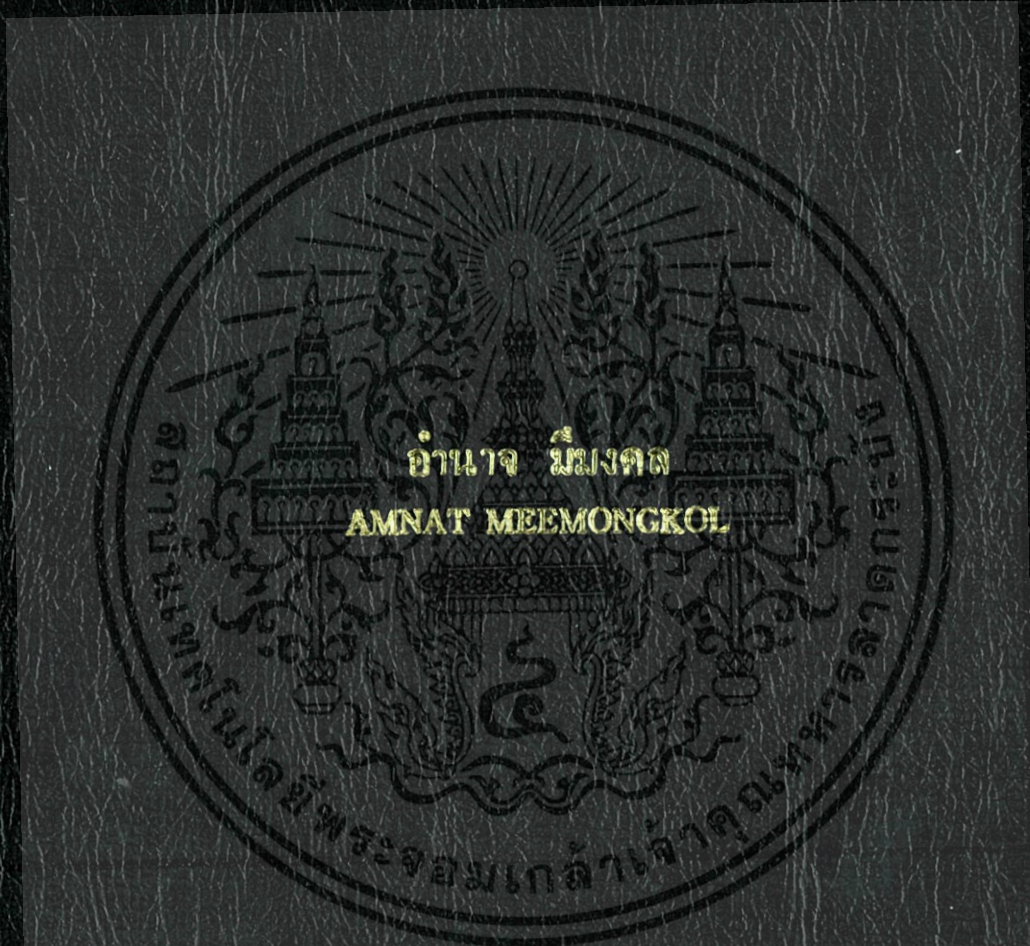


การออกแบบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของชุดควบคุมโรตารีโพสิชันเนอร์
โดยเทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์

OPTIMIZATION PARAMETERS OF ROTARY POSITIONER
CONTROLLER USING CDM



วิทยาลัยเทคโนโลยีอำนาจมีมงคล มหาวิทยาลัยอำนาจมีมงคล จังหวัดนครราชสีมา

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัด

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-EN-M-060-024

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของชุดควบคุมโรตารีโพซิชั่นเนอร์
โดยเทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์

OPTIMIZATION PARAMETERS OF ROTARY POSITIONER
CONTROLLER USING CDM



T116788



อำนาจ มีมงคล

AMNAT MEEMONGKOL

พ.
๐๖๘๖๗
๒๕๕๓

สาขา.....
เลขทะเบียน...116788
วัน,เดือน,ปี...15 ส.ย. 2554

b. 12287131
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2553

KMITL 2010-EN-M-060-024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**OPTIMIZATION PARAMETERS OF ROTARY POSITIONER
CONTROLLER USING CDM**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

KMITL 2010-EN-M-060-024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของชุดควบคุมโรตารีโพซิชั่นเนอร์โดยเทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์

Thesis Title Optimization Parameters of Rotary Positioner Controller Using CDM

นักศึกษา นายอำนาจ มีมงคล


รหัสประจำตัว 49060853

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-060-024

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ทวีพล	ชื่อสัตย์	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
ดร.ยุทธพงศ์	ทัพผดุง	
รศ.อาจินต์	น่วมสำราญ	
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2553 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 5
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



สำนักทะเบียนกลาง ส.ท.ลาดคอ.สจล.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ถึงเจ้ากรม
วันที่ 14 เดือน พ.ค. พ.ศ. 53

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2553

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของชุดควบคุม
โรตารีโพซิชั่นเนอร์โดยเทคนิคแผนผังสัมพันธ์

นักศึกษา

นายอำนาจ มีมงคล

รหัสนักศึกษา

49060853

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการควบคุม

พ.ศ.

2553

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของชุดควบคุมโรตารีโพซิชั่นเนอร์ในกระบวนการสัญญาณโวนอนุกรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้เทคนิคแผนผังสัมพันธ์ (CDM) สืบเนื่องจากพารามิเตอร์ที่ใช้ในชุดควบคุมพีไอเดิมไม่สามารถให้ผลสนองในการควบคุมตำแหน่งโรตารีโพซิชั่นเนอร์ได้ดีเท่าที่ควร ทางผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิคแผนผังสัมพันธ์มาใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและสามารถควบคุมการกำหนดตำแหน่งเพื่อ อ่าน/เขียนแทร็กของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้เกิดความแม่นยำสูงและสามารถปรับผลตอบสนองให้เป็นที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลจากการทดลองจากการจำลองระบบพบว่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากเทคนิคแผนผังสัมพันธ์สามารถปรับปรุงผลตอบสนองและประสิทธิภาพของระบบควบคุมได้เป็นอย่างดี

Thesis Title	Optimization Parameters of Rotary Positioner Controller Using CDM
Student	Mr. Amnat Meemongkol
Student ID.	49060853
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentations Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Vittaya Tipsuwanporn

ABSTRACT

The authors present optimization parameters of rotary positioner controller in hard disk drive servo track writing process using coefficient diagram method; CDM. Due to estimation parameters in PI Positioning Control System by expected ratio method cannot meet the required specification of response effectively, we suggest coefficient diagram method for defining controller parameters under the requirement of the system. Finally, the simulation results show that our proposed method can improve the problem in tuning parameter of rotary positioner controller. It is satisfied specification of performance of control system. Furthermore, it is very convenient as a fast adjustment damping ratio as well as a high speed response.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา และอนุเคราะห์อุปการณืเครื่องมือในการทำงานวิจัยจาก รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร รศ.อาจินต์ น่วมสำราญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และเป็นผู้ที่ปรับวิธีคิดและทัศนคติเกี่ยวกับงานวิจัยและการดำเนินชีวิตให้กับข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมาข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกคนที่เป็นกำลังใจ

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตศึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับการศึกษาตลอดมา

ขอขอบคุณสำนักวิจัยร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท อิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนชุดวิจัย และข้อมูลในการวิจัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อำนาจ มีมงคล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 กระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ส่วนประกอบเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์แบบ NCH.....	5
2.3 หลักการทำงาน.....	10
2.4 ระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner.....	11
บทที่ 3 การออกแบบพารามิเตอร์โดยเทคนิคแผนผังสัมพันธ์.....	16
3.1 กล่าวนำ.....	16
3.2 การออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM.....	17
3.3 ทฤษฎีของ Kessler's Multiloop Structure (MLS).....	27
3.4 ความคล้ายคลึงกันของวิธี CDM กับวิธี MLS.....	31
3.5 การเลือกพารามิเตอร์ของวิธี CDM.....	34
3.6 การปรับแต่งพารามิเตอร์ของวิธี CDM.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 Hardware และ Software สำหรับระบบควบคุม Rotary Positioner.....	42
4.1 กล่าวนำ.....	42
4.2 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Micro Computer)	42
4.3 การ์ดควบคุม (Controller Cards) และ การ์ดขับเคลื่อน (Driver Cards)	43
4.4 เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head.....	48
4.5 โปรแกรมควบคุมการทำงานและค่าพารามิเตอร์ใน SCP.txt.....	49
4.6 กลไกการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ กับเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โว	55
บทที่ 5 การจำลองและการทดลองระบบควบคุม	58
5.1 กล่าวนำ.....	58
5.2 โครงสร้างระบบควบคุมควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ในกระบวนการเขียน สัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head.....	58
5.3 การออกแบบตัวควบคุม.....	60
5.4 การทดลอง.....	69
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	78
6.1 สรุปผลการวิจัย	78
6.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา	78
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	79
บรรณานุกรม	80
ภาคผนวก	82
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของระบบ	83
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	94
ประวัติผู้เขียน.....	106

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงการเลือกตำแหน่ง Address บนหน่วยความจำ.....	44
4.2 แสดง Acceleration Type.....	52
5.1 พารามิเตอร์ของระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner.....	62
5.3 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอเมื่อปรับค่า k เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าเวลาเข้าที่ของ ผลตอบสนองของระบบควบคุม	64
5.4 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมจากการจำลองเมื่อค่า k เปลี่ยนแปลงไป	65
5.5 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีเมื่อปรับค่า k เมื่อต้องการปรับอัตราการหวนของผลตอบสนอง ของระบบควบคุม	67
5.6 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมจากการจำลองเมื่อค่า k เปลี่ยนแปลงไป.....	69
5.7 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอเมื่อปรับค่า k เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าเวลาเข้าที่ของ ผลตอบสนองของระบบควบคุม	71
5.8 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมจากการจำลองเมื่อค่า k เปลี่ยนแปลงไป.....	74
5.9 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีเมื่อปรับค่า k เมื่อต้องการปรับอัตราการหวนของผลตอบสนอง ของระบบควบคุม	74
5.10 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมจากการจำลองเมื่อค่า k เปลี่ยนแปลงไป.....	77

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ NCH (Non Clock Head).....	5
2.2 Radial Card.....	5
2.3 R/W Motor Card.....	6
2.4 Clock Pattern Card	7
2.5 DE IF Card	7
2.6 Positioner Control Card.....	8
2.7 วงรอบการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner	9
2.8 แสดง OD และ ID.....	11
2.9 ระบบควบคุมตำแหน่งแบบ PI.....	11
2.10 ระบบควบคุมตำแหน่งแบบ LQ.....	13
2.11 หลักการทำงานของเอ็นโค้ดเดอร์แบบเลเซอร์โรตารี.....	14
2.12 ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์.....	15
2.13 ค่าคงที่ของ Ww และ Wr.....	15
2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของหัวและสัญญาณ APC.....	15
3.1 โครงสร้างทั่วไปของระบบควบคุม	18
3.2 โครงสร้างมาตรฐานของระบบควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธี CDM.....	19
3.3 แผนผังสัมพันธ์.....	26
3.4 การเปลี่ยนแปลงของดรอปเอาท์และค่าเวลาคงตัวสมมูลย์สอดคล้องกับเสถียรภาพ และผลตอบสนองของระบบ.....	27
3.5 โครงสร้างตัวควบคุมของวิธี Kessler's MLS.....	27
3.6 ผลตอบสนองต่อขนาดของระบบอันดับ 3 สำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดตามวิธีของ MLS.....	30
3.7 ผลตอบสนองต่อขนาดของระบบอันดับ 3 สำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดตามวิธีของ MLS.....	31
4.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบ Industry Computer.....	43
4.2 การ์ดควบคุมหลัก SC-01H/PC	43
4.3 Radial Card.....	45
4.4 R/W Motor Card.....	45
4.5 Clock Pattern Card	46
4.6 DE IF Card	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 Positioner Control Card.....	47
4.8 การเชื่อมต่อการ์ดควบคุมและการ์ดขับเคลื่อนเข้ากับเครื่องคอมฯ	47
4.9 เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์แบบ Non Clock Head.....	48
4.10 กระบวนการตั้งงานและควบคุมเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์.....	49
4.11 รูปแสดงช่วง In-Position ของระบบ Servo System.....	51
4.12 รูปแสดง Block Diagram ของระบบควบคุมแบบ PI	53
4.13 รูปแสดง Block Diagram ของระบบควบคุมแบบ LQ	54
4.14 รูปแสดงการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ การ์ดควบคุม และการขับเคลื่อนผ่าน DPM และ ISA Bus.....	56
4.15 รูปแสดงตำแหน่ง Address ใน DPM สำหรับเก็บข้อมูลที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยัง SC-01H/PC.....	56
4.16 ตำแหน่ง Address ใน DPM สำหรับเก็บข้อมูลที่ส่งจาก SC-01H/PC ไปยังคอมพิวเตอร์.....	57
5.1 เครื่องทดสอบการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ NCH (No Clock Head).....	59
5.2 Rotary Positioner.....	60
5.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner.....	60
5.4 การจำลองระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner โดย Simulink	61
5.5 ผลตอบสนองต่ออินพุตขั้นบันไดของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner.....	63
5.6 สัญญาณควบคุมของตัวควบคุม	63
5.7 ผลตอบสนองของระบบควบคุมจากการจำลองต่อสัญญาณขั้นบันไดเมื่อปรับความเร็ว ผลตอบสนองของระบบควบคุมโดยการปรับค่า k	65
5.8 สัญญาณควบคุมจากการจำลองเมื่อปรับค่า k	65
5.9 ตำแหน่งโพลวงปิดของระบบควบคุมเมื่อปรับความเร็วผลตอบสนองของระบบควบคุม โดยการปรับค่า k	66
5.10 ผลตอบสนองของระบบควบคุมจากการจำลองต่อสัญญาณขั้นบันไดเมื่อปรับ อัตราकरणห้วง ของระบบควบคุมโดยการปรับค่า k ไป.....	68
5.11 สัญญาณควบคุมจากการจำลองเมื่อปรับค่า k	68
5.12 ตำแหน่งโพลวงปิดของระบบควบคุมเมื่อปรับอัตราकरणห้วงของระบบควบคุม โดยการปรับค่า k	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 สัญญาณ APC Step.....	70
5.14 สัญญาณ Positoner Step.....	70
5.15 กราฟ 3 sigma เมื่อค่าตัวควบคุมพีไอ $W_c = 1970.50, W_a = 679.31$	71
5.16 สัญญาณ APC Step เมื่อ $k=0.7$	72
5.16 สัญญาณ Positoner Step เมื่อ $k=0.7$	72
5.18 กราฟ 3 sigma เมื่อค่าตัวควบคุมพีไอ เมื่อ $k=0.7$	72
5.19 สัญญาณ APC Step เมื่อ $k=3$	73
5.20 สัญญาณ Positoner Step เมื่อ $k=3$	73
5.21 กราฟ 3 sigma เมื่อค่าตัวควบคุมพีไอ เมื่อ $k=3$	73
5.22 สัญญาณ APC Step เมื่อ $k=0.85$	75
5.23 สัญญาณ Positoner Step เมื่อ $k=0.85$	75
5.24 กราฟ 3 sigma เมื่อค่าตัวควบคุมพีไอ เมื่อ $k=0.85$	75
5.25 สัญญาณ APC Step เมื่อ $k=1.5$	76
5.26 สัญญาณ Positoner Step เมื่อ $k=1.5$	76
5.27 กราฟ 3 sigma เมื่อค่าตัวควบคุมพีไอ เมื่อ $k=1.5$	76
5.28 เครื่องทดสอบสมรรถนะของ Rotary Positioner.....	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่เพียงแต่จะถูกใช้ในระบบคอมพิวเตอร์แล้ว แต่ยังใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ อย่างกว้างขวาง เช่นเครื่องบันทึกแบบฮาร์ดดิสก์ และระบบนำร่องสำหรับรถยนต์ ด้วยเหตุนี้ทำให้ฮาร์ดดิสก์ต้องการความหนาแน่นของแทร็กที่สูงขึ้น ซึ่งมีผลให้ใช้เวลาในการเขียนเซอร์โวแทร็กส์เพิ่มมากขึ้นด้วย การเพิ่มขึ้นของจำนวนของเซอร์โวแทร็กส์ส่งผลให้เกิดการความต้องการในการศึกษาวิจัยเพื่อการปรับปรุงการออกแบบการควบคุม servo เพื่อนำไปสู่การพัฒนาขีดความสามารถในการเพิ่มความหนาแน่นของแทร็กส์ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ด้วยการเพิ่มความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งการอ่าน/เขียน ของ Head ในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โว วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner โดยใช้เทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งเทคนิควิธีที่สามารถควบคุมการกำหนดตำแหน่งเพื่อ อ่าน/เขียน track ของ HDD ให้เกิดความแม่นยำสูงและสามารถปรับผลตอบสนองให้เป็นที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์อยู่บนพื้นฐานของการเลือกสัมประสิทธิ์ของพหุนามคุณลักษณะของระบบปิดให้สัมพันธ์กับสมรรถนะของระบบตามต้องการ เช่น ค่าเวลาคงที่ ค่าดัชนีเสถียรภาพ และขีดจำกัดของเสถียรภาพ

ในการศึกษาวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของชุดควบคุมการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ NCH (Non Clock Head) โดยเทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการควบคุมตำแหน่งของ rotary positioner ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของแขน VCM และหัวเขียนในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โว การจำลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมทำโดยโปรแกรม Matlab และผลจากการจำลองและทดลองจริงแสดงให้เห็นว่าเทคนิควิธีที่นำเสนอนี้ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการเขียนสัญญาณเซอร์โวให้ดีขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner
2. เพื่อการออกแบบตัวควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner โดยใช้เทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์ที่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของ Rotary Positioner ได้

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิธีแผนผังสัมประสิทธิ์ (Coefficient Diagram Method : CDM) เป็นวิธีที่ได้มาจากการปรับปรุงวิธีของ Kellsler's Multiloop Structure (MLS) ให้ดีขึ้น ซึ่งวิธี CDM ได้นำแนวคิดของวิธี MLS มาใช้ โดยทำการแปลงค่าคงตัวเวลาให้อยู่ในรูปผลรวมของค่าคงตัวเวลาทั้งหมด τ (Equivalent Time Constant) และครชณีเสถียรภาพ γ_i (Stability Index) โดยพารามิเตอร์ τ และ γ_i นั้นเป็นพารามิเตอร์ของวิธี CDM ที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุม วัตถุประสงค์ในการออกแบบก็คือต้องการสมการคุณลักษณะ (Characteristic Equation) ที่เหมาะสม วิธี CDM จะใช้สมการพหุนามแสดงแทนระบบ โดยส่วนเศษ (Numerator) และส่วนส่วน (Denominator) ของฟังก์ชันถ่ายโอนจะพิจารณาแยกกัน ในการออกแบบตัวควบคุมนั้นทำได้โดยทำการกำหนดสมการคุณลักษณะหรือสมการพหุนามคุณลักษณะที่ต้องการของฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิด โดยพิจารณาข้อกำหนดด้านสมรรถนะ (Performance Specification) ของระบบควบคุม และค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะที่ได้จากวิธี CDM จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะที่ได้จากตัวควบคุมและกระบวนการ เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อไป

1.4 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

วิธีการออกแบบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner โดยใช้เทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์ที่นำเสนอนี้ ช่วยให้การปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมสามารถทำได้ง่ายขึ้น อีกทั้งสามารถปรับผลตอบสนองของระบบให้ดีขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบวิธีการแบบพื้นฐานที่ใช้การปรับค่าพารามิเตอร์แบบอัตราส่วนในบางกรณีไม่สามารถให้ผลตอบสนองดังต้องการได้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาวิจัยและพัฒนาการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner โดยออกแบบตัวควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner โดยใช้เทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์ซึ่งเปรียบเทียบกับวิธีการแบบพื้นฐาน ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB และทดลองในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head ผลที่ได้แสดงสมรรถนะของตัวควบคุมและการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่สามารถให้ผลตอบสนองดังต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวแทร็คซ์แบบ Non Clock Head ส่วนประกอบเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทร็คซ์แบบ NCH หลักการทำงาน ระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner การวัดความแม่นยำของระบบด้วย APC Test

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย การออกแบบพารามิเตอร์โดยเทคนิคแผนผังสัมพันธ์ คุณลักษณะพื้นฐานของวิธี CDM โครงสร้างของระบบควบคุม กระบวนการในการออกแบบตัวควบคุม การออกแบบสมการพหุนามคุณลักษณะด้วยวิธี CDM เงื่อนไขเสถียรภาพของวิธี CDM แผนผังสัมพันธ์ การเลือกและการปรับแต่งพารามิเตอร์ของวิธี CDM

บทที่ 4 กล่าวถึงระบบทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุม ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

บทที่ 5 การจำลองและการทดลองระบบควบคุม

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

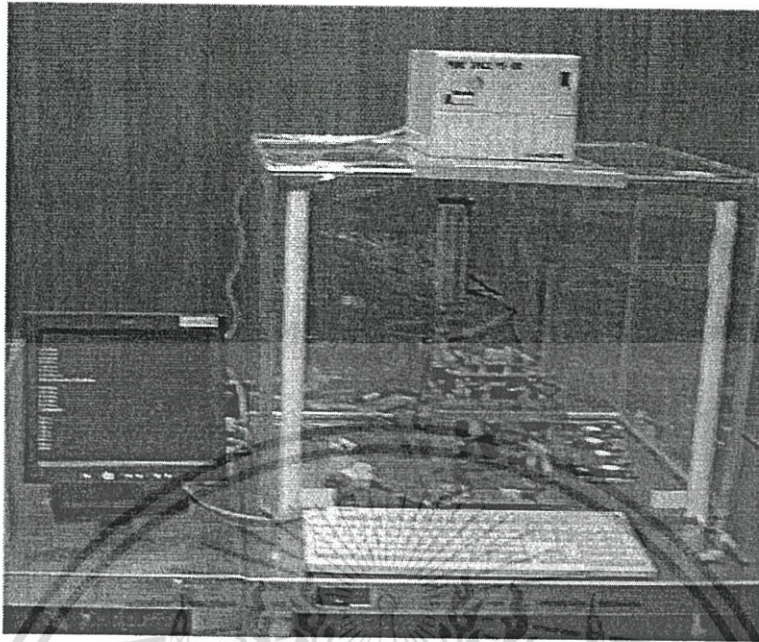
กระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head

2.1 กล่าวนำ

การเขียนแทร็กเซอร์โว หรือ Servo track writing (STW) คือ กระบวนการระบุตำแหน่งแทร็กซ์และเซ็คเตอร์ลงไปในบนแผ่นดิสก์โดยการสร้างเซอร์โวแพ็ทเทิร์น เพื่อให้ระบบควบคุมตำแหน่งของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์สามารถใช้สัญญาณเซอร์โวที่เขียนลงไปนี้ในการแยกแยะตำแหน่งแทร็กซ์และเซ็คเตอร์ ตลอดจนเพื่อใช้ในการวัดตำแหน่งสัมพัทธ์ของหัวอ่านกับตำแหน่งกลางแทร็กซ์ได้ สมรรถนะของกลไกการควบคุมเซอร์โว servomechanism ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้รับผลมาจากความเที่ยงตรงในการสร้างสัญญาณป้อนกลับทางตำแหน่ง ดังนั้นกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวจึงมีบทบาทสำคัญในการขยายการเติบโตของความหนาแน่นแทร็กซ์ในโลกของการพัฒนาขีดความสามารถด้านความจุในการบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

กลไกการควบคุมเซอร์โว servomechanism ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ สร้างสัญญาณป้อนกลับทางตำแหน่งโดยใช้เซอร์โวแพ็ทเทิร์นเป็นแหล่งอ้างอิงทางตำแหน่ง ซึ่งเซอร์โวแพ็ทเทิร์นนี้ถูกเขียนลงไปบนแผ่นดิสก์ในขณะที่ยังไม่มีสัญญาณอ้างอิงใดบนแผ่นดิสก์ ด้วยกระบวนการสร้างเซอร์โวแพ็ทเทิร์นหรือที่เรียกว่า Servo track writing (STW) ซึ่งสามารถทำได้โดยหลายเทคนิควิธี โดยแต่ละวิธีที่นำมาใช้ในอดีตถึงปัจจุบันต่างมีข้อดี ข้อเสียซึ่งสัมพันธ์กับต้นทุน เวลา และประสิทธิภาพความน่าเชื่อถือที่ต่างกันไป ถึงแม้แนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีจะมุ่งไปสู่การใช้กลไกภายในตัวฮาร์ดดิสก์ในการเขียนแทร็กซ์เซอร์โว แต่การเขียนแทร็กซ์เซอร์โวด้วยอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงก็ยังคงมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ในบทนี้ได้อธิบายรายละเอียดของการเขียนแทร็กซ์เซอร์โว โดยเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ No Clock Head ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ยังมีการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

2.2 ส่วนประกอบเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ NCH



รูปที่ 2.1 เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ NCH (Non Clock Head)

เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ NCH (Non Clock Head) ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

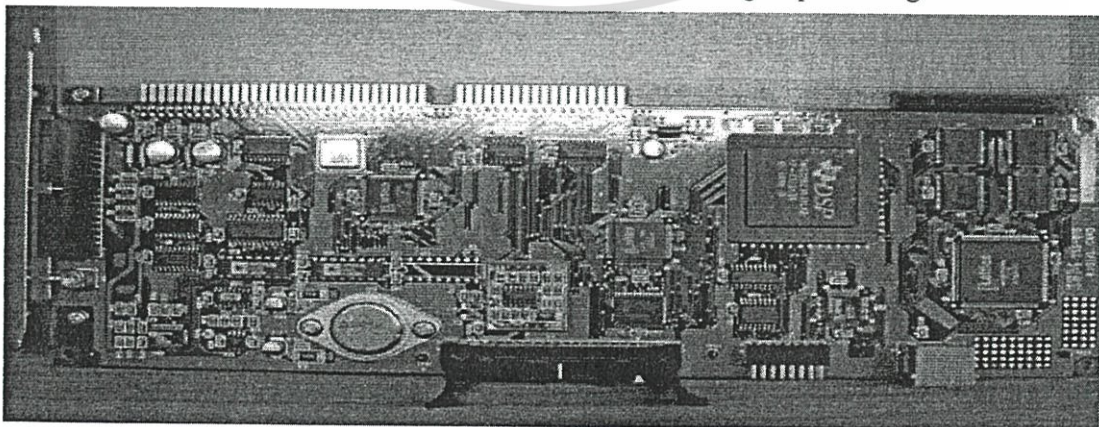
2.2.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC)

จะทำหน้าที่ในการ execute คำสั่ง test code เพื่อควบคุมและแสดงผลตลอด ขั้นตอนการเขียนสัญญาณเซอร์โว

2.2.2 Control/Driver และ Interface Card

ซึ่งประกอบไปด้วย Radial Card, R/W Motor Card, Clock Pattern Card, DE IF Card โดยจะอธิบายรายละเอียดของการ์ดต่างๆ ดังนี้

- Radial Card เพื่อให้ระยะทาง (Radial) สัมพันธ์กับ signal processing and control

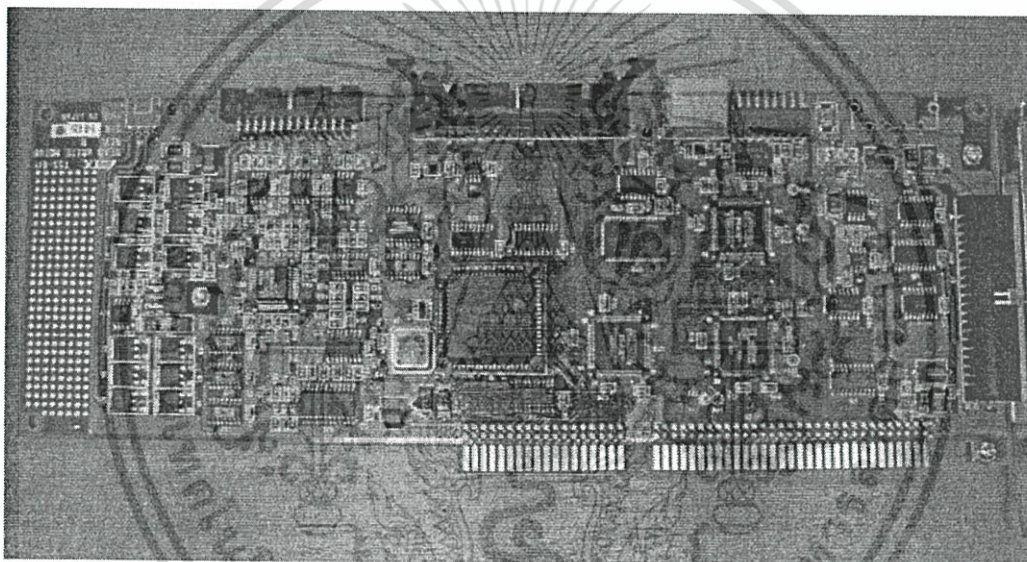


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.2 Radial Card นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ

1. ติดต่อกับ signal board computer (SBC) ผ่านสาย AT bus
2. DSP 32 bit
3. 12 bit เป็น ADC (A to D) สำหรับ ended signal และ diff. signal
4. 12 bit รับ DAC (D to A) แบบอนุกรม to Control high output amplifier
5. 8 bit แบบขนาน เพื่อใช้ DAC สำหรับ AGC control signal
6. ขับ VCM ด้วยกระแสขาออก (high output amplifier)
7. อ่านสัญญาณกลับ (EMF signal) จาก VCM ด้วย Diff. amp.

- R/W Motor Card ต่อกับเครื่องเพื่อขับ spindle motor



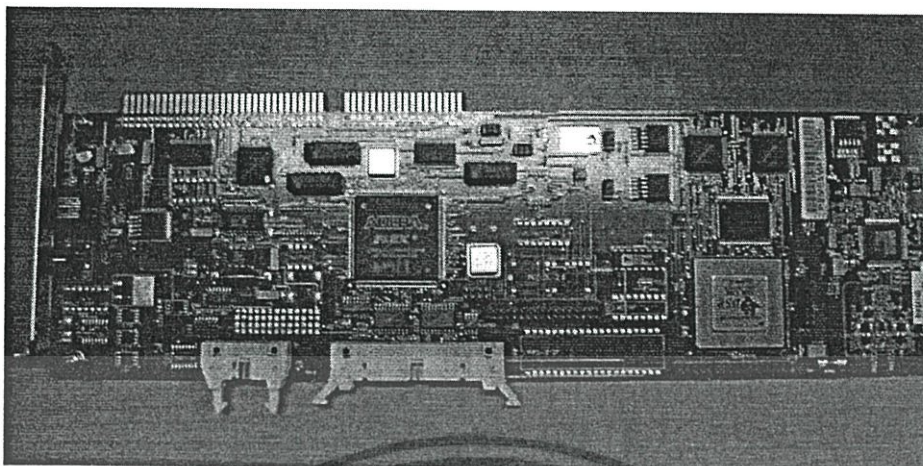
รูปที่ 2.3 R/W Motor Card

คุณสมบัติ

1. ประมวลผลแบบ DSP
2. ขับ spindle motor 3 เฟสด้วย สัญญาณคลื่น
3. clock pattern ได้จากตัวเอง เพื่อเขียน gate and data signal
4. สร้างข้อมูลแบบอนุกรมสำหรับ AE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Clock Pattern Card วัดช่วงสัญญาณ read-out และสร้าง servo pattern + timing

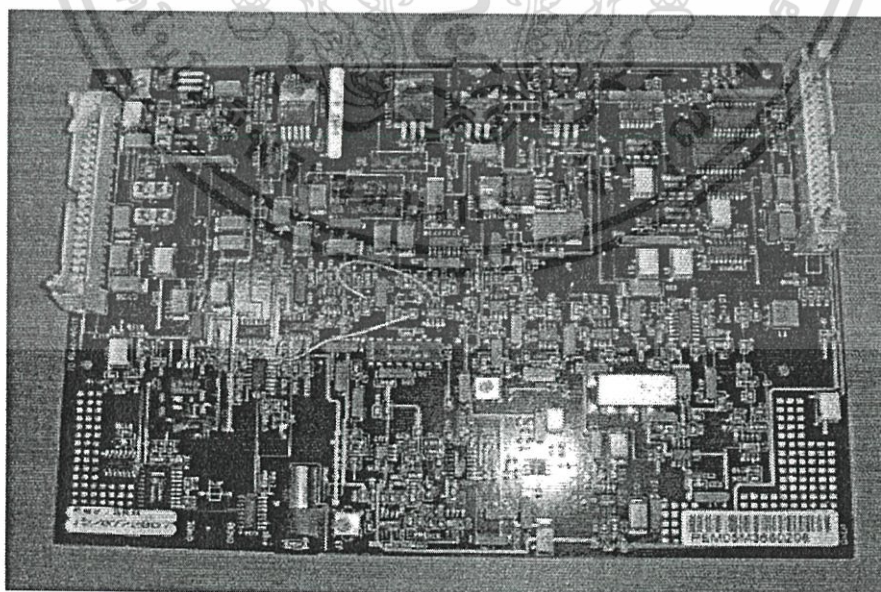


รูปที่ 2.4 Clock Pattern Card

คุณสมบัติ

1. ประมวลผลแบบ DSP
2. ช่วงเวลาการวัด วัดด้วย digital counter และ เวอร์เนียร์ circuit system
3. สร้าง timing ด้วย Direct digital synthesis
4. programmable pattern generator

- DE IF Card ใช้ต่อร่วมกับ SSW controller card, clock pattern , radial and r/w motor



รูปที่ 2.5 DE IF Card

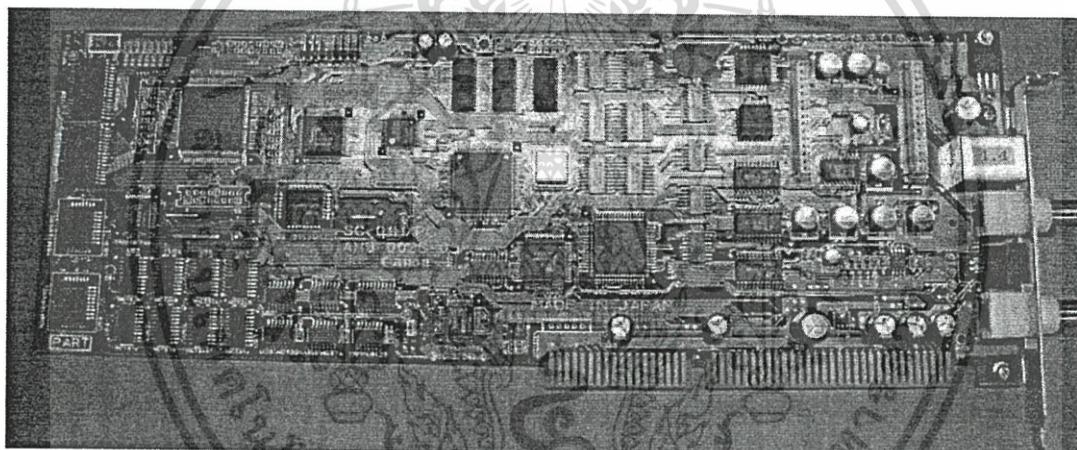
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ

1. ควบคุม Gain สำหรับสัญญาณ read-out
2. ตรวจสอบสัญญาณ timing mark จากสัญญาณ read-out
3. ตรวจสอบสัญญาณ envelop จากสัญญาณ read-out
4. module จ่ายกำลัง แบบ enable/disable
5. รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม ด้วย read-back function

ส่วนที่สามจะพิจารณาเป็นพิเศษ เพราะเป็นส่วนสำคัญสำหรับการศึกษาในครั้งนี้คือ ส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่ของ Rotary Positioner เพื่อให้ pusher พาหัวอ่าน/เขียน (Read/Write : R/W) ไปยังตำแหน่ง track ที่ต้องการ โดยรูปการควบคุมจะประกอบด้วย

- Positioner Control Card (System Controller: SC-01H/PC) ควบคุม positioner ด้วยคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ ผ่าน ISA bus



รูปที่ 2.6 Positioner Control Card

คุณสมบัติ

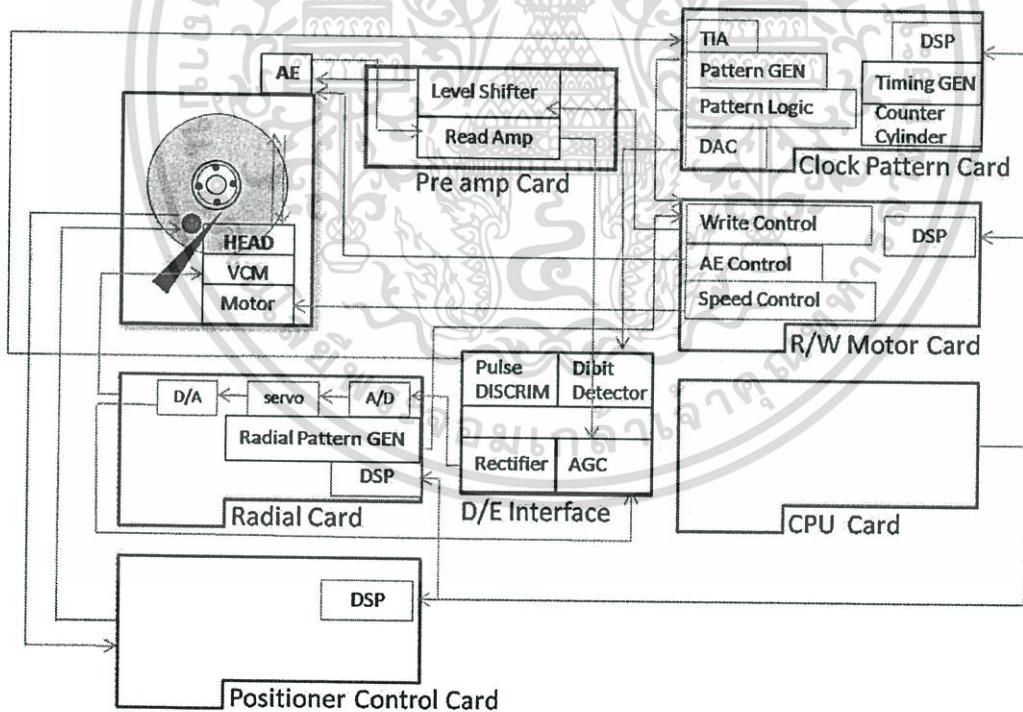
1. ทำงานผ่าน ISA bus
2. DSP 150 MHz
3. sampling น้อยกว่า 50kHz
4. A to D converter 14 bit
5. interpolation 4096
6. Power supply + 5 V \pm 5 %
(max 1.5 A) + 12 V \pm 5 %
(max 1.5 A) - 12 V \pm 5 % (max 100 mA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. stroke ± 20 องศา
8. ความละเอียด 0.003906 arc-sec
9. ความแม่นยำบนแทรีก ± 0.05 arc-sec
10. settling time น้อยกว่า 8 msec
11. หมุนเร็วสุด 60 องศา/วินาที

Positioner Control Card จะทำหน้าที่ เป็นตัวควบคุมที่จะสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมส่งให้กับชุดขับและให้สัญญาณควบคุมเอาท์พุทส่งไปยัง Rotary Positioner เพื่อขับเคลื่อนตัว pusher ให้พาหัวอ่าน/เขียน เคลื่อนที่ไป โดยระยะการเคลื่อนที่เชิงมุมที่เกิดขึ้น จะถูกวัดและป้อนกลับจาก encoder เข้าสู่ชุดปรับแต่งสัญญาณ ภายในบอร์ดและส่งผ่านไปยังตัวควบคุม เพื่อคำนวณหาค่าสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม ที่สามารถทำให้หัวอ่าน/เขียน อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

ซึ่งจะรับคำสั่งการทำงาน ค่าพารามิเตอร์ ในการควบคุม จาก PC ผ่านทาง execute software s.exe และไฟล์ที่ทำหน้าที่กำหนด ค่าพารามิเตอร์ SCP1.txt และเมื่อพารามิเตอร์สำหรับการควบคุมถูกส่งผ่านไปยัง DSP ไมโครคอนโทรลเลอร์ Positioner Control Card (System Controller: SC-01H/PC)



รูปที่ 2.7 วงจรการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner

การควบคุมตำแหน่ง (เชิงมุม) ของ Rotary Positioner ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ได้อย่างเที่ยงตรงและแม่นยำหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับหลาย ปัจจัยด้วยกัน ทั้งในส่วนของความสามารถของตัวควบคุม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะของกระบวนการ ณ จุดทำงาน และสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบขณะทำงานซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากสิ่งรบกวนภายในระบบ (Internal disturbances) และจากสิ่งรบกวนภายนอก (External disturbances) เช่น disk rotations (bearing RRO/NRRO, windage), Reaction forces, Noise (PES) , shock vibration ด้วยปัจจัยของ สัญญาณรบกวนต่างๆ ที่กล่าวมานี้ อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวในส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่ของ Rotary Positioner ให้ไม่สามารถจับเคลื่อนหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการได้ภายในค่าเวลาที่ที่กำหนด โดยผลความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็น ในรูปของ error code

2.3 หลักการทำงาน

การเขียนสัญญาณเซอร์โวโดยเทคนิคแบบ Non Clock Head ถือเป็นเทคนิคการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ HDA-based (Head Disk Assembly) servo writing ซึ่งจะใช้หัวและ VCM แอคชูเอเตอร์ของตัวฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในการเขียนเซอร์โวแพทเทิร์นสลับบนดิสก์ แต่จะใช้กลไกภายนอกในการควบคุมตำแหน่งในแนวรัศมีของการเขียนเซอร์โวแพทเทิร์นดังกล่าว

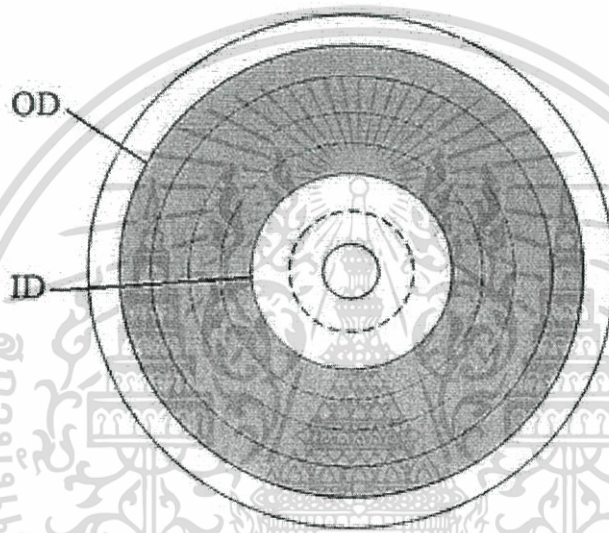
ความแม่นยำและเที่ยงตรงของกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวถือเป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่จะทำให้ฮาร์ดดิสก์มีความหนาแน่นแทร็คซ์สูงซึ่งขึ้นตามที่ต้องการ เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ NCH (Non Clock Head) จะใช้ ฎุปควบคุม Rotary Positioner ที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงในการกำหนดตำแหน่งของหัวเขียนในขั้นตอนของการเขียนเซอร์โวแพทเทิร์นสลับบนดิสก์

VCM แอคชูเอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ถูกจับด้วยกระแสดตรงเพื่อให้สามารถสัมผัสแน่นกับส่วน push-pin (beak) เพื่อให้การควบคุมตำแหน่งของ Rotary positioned เป็นเสมือนดั่งการควบคุมตำแหน่งของแขนของVCM แอคชูเอเตอร์และเมื่อหัวเขียนอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการแล้วเซอร์โวแพทเทิร์นส์จะถูกเขียนลงบนดิสก์ตามการกำกับของสัญญาณจาก clock pattern card

การเขียนสัญญาณเซอร์โวโดยเทคนิคแบบ Non Clock Head มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้ เมื่อวางฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ลงบนเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวและสั่งให้เครื่องทำงานในโหมดอัตโนมัติ เครื่องจะเริ่มสตาร์ทให้มอเตอร์หมุนและคำนวณค่าเริ่มต้นต่างๆของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตัวนั้นๆ

1. คำนวณค่าความต้านทานของ VCM ซึ่งฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวจะมีค่านี้ไม่เท่ากัน
2. อ่านค่าความเร็วที่มอเตอร์หมุนและปรับให้ความเร็วอยู่ที่ 4800rpm
3. คำนวณและหาตำแหน่งจุดเริ่มต้นด้านนอกสุด (OD) และด้านในสุด (ID) ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แต่ละตัวจะมี OD และ ID ในตำแหน่งที่ไม่เหมือนกัน เป็นผลพวงจากขั้นตอนกระบวนการผลิตแผ่นมีเดีย

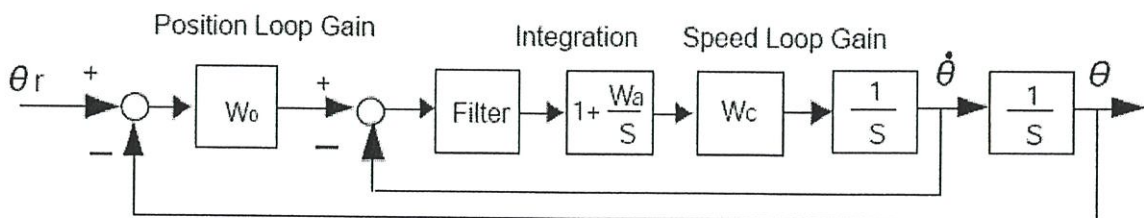
4. กระแสไบอัสถูกจ่ายไปยัง VCM เพื่อให้เกิดแรงบิดในทิศทวนเข็มนาฬิกา Rotary Positioner ก็เช่นเดียวกันแต่ในทิศตามเข็มนาฬิกาและมีแรงบิดมากกว่าจึงลากหัวเขียนไปยังจุดเริ่มต้น (OD) ได้
5. เริ่มเขียนสัญญาณนาฬิกาที่ OD เพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิง
6. กระแสไบอัสถูกจ่ายไปยัง VCM และโพสิชันเนอร์อีกครั้งเพื่อเริ่มเขียนสัญญาณ แต่เครื่องเขียนสัญญาณจะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาเช่นเดียวกับ VCM เพื่อประกอบไม่ให้หัวอ่านเคลื่อนที่ออกนอกตำแหน่งที่ควรจะเป็น



รูปที่ 2.8 แสดง OD และ ID

2.4 ระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner

วงรอบการควบคุมการเคลื่อนที่เชิงมุมใน Rotary Positioner System โดย Positioner Control Card (SC-01H/PC) ถูกออกแบบให้ผู้ใช้สามารถเลือกโหมดของการควบคุมได้ 2 แบบด้วยกัน คือ โหมดการควบคุมแบบ PI และ โหมดการควบคุมแบบ LQ ซึ่งการควบคุมทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันในทางโครงสร้างการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 ระบบควบคุมตำแหน่งแบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพารามิเตอร์ของตัวควบคุมและตัว Filter ที่สามารถแก้ไขเพื่อปรับแต่งผลตอบสนองของระบบควบคุม Rotary Positioner ให้มีคุณลักษณะที่ต้องการ มีรายละเอียด ดังนี้

P10 Position Loop Gain W_o [rad/second]

เป็นค่าอัตราขยายของสัญญาณผลต่างระหว่างค่าตำแหน่งอ้างอิงและค่าตำแหน่งที่วัดได้เพื่อปรับแต่งค่าผลตอบสนอง(ตำแหน่ง)ที่ต้องการ ซึ่งจะถูกกำหนดให้มีค่าไม่เกิน $\frac{1}{4}$ ของ Speed Loop Gain W_c [$W_o < W_c/4$] ผลตอบสนองของระบบ servo จะเพิ่มขึ้นในลักษณะของ Exponential Curve เมื่ออินพุทของระบบเป็นแบบขั้นบันได โดยผลตอบสนองจะลู่สู่ช่วง $+1.8\%$ ของค่าเป้าหมายภายใน 4 เท่าของค่าเวลาคงที่ $1/W_o$ [Seconds]

P16) Filter Constant W_f [rad/sec]

เป็นพารามิเตอร์สำหรับกำหนดค่า Cut-off Frequency ให้กับตัว Filter ชนิด Lowpass Filter หรือ กำหนดค่า Center Frequency ให้กับ Notch Filter ซึ่งค่าที่กำหนดจะมีค่ามากที่สุดได้เท่ากับ 4 เท่าของ loop gain (P12), และมีค่าน้อยที่สุดเป็น 2 เท่าของ speed loop gain (P12) $2P_{12} < W_f < 4P_{12}$ โดยค่าของ Cut-off frequency W_f ที่ลดลงจะทำให้ค่าสัญญาณรบกวนในระบบมีค่าน้อยลงด้วย แต่การปรับลดค่า Cut-off frequency W_f ที่มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบและค่าเวลา setting time ที่มากขึ้น และเราสามารถกำหนดค่า Cut-off frequency W_f ให้มีค่าเท่ากับ 30000 เมื่อไม่ต้องการใช้งานตัว Filter นี้

P17) Notch Filter Q value 0~1000

เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับค่า Q ของตัว Notch Filter เพื่อกำหนดขอบเขตช่วง Stop Bandwidth โดยค่าพารามิเตอร์ P17 จะมีค่าเป็น 100 เท่าของค่า Q เช่น เมื่อ Q มีค่าเท่า 1.0 พารามิเตอร์ P17 จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 จากนั้นจะต้องกำหนดค่า center frequency ให้กับ Notch Filter โดยการกำหนดค่าให้กับพารามิเตอร์ P16 Filter Constant W_f [rad/sec] ดังนั้นเขียนโดยสรุปได้ดังนี้

