSTR EQU      $
2296 0A77 E5          PRTSTO: 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
2313
2314
2315
2316          0A88      PRTREG EQU      $
2317 0A88 F5          PRTREG: 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  PRTLFI      ;CR,LF
2323 0A8F 21 0B25      LXI  H,PRTRES
2324 0A92 CD 0A77      CALL  PRTSTR      ;PRINT REG.NAME
2325
2326 0A95 2A FF5B      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,PRTREG     ;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

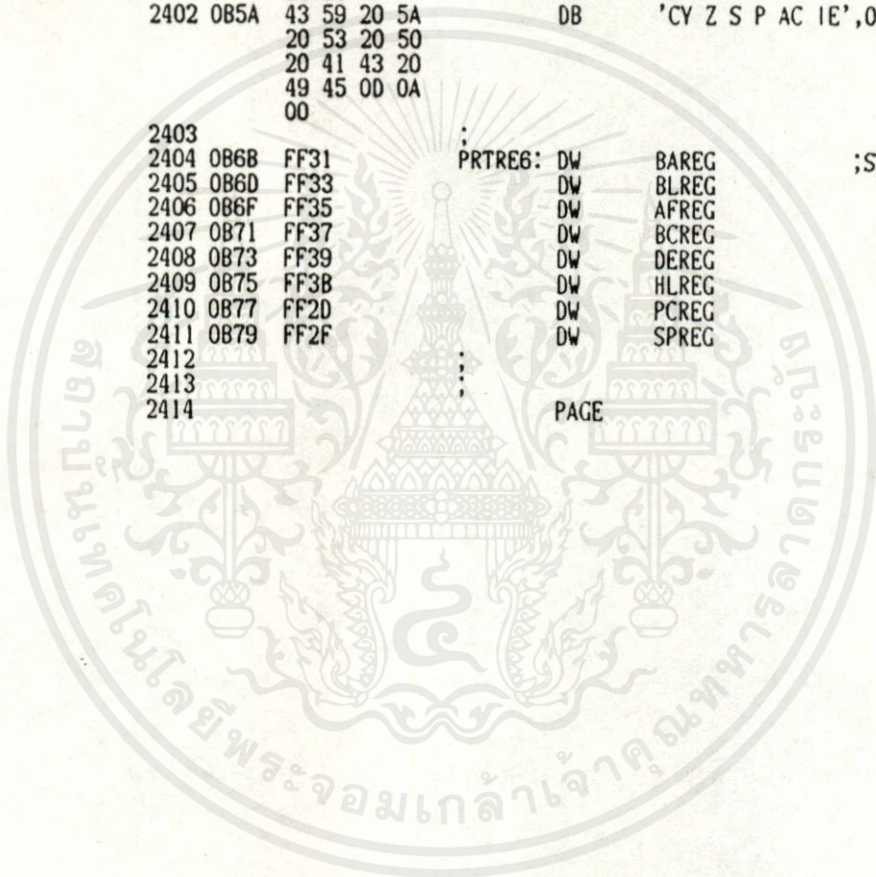
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2342	OABA	0E 06	MVI	C,6	;PRINT
2343	OABC	CD 0AFC	CALL	PRTRE1	; AF,BC,DE,HL
2344	OABF	3E 20	MVI	A,' '	; PC,SP
2345	OAC1	CD 0939	CALL	PRTPUT	
2346	OAC4	CD 0939	CALL	PRTPUT	
2347	OAC7	CD 0939	CALL	PRTPUT	
2348					
2349	OACA	3A FF35	LDA	AFREG	;PRINT
2350	OACD	47	MOV	B,A	; CY,Z,S,P,AC
2351	OACE	3E 01	MVI	A,01H	
2352	OADO	CD 0B14	CALL	PRTRE2	
2353	OAD3	3E 40	MVI	A,40H	
2354	OAD5	CD 0B14	CALL	PRTRE2	
2355	OAD8	3E 80	MVI	A,80H	
2356	OADA	CD 0B14	CALL	PRTRE2	
2357	OADD	3E 04	MVI	A,04H	
2358	OADF	CD 0B14	CALL	PRTRE2	
2359	OAE2	3E 10	MVI	A,10H	
2360	OAE4	CD 0B14	CALL	PRTRE2	
2361	OAE7	3E 20	MVI	A,' '	
2362	OAE9	CD 0939	CALL	PRTPUT	
2363	OAEC	3A FF3D	LDA	IEFLG	;PRT IE FLAG
2364	OAEF	0F	RRC		
2365	OAF0	0F	RRC		
2366	OAF1	0F	RRC		
2367	OAF2	EG 01	ANI	1	
2368	OAF4	C6 30	ADI	'0'	
2369	OAF6	CD 0939	CALL	PRTPUT	
2370	OAF9	C3 0A2C	JMP	PRTDMB	;PRINT AND RET
2371					
2372	O AFC	5E	PRTRE1: MOV	E,M	
2373	O AFD	23	INX	H	
2374	O AFE	56	MOV	D,M	
2375	O AFF	23	INX	H	
2376	O B00	EB	XCHG		
2377	O B01	3E 20	MVI	A,' '	
2378	O B03	CD 0939	CALL	PRTPUT	
2379	O B06	05	PUSH	D	
2380	O B07	5E	MOV	E,M	;LD.PRINT DATA
2381	O B08	23	INX	H	
2382	O B09	56	MOV	D,M	
2383	O B0A	EB	XCHG		
2384	O B0B	CD 0A39	CALL	PRTHX4	;PRINT REG
2385	O B0E	E1	POP	H	
2386	O B0F	0D	DCR	C	
2387	O B10	C2 0AFC	JNZ	PRTRE1	
2388	O B13	C9	RET		
2389					
2390	O B14	A0	PRTRE2: AND	B	
2391	O B15	CA 0B1A	JZ	PRTRE3	;PRINT 1 BIT
2392	O B18	3E 01	MVI	A,1	
2393					
2394	O B1A	C6 30	PRTRE3: ADI	'0'	
2395	O B1C	CD 0939	CALL	PRTPUT	
2396	O B1F	3E 20	MVI	A,' '	
2397	O B21	CD 0939	CALL	PRTPUT	
2398	O B24	C9	RET		
2399					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2400	OB25	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	OB3C	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	OB5A	43 59 20 5A	DB	'CY Z S P AC IE',ODH,OAH,O	