P16=30000 : No Filter

P16<30000 & P17=0: Low Pass Filter

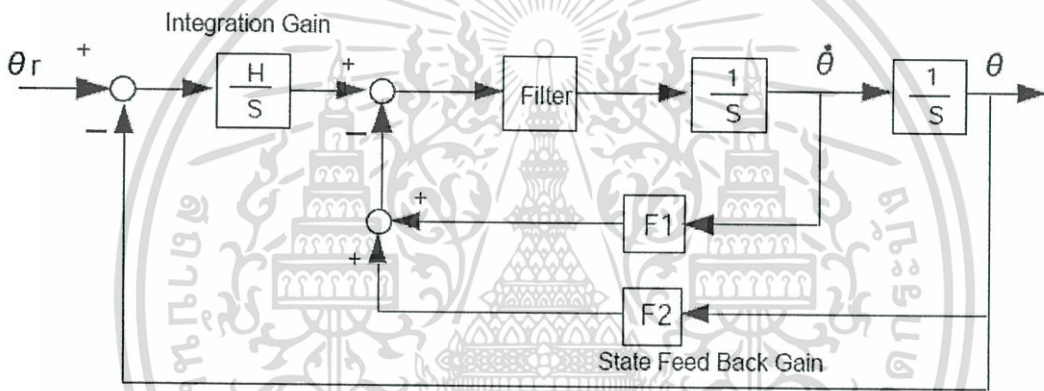
P16<30000 & P17 \neq 0 : Notch Filter

P14) Integration Constant W_a [rad/sec]

เป็นค่าอัตราขยายของการอินทิเกรตซึ่งจะช่วยลดทอนค่าผิดพลาดของผลตอบสนองที่สถานะคงตัวของระบบ แต่การเพิ่มค่าที่มากเกินไปนั้นจะส่งผลต่อเสถียรภาพและความเร็วในการทำงานระบบ ในที่นี้จะกำหนดให้มีค่าเป็น $1/3$ ของ Speed Loop Gain W_c [rad/sec]

P12) Speed Loop Gain W_c [rad/sec]

เป็นค่าอัตราขยายสำหรับเพื่อปรับแต่งค่าผลตอบสนองของวงรอบการควบคุมความเร็ว ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าน้อยสุดที่ 4 เท่าของ Position Loop Gain W_0 โดยการเพิ่มค่าของ Speed Loop Gain จะส่งผลให้ servo stiffness (disturbance characteristic) มากขึ้น แต่การเพิ่มค่ามากเกินไปอาจทำให้เกิด hunting effect ในระบบเซอร์โวได้



รูปที่ 2.10 ระบบควบคุมตำแหน่งแบบ LQ

P11) LQ Servo Gain W_{lq} (rad/sec)

ค่าพารามิเตอร์นี้จะถูกกำหนดเพื่อหาค่า พารามิเตอร์ของการควบคุมในระบบควบคุมแบบ LQ ซึ่งหมายถึง พารามิเตอร์ F_1 , F_2 และ H โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สามารถทำให้ผลตอบสนองปราศจากค่าพุ่งเกินโดยอัตโนมัติ

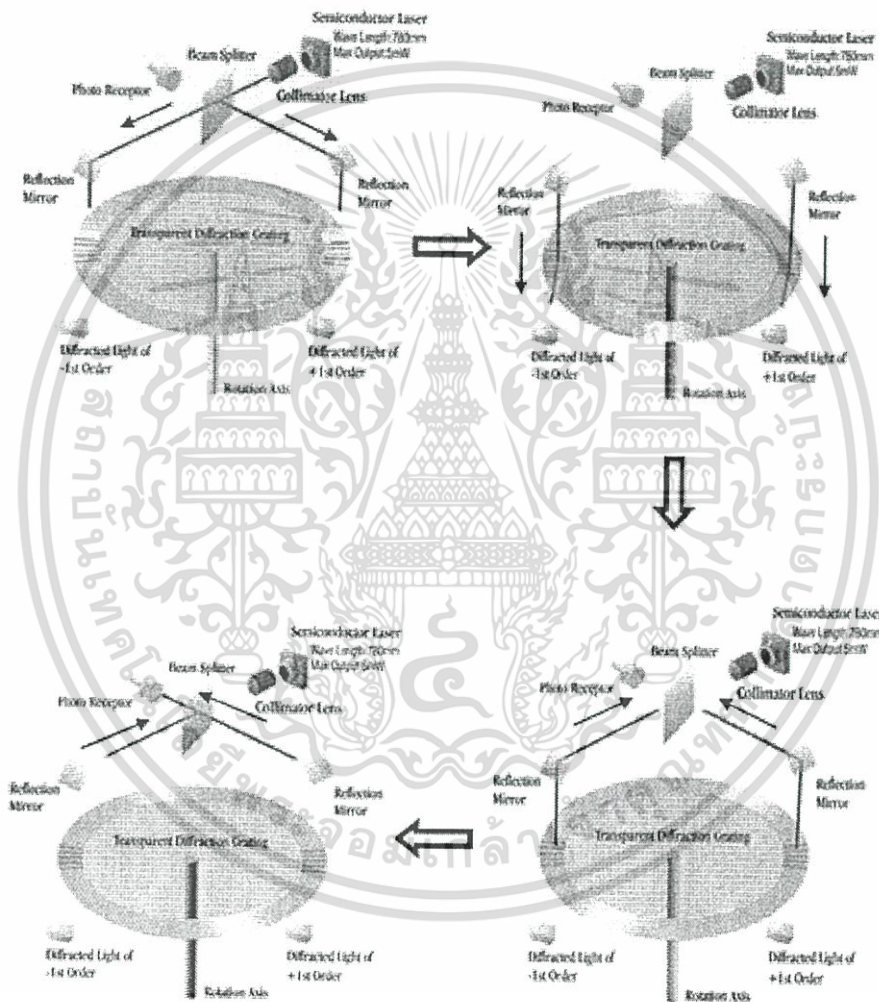
2.4.1 เอ็นโค้ดเดอร์แบบเลเซอร์โรตารี (Laser Rotary Encoder)

Rotary Positioner เป็นตัวช่วยควบคุมตำแหน่งการเขียนสัญญาณเซอร์โวโดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์แบบเลเซอร์โรตารี จากรูปที่ 2.21 เป็นหลักการทำงานของเอ็นโค้ดเดอร์แบบเลเซอร์โรตารี โดยมีหลักการทำงานคือแสงเลเซอร์จะถูกยิงจาก Semiconductor Laser ผ่าน Collimator Lens ซึ่งจะเป็นผลให้แสงมีขนาดเล็ก จากนั้น Beam Splitter จะทำการแบ่งลำแสงออกเป็น 2 ลำแสงในระยะทางที่เท่ากันและไปตกกระทบที่ Reflection Mirror ผ่านไปยังดิสก์กระจายแสง (Transparent diffraction Grating Disc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และตัวสะท้อนแสงกลับของอนุพันธ์อันดับหนึ่งทางด้านบวกและทางด้านลบ (Diffracted Light of $\pm 1st$ Order)

การเคลื่อนที่ของมุมใน 1 รอบจะเท่ากับ $\pm 2\pi$ จากนั้นลำแสงจะสะท้อนกลับไปยังคิสิกกระจายแสงคู่ Reflection Mirror ซึ่ง Reflection Mirror จะทำหน้าที่รวมลำแสงทั้ง 2 ลำแสงจากทางด้านบวกและลบ ส่งไปยัง ตรวจจับแสง (Photo Receptor) ทำให้มุมหมุนไปเท่ากับ $\pm 4\pi$ เป็นผลให้เซ็นโค้ดเดอร์แบบเลเซอร์โรตารี มีความแม่นยำในการควบคุมตำแหน่งสูงขึ้น



รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของเซ็นโค้ดเดอร์แบบเลเซอร์โรตารี

2.4.2 การวัดความแม่นยำของระบบด้วย APC Test

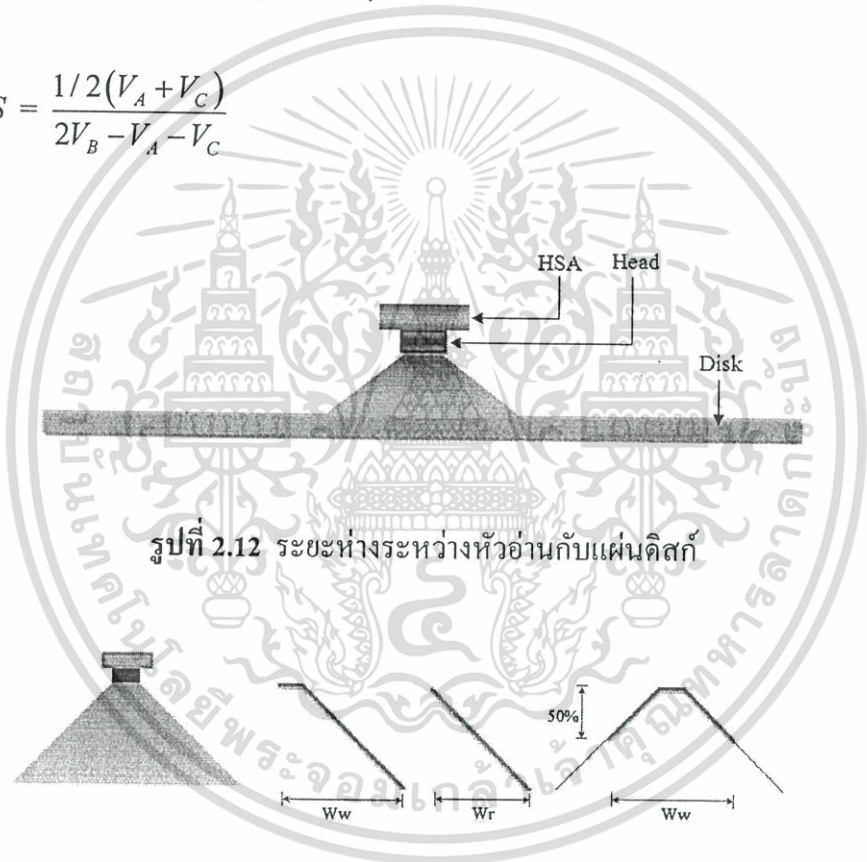
ในการเขียนสัญญาณเซอร์โว นั้น สิ่งที่ต้องการคือต้องการให้หัว (Head) ที่ทำการเขียนสัญญาณเซอร์โว ให้มีความสม่ำเสมอของสัญญาณ และอยู่ตรงกลางระหว่างแทรคโดยตลอด ซึ่งค่าที่บ่งบอกคือค่า V_{APC} โดยปกติแล้ว หากหัวอ่าน/เขียนอยู่ตรงกลางระหว่างแทรคพอดีค่า V_{APC} จะมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรสำคัญก็คือการเลื่อนตำแหน่งของเครื่องควบคุมตำแหน่งการเขียนแตรคเซอร์ไว้ระหว่างการเขียนสัญญาณนั่นเอง และการคำนวณค่า V_{APC} หาได้จากสมการที่ (2.1) และการหาค่าของ V_{APC} นั้น จะนำไปคำนวณหาระยะห่างระหว่างแตรค (Track Pitch, tp) จากสมการที่ (2.2) การหาค่า Position error signal (PES) จากสมการที่ (2.3) โดยค่าของ tp ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวและระยะห่างระหว่างหัวกับแผ่นดิสก์ ดังรูปที่ 2.12 และ W_w , W_r เป็นค่าคงที่ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.13 และความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของหัวและสัญญาณ APC แสดงดังรูปที่ 2.14

$$V_{APC} = \frac{V_A + V_B}{V_C} = \frac{A + C}{B} \tag{2.1}$$

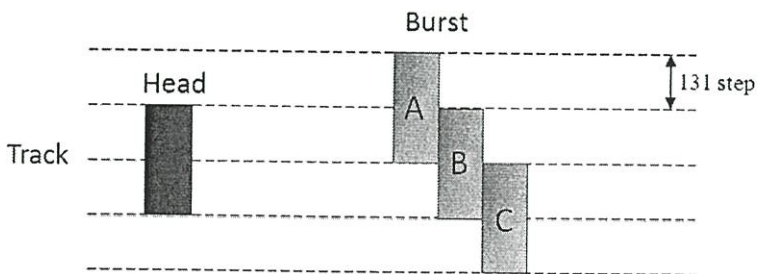
$$Track\ Pitch = W_w + W_r(1 - APC) \tag{2.2}$$

$$PES = \frac{1/2(V_A + V_C)}{2V_B - V_A - V_C} \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.12 ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์

รูปที่ 2.13 ค่าคงที่ของ W_w และ W_r



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของหัวและสัญญาณ APC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบพารามิเตอร์โดยเทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์

3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบระบบควบคุมนั้น ปัญหาหนึ่งที่สำคัญก็คือการเลือกตัวควบคุมที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบตามที่ต้องการ ซึ่งทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมนั้นมีอยู่ด้วยกัน 3 ทฤษฎีคือ ทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิม (Classical Control Theory), ทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบใหม่ (Modern Control Theory) และทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีชคณิต (Algebraic Approach)

โดยทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิม (Classical Control Theory) นั้น จะทำการออกแบบตัวควบคุมแบบลูเปิด (Open Loop) โดยจะใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแทนระบบ ซึ่งในขั้นแรกนั้นจะสมมุติตัวควบคุมตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นมาก่อน หาฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดของระบบกับตัวควบคุมและนำฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดที่ได้มาตรวจสอบว่าได้คุณสมบัติตามที่ต้องการหรือไม่ หากคุณสมบัติที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ ต้องเปลี่ยนตัวควบคุมและทำการออกแบบใหม่จนกว่าจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ วิธีที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับวิธีนี้ก็มีอาทิเช่น การออกแบบตัวควบคุมโดยตรวจสอบผลตอบสนองทางความถี่ (Frequency Response), การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินราก (Root Locus Method) และเนื่องจากการออกแบบตัวควบคุมด้วยทฤษฎีนี้ จะใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนในการออกแบบ ซึ่งในบางครั้งนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนอาจจะไม่เที่ยงตรง อันเนื่องมาจากมีโพลและซีโรอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน ทำให้ระบบนั้นไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) และไม่สามารถสังเกตได้ (Unobservable)

ทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบใหม่ (Modern Control Theory) จะทำการออกแบบตัวควบคุมแบบลูปิด (Closed Loop) โดยขั้นแรกจะนำเงื่อนไขที่กำหนดต่าง ๆ มาคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดก่อนและหาตัวควบคุมจากฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิด จากนั้นทำการตรวจสอบระบบควบคุมว่าทำงานภายใต้เงื่อนไขที่ต้องการหรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามที่ต้องการต้องกลับไปแก้ไขฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดและหาตัวควบคุมใหม่จนกว่าจะได้ตัวควบคุมที่พอใจ วิธีที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับวิธีนี้ก็มีอาทิเช่น การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการวางโพล (Pole Placement Method), การออกแบบตัวควบคุมแบบดีที่สุด (Optimal Control) และในการออกแบบตัวควบคุมด้วยทฤษฎีนี้ จะใช้สมการที่อยู่ในรูปแบบของ สเตท-สเปซ (State-Space) แทนระบบซึ่งการแทนระบบให้อยู่ในรูปแบบ สเตท-สเปซ (State-Space) นั้นจะมีความเที่ยงตรงและเหมาะสมในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

ทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีชคณิต (Algebraic Approach) วิธีนี้จะกำหนดค่าของพารามิเตอร์บางตัวในฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดและตัวควบคุมก่อน จากนั้นค่าพารามิเตอร์อื่นๆของฟังก์ชันเอกสซันเป็นเอกซันที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับอยู่ แต่เห็นไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่ายโอนวงปิดและตัวควบคุมจะหาได้จากการออกแบบ ซึ่งการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี แผนผังสัมประสิทธิ์ (Coefficient Diagram Method: CDM) จะใช้ทฤษฎีนี้ในการออกแบบ

โดยพื้นฐานแล้ววิธี CDM นั้นเป็นวิธีที่ได้มาจากการปรับปรุงวิธีของ Kellsler's Multiloop Structure (MLS) ให้ดีขึ้น ซึ่งวิธี CDM ได้นำแนวคิดของวิธี MLS มาใช้ โดยทำการแปลงค่าคงตัวเวลาให้อยู่ในรูปผลรวมของค่าคงตัวเวลาทั้งหมด τ (Equivalent Time Constant) และดรชนี้เสถียรภาพ γ_i (Stability Index) โดยพารามิเตอร์ τ และ γ_i นั้นเป็นพารามิเตอร์ของวิธี CDM ที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุม

ในบทนี้จะอธิบายถึงแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM ซึ่งจะอธิบายเกี่ยวกับหลักการและการออกแบบด้วยวิธี CDM, วิธีของ MLS ซึ่งเป็นที่มาของวิธี CDM, ความคล้ายคลึงกันระหว่างวิธีของ MLS และวิธี CDM, การเลือกพารามิเตอร์ γ_i และ τ ในการออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสม และการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ γ_i และ τ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบควบคุมตามที่ต้องการ

3.2 การออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM

CDM เป็นวิธีการออกแบบแบบพีชคณิต ซึ่งการออกแบบนั้นอยู่บนพื้นฐานขนาดที่สัมพันธ์กันของค่าสัมประสิทธิ์สมการพหุนามคุณลักษณะ (Characteristic Polynomial) วัตถุประสงค์ในการออกแบบก็คือต้องการสมการคุณลักษณะ (Characteristic Equation) ที่เหมาะสม ดังนั้นวิธีนี้จึงดูเหมือนกับเป็นวิธีการวาง โพล โดยอ้อม (Indirect Pole Placement Method) โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธี CDM จะประกอบไปด้วยค่าดรชนี้เสถียรภาพ γ_i และค่าคงตัวเวลาสมมูล τ ซึ่งพารามิเตอร์ของวิธี CDM นี้จะใช้สำหรับทำการออกแบบสมการพหุนามคุณลักษณะที่ต้องการ

วิธี CDM จะใช้สมการพหุนามแสดงแทนระบบ โดยส่วนเศษ (Numerator) และส่วนส่วน (Denominator) ของฟังก์ชันถ่ายโอนจะพิจารณาแยกกัน ในการออกแบบตัวควบคุมนั้นทำได้โดยทำการกำหนดสมการคุณลักษณะหรือสมการพหุนามคุณลักษณะที่ต้องการของฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิด โดยพิจารณาข้อกำหนดด้านสมรรถนะ (Performance Specification) ของระบบควบคุม และค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะที่ได้จากวิธี CDM จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะที่ได้จากตัวควบคุมและกระบวนการ เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อไป

ในส่วนนี้จะทำการอธิบายถึงคุณลักษณะพื้นฐานของวิธี CDM, โครงสร้างของระบบควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธี CDM, กระบวนการในการออกแบบตัวควบคุมซึ่งประกอบไปด้วยการวางโพล และการวางซีโร่, การออกแบบสมการพหุนามคุณลักษณะด้วยวิธี CDM, เงื่อนไขเสถียรภาพของวิธี CDM และแผนผังสัมประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 คุณลักษณะพื้นฐานของวิธี CDM

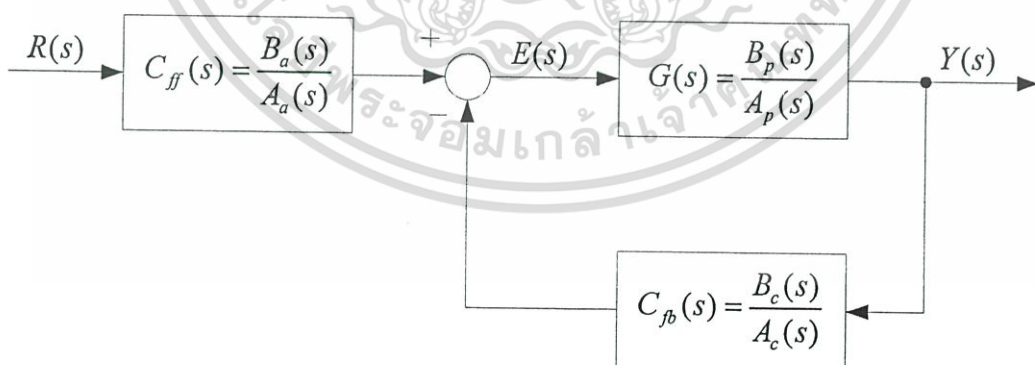
คุณลักษณะพื้นฐานของวิธี CDM มีอยู่ด้วยกัน 5 ข้อ คือ

1. ใช้สมการพหุนามแสดงแทนระบบ
2. สมการพหุนามคุณลักษณะและตัวควบคุมสามารถออกแบบได้ทันที
3. แพลนฝั่งสัมประสิทธิ์สามารถใช้ตรวจสอบระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. ทฤษฎีเงื่อนไขที่เพียงพอสำหรับเสถียรภาพ โดย Lipatov ถูกรวมเข้าไปไว้เป็นทฤษฎีพื้นฐานของวิธี CDM
5. รูปแบบมาตรฐานสำหรับพารามิเตอร์ของ MLS ถูกปรับปรุงและใช้เป็นรูปแบบมาตรฐานสำหรับพารามิเตอร์ของวิธี CDM

การออกแบบระบบควบคุมหรือตัวควบคุมด้วยวิธี CDM นั้นจะอยู่บนพื้นฐานของการเลือกครรชนีเสถียรภาพ γ_i และค่าคงตัวเวลาสมมูล τ โดยค่า τ จะเป็นตัวกำหนดความเร็วผลตอบสนองของระบบควบคุม และค่า γ_i จะเป็นตัวกำหนดเสถียรภาพและรูปทรงผลตอบสนองของระบบควบคุม การเปลี่ยนแปลงของค่าครรชนีเสถียรภาพจะคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการซึ่งเป็นตัวกำหนดความคงทนของระบบควบคุม

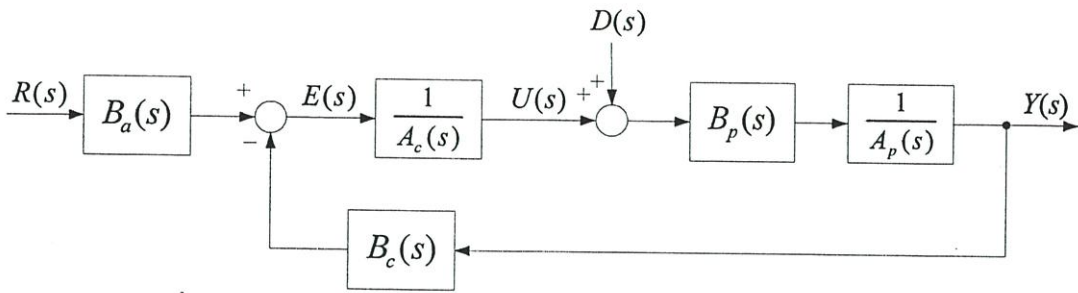
3.2.2 โครงสร้างของระบบควบคุม

โครงสร้างทั่วไปของระบบควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 จากรูปจะเห็นได้ว่าระบบควบคุมประกอบไปด้วยกระบวนการ $G(s) = B_p(s)/A_p(s)$ ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ $C_{fb} = B_c(s)/A_c(s)$ ในลูปป้อนกลับ และตัวควบคุมแบบป้อนไปหน้า $C_{ff} = B_a(s)/A_a(s)$



รูปที่ 3.1 โครงสร้างทั่วไปของระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างมาตรฐานของระบบควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธี CDM

เพื่อความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้งาน โครงสร้างระบบควบคุมสามารถทำให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่ายได้โดยให้ $A_c(s) = A_c(s)$ แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบนี้เรียกว่า โครงสร้างระบบควบคุมแบบ 2 ชั้นอิสระ (Two Degree of Freedom : 2DOF) และเป็นโครงสร้างมาตรฐานของระบบควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธี CDM สำหรับกระบวนการหนึ่งอินพุต-หนึ่งเอาต์พุต (Single Input- Single Output : SISO) โดย $B_p(s)$ และ $A_p(s)$ คือสมการพหุนามของกระบวนการ, $B_c(s)$, $A_c(s)$ และ $B_a(s)$ คือสมการพหุนามของตัวควบคุม โดยฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมการพหุนามได้ดังนี้

$$A_p(s) = p_k s^k + p_{k-1} s^{k-1} + \dots + p_1 + p_0 \quad (3.1)$$

$$B_p(s) = q_m s^m + q_{m-1} s^{m-1} + \dots + q_1 + q_0 \quad (3.2)$$

และสมการพหุนามของตัวควบคุมคือ

$$A_c(s) = l_\psi s^\psi + l_{\psi-1} s^{\psi-1} + \dots + l_1 + l_0 \quad (3.3)$$

$$B_c(s) = j_\psi s^\psi + j_{\psi-1} s^{\psi-1} + \dots + j_1 + j_0 \quad (3.4)$$

$$B_a(s) = p_\psi s^\psi + p_{\psi-1} s^{\psi-1} + \dots + p_1 + p_0 \quad (3.5)$$

โดย $\psi < k$ และ $m < k$

และเอาต์พุตของระบบควบคุมดังรูปที่ 3.2 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Y(s) = \frac{B_p(s) [B_a(s)R(s) - B_c(s)N(s) + A_c(s)D(s)]}{A_c(s)A_p(s) + B_c(s)B_p(s)} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $R(s)$ คือสัญญาณอินพุตอ้างอิง, $Y(s)$ คือสัญญาณเอาต์พุตของระบบควบคุม, $D(s)$ คือสัญญาณรบกวนที่เข้าสู่ระบบควบคุม และ $N(s)$ คือสัญญาณรบกวนที่เข้าสู่อุปกรณ์วัด เมื่อไม่คิดถึงผลกระทบจากสัญญาณ $D(s)$ และ $N(s)$ ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมทั้งหมดจะกลายเป็น

$$G_d(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{B_a(s)B_p(s)}{A_c(s)A_p(s) + B_c(s)B_p(s)} \quad (3.7)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนในสมการ(3.7) แสดงให้เห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบป้อนกลับ $B_c(s)$, $A_c(s)$ นั้นใช้เพื่อวางโพลและตัวควบคุมแบบป้อนไปหน้า $B_a(s)$ ใช้เพื่อวางซีโร ในการออกแบบและจำลองการทำงานของระบบควบคุมต้องคำนึงถึงขนาดของสัญญาณควบคุมด้วย ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของสัญญาณควบคุมสำหรับการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM คือ

$$\begin{aligned} E(s) &= \frac{Y(s)}{R(s)} \cdot \frac{U(s)}{Y(s)} = \frac{G_d(s)}{G(s)} \\ &= \frac{B_a(s)A_p(s)}{A_c(s)A_p(s) + B_c(s)B_p(s)} \end{aligned} \quad (3.8)$$

3.2.3 กระบวนการในการออกแบบตัวควบคุม

สำหรับโครงสร้างระบบควบคุมแบบ 2 ชั้นอิสระ (2-DOF) ตัวควบคุมแบบป้อนกลับจะถูกใช้เพื่อวางโพลของระบบควบคุมหรือกำหนดโหมดการทำงาน of ระบบควบคุม ซึ่งเป็นตัวพิจารณาถึงผลตอบสนองชั่วคราวและรูปทรงผลตอบสนองของระบบควบคุม ส่วนตัวควบคุมแบบป้อนไปหน้าจะถูกใช้เพื่อวางซีโรของระบบควบคุม ซึ่งเป็นตัวกำหนดถึงผลตอบสนองที่สถานะชั่วคราวและที่สถานะคงตัวของระบบควบคุม ดังแกปัญหาในการสร้างตัวควบคุมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ข้อหลักๆ คือ

1. เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่สถานะชั่วคราว และรูปทรงผลตอบสนองของระบบควบคุมตามที่ต้องการ ซึ่งก็คือการวางโพลของระบบควบคุมที่เหมาะสมโดยใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ
2. เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่สถานะชั่วคราว และผลตอบสนองที่สถานะคงตัวหรือคุณสมบัติในการติดตามสัญญาณตามที่ต้องการ ซึ่งก็คือการวางซีโรของระบบควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้ตัวควบคุมแบบป้อนไปหน้า

3.2.3.1 การวางโพล

การวางโพลเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี CDM เพราะว่าโพลของระบบควบคุมนั้นมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับสมการคุณลักษณะ ดังนั้นถ้าพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมทั้งหมด $G_d(s) = N_d(s) / D_d(s)$ จะเห็นได้ว่าสมการพหุนามในเทอม

เอกลำดับเป็นเอกลักษณ์สำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนที่เสถียรคือ $D_d(s) = 0$ และสมการพหุนามในเทอม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน $D_c(s)$ ก็คือสมการคุณลักษณะของระบบควบคุมนั่นเอง จากโครงสร้างของระบบควบคุมในรูปที่ 3.2 สมการคุณลักษณะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$D_c(s) = A_c(s)A_p(s) + B_c(s)B_p(s) \quad (3.9)$$

โดย $D_c(s)$ จะเป็นผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ที่คงที่ของกระบวนการ ($B_p(s), A_p(s)$) กับค่าสัมประสิทธิ์ที่ยังไม่ทราบค่าของตัวควบคุมแบบป้อนกลับ ($B_c(s), A_c(s)$) เพราะว่าสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะ $D_c(s)$ นั้นถูกเลือกโดยวิธี CDM ดังนั้นปัญหาในการหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับสามารถทำได้โดยการแก้สมการเชิงเส้น ซึ่งจะทำให้ได้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมป้อนกลับ ($B_c(s), A_c(s)$) ในทันทีทันใด

3.2.3.2 การวางซีโร

ในการวางซีโรเพื่อใช้ในการติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงนั้น สามารถแบ่งชนิดของการติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงได้เป็น 2 ชนิดคือ การติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบอูคมคติและการติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบไม่อูคมคติ โดยการติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบอูคมคตินั้นสามารถติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงใดๆ ได้ในทันทีทันใด ซึ่งการติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบนี้สามารถใช้ได้ในทางทฤษฎีเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติแล้วนั้นไม่สามารถทำได้เพราะถูกจำกัดด้วยขนาดของสัญญาณควบคุม ในขณะที่การติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบไม่อูคมคตินั้นจะไม่สามารถติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงได้ในทันทีทันใด แต่จะค่อยๆ เข้าสู่สัญญาณอินพุตอ้างอิง ซึ่งการติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงชนิดนี้สามารถใช้ได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นในที่นี้จะอธิบายแต่เพียงการติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบไม่อูคมคติเท่านั้น

โดยทั่วไปแล้ว การติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบไม่อูคมคติสำหรับระบบควบคุมนั้น สามารถแบ่งชนิดของสัญญาณอินพุตได้ 3 แบบคือ สัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได (Step), สัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบความเร็ว (Velocity) และสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบอัตราเร่ง (Accelerator) ซึ่งการวางซีโรเพื่อใช้ในการติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงทั้ง 3 ชนิดนี้ ทำได้โดยกฎของพีชคณิตต่างๆ และกฎที่ใช้ในการวางซีโรจะอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีค่าสุดท้าย (Final Value Theorem) ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

การวางซีโรเพื่อใช้ติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิง เพื่อความเหมาะสมและมีเสถียรภาพฟังก์ชันถ่ายโอน $G_c(s)$ ต้องอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{aligned}
 G_{cl}(s) &= \frac{N_{cl}(s)}{D_{cl}(s)} \\
 &= \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0}
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

โดย $n \geq m$ และ $a, b > 0$

เอาต์พุตของระบบควบคุมจะติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบแอสซิมโทติกเมื่อ

1. สัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบขั้นบันได $r(t) = a, R(s) = \frac{a}{s}$ ถ้า $a_0 = b_0$

โดย $m, n \geq 0$

2. สัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบความเร็ว $r(t) = at, R(s) = \frac{a}{s^2}$ ถ้า $a_0 = b_0$ และ $a_1 = b_1$

โดย $m, n \geq 1$

3. สัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบอัตราเร่ง $r(t) = at^2, R(s) = \frac{a}{s^3}$ ถ้า $a_0 = b_0, a_1 = b_1$

และ $a_2 = b_2$ โดย $m, n \geq 2$

โดยไม่คำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์อื่นๆ

3.2.4 การออกแบบสมการพหุนามคุณลักษณะด้วยวิธี CDM

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงการออกแบบสมการพหุนามคุณลักษณะด้วยวิธี CDM โดยสมการพหุนามคุณลักษณะของระบบควบคุมป้อนกลับนั้นจะเป็นสมการเดียวกันกับสมการคุณลักษณะในสมการ (3.9) ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบของสมการพหุนามคุณลักษณะได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P(s) &= A_c(s)A_p(s) + B_c(s)B_p(s) \\
 &= a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 \\
 &= \sum_{i=0}^n a_i s^i
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

โดย $a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0$ คือสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะ

ค่าธรรมชาติเสถียรภาพ γ_i , ค่าคงตัวเวลาสมมูล τ ที่ใช้ในการออกแบบสมการพหุนามคุณลักษณะและค่าจำกัดเสถียรภาพ γ_i^* ที่ใช้ตรวจสอบความคงทนของระบบควบคุมสามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma_i = \frac{a_i^2}{a_{i-1}a_{i+1}} \quad (3.12)$$

$$\tau = \frac{a_1}{a_0} \quad (3.13)$$

$$\gamma_i^* = \frac{1}{\gamma_{i+1}} + \frac{1}{\gamma_{i-1}} \quad ; \quad \gamma_0, \gamma_n = \infty \quad (3.14)$$

โดย $i = 1, \dots, n-1$ จากสมการ (3.12) และสมการ (3.13) สัมประสิทธิ์ α_i สามารถเขียนได้ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{a_0 \tau}{\gamma_{i-1} \cdots \gamma_2^{i-2} \gamma_1^{i-1}} \\ &= a_0 \tau^i \prod_{j=1}^{i-1} \frac{1}{(\gamma_{i-j})^j} \end{aligned} \quad (3.15)$$

เมื่อแทนสัมประสิทธิ์ α_i แต่ละอันดับในสมการ (3.11) จะได้สมการพหุนามคุณลักษณะในเทอมของ a_0, τ และ γ_i ดังนี้

$$P(s) = a_0 \left[\sum_{i=2}^n \left(\prod_{j=1}^{i-1} \frac{1}{(\gamma_{i-j})^j} \right) (\tau s)^i \right] + \tau s + 1 \quad (3.16)$$

3.2.5 เงื่อนไขเสถียรภาพของวิธี CDM

ในการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM นั้น การพิจารณาเรื่องของเสถียรภาพจะใช้เงื่อนไขความพอเพียงสำหรับเสถียรภาพของ Lipatov โดย Lipatov กล่าวไว้ว่า วิธีที่ใช้ในการประเมินเสถียรภาพของระบบควบคุมเช่น ทฤษฎีของ Hurwitz นั้นค่อนข้างยุ่งยากและไม่เพียงพอต่อการประยุกต์ใช้งานในการออกแบบระบบควบคุมที่มีอันดับสูงๆ โดยเงื่อนไขเสถียรภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานนั้นควรตรวจสอบได้ง่ายและใช้วิธีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน

Lipatov ได้เสนอว่า สำหรับระบบอันดับ n ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ n ตัว ขอบเขตเสถียรภาพที่แท้จริงนั้นสามารถอนุมานให้อยู่ในรูปเชิงซ้อนที่มีมิติ n มิติ (n -Dimensional Space) โดยขอบเขตเสถียรภาพที่พอเพียง (Sufficient Stability Region) จะเป็นส่วนย่อยของขอบเขตเสถียรภาพ แม้ว่าเงื่อนไขเสถียรภาพที่พอเพียงจะไม่เป็นที่น่าพอใจก็ตาม ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่า เงื่อนไขเสถียรภาพของ Lipatov เป็นเงื่อนไขที่ขึ้นอยู่กับความพอเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีตรวจสอบเสถียรภาพของ Routh Hurwitz (Routh –Hurwitz Stability Criterion) ระบบอันดับ 3 จะมีเสถียรภาพต่อเมื่อ

$$a_2 a_1 > a_3 a_0 \quad (3.17)$$

ซึ่งสามารถเขียนเขียนในเทอมของครรชนเสถียรภาพได้ คือ

$$\gamma_2 \gamma_1 > 1 \quad (3.18)$$

สำหรับระบบอันดับ 4 จะมีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

$$a_2 > (a_1 / a_3) a_4 + (a_3 / a_1) a_0 \quad (3.19)$$

$$\gamma_2 \gamma_3 > 1 \quad (3.20)$$

จากสมการ (3.14), (3.18) และ (3.20) สามารถสรุปได้ว่า ระบบอันดับ 3 และระบบอันดับ 4 จะมีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อ

$$\gamma_i > \gamma_i^* \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } i = 2 \sim n-2 \quad (3.21)$$

สำหรับระบบอันดับ 5 และอันดับสูงๆขึ้นไป Lipatov ได้เสนอเงื่อนไขที่พอเพียงสำหรับความมีเสถียรภาพของระบบไว้หลายรูปแบบ โดยทฤษฎีที่เหมาะสมกับการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM กล่าวไว้ว่า

“ระบบควบคุมจะมีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อสมการพหุนามย่อยอันดับ 4 ทุกชุดของระบบมีเสถียรภาพด้วยตัวคูณขนาด 1.12 และระบบควบคุมจะไม่มีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อระบบย่อยอันดับ 3 บางชุดของระบบควบคุมไม่มีเสถียรภาพ”

ดังนั้นเงื่อนไขเสถียรภาพที่พอเพียงสำหรับความมีเสถียรภาพคือ

$$a_i > 1.12 \cdot \left[\frac{a_{i-1}}{a_{i+1}} a_{i+2} + \frac{a_{i+1}}{a_{i-1}} a_{i-2} \right] \quad (3.22)$$

$$\gamma_i > 1.12 \cdot \gamma_i^* \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } i = 2 \sim n-2 \quad (3.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเงื่อนไขเสถียรภาพที่พอเพียงสำหรับความไม่มีเสถียรภาพคือ

$$a_{i+1}a_i \leq a_{i+2}a_{i-1} \quad (3.24)$$

$$\gamma_{i+1}\gamma_i \leq 1 \quad \text{สำหรับบางค่าของ } i = 1 \sim n-2 \quad (3.25)$$

3.2.6 แผนผังสัมประสิทธิ์

แผนผังสัมประสิทธิ์เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มาก สำหรับการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM โดยในแผนผังสัมประสิทธิ์นั้นจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ ความมีเสถียรภาพ, ผลตอบสนองต่อเวลา และความคงทนของระบบควบคุมภายในแผนผังเดียว โดยแกนตั้งของแผนผังจะแสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งอยู่ในรูปของลอการิทึมประกอบไปด้วย สมการพหุนามคุณลักษณะ α_i , ค่าครรชนีเสถียรภาพ γ_i และค่าคงตัวเวลาสมมูล τ ในขณะที่แกนนอนของแผนผังจะแสดงถึงอันดับ i ที่สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์แต่ละตัว การสร้างแผนผังสัมประสิทธิ์สามารถแสดงได้ดังนี้

ถ้ากำหนดให้สมการพหุนามคุณลักษณะ $P(s)$ ของระบบควบคุมคือ

$$P(s) = 0.25s^5 + s^4 + 2s^3 + 2s^2 + 2 + 0.2 \quad (3.26)$$

จากสมการ (3.26) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ α_i และพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธี CDM ดังนี้

$$\alpha_i = [0.25 \quad 1 \quad 2 \quad 2 \quad 1 \quad 0.2] \quad (3.26 \text{ a})$$

$$\gamma_i = [2 \quad 2 \quad 2 \quad 2.5] \quad (3.26 \text{ b})$$

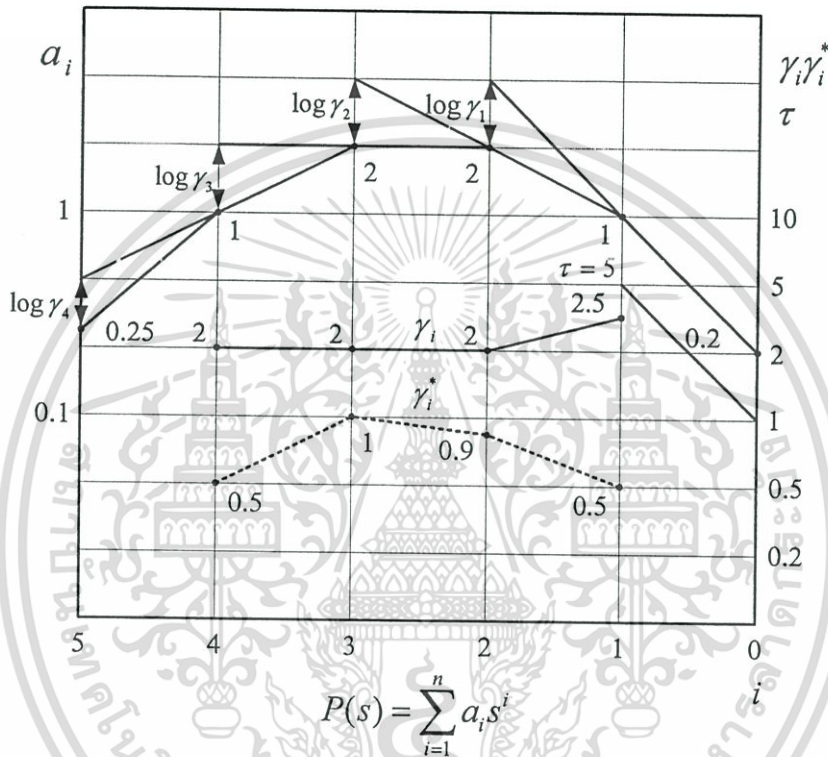
$$\gamma_i^* = [0.5 \quad 1 \quad 0.9 \quad 0.5] \quad (3.26 \text{ c})$$

$$\tau = 5 \quad (3.26 \text{ d})$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ α_i , ค่าคงตัวเวลาสมมูล τ , ค่าครรชนีเสถียรภาพ γ_i และค่าจำกัดเสถียรภาพ γ_i^* จะแสดงในแผนผังสัมประสิทธิ์ในรูปที่ 3.3 จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อนำเอาค่าจำกัดครรชนีเสถียรภาพ γ_i และค่าจำกัดเสถียรภาพมาเปรียบเทียบกัน ทำให้ทราบถึงความคงทน (Robustness) ต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ เนื่องจากค่าครรชนีเสถียรภาพเป็นฟังก์ชันของสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะ ดังนั้นระยะห่างระหว่างค่าครรชนีเสถียรภาพ γ_i และค่าจำกัดครรชนีเสถียรภาพ γ_i^* จึงเป็นตัวแสดงให้เห็นถึงระดับความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

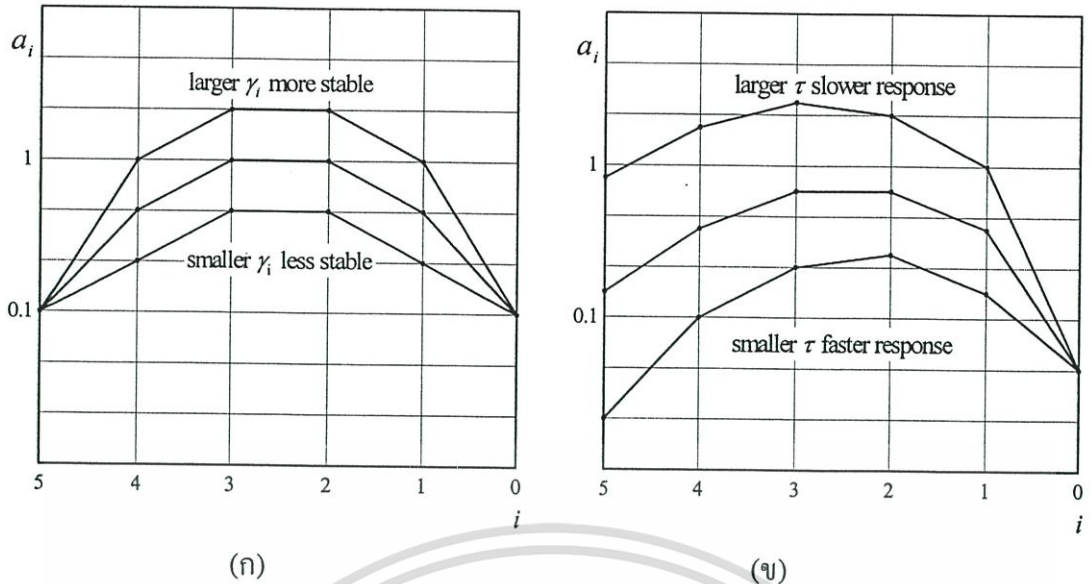
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พหุนามคุณลักษณะ ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ แสดงให้เห็นได้ว่าถ้าระยะห่างระหว่าง γ_i และ γ_i^* ห่างมากขึ้นหรือมีค่ามากขึ้น ระบบควบคุมจะทนต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ได้มากขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถตรวจสอบความคงทนของระบบควบคุมได้อีกวิธีหนึ่งคือการต่อเส้นเชื่อมเป็นเส้นตรงจากสัมประสิทธิ์อันดับต่ำไปสู่สัมประสิทธิ์อันดับที่สูงกว่าเท่ากับสอง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นการหาค่าครรชนีเสถียรภาพอีกวิธีหนึ่ง โดยระบบที่มีความคงทนมากจะมีเส้นกราฟของค่าสัมประสิทธิ์ที่มีความโค้งมาก สอดคล้องกับค่า γ_i ที่มาก



รูปที่ 3.3 แผนผังสัมประสิทธิ์

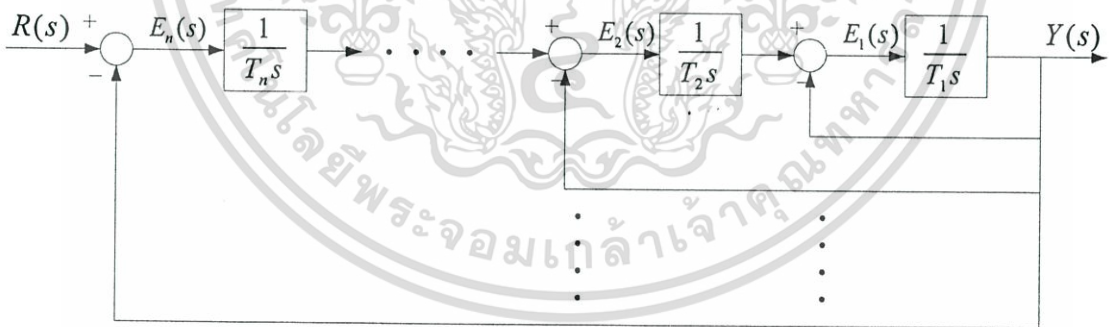
จากแผนผังค่าสัมประสิทธิ์ สามารถสรุปได้ว่าระบบควบคุมจะมีเสถียรภาพมากขึ้น ถ้าเส้นกราฟค่าสัมประสิทธิ์มีความโค้งมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า γ_i ที่มากขึ้น และจะมีเสถียรภาพลดลงเมื่อความโค้งของเส้นกราฟลดลง แสดงได้ดังรูป 3.4 (a) และถ้าเส้นกราฟมีความลาดเอียงทางซ้ายมากขึ้น ค่าคงตัวเวลาสมมูล τ จะมีค่าลดลงซึ่งผลตอบสนองของระบบจะเร็วขึ้น ในทางกลับกันถ้าเส้นกราฟมีความลาดเอียงน้อย จะทำให้ค่า τ เพิ่มขึ้นและความเร็วของผลตอบสนองจะลดลง แสดงได้ดังรูป 3.4 (b) ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบควบคุมได้จากแผนผังค่าสัมประสิทธิ์เพียงแผนผังเดียว



รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงของครรชนีเสถียรภาพและค่าเวลาคงตัวสมมูลย์สอดคล้องกับเสถียรภาพ และผลตอบสนองของระบบ

3.3 ทฤษฎีของ Kessler's Multiloop Structure (MLS)

การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี CDM เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีของ MLS ซึ่งวิธีของ MLS จะกำหนดโครงสร้างของตัวควบคุมเป็นตัวควบคุมแบบ I และเป็นวงรอบอันดับ n แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 และฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งหมดสำหรับโครงสร้างของตัวควบคุมแบบ I จำนวน n ตัวคือ



รูปที่ 3.5 โครงสร้างตัวควบคุมของวิธี Kessler's MLS

$$G_{cl}(s) = \frac{1}{(T_n T_{n-1} \dots T_1) s^n + \dots + (T_n T_{n-1}) s^2 + T_n s + 1} \tag{3.27}$$

โดย T_i คือค่าเวลาคงตัวของตัวควบคุมแบบ I จากฟังก์ชันถ่ายโอนในสมการ (3.27) แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะสามารถเลือกได้ตามที่ต้องการ โดยทำการปรับค่า T_i ดังนั้นจึงเป็นการวางโพลตามที่ต้องการทางอ้อมด้วย จากการวิเคราะห์จะสังเกตเห็นได้ว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีของ MLS นั้นอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวเวลาสมมูล T_i ของตัวควบคุมแบบ I กับความถี่หักมุมของผลตอบสนองต่อขนาด ซึ่งการเลือกความถี่หักมุมที่เหมาะสมนั้นเป็นวัตถุประสงค์ในการออกแบบด้วยวิธี MLS

ในส่วนต่อไป จะศึกษาถึงผลตอบสนองทางความถี่ของวิธี MLS ซึ่งมีความสัมพันธ์กันกับวิธีของ CDM โดยการศึกษานี้จะเริ่มด้วยการวิเคราะห์วงรอบของตัวควบคุมแบบ I วงในสุดก่อน จากนั้นจึงทำการศึกษาต่อไปจนกระทั่งโครงสร้างของตัวควบคุมแบบ I มีจำนวน n ตัว สำหรับในการศึกษานี้จะสมมุติให้ $T_{i+1} > T_i$