		20 53 20 50			
		20 41 43 20			
		49 45 0D 0A			
		00			
2403					
2404	OB68	FF31	PRTRE6: DW	BAREG	;STORAGE LOC.
2405	OB6D	FF33	DW	BLREG	
2406	OB6F	FF35	DW	AFREG	
2407	OB71	FF37	DW	BCREG	
2408	OB73	FF39	DW	DEREG	
2409	OB75	FF3B	DW	HLREG	
2410	OB77	FF2D	DW	PCREG	
2411	OB79	FF2F	DW	SPREG	
2412					
2413					
2414					



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433 0B7B      0B7B      RAMSET EQU      $
2434 0B7B      CD 072A    RAMST:  CALL     CHADR1      ;ADDRESS CHECK
2435 0B7E      47        MOV      B,A
2436 0B7F      3E 04     MVI     A,4
2437 0B84      EB        STA     DOTM
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      8D        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   DEREK      ;SAVE ERR.ADR
2458 0BA9      C3 04EE   JMP     ERKDISP
2459
2460 0BAC      31 0000   RAMST4: LXI   SP,MONSTK  ;SET STACK P.
2461 0BAF      C3 032E   JMP     ENDDSP
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2472          OBB2          RAMTST EQU      $
2473 OBB2 CD 072A          RAMTS: CALL     CHADR1      ;CHECK ADDRESS
2474 OBB5 3E 04           MVI     A,4
2475 OBB7 32 FF4D          STA     DOTM
2476 OBBA EB             XCHG
2477
;
2478 OBBB 0E 05          ;RAMTS1: MVI     C,5      ;DISP ADDR
2479 OBBD CD 0649          CALL    DHEX4
2480 OBC0 CD 0621          CALL    DISP
2481 OBC3 06 00           MVI     B,0      ;PRESET TEST DATA
2482 OBC5 4E             RAMTS2: MOV     C,M      ;SAVE DATA
2483 OBC6 70             MOV     M,B      ;WRITE DATA
2484 OBC7 7E             MOV     A,M      ;READ DATA
2485 OBC8 71             MOV     M,C      ;RESTRE DATA
2486 OBC9 B8             CMP     B        ;CHECK DATA
2487 OBCA 3E 07           MVI     A,7      ;ERR.NO.=7
2488 OBCC C2 0BA6          JNZ     RAMST3   ;ERR.DSP.
2489
;
2490 OBCF 04             INR     B        ;INCR TEST DATA
2491 OB00 C2 0BC5          JNZ     RAMTS2
2492 OB03 7A             MOV     A,D
2493 OB04 BC             CMP     H
2494 OB05 C2 0BDD          JNZ     RAMTS3
2495 OB08 7B             MOV     A,E
2496 OB09 BD             CMP     L
2497 OB0A CA 0BAC          JZ      RAMST4   ;END DSP.
2498 OB0D 23             RAMTS3: INX     H      ;INCR TEST ADDR
2499 OB0E 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 OBE1 7B             RAMMOV: MOV     A,E      ;IF DE < BC
2512 OBE2 91             SUB     C        ; THEN ERROR
2513 OBE3 7A             MOV     A,D
2514 OBE4 98             SBB     B
2515 OBE5 3E 02           MVI     A,2
2516 OBE7 DA 04EE          JC      ERRDSP
2517
;
2518 OBEA 7B             MOV     A,E      ;DE = BC
2519 OBEB 91             SUB     C        ; (SRC TOP ADDR)
2520 OBEC 59             MOV     E,C      ;BC = (DE-BC)+1
2521 OBED 4F             MOV     C,A      ; (MOVE LENGTH)
2522 OBEE 7A             MOV     A,D
2523 OBEB 98             SBB     B
2524 OBFO 50             MOV     D,B
2525 OBF1 47             MOV     B,A
2526 OBF2 03             INX     B
2527
;
2528 OBF3 7D             MOV     A,L
2529 OBF4 93             SUB     E

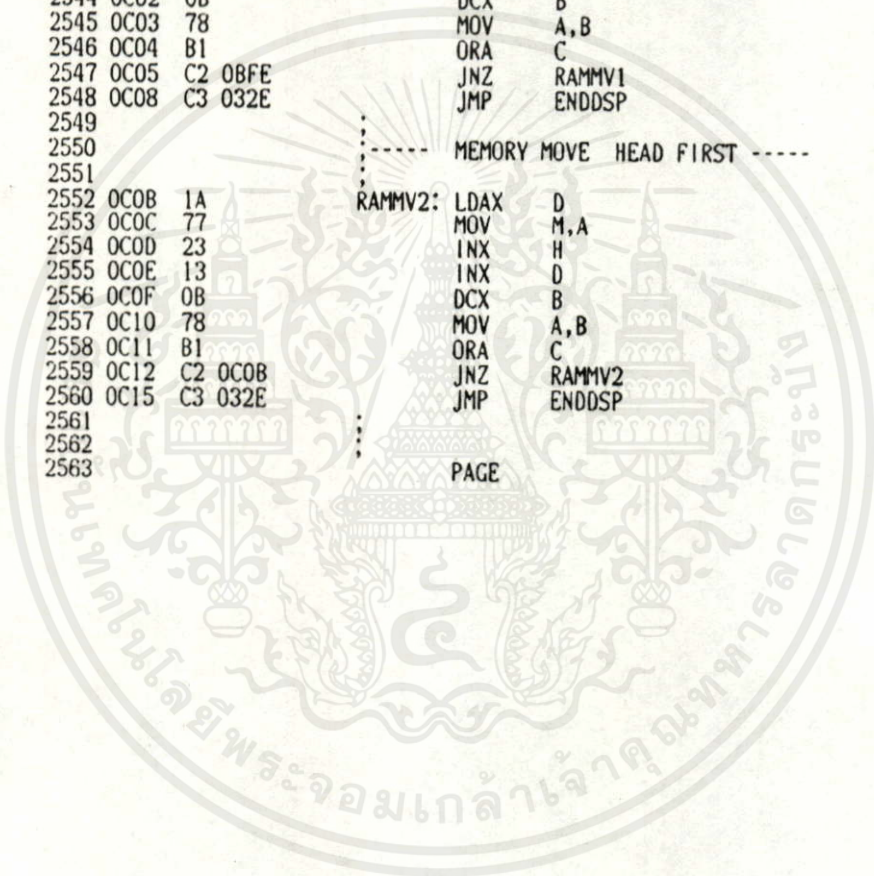
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2530 OBF5 7C          MOV    A,H          ;IF DST-TOP > SRC-TOP
2531 OBF6 9A          SBB    D            ; THEN MOVE TAIL FIRST
2532 OBF7 DA OCOB     JC     RAMMV2       ; ELSE MOVE HEAD FIRST
2533
2534                :
2535                :
2536 OBF8 09          DAD    B            ;HL = DST TAIL
2537 OBF9 EB          XCHG          ;HL = DST TAIL
2538 OBF0 09          DAD    B            ;DE = SRC TAIL
2539 OBF1 EB          XCHG          ;DE = SRC TAIL
2540 OBF2 1B          RAMMV1: DCX    D
2541 OBF3 2B          DCX    H
2542 OCO0 1A          LDAX   D
2543 OCO1 77          MOV    M,A
2544 OCO2 0B          DCX    B
2545 OCO3 78          MOV    A,B
2546 OCO4 B1          ORA    C
2547 OCO5 C2 OBF8     JNZ   RAMMV1
2548 OCO8 C3 032E     JMP   ENDDSP
2549
2550                :
2551                :
2552 OCOB 1A          RAMMV2: LDAX   D
2553 OCOC 77          MOV    M,A
2554 OCOD 23          INX   H
2555 OCOE 13          INX   D
2556 OCOF 0B          DCX   B
2557 OC10 78          MOV   A,B
2558 OC11 B1          ORA   C
2559 OC12 C2 OCOB     JNZ   RAMMV2
2560 OC15 C3 032E     JMP   ENDDSP
2561
2562                :
2563                :

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577 OC18 F5
2578 OC19 C5
2579 OC1A E5
2580
2581 OC1B 3A FF66
2582 OC1E 47
2583 OC1F 3A FF67
2584 OC22 2F
2585 OC23 B8
2586 OC24 CA OC29
2587
2588 OC27 06 9E
2589
2590 OC29 21 OC5F
2591 OC2C 78
2592 OC2D E6 07
2593 OC2F CD 0701
2594
2595 OC32 3E B6
2596 OC34 D3 6B
2597 OC36 7E
2598 OC37 D3 6A
2599 OC39 23
2600 OC3A 7E
2601 OC3B D3 6A
2602
2603 OC3D 78
2604 OC3E E6 F8
2605 OC40 07
2606 OC41 37
2607 OC42 1F
2608 OC43 1F
2609 OC44 F6 02
2610 OC46 47
2611
2612 OC47 AF
2613 OC48 D3 65
2614 OC4A 00
2615 OC4B D3 65
2616 OC4D 00
2617 OC4E D3 65
2618 OC50 3E 40
2619 OC52 D3 65
2620

```

```

;
;*****
;
; RS-232C/TIMER CONTROL ROUTINES