3.3.1 วงรอบตัวควบคุมแบบ I วงที่ 1

วงรอบตัวควบคุมแบบ I วงในสุด $G_{o1}(s) = \frac{1}{T_i s}$ ประกอบด้วยโพลที่จุดศูนย์กลางกับอัตราขยายขนาด $1/T_i$ ซึ่งสอดคล้องกับขนาดและมุมเฟสดังนี้

$$\begin{aligned} |G_1(s)| &= 20 \log \frac{1}{T_1} + 20 \log \left| \frac{1}{j\omega} \right| \\ &= -20 \log T_1 - 20 \log \omega \end{aligned} \quad (3.28)$$

$$\angle G_1(s) = \angle \frac{1}{j\omega} = -90^\circ \quad (3.29)$$

ความถี่เกณฑ์ครอส โอเวอร์ ω_c จะสอดคล้องกับการคำนวณต่อไปนี้

$$\begin{aligned} -20 \text{dB/dec} &= \frac{20 \log \frac{1}{T_1} - 0}{\log 1 - \log \omega_c} \\ &= \frac{20 \log \frac{1}{T_1}}{-\log \omega_c} \\ \log \omega_c &= \log \frac{1}{T_1} \\ \omega_c &= \frac{1}{T_1} \end{aligned} \quad (3.30)$$

เมื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$G_{cl1}(s) = \frac{1}{T_1s + 1} \quad (3.31)$$

ผลตอบสนองต่อขนาดที่สอดคล้องกับความถี่หักมุม $\omega_1 = 1/T_1$ จะมีขนาดเท่ากับ $-3dB$ และผลตอบสนองต่อขนาดสามารถประมาณเป็นเส้นตรงได้โดยเริ่มวาดจากขนาด $0dB$ ไปจนถึงความถี่ ω_1 และผลตอบสนองต่อขนาดจะลดลง $20dB/dec$ สำหรับความถี่ที่สูงกว่า ω_1

3.3.2 วงรอบตัวควบคุมแบบ I วงที่ 2

โดยทำการต่อตัวควบคุมแบบ I ตัวที่ 2 เข้ากับตัวควบคุมแบบ I ตัวที่ 1 ฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดของกระบวนการสามารถแสดงได้ดังนี้

$$G_{ol2}(s) = \frac{1}{T_2s(T_1s + 1)} \quad (3.32)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดคือ

$$G_{cl2}(s) = \frac{1}{T_2(T_1s + 1) + 1} \quad (3.33)$$

การประมาณความเป็นเส้นตรงของผลตอบสนองต่อขนาดสำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงเปิดของ $G_{ol2}(s)$ ประกอบด้วยเส้นตรง 2 เส้นด้วยกัน โดยเส้นแรกมีขนาด $-20dB/dec$ ที่ความถี่ครอสโอเวอร์ $\omega_2 = 1/T_2$ และเส้นที่สองมีขนาด $-40dB/dec$ ที่ความถี่สูงมากกว่า $\omega_1 = 1/T_1$ และเมื่อทำการวิเคราะห์ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงปิด ผลตอบสนองต่อขนาดจะมีค่า $0dB$ ไปจนถึงความถี่ $\omega_2 = 1/T_2$ และที่ความถี่ $\omega_2 = 1/T_2$ ผลตอบสนองต่อขนาดจะลดลง $20dB/dec$ ไปจนถึงความถี่ $\omega_1 = 1/T_1$ และสำหรับความถี่ที่สูงกว่า $\omega_1 = 1/T_1$ ผลตอบสนองต่อขนาดจะลดลง $40dB/dec$

3.3.3 วงรอบตัวควบคุมแบบ I วงที่ n

ฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดสำหรับวงรอบตัวควบคุมแบบ I วงที่ n สามารถแสดงได้ดังนี้

$$G_{on}(s) = \frac{1}{(T_n \dots T_1)s^n + \dots + T_n T_{n-1}s^2 + T_n s} \quad (3.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

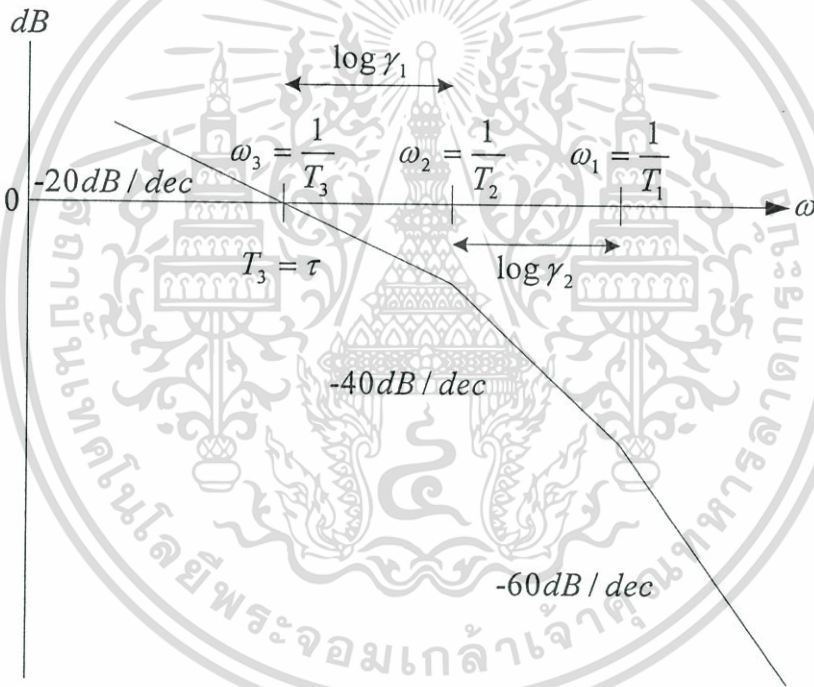
และฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดคือ

$$G_d(s) = \frac{1}{(T_n \dots T_1)s^n + \dots + T_n T_{n-1}s^2 + T_n s + 1}$$

$$= \frac{1}{a_n s^n + \dots + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (3.35)$$

$$P(s) = a_n s^n + \dots + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 \quad (3.36)$$

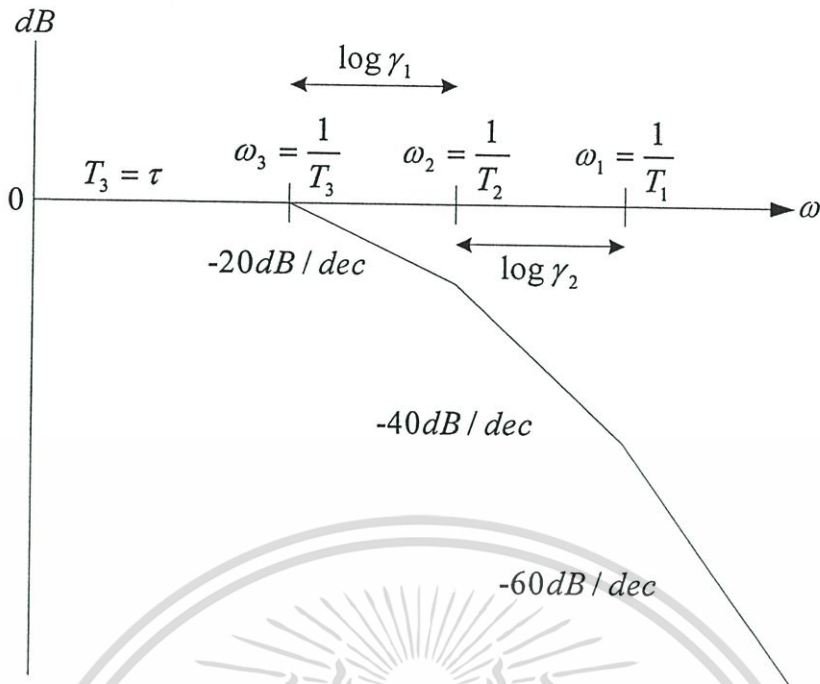
โดย $P(s)$ คือสมการพหุนามคุณลักษณะ, $\omega_i = 1/T_i$ สำหรับ $i=1, \dots, n$ คือความถี่หักมุม และจุดหักมุมนี้จะต่อเนื่องกันจากความถี่ต่ำไปสู่ความถี่สูงคือ $\omega_n, \omega_{n-1}, \dots, \omega_2, \omega_1$



รูปที่ 3.6 ผลตอบสนองต่อขนาดของระบบอันดับ 3 สำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดตามวิธีของMLS

สำหรับตัวอย่างการประมาณเส้นตรงของผลตอบสนองต่อขนาดสำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงเปิดอันดับ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ผลตอบสนองต่อขนาดจะมีขนาด 20dB/dec โดยเริ่มจากช่วงความถี่ต่ำไปจนถึงความถี่ ω_n และในช่วงความถี่สูงขึ้นไปผลตอบสนองต่อขนาดจะลดลงอีก 20dB/dec เมื่อพบกับความถี่หักมุมแต่ละจุด ในขณะเดียวกันผลตอบสนองต่อขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงปิดอันดับ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 จากความถี่ต่ำไปสู่ความถี่สูงผลตอบสนองต่อขนาดคือ 0dB และเริ่มลดลง 20dB/dec เมื่อพบกับความถี่หักมุมแต่ละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ผลตอบสนองต่อขนาดของระบบอันดับ 3 สำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดตามวิธีของ MLS

3.4 ความคล้ายคลึงกันของวิธี CDM กับวิธี MLS

ในการอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิธี CDM กับวิธี MLS นั้น พารามิเตอร์ของวิธี CDM (γ_i และ τ) กับพารามิเตอร์ของวิธี MLS (T_i) จะถูกอธิบายผ่านสมการ (3.12) โดยขั้นแรกแทนพารามิเตอร์ของวิธี MLS ในรูปแบบสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะ ต่อมาแทนสัมประสิทธิ์ของวิธี CDM จะเห็นได้ว่ากรณีเสถียรภาพของวิธี CDM คืออัตราส่วนของค่าเวลาคงตัวของตัวควบคุมแบบ I

พารามิเตอร์ของวิธี MLS

พารามิเตอร์ของวิธี CDM

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 1 & \gamma_1 &= \frac{a_1^2}{a_0 a_2} = \frac{T_n}{T_{n-2}} \\
 a_1 &= T_n & \gamma_2 &= \frac{a_2^2}{a_1 a_3} = \frac{T_n}{T_{n-2}} \\
 a_2 &= T_n T_{n-1} & & \\
 a_3 &= T_n T_{n-1} T_{n-2} & & \\
 &\vdots & & \\
 a_n &= \prod_{i=1}^n T_i & \gamma_n &= \frac{a_n^2}{a_0 a_2} = \frac{T_n}{T_{n-2}}
 \end{aligned} \tag{3.37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการทั่วไปคือ

$$a_i = \prod_{k=n-1+i}^n T_k \quad (3.38)$$

$$\gamma_i = \frac{T_{n-1+i}}{T_{n-1}} \quad (3.39)$$

$$\tau = T_n \quad (3.40)$$

สำหรับตัวอย่าง เราสามารถเลือกจุดหักมุมสองจุด ω_1, ω_2 ตามที่ต้องการได้ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} \quad (3.41)$$

$$\omega_2 = \frac{1}{T_2} \quad (3.42)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{n-1} &= \frac{T_2}{T_1} \\ &= \frac{1/\omega_2}{1/\omega_1} \\ &= \frac{\omega_1}{\omega_2} \end{aligned} \quad (3.43)$$

$$\log \gamma_{n-1} = \log \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3.44)$$

ผลตอบสนองต่อขนาดจะอยู่ในรูปของลอการิทึม โดย $\log \omega_1 - \log \omega_2$ คือระยะห่างระหว่าง ω_1 และ ω_2 ดังนั้นค่าครรชนีเสถียรภาพ γ_i ก็คือ อินเวอร์สของระยะห่างระหว่างจุดหักมุมนั่นเอง

$$\begin{aligned} \log \gamma_{n-1} &= \log \omega_1 - \log \omega_2 = \text{ระยะห่าง} \\ \gamma_{n-1} &= 10 \end{aligned} \quad (3.45)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างวิธี CDM และวิธี MLS สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าครรชนีเสถียรภาพ γ_i คือระยะห่างระหว่างจุดหักมุม 2 จุดที่ต่อเนื่องกัน
2. ค่าคงตัวเวลาสมมูล τ เทียบเท่ากับ T_n โดยเป็นอินเวอร์สของ $\omega_n = 1/T_n$ ซึ่งก็คือความถี่จุดหักมุมที่ต่ำที่สุด และสอดคล้องกับความถี่เกณฑ์ของฮอเวอร์ ω_c ของผลตอบสนองต่อขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบวงปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 คุณลักษณะผลตอบสนองทางความถี่ของวิธี CDM และวิธี MLS

ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างวิธี CDM กับวิธีของ MLS ในทางความถี่ ในขณะที่วิธีของ MLS ทำการจัดการกับตำแหน่งของจุดหักมุม แต่วิธี CDM ใช้ระยะห่างระหว่างจุดหักมุมเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของระบบ อย่างไรก็ตามสมรรถนะของระบบควบคุมโดยส่วนใหญ่แล้วก็ยังขึ้นอยู่กับรูปทรงผลตอบสนองทางความถี่ ซึ่งสิ่งนี้เองเป็นสิ่งที่กระตุ้นให้เกิดเทคนิคการออกแบบตัวควบคุมที่เรียกว่า Loop-Shaping และในช่วงต้นทศวรรษ 1950 Tustin, Chestnut [5] และ Bode ได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองทางความถี่และสมรรถนะของระบบควบคุม

พิจารณาโครงสร้างอันดับ n ของวิธี MLS ด้วยจุดหักมุม $1/T_n, 1/T_{n-1}, \dots, 1/T_2, 1/T_1$ จากความถี่ต่ำไปสู่ความถี่สูง สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ถ้าระยะห่างระหว่างจุดหักมุมถูกแบ่งได้ดี เมื่อนั้นผลตอบสนองต่อขนาดของระบบควบคุมจะประมาณเป็นเส้นตรงได้ จากผลตอบสนองของระบบแบบวงปิดสามารถสังเกตได้ดังนี้

1. ผลตอบสนองต่อขนาดในช่วงความถี่เกินครอสโอเวอร์ ω_c คือ $-20dB/dec$ ซึ่งเป็นการออกแบบให้ระบบมีเสถียรภาพ โดย Bode ได้กล่าวไว้ว่า สำหรับระบบที่มีเสถียรภาพ นั้นผลตอบสนองต่อขนาดในช่วงใกล้ความถี่เกินครอสโอเวอร์ไม่ควรมากกว่า $-40dB/dec$
2. Bode ยังได้กล่าวอีกว่า ผลตอบสนองต่อขนาดจากความถี่ต่ำไปสู่ความถี่สูงควรที่จะเป็นเส้นที่ราบเรียบ โดยสมมุติให้ γ_i ทุกอันดับมีค่าเท่ากันและค่าของ γ_i ทุกอันดับต้องมากกว่า 1.5 สำหรับระบบที่มีเสถียรภาพ ดังนั้นจุดหักมุมของระบบที่มีเสถียรภาพจะถูกแบ่งโดยระยะห่างอย่างน้อยที่สุดคือ $10^{1.5}$ และเนื่องจากผลตอบสนองต่อขนาดของระบบควบคุมนั้นลดลง $20dB/dec$ ที่จุดหักมุมแต่ละจุด ดังนั้นวิธี CDM จึงให้ผลที่น่าพอใจตามที่ต้องการของ Bode ในด้านผลตอบสนองต่อขนาดที่ราบเรียบ
3. ผลตอบสนองต่อขนาดที่ความถี่สูง (จาก $\omega_1 = 1/T_1$ ถึง ∞) คือ $-20 \cdot n dB/dec$ ระบบควบคุมจะทำหน้าที่เหมือนตัวกรองความถี่ต่ำ โดยจะลดทอนสัญญาณความถี่สูง เช่น สัญญาณรบกวน เนื่องจาก n คืออันดับของระบบควบคุม ดังนั้นระบบที่มีอันดับสูงๆ จะมีคุณลักษณะของความถี่คัตออฟที่ตีมาก

ในปี 1951 Chestnut [8] ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับแผนผังสมรรถนะที่อธิบายถึงความสัมพันธ์กันของผลตอบสนองที่สภาวะชั่วคราวและผลตอบสนองที่สภาวะคงตัวสำหรับระบบเชิงเส้นแบบวงเปิดต่อคุณลักษณะของการลดทอนสัญญาณในทางความถี่ โดยแผนผังนี้ได้ทำการวาดรูปฟังก์ชันของอัตราส่วนจุดหักมุมและผลตอบสนองต่อขนาดที่ประมาณเป็นเส้นตรง เมื่อทำการประยุกต์แผนผังสมรรถนะนี้กับวิธีของ CDM จะได้ความสัมพันธ์ของวิธี CDM กับผลตอบสนองทางความถี่ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สมรรถนะของระบบควบคุมจะได้รับผลกระทบมากที่สุด ในช่วงที่ผลตอบสนองต่อขนาดเข้าใกล้ $0dB$ ซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ γ_1 และ γ_2 ในวิธีของ CDM จากสมการ 3.15 แสดงให้เห็นได้ว่า สมการพหุนามคุณลักษณะทั้งหมด $(a_n, a_{n-1}, \dots, a_2, a_1)$ จะได้รับผลกระทบมาจาก γ_1 และ γ_2 ดังนั้น เราจะเรียก γ_1 และ γ_2 ว่า γ อันดับต่ำ
2. ระบบควบคุมจะมีเสถียรภาพน้อยลงเมื่อผลตอบสนองต่อขนาดในช่วง $0dB$ (ω_{n-1}/ω_n) นั้นลดลง โดยผลลัพธ์ของผลตอบสนองต่อความถี่และผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันได จะมีขนาดและค่าพุ่งเกินที่มากขึ้น จากวิธีของ CDM ความกว้างของช่วงความถี่นี้ก็คือ $\log \gamma_1$ นั่นเอง โดยจากตัวอย่างการออกแบบหลายๆตัวอย่างพบว่า ค่า γ_1 ที่สูงจะทำให้ค่าเกนมาร์จินและค่าเฟสมาร์จินของระบบมากขึ้นด้วย
3. ค่าต่ำๆของอัตราส่วน (ω_1/ω_n) จะสอดคล้องกับระบบที่มีการออสซิลเลชันสูงและอัตราการหน่วงต่ำ ในเทอมพารามิเตอร์ของวิธี CDM อัตราส่วนนี้จะสมมูลกับสมการ $\sum_{i=1}^n \gamma_i$ ซึ่งหลังจากนี้จะเรียกว่า γ_i ผลตอบสนองต่อขนาดทั้งหมดสามารถวัดและแทนให้อยู่ในรูปของระยะห่างทั้งหมดระหว่างจุดหักมุมที่ความถี่ต่ำที่สุดและจุดหักมุมที่ความถี่สูงที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี MLS จะสังเกตเห็นได้ว่า ถ้า γ_i มีค่าน้อยๆ จะทำให้ผลตอบสนองต่อขนาดเกิดเรโซแนนซ์ที่ผิดในทางความถี่ ซึ่งสอดคล้องกับการมีค่าพุ่งเกินที่สูงและการเกิดออสซิลเลชันในทางผลตอบสนองทางเวลา ในทางทฤษฎีแล้วถ้าออกแบบระบบควบคุมโดยแบ่งระยะห่างระหว่างจุดหักมุมได้ดี จะทำให้ผลตอบสนองต่อขนาดหรือผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดนั้นมีค่าพุ่งเกินและการออสซิลเลชันที่ต่ำ

3.5 การเลือกพารามิเตอร์ของวิธี CDM

ในส่วนที่แล้วได้อธิบายถึงความสำคัญของตำแหน่งจุดหักมุมในทางความถี่ และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนองที่สภาวะชั่วคราวของระบบควบคุม ซึ่งในส่วนนี้จะอธิบายถึงการเลือกพารามิเตอร์ γ_i และ τ ของวิธี CDM โดยแนวคิดพื้นฐานนี้ก็คือการเลือกวางจุดหักมุมที่ทำให้ค่าเรโซแนนซ์ที่ผิดและค่าพุ่งเกินของระบบควบคุมต่ำที่สุดนั่นเอง เมื่อทำการพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนป้อนกลับของตัวควบคุมแบบ I อันดับ 1 ตามวิธีของ MLS อีกครั้งหนึ่งจะได้ว่า

$$G_{cl1}(s) = \frac{1}{T_1 s + 1} \quad (3.46)$$

$$T_1 = \frac{1}{\omega_1} = 1 \quad (3.47)$$

$$\begin{aligned} |G_{cl1}(s)| &= -20 \log |1 + s| \\ &= -20 \log \sqrt{1 + \omega^2} \end{aligned} \quad (3.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยผลตอบสนองต่อขนาดที่ความถี่ ω_1 จะประมาณเท่ากับ $-3dB$ ดังได้อธิบายในส่วนที่แล้วว่า ผลตอบสนองต่อขนาดจะประกอบด้วยเส้นตรงที่ทำการประมาณขึ้นมาถ้าแบ่งระยะห่างระหว่างจุดหักมุมได้ดี เนื่องจากอัตราความถี่นั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลรวมระยะห่างทั้งหมดของจุดหักมุม γ_i ดังนั้นค่าพ่วงเกินและอัตราความถี่จึงกลายเป็นค่าที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนกับผลรวมระยะห่างทั้งหมด γ_i ถ้าทำการเพิ่มจุดหักมุมขึ้นมาโดยเลือกวาง ω_2 ที่ความถี่ซึ่งทำให้ $|G_{ch}(s)| < -1dB$ จะต้องกำหนดให้ $\omega_2 \leq 0.509$ เมื่อนั้นระยะห่างระหว่าง ω_1 และ ω_2 คำนวณได้โดย $\log \omega_1 - \log \omega_2 \geq 0.293$ ซึ่งสามารถแปลงได้เป็น $\gamma_{n-1} \geq 10^{0.293} = 1.931$

โดยทั่วไปแล้วถ้ากำหนดให้ $\gamma_i = 2$ จะทำให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพที่ดีและผลตอบสนองของสถานะชั่วครู่จะราบเรียบ อย่างไรก็ตามผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดจะมีค่าพ่วงเกินประมาณ 6% โดยการจำลองการทำงานโดย Prof. Manabe พบว่าค่าพ่วงเกินสามารถลดลงเป็นศูนย์ได้โดยกำหนดให้ $\gamma_1 = 2.5$ สำหรับผลตอบสนองทางความถี่การเพิ่ม γ_1 เป็น 2.5 ทำให้ระยะห่างระหว่างจุดหักมุมในช่วงความถี่ต่ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าเรโซแนนซ์พิกที่เพิ่มขึ้นกับผลตอบสนองต่อขนาดและเป็นผลให้เกิดค่าพ่วงเกินนั้นจะถูกกำจัดไป

การกำหนดพารามิเตอร์ของวิธี CDM ดังที่ได้อธิบายมานั้น สามารถเขียนได้อีกแบบหนึ่งโดยจะเรียกว่า รูปแบบของ Manabe (Manabe Form) และค่ามาตรฐานของ γ_i สำหรับวิธี CDM สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\gamma_{n-1} = \dots = \gamma_2 = 2, \quad \gamma_1 = 2.5 \quad (3.49)$$

และค่าเวลาเข้าที่สำหรับการออกแบบด้วยวิธี CDM คือ

$$t_s = 2.5\tau \sim 3\tau \quad (3.50)$$

จากสมการ (3.16) จะเห็นได้ว่าสมการพหุนามคุณลักษณะถูกอธิบายอยู่ในรูปกำลังของ τs และสัมประสิทธิ์อธิบายโดย γ_i ดังนั้นรูปทรงและความเร็วของผลตอบสนองสามารถพิจารณาได้โดยพารามิเตอร์ γ_i และ τ ตามลำดับ

คุณสมบัติพื้นฐานของค่าพารามิเตอร์ γ_i และ τ มาตรฐานสำหรับการออกแบบด้วยวิธี CDM สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ไม่มีค่าพ่วงเกินสำหรับกระบวนการที่เป็นแบบชนิด 1 และมีค่าพ่วงเกินประมาณ 40% สำหรับกระบวนการที่เป็นแบบชนิด 2
2. สำหรับระบบควบคุมที่มีค่าคงตัวเวลาสมมูลเท่ากันจะมีค่าเวลาเข้าที่น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่ไปยังประชาชนด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลตอบสนองต่อสัญญาณขึ้นบันไดมีลักษณะใกล้เคียงกัน ไม่ขึ้นกับอันดับของสมการพหุนามคุณลักษณะ
4. โพลของระบบควบคุมอันดับต่างๆจะวางตัวในแนวตั้งขนานกับแกนจินตภาพ ส่วนโพลของระบบควบคุมอันดับสูงจะอยู่ภายในบริเวณที่ล้อมรอบด้วยเส้นตรงที่ทำมุม $\pm 49.5^\circ$ จากแกนจริงลบ

ในการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี CDM ค่าครรชนีเสถียรภาพที่กำหนดให้ $\gamma_1 = 2.5$ และ $\gamma_2 = \gamma_3 = 2$ นั้นเป็นเพียงเงื่อนไขเบื้องต้นเพื่อให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพและได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามไม่จำเป็นต้องกำหนดให้ $\gamma_4 \sim \gamma_{n-1} = 2$ โดยสามารถแปลงค่าได้ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

$$\gamma_i > 1.5\gamma_i^* \quad \text{สำหรับ } i = 4 \sim n-1 \quad (3.51)$$

ดังนั้นผู้ออกแบบสามารถออกแบบตัวควบคุมได้อย่างอิสระ ในบางครั้งอาจจะเลือกให้ค่าครรชนีเสถียรภาพ γ_i มีค่าสูงๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความคงทนของระบบควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ จากเงื่อนไขเสถียรภาพโดย Lipatov ระบบควบคุมจะมีเสถียรภาพเมื่อครรชนีเสถียรภาพ γ_i ทุกค่ามีค่ามากกว่า 1.5 โดย Lipatov ได้พิสูจน์ไว้ใน [] และถ้าครรชนีเสถียรภาพ γ_i ทุกตัวมีค่ามากกว่า 4 โพลของระบบทั้งหมดจะอยู่บนแกนจริง ดังนั้นค่าครรชนีเสถียรภาพจึงถูกเลือกให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-4 แต่ในบางครั้งเมื่อพิจารณากระบวนการบางกระบวนการแล้วพบว่าค่าครรชนีเสถียรภาพที่มากกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งในกรณีนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องลดค่าครรชนีเสถียรภาพ γ_i เพื่อให้เป็นค่าเดียวกับค่ามาตรฐาน

3.6 การปรับแต่งพารามิเตอร์ของวิธี CDM

ในการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM นั้นการเลือกค่าพารามิเตอร์ γ_i และ τ นั้นเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากค่า γ_i จะเป็นตัวกำหนดเสถียรภาพและรูปทรงผลตอบสนองของระบบควบคุม ส่วน τ เป็นตัวกำหนดความเร็วหรือค่าเวลาเข้าที่ของระบบควบคุม โดยส่วนใหญ่แล้วในการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM เบื้องต้นนั้น จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามรูปแบบของ Manabe Form ซึ่งสามารถให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ดี คือมีไม่มีค่าพุงเกินและมีค่าเวลาเข้าที่ตามที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ตาม การกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามรูปแบบของ Manabe Form นั้นไม่สามารถใช้ได้กับทุกกระบวนการเสมอไป อาจจะต้องมีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ γ_i และ τ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ ซึ่งการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ γ_i และ τ จะแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

1. รูปทรงผลตอบสนองของระบบควบคุมได้ตามที่ต้องการ แต่ค่าเวลาเข้าที่ของระบบไม่ได้

ตามที่ต้องการ ซึ่งในกรณีนี้จะทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ τ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าเวลาเข้าที่ของระบบได้ตามที่ตามที่ต้องการ แต่รูปทรงผลตอบสนองของระบบไม่ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งในกรณีนี้จะทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ γ_i

โดยทั่วไปแล้ว การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ γ_i และ τ นั้นจะใช้วิธีการลองผิดลองถูกปรับไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ผลตอบสนองของระบบควบคุมตามที่ต้องการ ซึ่งอาจจะใช้ระยะเวลาที่นานและยุ่งยากเล็กน้อย ดังนั้นวิธีในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ γ_i และ τ ที่ง่ายแต่มีประสิทธิภาพจึงจำเป็น ซึ่งใน ส่วนต่อไปจะอธิบายถึงการปรับแต่งพารามิเตอร์ γ_i และ τ สำหรับแต่ละกรณี ดังที่ได้อธิบายมา

3.6.1 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ τ

เมื่อรูปทรงผลตอบสนองของระบบควบคุมได้ตามที่ต้องการ แต่ค่าเวลาเข้าที่ยังไม่ได้ตามที่ ต้องการ จำเป็นที่จะต้องทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ τ โดยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ τ นั้นสามารถ อธิบายได้ดังนี้

สมมติให้ $G_c(s)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดของระบบควบคุมที่ออกแบบไว้ในตอนแรกโดย

$$G_c(s) = \frac{a_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad a_i > 0 \text{ สำหรับ } i = 0 \sim n \quad (3.52)$$

สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะ, อัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะและครรชนีเสถียรภาพสามารถเขียนได้ในรูปแบบดังนี้

สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะ

$$A = [a_n \quad a_{n-1} \quad \dots \quad a_1 \quad a_0] \quad (3.53)$$

อัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะ

$$B = [b_{n-1} \quad b_{n-2} \quad \dots \quad b_1 \quad b_0] \quad (3.54)$$

ครรชนีเสถียรภาพ

$$C = [c_{n-2} \quad c_{n-3} \quad \dots \quad c_1 \quad c_0] \quad (3.55)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$$b_i = \frac{a_i}{a_{i+1}} \quad \text{สำหรับ } i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (3.56)$$

$$c_i = \frac{b_{i+1}}{b_i} \quad \text{สำหรับ } i = 0, 1, 2, \dots, n-2 \quad (3.57)$$

ทำการจัดสมการ (3.52) ใหม่ให้อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$G_{cl}(s) = \frac{a_0/a_n}{s^n + \frac{a_{n-1}}{a_n}s + \dots + \frac{a_1}{a_n}s + \frac{a_0}{a_n}} \quad (3.58)$$

จากสมการ (3.58) สามารถเขียนสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะให้อยู่ในรูปแบบของอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะได้ดังนี้

$$A = \left[1 \quad \prod_{i=n-1}^{n-1} b_i \quad \dots \quad \prod_{i=2}^{n-1} b_i \quad \prod_{i=1}^{n-1} b_i \right] \quad (3.59)$$

ถ้าทำการเพิ่มค่าอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะในสัดส่วนที่เท่ากันคือ k จะได้สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะดังนี้

$$A = \left[1 \quad k \prod_{i=n-1}^{n-1} b_i \quad \dots \quad k^{n-1} \prod_{i=2}^{n-1} b_i \quad k^n \prod_{i=1}^{n-1} b_i \right] \quad (3.60)$$

จากสมการ (3.59) และสมการ (3.60) จะสังเกตได้ว่าค่าครอชนี่เสถียรภาพยังเหมือนเดิม ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปก็คือค่าคงตัวเวลาสมมูล τ จากสมการ (3.60) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$G_{mcl}(s) = \frac{k^n a_0}{a_n s^n + k a_{n-1} s^{n-1} + \dots + k^{n-1} a_1 s + k^n a_0} \quad (3.61)$$

จากสมการ (3.61) จะสังเกตเห็นได้ว่า ค่า τ ของระบบควบคุมเปลี่ยนไปเป็น

$$\tau = \frac{1}{k} \left(\frac{a_1}{a_0} \right) \quad (3.62)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยถ้าทำการเพิ่มค่า k ขึ้นจะทำให้ค่า τ มีค่าน้อยลง ซึ่งก็คือผลตอบสนองของระบบควบคุมเร็วขึ้นและในทางกลับกันถ้าค่า k อยู่ในช่วง $0 < k < 1$ ผลตอบสนองของระบบควบคุมจะช้าลง

วิธีที่ใช้ในการปรับผลตอบสนองของระบบให้ได้ค่าเวลาเข้าที่ตามที่ต้องการทำได้โดยพิจารณาว่า จากเดิมค่าเวลาเข้าที่ของระบบควบคุมอยู่ที่ค่าเวลาเท่าไร จากนั้นให้เลือกค่าเวลาเข้าที่ที่ต้องการและทำการหาค่า k โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$k = \frac{t_{s,old}}{t_{s,new}} \quad (3.63)$$

โดย $t_{s,old}$ คือค่าเวลาเข้าที่ของระบบควบคุมเดิม และ $t_{s,new}$ คือค่าเวลาเข้าที่ของระบบควบคุมที่ต้องการ หลังจากที่ได้ค่า k แล้วนำไปแทนในสมการ (3.62) ก็จะได้ค่า τ ของระบบควบคุมค่าใหม่ออกมา

3.6.1 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ γ_i

ในกรณีที่ค่าเวลาเข้าที่ของระบบควบคุมได้ตามที่ต้องการ แต่รูปทรงผลตอบสนองของระบบควบคุม ไม่ได้ตามที่ต้องการนั้นจำเป็นที่จะต้องปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ γ_i โดยการปรับแต่งค่า γ_i นั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

สมมติให้ $G_{cl}(s)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดของระบบควบคุมที่ออกแบบไว้ในตอนแรก

โดย

$$G_{cl}(s) = \frac{a_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad a_i > 0 \text{ สำหรับ } i = 0 \sim n \quad (3.64)$$

โดยสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะ, อัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะและดรชนี้เสถียรภาพจะมีรูปแบบเดียวกับสมการ (3.53), (3.54) และ (3.55)

จัดสมการ (3.64) ใหม่ให้อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$G_{cl}(s) = \frac{1}{\frac{a_n}{a_0} s^n + \frac{a_{n-1}}{a_0} s^{n-1} + \dots + \frac{a_1}{a_0} s + 1} \quad (3.65)$$

จากสมการ (3.65) สามารถเขียนสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะให้อยู่ในรูปแบบของอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะได้ดังนี้

$$A = \left[\begin{array}{cccc} \frac{1}{\prod_{i=0}^{n-1} b_i} & \frac{1}{\prod_{i=0}^{n-2} b_i} & \dots & \frac{1}{\prod_{i=0}^1 b_i} & \frac{1}{\prod_{i=0}^0 b_i} \end{array} \right] \quad (3.66)$$

จากสมการ (3.66) สามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่งได้ดังนี้

$$A = \left[\begin{array}{cccc} 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ \left[\prod_{i=0}^{n-2} c_i \prod_{i=0}^{n-3} c_i \dots \prod_{i=0}^0 c_i \right] b_0^n & \left[\prod_{i=0}^{n-3} c_i \prod_{i=0}^{n-4} c_i \dots \prod_{i=0}^0 c_i \right] b_0^{n-1} & \dots & \frac{1}{b_0} & 1 \end{array} \right] \quad (3.67)$$

ถ้าทำการเพิ่มค่าดรชนีเสถียรภาพในสัดส่วนที่เท่ากันคือ k จะได้สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะใหม่ดังนี้

$$A = \left[\begin{array}{cccc} 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ \frac{1}{k^{\frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{2}}} \left[\prod_{i=0}^{n-2} c_i \prod_{i=0}^{n-3} c_i \dots \prod_{i=0}^0 c_i \right] b_0^n & \frac{1}{k^{\frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{2}}} \left[\prod_{i=0}^{n-3} c_i \prod_{i=0}^{n-4} c_i \dots \prod_{i=0}^0 c_i \right] b_0^{n-1} & \dots & \frac{1}{b_0} & 1 \end{array} \right] \quad (3.68)$$

จากสมการ (3.67) และสมการ (3.68) จะสังเกตได้ว่าค่า τ ยังคงเหมือนเดิมไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง โดยสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปก็คือค่าดรชนีเสถียรภาพ จากสมการ (3.68) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$G_{mcl}(s) = \frac{k^{\frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{2}} a_0}{a_n s^n + k^{n-1} a_{n-1} s^{n-1} + \dots + k^{\frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{2}n-1} a_1 s + k^{\frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{2}n} a_0} \quad (3.69)$$

วิธีการปรับผลตอบแทนของระบบควบคุมให้ได้รูปทรงตามที่ต้องการนั้น ไม่มีวิธีที่แน่นอนตายตัวเหมือนกับกรณีของการปรับ τ โดยในกรณีนี้จะต้องค่อยๆ ลองปรับค่า k จนกว่าจะได้รูปทรงผลตอบแทนที่ต้องการ ถ้าค่า $k > 1$ จะทำให้ผลตอบแทนของระบบควบคุมช้าลงและค่าพุงเกินก็จะลดลง แต่ถ้า $0 < k < 1$ จะทำให้ผลตอบแทนของระบบควบคุมเร็วขึ้นค่าพุงเกินก็จะมากขึ้น ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะต้องลองผิดลองถูกในการปรับค่า k แต่ก็ยังดีกว่าการปรับค่า γ_i โดยตรง เนื่องจากถ้าระบบควบคุมเป็นแบบอันดับสูงๆ ค่า γ_i ที่จะทำให้การปรับก็มากตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้รู้ปทรงแผลตบสนองของระบบควบคุมตามที่ต้องการแล้ว ค่าเวลาเข้าที่ของระบบควบคุมอาจจะมีค่าที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากอัตราการทำงานขงระบบควบคุมได้เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการปรับค่าเวลาเข้าที่ให้ได้ตามที่ต้องการอีกครั้งหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

Hardware และ Software สำหรับระบบควบคุมควบคุม

Rotary Positioner

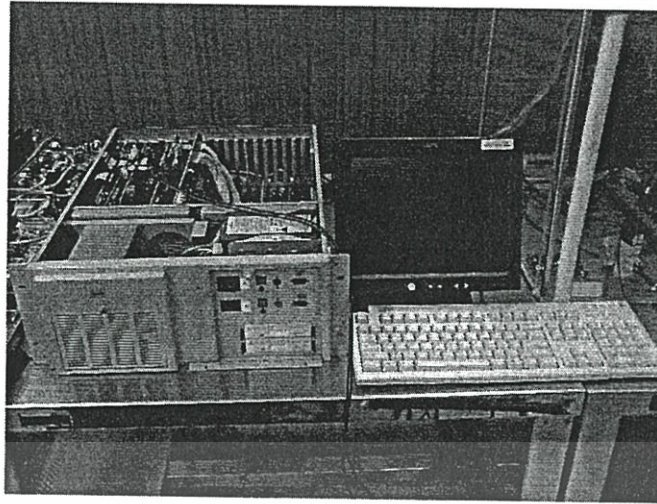
4.1 กล่าวนำ

หลังจากที่ได้ออกแบบพารามิเตอร์โดยใช้เทคนิคแผนผังสัมพันธ์สำหรับเลือกพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบตามที่ต้องการเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น เรานำพารามิเตอร์ดังกล่าวมาทดสอบและวัดผลโดยใช้ระบบควบคุมควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ที่ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 5 ส่วน ดังนี้

1. ไมโครคอมพิวเตอร์ (Micro Computer)
2. การ์ดควบคุม (Controller Cards) และ การ์ดขับเคลื่อน (Driver Cards)
3. เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์แบบ Non Clock Head
4. โปรแกรมควบคุมการทำงานและค่าพารามิเตอร์
5. กลไกการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ กับ เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์แบบ Non Clock Head

4.2 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (Micro Computer)

ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ Industry Computer ซึ่งเป็นเครื่องที่ออกแบบเฉพาะสำหรับงานอุตสาหกรรมซึ่งมีคุณสมบัติรองรับการทำงานแบบ 24 x7 และมีจำนวน Interface slot จำนวนมากกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลธรรมดา (Personal Computer) สำหรับใส่การ์ดควบคุมและการ์ดขับเคลื่อนต่างๆ



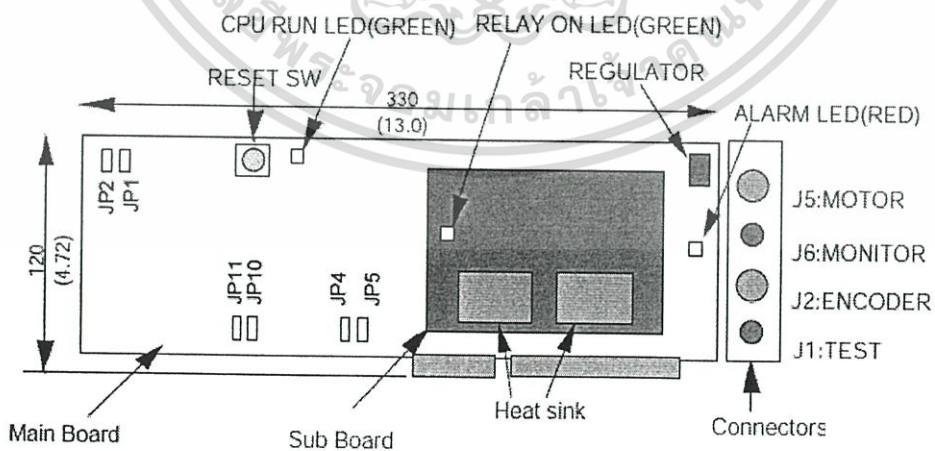
รูปที่ 4.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบ Industry Computer

4.3 การ์ดควบคุม (Controller Cards) และ การ์ดขับเคลื่อน (Driver Cards)

การควบคุมการทำงานและขับเคลื่อนเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์แบบ Non Clock Head จะอาศัยการ์ดควบคุม (Controller Cards) และ การ์ดขับเคลื่อน (Driver Cards) ดังนี้

4.3.1 การ์ดควบคุมหลัก SC-01H/PC

SC-01H/PC เป็นการ์ดควบคุมหลักที่ใช้ควบคุมการ์ดต่างๆที่ติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยผู้ควบคุมสามารถสั่งงานผ่าน Execution Program เพื่อให้เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์ทำงานตามคำสั่งที่กำหนดไว้ และการ์ด SC-01H/PC ยังทำหน้าที่ส่งข้อมูลการทำงานของเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์กลับไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น Alarm และ Status เป็นต้น



รูปที่ 4.2 การ์ดควบคุมหลัก SC-01H/PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESET SW : ปุ่ม SYSTEM RESET

CPU HALT LED : หากไฟ LED ดับแสดงว่า CPU อยู่ในสถานะ Halt ถ้าไฟ LED ติดสว่าง แสดงว่า CPU ทำงานปกติ

Relay ON LED : หากไฟ LED ติดสว่าง แสดงว่าวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์พร้อมทำงาน (Servo ON)

ALARM LED : หากไฟ LED ติดสว่าง แสดงว่าระบบกำลังแจ้งเตือนเหตุการณ์ไม่ปกติ

ในกรณีที่ LED ติดกระพิบ (ติด-ดับ) แสดงว่า สวิตช์ Reset ถูกกดหรือ Power supply กำลังเริ่มทำงาน

JP1, JP2, JP11 : ใช้สำหรับการ Debugging (ไม่ควร Short Jumper)

JP10 : เมื่อ Jumper ถูกเชื่อมต่อ เครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการ Hard Reset (ปกติ JP10 จะไม่ถูกเชื่อมต่อ)

JP4, JP5 : ใช้สำหรับเลือกตำแหน่ง (Address) บนหน่วยความจำ สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่าง เครื่องคอมพิวเตอร์กับการ์ด SC-01H/PC

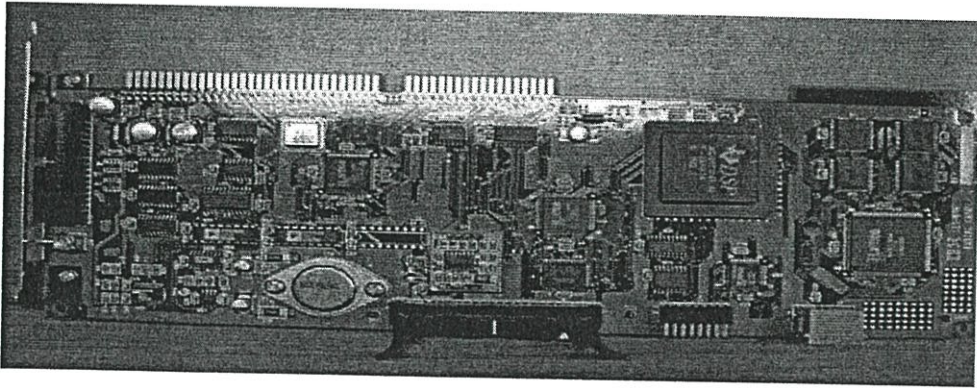
ตารางที่ 4.1 แสดงการเลือกตำแหน่ง Address บนหน่วยความจำ

JP4	JP5	Communication Address	Reset Address
ไม่เชื่อมต่อ	ไม่เชื่อมต่อ	0C8000	0700
เชื่อมต่อ	ไม่เชื่อมต่อ	0C8800	0F00
ไม่เชื่อมต่อ	เชื่อมต่อ	0D8000	1700
เชื่อมต่อ	เชื่อมต่อ	0D8800	1F00

4.3.2 Radial Card

เป็นการ์ดควบคุมเพื่อให้ระยะทาง (Radial) สัมพันธ์กับ Signal processing and control โดยการติดต่อสื่อสารกับ Signal Board Computer (SBC) โดยผ่านสายสัญญาณ AT Bus บนตัว Radial Card มี Digital Signal Processing (DSP) ประมวลผลขนาด 32 บิต ADC (A to D) ขนาด 12 บิต สำหรับสร้างสัญญาณ Ended Signal และ Diff. Signal ที่อ่านค่ากลับจาก VCM มี DAC (D to A) ขนาด 12 บิต สำหรับสร้างสัญญาณ Control high output amplifier เพื่อขับเคลื่อน VCM และ DAC ขนาด 8 บิต แบบขนานสำหรับสร้างสัญญาณ AGC control signal

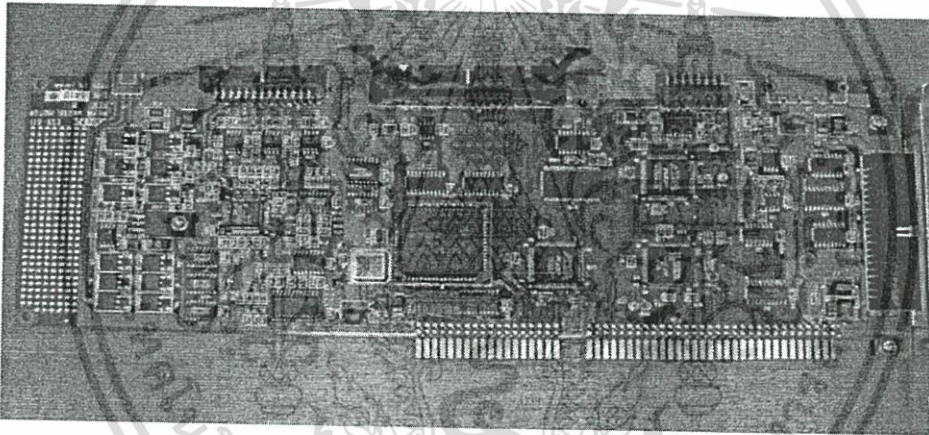
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 Radial Card

4.3.3 R/W Motor Card

เป็นการ์ดขับเคลื่อนที่ใช้ขับเคลื่อน Spindle Motor ขนาด 3 เฟส บนตัวการ์ดสามารถสร้าง Clock Pattern เพื่อใช้กระบวนการเขียน Gate และ Data Signal รวมทั้งยังสามารถ สร้างข้อมูลแบบอนุกรมสำหรับ AE

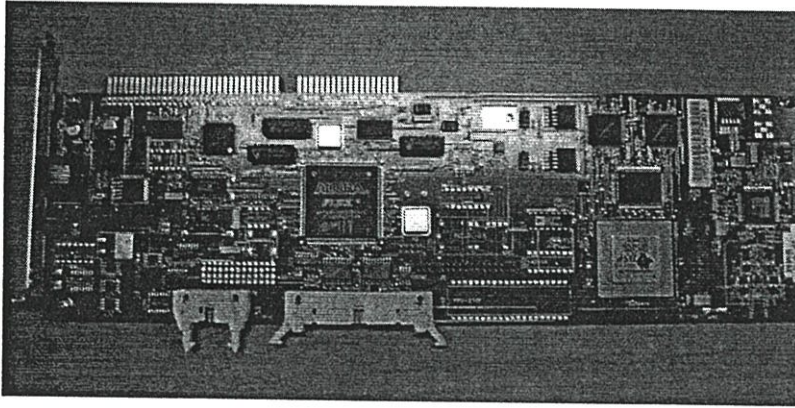


รูปที่ 4.4 R/W Motor Card

4.3.4 Clock Pattern Card

เป็นการ์ดที่ใช้สำหรับวัดช่วงสัญญาณ Read-out ด้วย Digital Counter และสร้างสัญญาณ Servo pattern พร้อมสัญญาณ Timing เพื่อใช้ในกระบวนการ การเขียน Servo Pattern

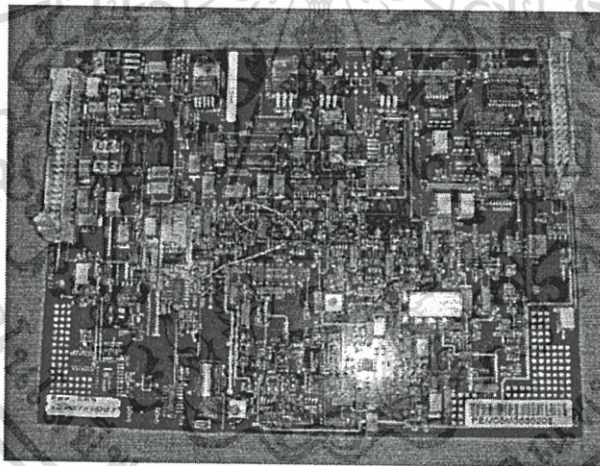
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 Clock Pattern Card

4.3.5 DE IF Card

เป็นการ์ดที่ใช้ควบคุม Gain สำหรับสัญญาณ Read-Out ตรวจสอบสัญญาณ Timing mark และ Envelop จากสัญญาณ Read-Out