;
;*****
;
;*****
;
; RS-232C INITIALIZE
;
;*****
;
SIINIT: PUSH PSW
        PUSH B
        PUSH H
;
        LDA SIMODE ;GET RS-232C MODE DATA
        MOV B,A
        LDA SIMODP ;TEST PARITY
        CMA
        CMP B ;IF PARITY ERROR
        JZ SINIT1 ; THEN DEFAULT MODE
;
        MVI B,9EH ;9600 BPS,8 BIT/CHAR, NON-PARITY
;
SINIT1: LXI H,SINITA
        MOV A,B
        ANI 07H
        CALL ADHLAA
;
        MVI A,0B6H ;INIT I8253 CNT2
        OUT PITCTM ; MODE-3,BINARY-COUNT,16BIT
        MOV A,M
        OUT PITCT2 ;SET LSB
        INX H
        MOV A,M
        OUT PITCT2 ;SET MSB
;
        MOV A,B ;MAKE I8251 MODE SET DATA
        ANI 0F8H
        RLC
        STC
        RAR
        RAR
        ORI 02H ;SELECT X16 CLOCK
        MOV B,A
;
        XRA A
        OUT USARTC
        NOP
        OUT USARTC
        NOP
        OUT USARTC
        MVI A,40H ;I8251 INTERNAL RESET
        OUT USARTC
;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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          TINITS: 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

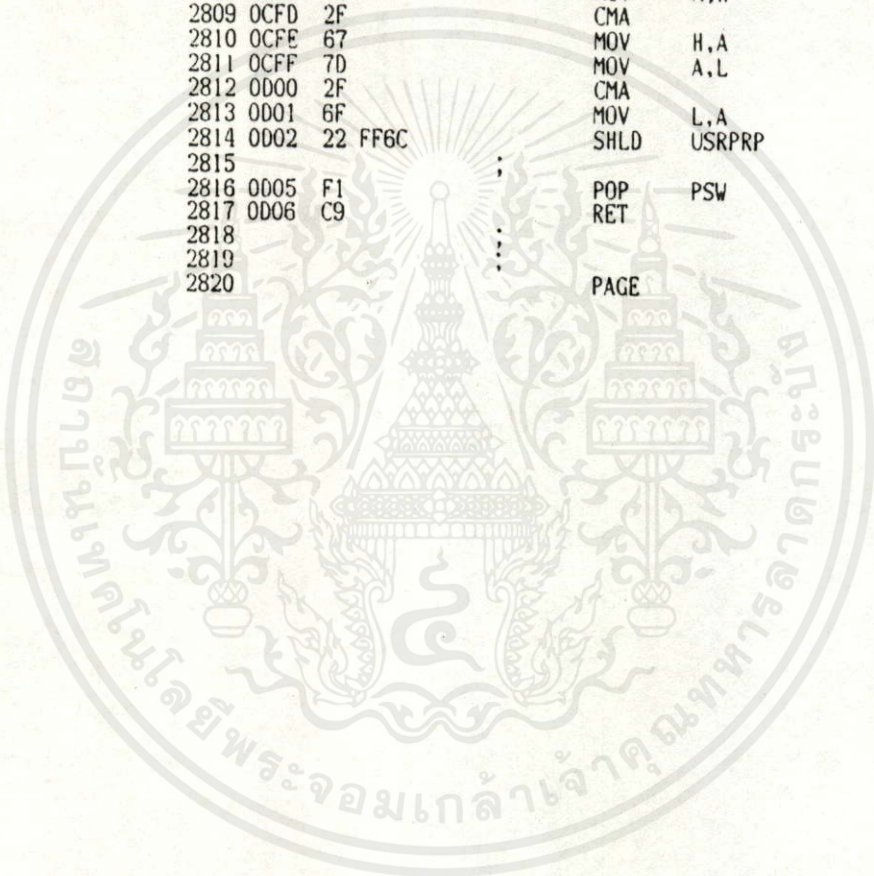
```

2737 OCC9 C9          RET
2738
2739 *****
2740 *
2741 *          ENABLE TIMER INTERRUPT
2742 *
2743 *****
2744
2745 OCCA F5          TMINTE: PUSH    PSW
2746
2747 OCCB 20          RIM
2748 OCCC E6 03      ANI    03H          ;RESET RST7.5 INT MASK
2749 OCCE F6 08      ORI    08H
2750 OCDO 30          SIM
2751
2752 OCD1 3E 01      MVI    A,01H          ;CNT1 GATE ON
2753 OCD3 D3 7F      OUT    CT8255          ; (PCO ON)
2754
2755 OCD5 F1          POP    PSW
2756 OCD6 C9          RET
2757
2758 *****
2759 *
2760 *          DISABLE TIMER INTERRUPT
2761 *
2762 *****
2763
2764 OCD7 F5          TMINTD: PUSH    PSW
2765
2766 OCD8 3E 00      MVI    A,00H          ;CNT1 GATE OFF
2767 OCDA D3 7F      OUT    CT8255          ; (PCO OFF)
2768
2769 OCDC 20          RIM
2770 OCDD E6 07      ANI    07H          ;RST7.5 INT MASK
2771 OCDF F6 0C      ORI    0CH
2772 OCE1 30          SIM
2773
2774 OCE2 F1          POP    PSW
2775 OCE3 C9          RET
2776
2777 *****
2778 *
2779 *          SET TIMER MODE
2780 *
2781 *****
2782
2783 OCE4 F5          SETTMM: PUSH    PSW
2784
2785 OCE5 FE 15      CPI    20+1          ;IF OUT OF RANGE
2786 OCE7 DA OCEC    JC      STTMM1          ; THEN DEFAULT MODE
2787
2788 OCEA 3E 02      MVI    A,2          ; (10MSEC INTERVAL)
2789
2790 OCEC 32 FF68    STTMM1: STA    TMMODE          ;SET MODE DATA
2791 OCEF 2F          CMA
2792 OCFO 32 FF69    STA    TMMODP          ;MAKE PARITY
2793
2794 OCF3 CD OC96    CALL   TMINIT          ;INIT TIMER

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2795 ;
2796 OCF6 F1 POP PSW
2797 OCF7 C9 RET
2798 ;
2799 ;*****
2800 * SET USER PROGRAM ADDRESS *
2801 * *
2802 * *
2803 ******
2804
2805 OCF8 F5 SETUPR: PUSH PSW
2806 ;
2807 OCF9 22 FF6A SHLD USRPRG ;SET ADDRESS
2808 OCF6 7C MOV A,H ;MAKE PARITY
2809 OCFD 2F CMA
2810 OCFE 67 MOV H,A
2811 OCF7 7D MOV A,L
2812 OD00 2F CMA
2813 OD01 6F MOV L,A
2814 OD02 22 FF6C SHLD USRPRP ;SET PARITY
2815 ;
2816 OD05 F1 POP PSW
2817 OD06 C9 RET
2818 ;
2819 ;
2820 PAGE
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

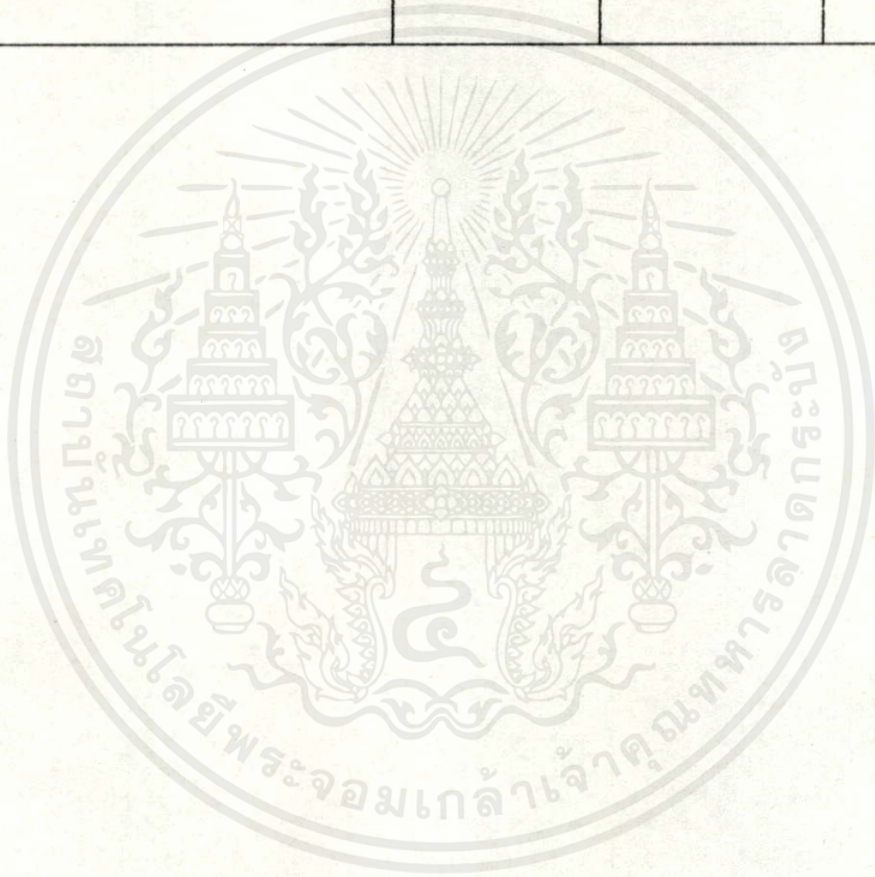


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

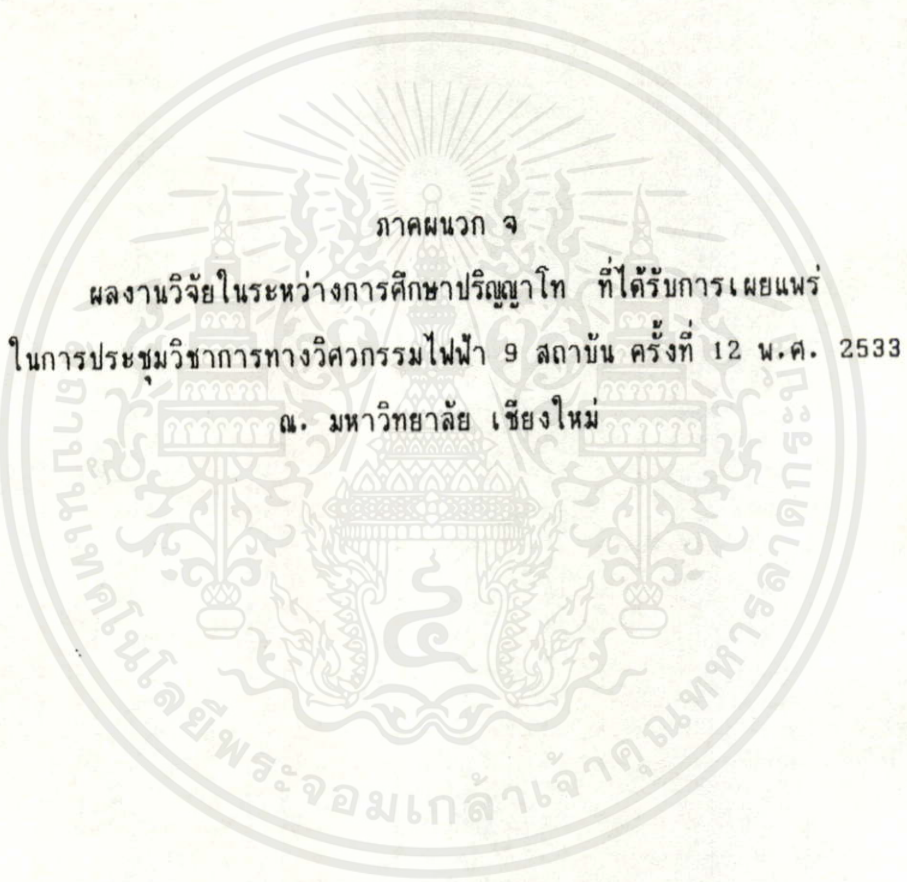
MOTOR	SPECT	UNIT	
Rated Output	180 ⁶⁰	W	Pr
Rated Armature Voltage	20	V	Er
Rated Torque	6	kg-cm	Tr
Rated Armature Current	3.4	A	Ir
Rated Speed	3000	rpm	Nr
Constant Stall Torque	7	kg-cm	Ts
Peak Maximum Torque	43	kg-cm	Tps
Armature Current (Stall)	3.6	A	Is
Peak Armature Current	24	A	Ip
Maximum Speed	5000	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่นเอง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดทางอื่น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วแบบสี่ควอดแรนต์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

Four quadrant speed control of DC motor based on microprocessor

อชิชาติ มุจนะมลทิล (*)

โยธิน เปรมปราณีรัชต์ (**)

บทคัดย่อ

ผลงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์แบบสี่ควอดแรนต์โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 เป็นตัวควบคุมซึ่งสามารถควบคุมความเร็ว ทิศทางการหมุน การออกตัวและการหยุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความอ่อนตัวในการควบคุมด้วยโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี นอกจากนี้ระบบยังมีอุปกรณ์กลับของกระแสเพื่อให้สามารถควบคุมกระแสของมอเตอร์ได้โดยตรงจากไมโครโปรเซสเซอร์ผ่าน D/A คอนเวอร์เตอร์ ผลการทดลองแสดงการควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ในรูปของ velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วระหว่างควอดแรนต์ 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 experimental results of the speed control of D.C. motor are shown in velocity profile of a speed changing between the different 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.

(**) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(*) นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 บทนำ