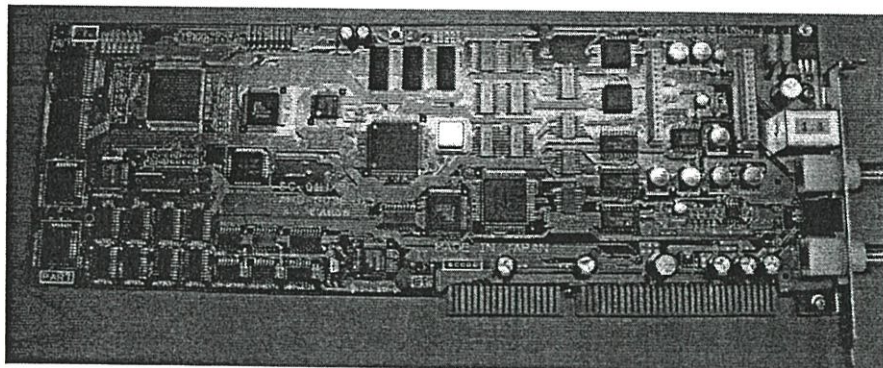


รูปที่ 4.6 DE IF Card

4.3.6 Positioner Control Card (System Controller: SC-01H/PC)

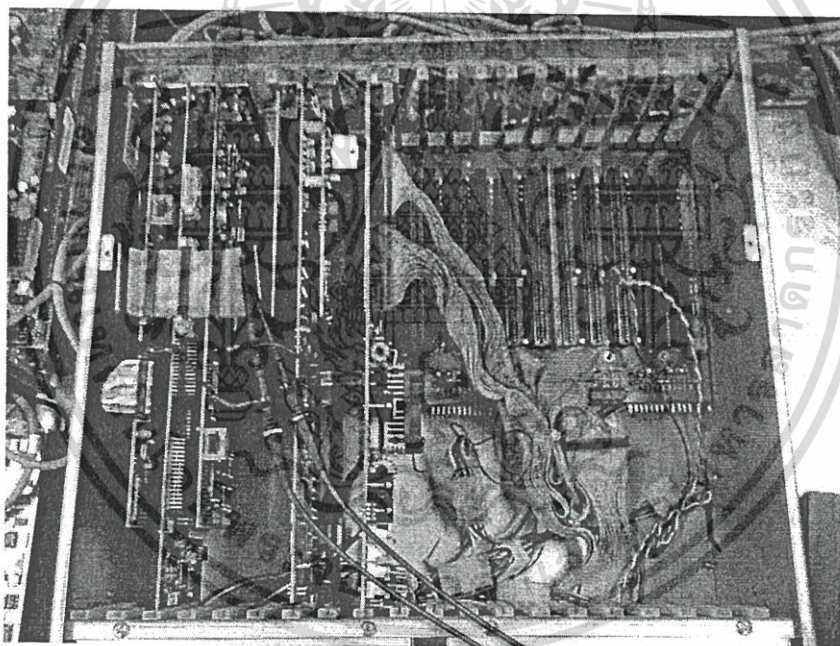
Positioner Control Card จะทำหน้าที่ เป็นตัวควบคุมที่จะสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมส่งให้กับชุดขับและให้สัญญาณควบคุมเอาต์พุตส่งไปยัง Rotary Positioner เพื่อขับเคลื่อนตัว pusher ให้พาหัวอ่าน/เขียน เคลื่อนที่ไป โดยระยะการเคลื่อนที่เชิงมุมที่เกิดขึ้น จะถูกวัดและป้อนกลับจาก encoder เข้าสู่ชุดปรับแต่งสัญญาณ ภายในบอร์ดและส่งผ่านไปยังตัวควบคุม เพื่อคำนวณหาค่าสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม ที่สามารถทำให้หัวอ่าน/เขียน อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 Positioner Control Card

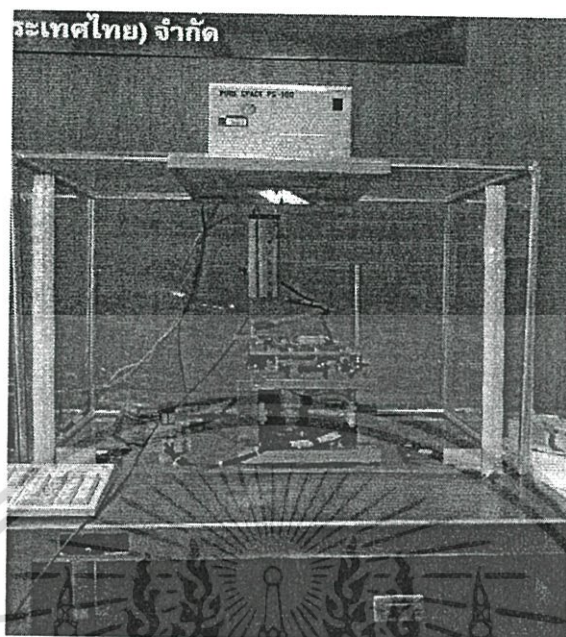
การ์ดควบคุม (Controller Cards) และ การ์ดขับเคลื่อน (Driver Cards) ที่ได้กล่าวข้างต้นถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ Interface Slot (ISA) ซึ่งทำให้โปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถสั่งงานและส่งค่าพารามิเตอร์ควบคุม โดยผ่าน Interface Slot ได้



รูปที่ 4.8 การเชื่อมต่อการ์ดควบคุมและการ์ดขับเคลื่อนเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head



รูปที่ 4.9 เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์แบบ Non Clock Head

เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์แบบ Non Clock Head จะเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ กับชุดการ์ดควบคุม (Controller Cards) และ การ์ดขับเคลื่อน (Driver Cards) ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อควบคุมการทำงานของ Rotary Positioner เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์แบบ Non Clock Head มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

Unit Clamp เป็นส่วนที่ช่วยในการยึดจับฮาร์ดดิสก์ไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ขณะอยู่ในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์

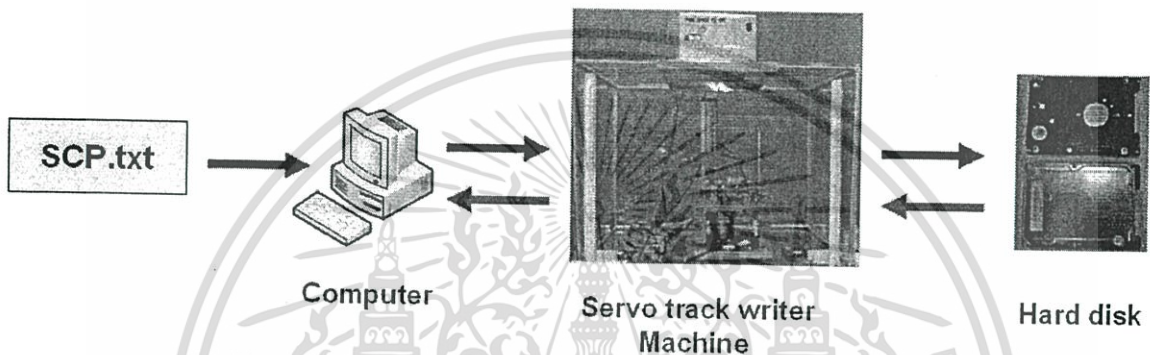
โซลินอยด์ วาล์ว (Solenoid valve) ควบคุมการ Load และ Unload ของ Clamp ซึ่งทำงานได้โดยใช้ระบบนิวเมติกส์

Rotary Positioner ขับเคลื่อนตัว pusher ให้พาหัวอ่าน/เขียน เคลื่อนที่ไป

Clean Boot เนื่องจากกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์โดยใช้เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head ต้องดำเนินการในสถานะแวดล้อมที่ปราศจากฝุ่นหรือสิ่งสกปรก เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกับฮาร์ดดิสก์ใดๆ

4.5 โปรแกรมควบคุมการทำงานและค่าพารามิเตอร์ใน SCP.txt

ในกระบวนการตั้งงานและควบคุมเครื่องเขียนสัญญาณโวเทร็กซ์แบบ Non Clock Head ผู้ควบคุมจะสั่งงานผ่าน Execution Program ที่เขียนด้วยภาษา C ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคแผนผังสัมพันธ์ (CDM) จะถูกกำหนดค่าไว้ในไฟล์ชื่อ SCP.txt เมื่อผู้ควบคุมเริ่มต้นสั่งงานโดยการ Run โปรแกรม Execution บนเครื่องคอมพิวเตอร์ โปรแกรม Execution จะอ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากไฟล์ SCP.txt เพื่อกำหนดค่าการทำงานของการ์ดควบคุม (Controller Cards) และ การ์ดขับเคลื่อน (Driver Cards) กระบวนการบนเครื่องเขียนสัญญาณโวเทร็กซ์จึงเริ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 กระบวนการตั้งงานและควบคุมเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวเทร็กซ์

4.5.1 โปรแกรมตั้งงานและควบคุม

```
E:\NCH :> c:
C:\> cd dpc
C:\DPC>copy *.* e:
C:\DPC>cd\
C:\cd nch
C:\NCH>copy *.bat e:\nch
C:\NCH>e:
E:\NCH>preload
E:\NCH>slod
E:\NCH>makeramp
** ใ้ unit + จด serial unit 8 ตัว
E:\NCH>s ( VCM ไม่เกิน 16 ohm)
--> head ( RC ต้องเป็น 0000 )
--> ppro (เริ่มเขียนสัญญาณ servo)
```

ใ้ serial ของ unit 8 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Erase before 1 (ลบก่อนเขียนใส่ 1 ถ้าไม่ให้ใส่ 0)
 Enter number track (ใส่จำนวน track)
 Power off 1 (เมื่อเขียนงานเสร็จจะ motoff เลขหรือไม่ ถ้าใช่ใส่ 1 ถ้าไม่ใช่ 0)
 Start location..... 1

คำสั่งในการ move track

E:\NCH> s dpc4.rpm

E:\NCH>moton

ใส่ speed motor 4800

--> head

--> move_track (ESC เพื่อออกจากโปรแกรม)

4.5.2 ค่าพารามิเตอร์ใน SCP.txt

ในไฟล์ SCP.txt ที่ใช้เก็บค่าพารามิเตอร์ สำหรับกำหนดค่าการทำงานของการ์ดควบคุม (Controller Cards) และ การ์ดขับเคลื่อน (Driver Cards) มีรายละเอียดพารามิเตอร์ดังนี้

P00/Data) Positive Stroke Limit [pulse]

กำหนดค่า Maximum stroke ของมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจากตำแหน่งเริ่มต้น มีหน่วยเป็น Pulse ในกรณีที่มอเตอร์หมุนเร็วเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบ Rotary Positioner จะสร้าง Stroke over error และจะสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน ซึ่งค่า Position Stroke Limit ควรจะเป็นตัวเลขค่าบวกที่ไม่เกิน 64,512,000 และช่วงตัวเลขที่เหมาะสมควรจะเป็น 32,256,000

P02/Data) Negative Stroke Limit [pulse]

กำหนดค่า Maximum stroke ของมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจากตำแหน่งเริ่มต้น มีหน่วยเป็น Pulse ในกรณีที่มอเตอร์หมุนเร็วเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบ Rotary Positioner จะสร้าง Stroke over error และจะสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน ซึ่งค่า Position Stroke Limit ควรจะเป็นตัวเลขค่าลบที่ไม่เกิน -64,512,000 และช่วงตัวเลขที่เหมาะสมควรจะเป็น -32,256,000

P04/Data) Maximum Velocity [pulse/second] Max: 55,296,000

กำหนดค่าความเร็วสูงสุดในการหมุนของมอเตอร์ ถ้าในคำสั่ง C16 ได้กำหนดค่าความเร็วไว้เกินค่า Maximum Velocity P04 นี้จะทำให้เกิด Error

หมายเหตุ : หากมีแรงเฉื่อยมีเยอะให้กำหนดพารามิเตอร์นี้ให้ต่ำกว่าค่า Maximum Value ตัวอย่างเช่น ถ้าแรงเฉื่อยมีขนาด 100g cm² ค่าพารามิเตอร์นี้ควรกำหนดให้น้อยกว่า 25,600,000 Pulse/Sec.
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P05/Data) Imposition Over Time [5~300 second]

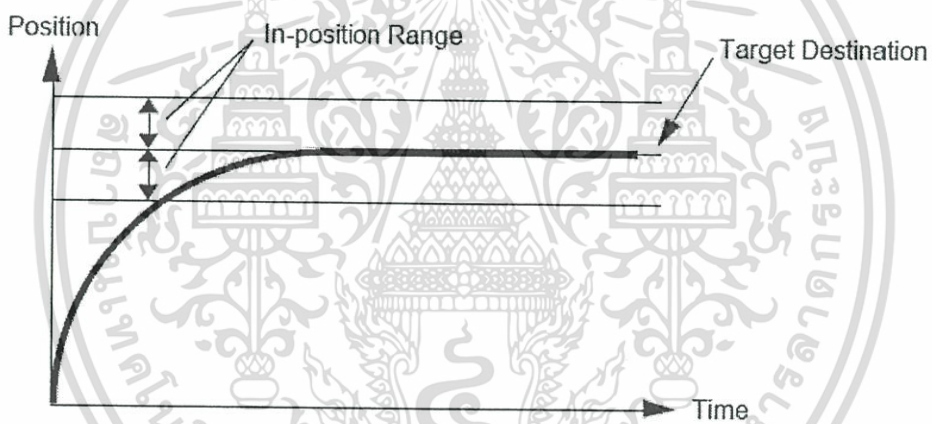
กำหนดค่าช่วงเวลาที่ทำให้ Servo หยุดทำงานและแข็งตัวในกรณีที่มอเตอร์ไม่สามารถหมุนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย

P07/Data) Outposition Range [0~40000 pulse]

กำหนดค่าการแข็งตัวเมื่อเกิดเหตุการณ์ Outposition ในกรณีที่มอเตอร์หมุนเกินตำแหน่งเป้าหมาย กำหนดเป็น “0” เมื่อไม่ต้องการใช้ Outposition

P08/Data) Imposition Range [pulse]

พารามิเตอร์นี้ใช้สำหรับกำหนดการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ ว่าเคลื่อนที่ไปถึงหรือไม่ถึงตำแหน่งเป้าหมาย Servo System จะครอบคลุมช่วง Positive/Negative ของตำแหน่งเป้าหมายหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าที่กำหนดค่าพารามิเตอร์นี้ ค่าตัวเลขควรจะเป็นตัวเลขบวกที่มีค่าน้อยกว่า 1280



รูปที่ 4.11 รูปแสดงช่วง In-Position ของระบบ Servo System

P09/Data) Imposition Setting Time Range [10usec] 0~16383

ถ้ามอเตอร์เคลื่อนที่อยู่ในช่วงระหว่าง In-Position Range (P08) ถึงจนตำแหน่งเป้าหมายในระยะเวลาที่กำหนดในพารามิเตอร์นี้ สถานะของ Target destination และ In-Position จะเป็น Enable

P0A/Data) Acceleration Time1 (T1) [msec]

ค่านี้ควรจะเป็นตัวเลขบวกที่น้อยกว่า 1000

P0C/Data) Acceleration Time2 (T2) [msec]

ค่านี้ควรจะเป็นตัวเลขบวกที่น้อยกว่า 1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P0E/Data) Acceleration Type

พารามิเตอร์นี้ใช้สำหรับกำหนด Acceleration pattern ซึ่งมี 3 รูปแบบ และความหมายของพารามิเตอร์ "Acceleration Time 1/2" มีดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดง Acceleration Type

Date	Type	Type Acceleration Time1 (T1)	Acceleration Time2 (T2)
0	Linear acceleration	เวลาที่ต้องการให้ไปถึงความเร็วสูงสุด	ไม่ใช้งาน
1	Exponential acceleration	เวลาคงที่ของ Exponential Curve	ไม่ใช้งาน
2	S-curve acceleration	เวลาที่ต้องให้เข้าสู่ความเร็วสูงสุด	เวลาที่ต้องให้เข้าสู่ acceleration สูงสุด

(1) Linear acceleration

มอเตอร์หมุนเพื่อให้ถึงความเร็วเป้าหมายด้วยอัตราเร่งสูงสุดที่กำหนดไว้ที่พารามิเตอร์ Maximum Jog Velocity P04 และ Acceleration Time1 P0A สมมติให้ Maximum Jog Velocity แทนด้วย V_m [pulse/sec] , Maximum acceleration A_m [pulse/sec²] หาค่าได้จากสมการ $A_m = V_m / T1 \times 10^{-3}$

(2) Exponential acceleration

Exponential acceleration จะทำงานสอดคล้องกับค่าเวลาคงที่ที่กำหนดไว้ที่พารามิเตอร์ Acceleration Time 1 (P0A) เมื่อ Acceleration Type ถูกเลือก ความเร็วสูงสุด "V [pulse/sec]" สามารถเข้าถึงค่า Maximum Velocity "V0[pulse/sec]" ตามสมการ $V - V_0 \times \{1 - \exp(-t / T1 \cdot 10^{-3})\}$

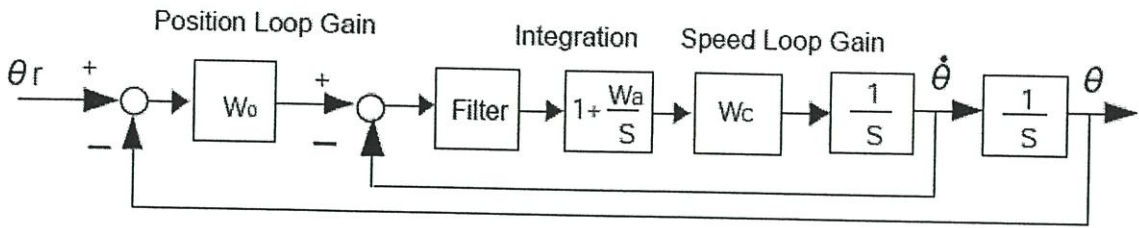
(3) S-curve acceleration

คล้ายกับ linear acceleration ซึ่ง S-curve acceleration จะทำให้มอเตอร์หมุนเพื่อเข้าสู่ความเร็วเป้าหมายที่ตำแหน่ง Maximum acceleration rate โดยที่ความเร็วในการหมุนจะค่อยๆเปลี่ยนเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนและหยุดหมุน Acceleration Type ต้องทำการกำหนดพารามิเตอร์ 2 ค่าคือ Acceleration Time 1 (T1;P0A) และ Acceleration Time 2 (T2; P0C)

4.5.3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบ Servo System

Servo System ประกอบด้วยระบบควบคุม 2 แบบ คือ ระบบควบคุมแบบ PI และระบบควบคุมแบบ LQ ซึ่งรแสดงเป็น Block Diagram ตามรายละเอียดด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 รูปแสดง Block Diagram ของระบบควบคุมแบบ PI

P10) Position Loop Gain W_0 [rad/second]

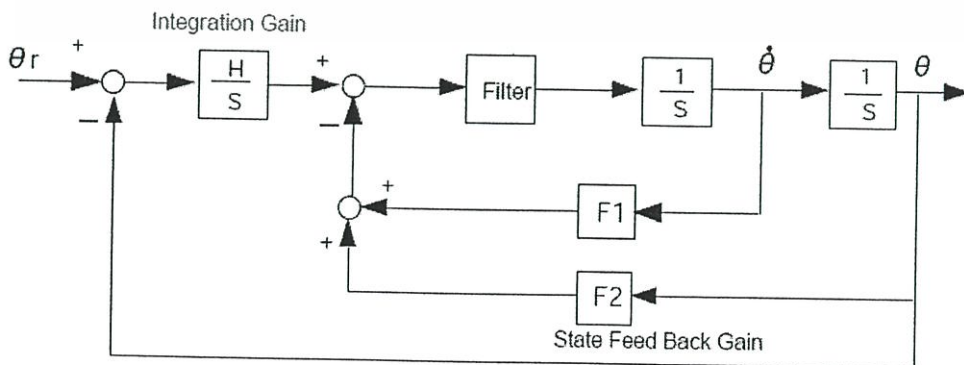
ค่าอัตราขยายของสัญญาณผลต่างระหว่างค่าตำแหน่งอ้างอิงและค่าตำแหน่งที่วัดได้เพื่อปรับแต่งค่าผลตอบสนอง(ตำแหน่ง)ที่ต้องการ ซึ่งจะถูกกำหนดให้มีค่าไม่เกิน $\frac{1}{4}$ ของ Speed Loop Gain W_c [$W_0 < W_c/4$] ผลตอบสนองของระบบ servo จะเพิ่มขึ้นในลักษณะของ Exponential Curve เมื่ออินพุทของระบบเป็นแบบขั้นบันได โดยผลตอบสนองจะอยู่ช่วง $+1.8\%$ ของค่าเป้าหมายภายใน 4 เท่าของค่าเวลาคงที่ $1/W_0$ [Seconds]

P12) Speed Loop Gain W_c [rad/sec]

เป็นค่าอัตราขยายสำหรับเพื่อปรับแต่งค่าผลตอบสนองของวงรอบการควบคุมความเร็ว ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าน้อยสุดที่ 4 เท่าของ Position Loop Gain W_0 โดยการเพิ่มค่าของ Speed Loop Gain จะส่งผลให้ servo stiffness (disturbance characteristic) มากขึ้น แต่การเพิ่มค่ามากเกินไปอาจทำให้เกิด hunting effect ในระบบเซอร์โวได้

P14) Integration Constant W_a [rad/sec]

เป็นค่าอัตราการขยายของการอินทิเกรตซึ่งจะช่วยลดทอนค่าผิดพลาดของผลตอบสนองที่สถานะคงตัวของระบบ แต่การเพิ่มค่าที่มากเกินไปนั้นจะส่งผลต่อเสถียรภาพและความเร็วในการทำงานระบบ ในที่นี้จะกำหนดให้มีค่าเป็น $1/3$ ของ Speed Loop Gain W_c [rad/sec]



รูปที่ 4.13 รูปแสดง Block Diagram ของระบบควบคุมแบบ LQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P11) LQ Servo Gain W_{lq} (rad/sec)

ค่าพารามิเตอร์นี้จะถูกกำหนดเพื่อหาค่า พารามิเตอร์ของการควบคุมในระบบควบคุมแบบ LQ ซึ่งหมายถึง พารามิเตอร์ F1, F2 และ H โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ที่สามารถทำให้ผลตอบสนองปราศจากค่าพุ่งเกินโดยอัตโนมัติ

P16) Filter Constant W_f [rad/sec]

เป็นพารามิเตอร์สำหรับกำหนดค่า Cut-off Frequency ให้กับตัว Filter ชนิด Lowpass Filter หรือ กำหนดค่า Center Frequency ให้กับ Notch Filter ซึ่งค่าที่กำหนดจะมีค่ามากที่สุดได้เท่ากับ 4 เท่าของ loop gain (P12), และมีค่าน้อยที่สุดเป็น 2 เท่าของ speed loop gain (P12) $2P_{12} < W_f < 4P_{12}$ โดยค่าของ Cut-off frequency W_f ที่ลดลงจะทำให้ค่าสัญญาณรบกวนในระบบมีค่าน้อยลงด้วย แต่การปรับลดค่า Cut-off frequency W_f ที่มากเกินไปจะส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบและค่าเวลา setting time ที่มากขึ้น และเราสามารถกำหนดค่า Cut-off frequency W_f ให้มีค่าเท่ากับ 30000 เมื่อไม่ต้องการใช้งานตัว Filter นี้

P17) Notch Filter Q value 0~1000

เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับค่า Q ของตัว Notch Filter เพื่อกำหนดขอบเขตช่วง Stop Bandwidth โดยค่าพารามิเตอร์ P17 จะมีค่าเป็น 100 เท่าของค่า Q เช่น เมื่อ Q มีค่าเท่า 1.0 พารามิเตอร์ P17 จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 จากนั้นจะต้องกำหนดค่า center frequency ให้กับ Notch Filter โดยการกำหนดค่าให้กับพารามิเตอร์ P16 Filter Constant W_f [rad/sec] ดังนั้นเขียนโดยสรุปได้ว่า

$P16=30000$: No Filter

$P16<30000$ & $P17=0$: Low Pass Filter

$P16<30000$ & $P17 \neq 0$: Notch Filter

P18) Torque Constant [gfcM/A]

พารามิเตอร์สำหรับใช้กำหนดคุณสมบัติของมอเตอร์เกี่ยวกับแรงบิด[gfcM/A] ที่มอเตอร์สร้างขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า

P1A) Inertia [10-2gcm²] (SI units)