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

ผลงานวิจัยนี้ที่เป็นการพัฒนาระบบควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์แบบสี่ควอดแรนต์โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 เป็นตัวควบคุมที่สามารถควบคุมระดับความเร็วทิศทางการหมุน การออกตัวการและการหยุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความอ่อนตัวในการควบคุมด้วยโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี [3][4] นอกจากนี้ระบบยังมีลูบป้อนกลับของกระแสเพื่อให้สามารถควบคุมกระแสได้โดยตรงจากสัญญาณอินพุต [5] ผลการทดลองแสดงการควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ ในรูปของดีซีมอเตอร์ velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วระหว่าง ควอดแรนต์ 1-2, 3-1, 3-4 และ 3-1-2-delay-3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความอ่อนตัวในการควบคุมระบบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

2 ระบบควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์

2.1 พลวัตระบบควบคุมความเร็วแบบสี่ควอดแรนต์

ในดีซีมอเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับกระแส i_m และแสดงได้ด้วยสมการ

$$T = K_T i_m \dots \dots \dots (1)$$

- เมื่อ K_T คือ ค่าแรงบิดคงที่ของมอเตอร์
- i_m คือ กระแสของมอเตอร์
- T คือ แรงบิด

เซอร์โวแอมป์ลิไฟเออร์ที่ใช้งานทั่วๆไปมักจะได้รับการออกแบบในลักษณะที่สัญญาณอินพุตสามารถควบคุมกระแสของมอเตอร์มากกว่าจะควบคุมโวลต์เตจของมอเตอร์ การควบคุมกระแสของมอเตอร์กระทำได้ด้วยการเพิ่มตัวตีเท็คกระแสและฮอปแอมป์ เข้าไปในระบบก็จะทำให้เราสามารถกำหนดค่ากระแสของมอเตอร์ได้จากอินพุตโวลต์เตจ [5]

$$i_m = -K_m v_t \dots \dots \dots (2)$$

- เมื่อ K_m คือ ค่าคงที่ของการตีเท็คกระแส
- v_t คือ อินพุตโวลต์เตจ

เมื่อแรงบิดของมอเตอร์ป้อนกลับให้โรเตอร์ ความสัมพันธ์ระหว่าง T และ ω หาได้จากสมการพลวัต Newtonian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น $(J_m + J_L) \frac{d\omega}{dt} + D\omega = T \dots \dots \dots (3)$

- เมื่อ J_M เป็นโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์
- J_L เป็นโมเมนต์แรงเฉื่อยของโหลด
- D เป็นค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานของแรงเสียดทาน
- T เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นโดยมอเตอร์

จากสมการ (3) หมายความว่า การควบคุมความเร็วในการออกตัวหรือหยุดเราต้องควบคุมแรงบิด และเราพิจารณาในรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การออกตัว (การสตาร์ทในควอเตอร์ที่หนึ่ง หรือ สาม) ตามปกติมอเตอร์จะออกตัวด้วยแรงบิดคงที่ T ซึ่งเกิดขึ้นด้วยค่ากระแสจำกัดสูงสุด เราจะหาค่าอัตราเร่งของความเร็วได้จากสมการที่ 3

$$\omega = \frac{T}{D} [1 - \exp(\frac{-Dt}{J_M + J_L})] \dots \dots \dots (4)$$

(2) การหยุด (การเบรคในควอเตอร์ที่สอง หรือ สี่) ด้วยการกลับกระแสเพื่อให้แรงบิดเป็นลบสูงสุด มอเตอร์ก็จะลดความเร็วลงตามปกติในช่วงเวลาการหยุดหรือเบรคค่าทางเทอม $D\omega$ มีค่าน้อยมากและตัดทิ้งได้และสมการพลวัตในการหยุดเขียนได้เป็น

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

จากสมการที่ 5 เราจะหาค่าอัตราการลดความเร็วลงได้เป็น

$$\omega = \omega_{\infty} - \frac{T}{J_M + J_L} t \dots \dots \dots (6)$$

เมื่อ ω_{∞} เป็นค่าความเร็วคงที่

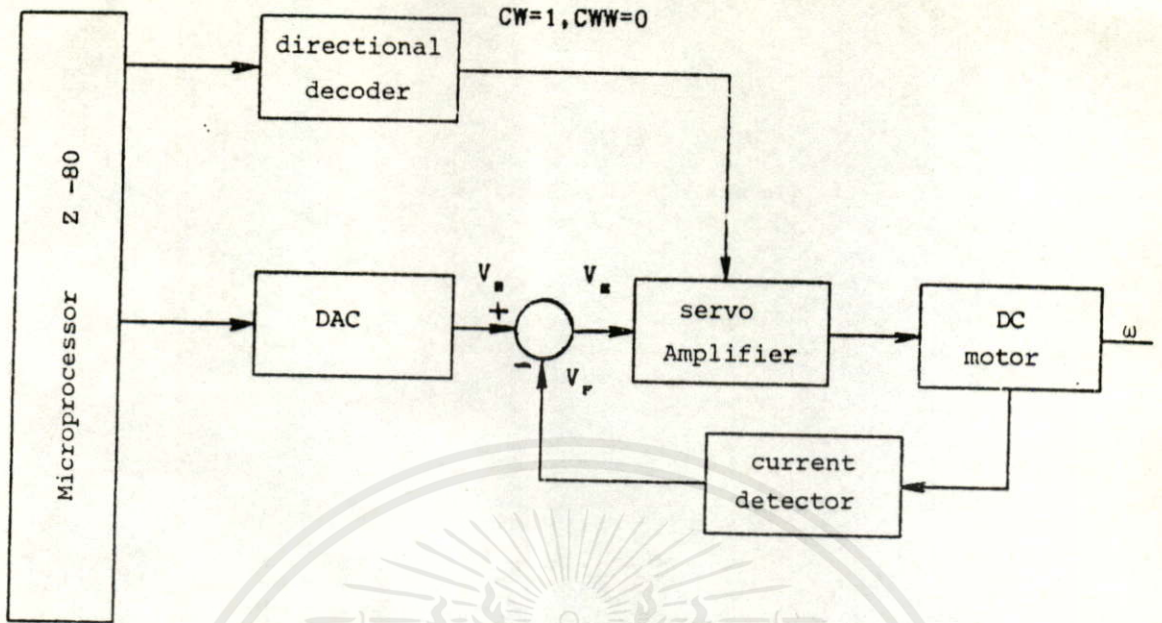
(3) ความเร็วคงที่ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วคงที่เทอมของโทรม์ดิฟเฟอเรนเชียลจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นเราจะหาค่าของความเร็วคงที่ได้

$$\omega_{\infty} = \frac{T}{D} \dots \dots \dots (7)$$

เนื่องจาก D มีค่าน้อยมากในการประยุกต์ใช้งานทั่วไป แรงบิดในช่วงที่ความเร็วคงที่จะมีค่าน้อยมาก

2.2 ระบบควบคุมความเร็วด้วยไมโครโปรเซสเซอร์

จากโครงสร้างบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 1 เป็นระบบดิจิทัลควบคุมทิศทางและความเร็วมอเตอร์ โดยเราจะเริ่มจากการเขียนโปรแกรมควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ เราจะเริ่มโหลดข้อมูลเข้าไปในส่วนไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 จากข้อมูลที่นำมาโหลดในส่วนที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ ที่นำโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี Z-80 ผ่านเข้าไปในส่วนที่มีการแปลงดิจิทัลเป็นอนาลอก (DAC) จะถูกแปลงค่าเข้าสู่ค่าความต่างศักย์ที่จะได้เป็น V_a ส่วนของมอเตอร์ จะมีตัว current detector กระแสที่ได้จากการ



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์
 ที่นี้จะถูกป้อนกลับมาเป็นค่าความต่างศักย์ V_r ค่าความต่างศักย์ V_d และ V_e ทั้งสองค่าที่ได้เราจะนำ
 ค่ามาเปรียบเทียบได้ โดยการความต่างศักย์เอาท์พุทเป็น V_e คือ

$$V_e = (V_d - V_r) \dots \dots \dots (8)$$

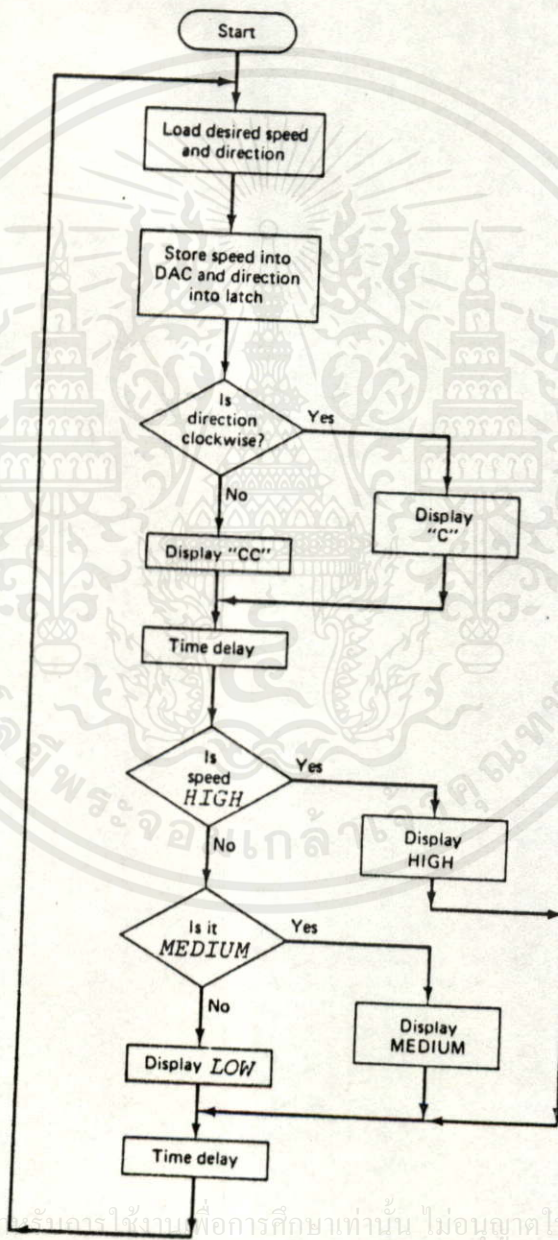
- V_d = ค่าความต่างศักย์เอาท์พุทที่ได้จากการแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก
- V_r = ความต่างศักย์ป้อนกลับ เป็นสัดส่วนค่ากระแสของมอเตอร์
- V_e = ความต่างศักย์ error

ในส่วนของการไหลข้อมูลเข้าไปในส่วนไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 จากข้อมูลที่นำมาไหลในส่วนที่ควบคุม
 ทิศทางมอเตอร์ ที่นำโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี Z-80 ผ่านเข้าไปในส่วนที่มีการกำหนดทิศทาง โดยเรา
 ใช้ค่า D latch เป็นตัวควบคุมทิศทาง โดยเรากำหนดให้ค่าลอจิก 1 ควบคุมทิศทางตามเข็มนาฬิกา (cw)
 และลอจิก 0 จะใช้ควบคุมทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ccw) โดยค่าของลอจิกที่ได้จะนำเข้าสู่ส่วนของวงจรที่ใช้
 ในการขับมอเตอร์ (driver) จากนั้นจะนำเข้าไปในส่วนของมอเตอร์ พร้อมกับนำกระแสที่ได้จากมอเตอร์
 ป้อนกลับเข้าไปในส่วนของการเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์

3 โปรแกรมที่ใช้ควบคุมทิศทางและความเร็วมอเตอร์

จากรูปที่ 2 จะเป็น flowchart ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี Z-80 ที่ใช้ในการ
 ควบคุมทิศทางและความเร็วมอเตอร์ การจากส่วนของ flowchart เราจะเริ่มจากการไหลข้อมูลค่าเริ่มต้น
 ของทิศทางและความเร็วเข้าไปในส่วนของโปรแกรม จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นั้นผ่านเข้าไปในส่วน D latch
 และ DAC ตามลำดับ จากส่วนที่ควบคุมทิศทางโปรแกรมจะมีการตรวจสอบทิศทางที่ได้ว่า เป็นการควบคุม

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถ้าผู้ใช้นำไปคัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2 แสดง flowchart การควบคุมทิศทางและความเร็วดีมอเตอร์

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

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่าเราสามารถจะโปรแกรมให้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ให้เป็นไปตามที่เราต้องการโดยได้ง่ายทั้ง 4 ควอดแรนท์ เช่นเปลี่ยนทิศทางหมุนเปลี่ยนความเร็ว การออกตัวหรือการหยุด เป็นต้น เราสามารถจะตั้งโปรแกรมให้ระบบมีความเร็วเป็นไปตาม velocity profile ที่เราต้องการได้ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะและความอ่อนตัวในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ต้องการปรับความเร็วให้ได้ 4 ควอดแรนท์

6 เอกสารอ้างอิง

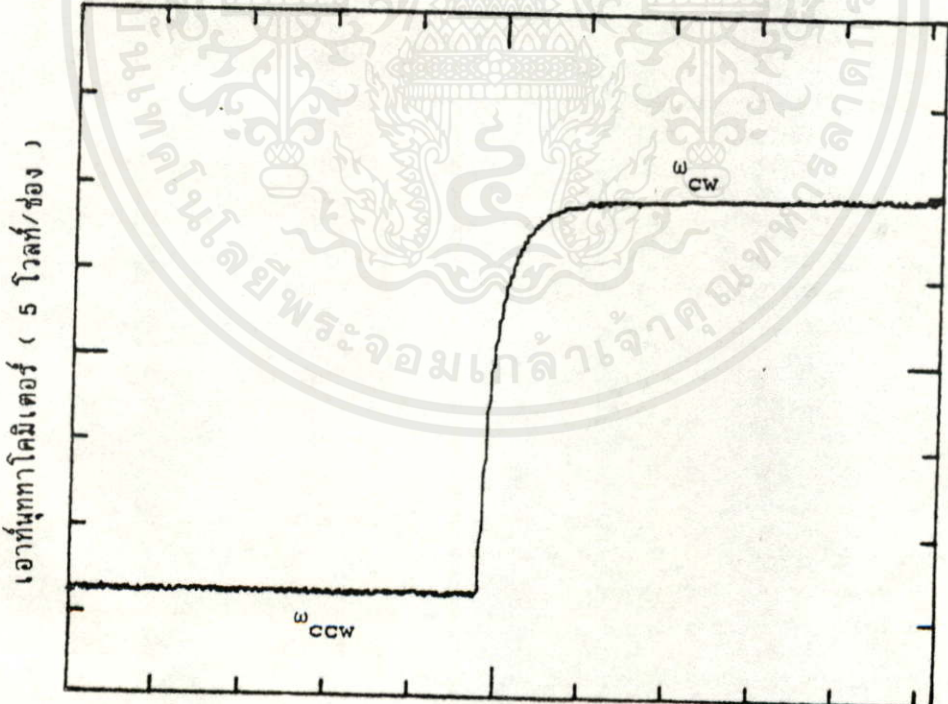
- [1] รศ.ดร.โยชิน เปรมปราณีรัชต์, ระบบเซอร์โวและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง 2533
- [2] B.C.Kuo and Jacob Tal, DC Motor and Control System, SRL Publishing Co.1978
- [3] Lance A.Leventhal, Z-80 Assembly Language Subroutines, Brakelay University 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



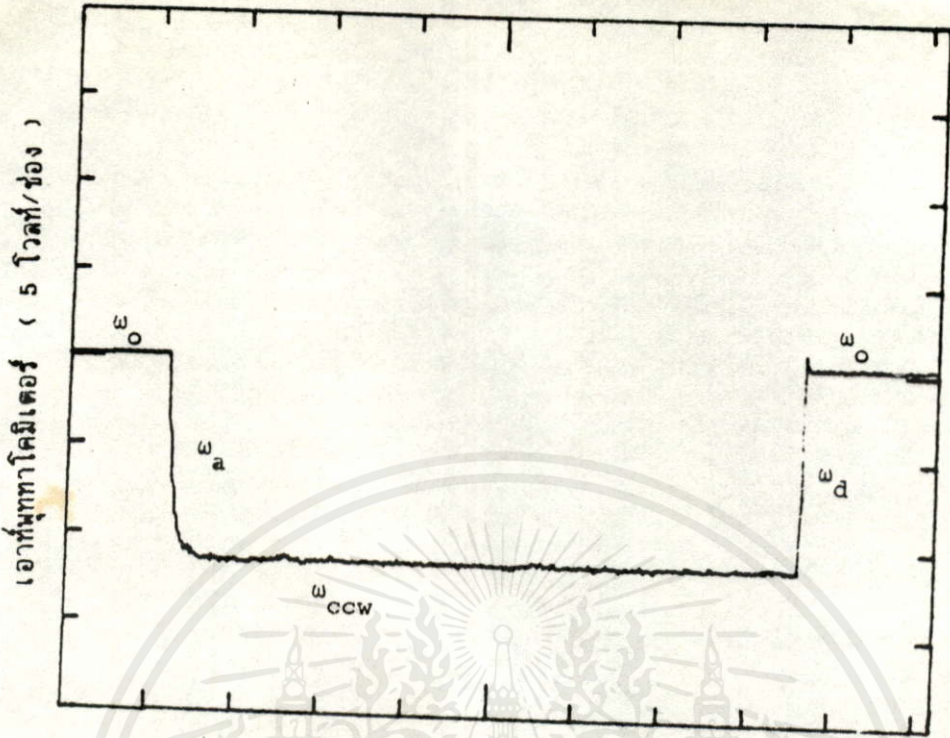
เวลา (0.2 วินาที/ช่อง)

รูปที่ 3 แสดง velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วจากควอร์เทิร์นที่หนึ่งไปยังควอร์เทิร์นที่สอง



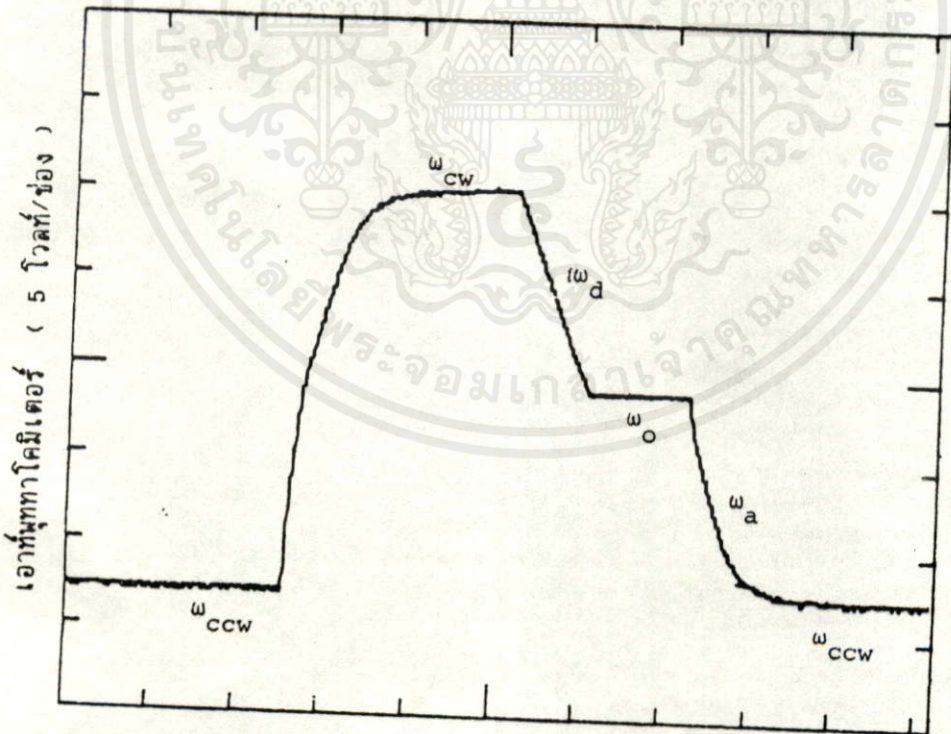
รูปที่ 4 แสดง velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วจากควอร์เทิร์นที่สามไปยังควอร์เทิร์นที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น (เวลา (0.2 วินาที/ช่อง)) โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต



เวลา (0.2 วินาที/ช่อง)

รูปที่ 5 แสดง velocity profile ในการเปลี่ยนความเร็วจากควอตแรนท์ที่สามไปยังควอตแรนท์ที่สี่



รูปที่ 6 แสดง velocity profile ในการควบคุมความเร็วให้เปลี่ยนไปได้ทั้ง 4 ควอตแรนท์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์