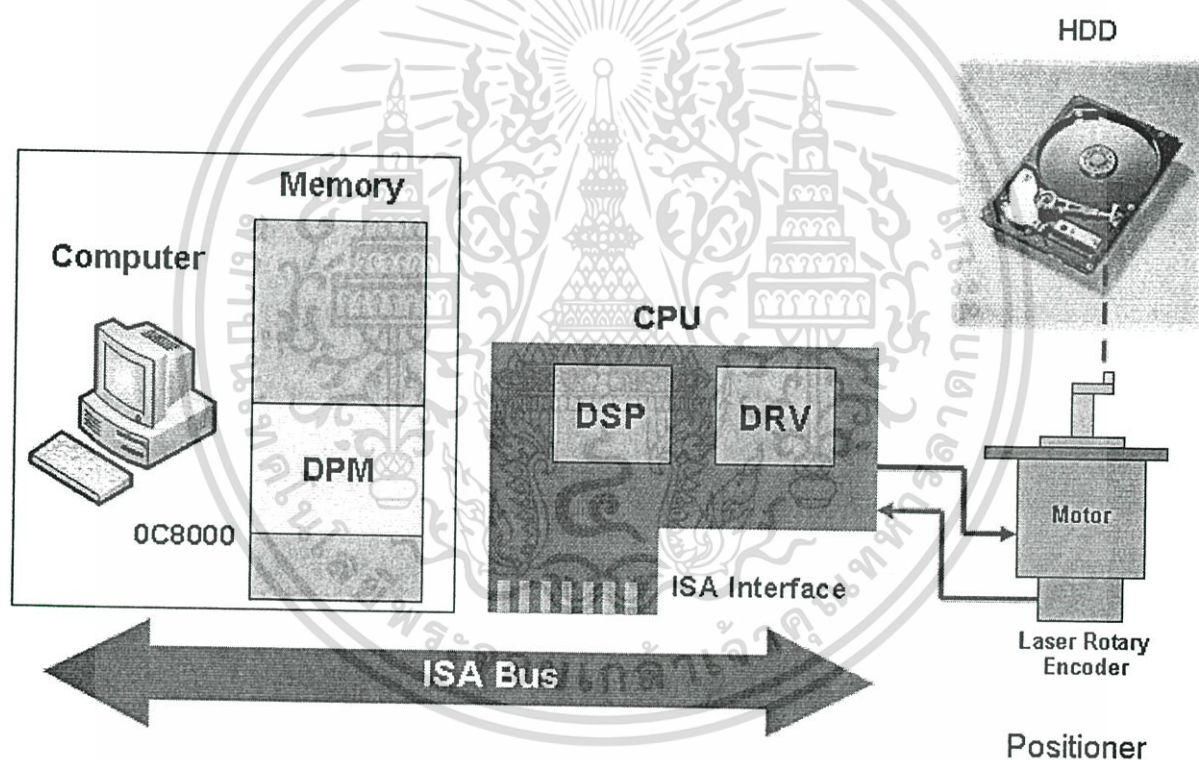
เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับกำหนดค่าแรงเฉื่อยของตัวโรเตอร์ในมอเตอร์และแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นจาก Load

P1C) Current Limit [mA] ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่กำหนดค่ากระแสไฟฟ้า Output สูงสุดของชุดขับเคลื่อน โดยจะเป็นตัวเลขบวกที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1100 (P1C/1000 [1.0 A])

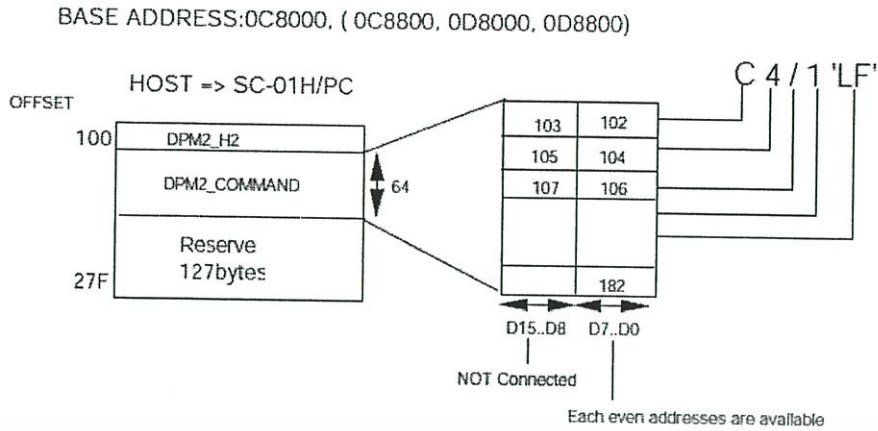
4.6 กลไกการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ กับ เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โว

การทำงานของควบคุมระบบ Rotary Positioner จะอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Host Computer) เป็นตัวส่งคำสั่งไปสั่งงานการควบคุมและการขับเคลื่อนต่างๆที่ติดตั้งบน Interface Slot (ISA Bus) โดยกลไกการสื่อสารข้อมูลคำสั่งระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และการควบคุมหลัก SC-01H/PC จะใช้ Dual Port Memory (DPM) ซึ่งเป็นพื้นที่หนึ่งในหน่วยความจำสำหรับเก็บคำสั่งหลังจากการ Execution และคำสั่งเหล่านั้นถูกส่งต่อไปยัง Data Bus D0-D7 ของ Interface Slot การสร้าง DPM จะทำโดยการเซ็ต Jumper JP4 และ JP5 เพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของ DPM ในหน่วยความจำ



รูปที่ 4.14 รูปแสดงการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ การควบคุม และการขับเคลื่อนผ่าน DPM และ ISA Bus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 รูปแสดงตำแหน่ง Address ใน DPM สำหรับเก็บข้อมูล
ที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยัง SC-01H/PC

หลังจากพื้นที่ของ DPM ถูกกำหนดตำแหน่ง (0C8000,0C8800,0D800,0D880) คำสั่งในรูปแบบของ String ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ Execution และกำลังส่งต่อไปให้ SC-01H/PC จะถูกเขียนไว้ที่ DPM Command Area สถานะของ DPM2-H2 จะถูกเซตค่าเป็น “1” เมื่อคำสั่งทั้งหมดที่ส่งมาถูกเขียนในพื้นที่ของ DPM Command Area เสร็จเรียบร้อยแล้ว สถานะของ DPM2-H2 จะถูกเซตค่าเป็น “0” เพื่อแสดงว่าข้อมูลของ SC-01H/PC อาทิเช่น Version, Parameter, Alarm และ Status พร้อมทั้งจะให้การ์ดควบคุมและการ์ดขับเคลื่อนอื่นๆนำไปประมวลผลเพื่อสั่งงานเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแทรกซ์แบบ No Clock Head ต่อไป

บทที่ 5

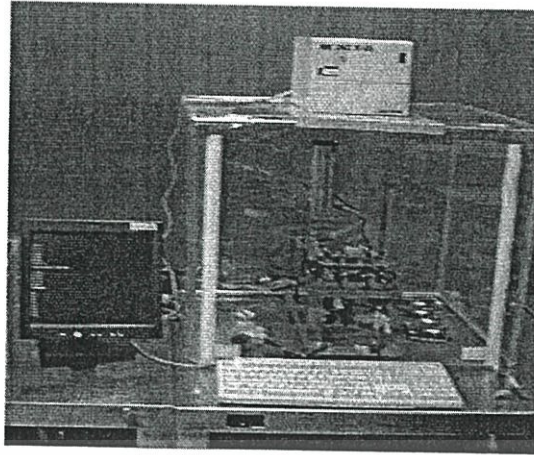
การจำลองและการทดลองระบบควบคุม

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของระบบควบคุม และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head การวิเคราะห์กระบวนการและการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอ ด้วยวิธี CDM หลังจากนั้นจะนำตัวควบคุมที่ได้ออกแบบไปทำการทดสอบโดยจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ ขั้นตอนแรกทำการทดสอบผลตอบสนองของระบบควบคุม เมื่อกำหนดให้อินพุตอ้างอิงของระบบควบคุมเป็นแบบขั้นบันได ขั้นตอนที่สองทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการปรับค่าพารามิเตอร์ k ว่ามีผลอย่างไรต่อค่าเวลาเข้าที่ของผลตอบสนองของระบบควบคุม ขั้นตอนที่สามทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการปรับค่าพารามิเตอร์ k ว่ามีผลอย่างไรต่อเปอร์เซ็นต์ค่าฟุงเกินของผลตอบสนองของระบบควบคุม ซึ่งหลังจากที่ได้ทำการศึกษาถึงผลจากการจำลองการทำงานตามขั้นตอนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะนำตัวควบคุมที่ได้ออกแบบมาทำการควบคุมกับกระบวนการจริง โดยมีขั้นตอนการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB

5.2 โครงสร้างระบบควบคุมควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head

ระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner เป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head เพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่พาหัวเขียนให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการในขณะที่ทำการเขียนสัญญาณเซอร์โว โดย เครื่องเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ NCH (Non Clock Head) ดังรูปที่ 5.1 ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) จะทำหน้าที่ในการ execute คำสั่ง test code เพื่อควบคุมและแสดงผลตลอด ขั้นตอนการเขียนสัญญาณเซอร์โว ส่วนที่สอง คือ Control/Driver และ Interface Card ซึ่งประกอบไปด้วย Radial Card, R/W Motor Card, Clock Pattern Card, DE IF Card ซึ่งหน้าที่และคุณสมบัติของการ์ดต่างๆได้อธิบายไว้ในบทที่ 2



รูปที่ 5.1 เครื่องทดสอบการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ NCH (Non Clock Head)

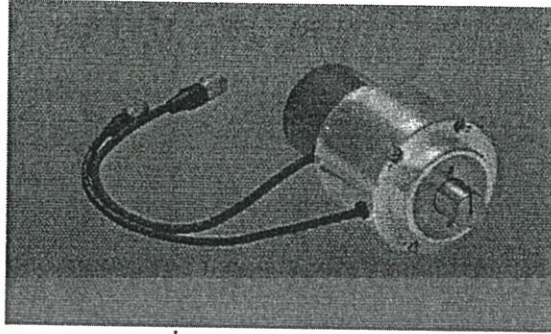
ส่วนที่สามเป็นส่วนสำคัญสำหรับการศึกษาในครั้งนี้คือ ส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่ของ Rotary Positioner เพื่อให้ pusher พาหัวอ่าน/เขียน (Read/Write : R/W) ไปยังตำแหน่ง track ที่ต้องการ โดยรูปการควบคุมจะประกอบด้วย

- Positioner Control Card (System Controller: SC-01H/PC) คอนโทรล positioner ด้วยคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ ผ่าน ISA bus Positioner Control Card จะทำหน้าที่ เป็นตัวควบคุมที่จะสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมส่งให้กับชุดขับและให้สัญญาณควบคุมเอาต์พุตส่งไปยัง Rotary Positioner เพื่อขับเคลื่อนตัว pusher ให้พาหัวอ่าน/เขียน เคลื่อนที่ไป โดยระยะการเคลื่อนที่เชิงมุมที่เกิดขึ้น จะถูกวัดและป้อนกลับจาก encoder เข้าสู่ชุดปรับแต่งสัญญาณ ภายในบอร์ดและส่งผ่านไปยังตัวควบคุม เพื่อคำนวณหาค่าสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม ที่สามารถทำให้หัวอ่าน/เขียน อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการซึ่งจะรับคำสั่งการทำงาน ค่าพารามิเตอร์ ในการควบคุม จาก PC ผ่านทาง execute software s.exe และไฟล์ที่กำหนด ค่าพารามิเตอร์ SCP1.txt และเมื่อพารามิเตอร์สำหรับการควบคุมถูกส่งผ่านไปยัง DSP ไมโครคอนโทรลเลอร์ Positioner Control Card (System Controller: SC-01H/PC

- Rotary Positioner เป็น Brushless DC Motor ที่มีความแม่นยำสูง ให้สัญญาณเอาต์พุตทางตำแหน่งเป็นสัญญาณป้อนกลับโดย Laser Encoder ที่ 81,000 สัญญาณพัลส์รูปไซน์ ต่อการหมุน 1 ครั้ง ช่วงการหมุนมีค่าระหว่าง ± 35 ดีกรี Stroke ของการหมุนมีค่าเท่ากับ ± 30 degrees เสถียรภาพการอยู่ในแตรกซ์มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ± 0.05 arc-วินาที ความละเอียดการหมุนอยู่ที่ 0.0039 arc-วินาที ($16''/4096$) ความเร็วเชิงมุมสูงสุดอยู่ที่ 60 องศา / วินาที แรงเฉื่อยของโหลดมีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,500 gcm² โหลดภายนอกสูงสุด 500 gcm² แรงดันไฟฟ้าอิพุท +5V $\pm 5\%$ (1.5A) +12V $\pm 5\%$ (max 1.5A) และ -12V

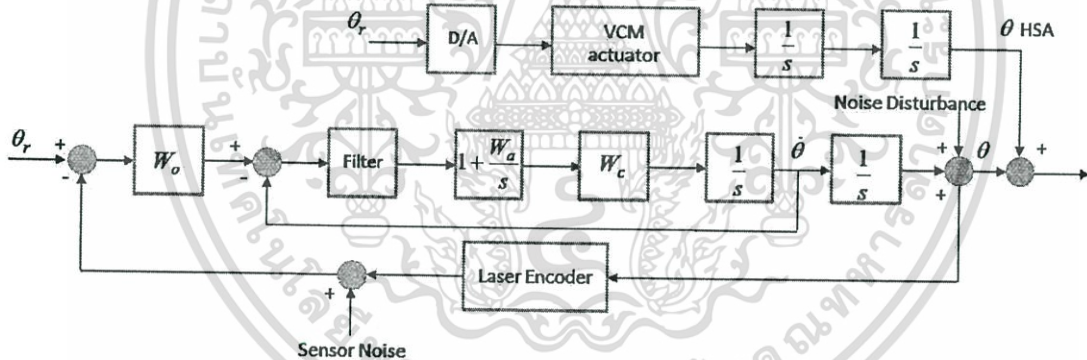
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\pm 5\%$ (50mA) ความชื้นและอุณหภูมิขณะทำงาน $18 \sim 28^{\circ}\text{C}$, $40 \sim 60\% \text{RH}$ (ปราศจากละอองน้ำ)/ ความชื้นและอุณหภูมิการจัดเก็บ $0 \sim 50^{\circ}\text{C}$, $20 \sim 80\% \text{RH}$ (ปราศจากละอองน้ำ)/ น้ำหนักรวม 1.6 kg ซึ่งสามารถส่ง



รูปที่ 5.2 Rotary Positioner

สำหรับบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ในรูปที่ 5.3 อธิบายโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทำงานของระบบ ดังที่ได้อธิบายไว้ใน หัวข้อ 2.2



รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner

5.3 การออกแบบตัวควบคุม

ในส่วนนี้จะทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับกระบวนการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ในกระบวนการเขียนสัญญาณเซอร์โวแบบ Non Clock Head ด้วยวิธี CDM จากนั้นจะทำการทดสอบผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีต่อสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner ในสมการที่ (5.1)

$$G_a(s) = \frac{W_o \cdot s + W_o \cdot W_a \cdot W_c}{T_f s^4 + s^3 + W_c s^2 + (W_a \cdot W_c + W_o \cdot W_c) s + W_o \cdot W_a \cdot W_c} \quad (5.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของตัวควบคุมฟีดแบ็คของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner แสดงดังสมการที่ (5.2)

$$G_c(s) = \frac{W_c s + W_c W_a}{s} \quad (5.2)$$

สำหรับการออกแบบระบบควบคุมโดยวิธีแผนผังสัมประสิทธิ์ ในกรณีนี้ค่าคงตัวเวลาสมมูล τ เลือกให้มีค่าเป็น $\tau = t_s / 2.58$ โดย t_s เป็นค่าเวลาเข้าที่ที่ต้องการ ค่าดัชนีเสถียรภาพสำหรับระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner นี้ กำหนดให้มีค่าเป็น $\gamma_1 = 4, \gamma_2 = 1.4286, \gamma_3 = 5$ ซึ่งจะเห็นว่าแตกต่างจากค่าดัชนีเสถียรภาพในแบบมาตรฐาน (Manebe Standard Form) แต่เป็นค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการจำลองค่า stability limits มีค่าเท่ากับ $\gamma_i^* = [0.699 \ 0.45 \ 0.699]$ โดย $i = 1 \sim 3$ และ $\gamma_0, \gamma_4 = \infty$ ดังนั้นสมการพหุนามคุณลักษณะเป้าหมาย (Target Characteristic Polynomial) แสดงได้ดังสมการที่ (5.3)

$$P(s) = a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0, \quad (5.3)$$

โดยสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะสามารถหาค่าได้จากความสัมพันธ์ของค่าคงตัวเวลาสมมูลและค่าดัชนีเสถียรภาพดังสมการที่ (5.4)

$$a_i = \frac{a_0 \tau^i}{(\gamma_{i-1} \gamma_{i-2}^2 \cdots \gamma_2^{i-2} \gamma_1^{i-1})} \quad (5.4)$$

สมการคุณลักษณะของทรานเฟอร์ฟังก์ชันลูปีดของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner แสดงดังสมการที่ (5.5)

$$P_d(s) = T_f s^4 + s^3 + W_c s^2 + (W_a \cdot W_c + W_0 \cdot W_c) s + W_0 \cdot W_c \cdot W_c \quad (5.5)$$

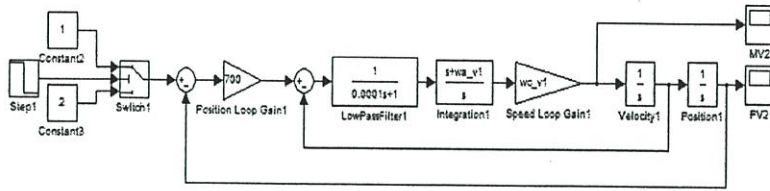
เมื่อทำการแก้สมการ การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันลูปีดของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner ในสมการที่ (5.4) และสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะเป้าหมายในสมการที่ (5.3) จะได้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟีดแบ็ค ดังแสดงในสมการที่ (5.6)–(5.7)

$$W_c = \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{\tau} \quad (5.6)$$

$$W_a = \frac{\gamma_1 - W_0 \tau}{\tau} \quad (5.7)$$

5.3.1 การจำลองระบบควบคุม

การจำลองโดยโปรแกรม Matlab แสดงการทดสอบสมรรถนะการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ซึ่งออกแบบด้วยเทคนิคแผนผังสัมประสิทธิ์ ดังรูปที่ 5-4 โดยผลการจำลองจะแสดงผลตอบสนองต่ออินพุตขั้นบันไดของระบบ ด้วยค่าเวลาเข้าที่และเปอร์เซ็นต์ค่าฟุงเกินของผลตอบสนองแสดงถึงสมรรถนะของตัวควบคุม รวมถึงความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับความเร็วและอัตราการหมุนของระบบควบคุม



รูปที่ 5.4 การจำลองระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner โดย Simulink

พารามิเตอร์ของระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner แสดงในตารางที่ 5.1

ตาราง 5.1 พารามิเตอร์ของระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner

สัญลักษณ์	คำจำกัดความ	ปริมาณ
T_f	1/Cut off frequency	0.0001 [sec/rad]
W_o	Position Loop Gain	700 [rad/sec]
W_a	Integration Constant	$(\gamma_1 - W_o \tau) / \tau$
W_c	Speed Loop Gain	$\gamma_1 \cdot \gamma_2 / \tau$

แทนค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 5.1 ลงในสมการคุณลักษณะของทรานเฟอร์ฟังก์ชันลูปปิดของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner ดังสมการที่ (5.8)

$$P_{cl}(s) = 1e - 4s^4 + s^3 + W_c s^2 + (W_a \cdot W_c + 700 \cdot W_c) s + 700 \cdot W_a \cdot W_c \quad (5.8)$$

ออกแบบระบบควบคุม โดยวิธีแผนผังสัมประสิทธิ์ ในกรณีนี้ค่าคงตัวเวลาสมมูล τ เลือกให้มีค่าเป็น $\tau = 0.0029$, ค่าดัชนีเสถียรภาพสำหรับระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner นี้ กำหนดให้มีค่าเป็น $\gamma_1 = 4, \gamma_2 = 1.4286, \gamma_3 = 5$ ดังนั้นจะได้สมการพหุนามคุณลักษณะเป้าหมาย (Target Characteristic Polynomial) ดังสมการที่ (5.9)

$$P(s) = (1e - 4)s^4 + (9.99e - 1)s^3 + (1.97e + 3)s^2 + (2.71e + 6)s + 9.36e + 8 \quad (5.9)$$

ทำการแก้สมการ การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะของทรานเฟอร์ฟังก์ชันลูปปิดของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner ในสมการที่ (5.8) และสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะเป้าหมายในสมการที่ (5.9) จะได้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ ดังนี้

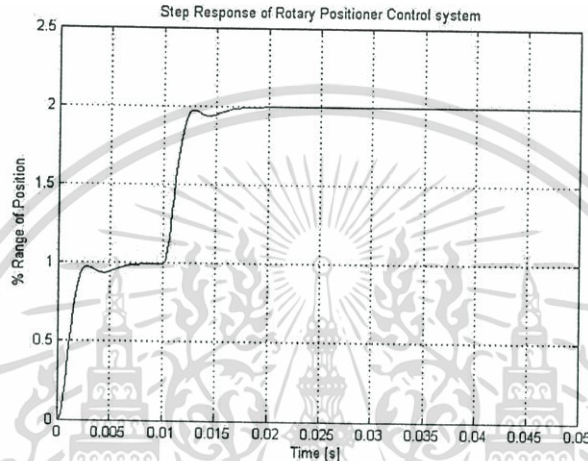
$$W_c = 1970.50, W_a = 679.31 \quad (5.10)$$

5.3.1.1 ผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อป้อนอินพุตแบบขั้นบันได

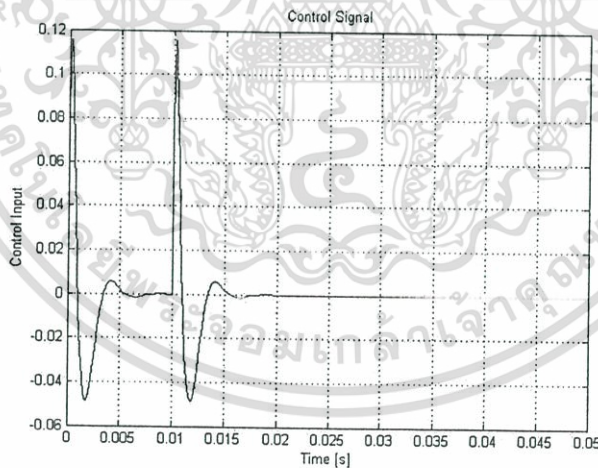
การจำลองการควบคุมระบบควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner แสดงดังรูปที่ 5.4 เพื่อดูผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อป้อนอินพุตแบบขั้นบันได มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทดสอบตัวเอ็กสไลต์เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์นี้สงวนลิขสิทธิ์โดยเจ้าของเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบว่า มีประสิทธิภาพในการติดตามสัญญาณอินพุตอ้างอิงแบบขั้นบันได เป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ ก่อนที่จะนำตัวควบคุมที่ได้ออกแบบไปทดลองกับกระบวนการจริง โดยการจำลองการทำงานจะกำหนดให้สัญญาณอินพุตอ้างอิง มีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิม 10% คือ จากที่ 10% ไปยังที่ค่า 20% โดยการเปลี่ยนแปลงเริ่มที่เวลา 10 มิลลิวินาที กราฟแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแสดงดังรูปที่ 5.5 และกราฟแสดงสัญญาณควบคุม แสดงดังรูปที่ 5.6

ผลตอบสนองของระบบควบคุมแสดงดังรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าค่าพุ่งเกินของผลตอบสนองมีค่า เป็น 0 เปอร์เซ็นต์ และค่าเวลาเข้าที่มีค่าเท่ากับ 0.0065 มิลลิวินาที



รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองต่ออินพุตขั้นบันไดของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner



รูปที่ 5.6 สัญญาณควบคุมของตัวควบคุม

5.3.1.2 ผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ k เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าเวลาเข้าที่ของผลตอบสนองของระบบควบคุม

จากการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 นั้น สมรรถนะของระบบควบคุม สามารถปรับเปลี่ยนให้เป็นตามต้องการได้ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ k ดังนั้นจึงได้ศึกษาถึงผลกระทบของการปรับค่าพารามิเตอร์ k ที่มีต่อค่าเวลาเข้าที่ของผลตอบสนองของระบบควบคุม โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษานี้จะทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ k จาก 0.7 เป็น 1 และ 3 ตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะและพารามิเตอร์ k ที่มีต่อค่าคงที่เวลา τ ดังสมการที่ (5.11)

$$\tau = \frac{1}{k} \left(\frac{a_1}{a_0} \right) \quad \text{เมื่อ } k = 0.7, 1, 3 \quad (5.11)$$

จะทำให้สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะเปลี่ยนไปดังสมการที่ (5.12)

$$p(s) = (1e - 4)s^4 + k(9.99e - 1)s^3 + k^2(1.97e + 3)s^2 + k^3(2.71e + 6)s + k^4(9.36e + 8) \quad (5.12)$$

เมื่อ $k = 0.7, 1, 3$

เทียบสัมประสิทธิ์สมการพหุนามคุณลักษณะในสมการที่ (5.12) กับ สัมประสิทธิ์สมการพหุนามคุณลักษณะในสมการที่ (5.8) แก่สมการเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ โดย

$$\frac{\tau}{k\gamma_1} = \left(\frac{W_c}{W_a \cdot W_c + 700 \cdot W_c} \right) \quad (5.13)$$

$$\frac{\tau}{k\gamma_1\gamma_2} = \frac{1}{W_c}$$

เมื่อ $k = 0.7, 1, 3$

จะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดังต่อไปนี้

$$W_a = \frac{(k\gamma_1 - W_c\tau)}{\tau}, \quad W_c = \frac{(k\gamma_1\gamma_2)}{\tau} \quad (5.14)$$

เมื่อ $k = 0.7, 1, 3$

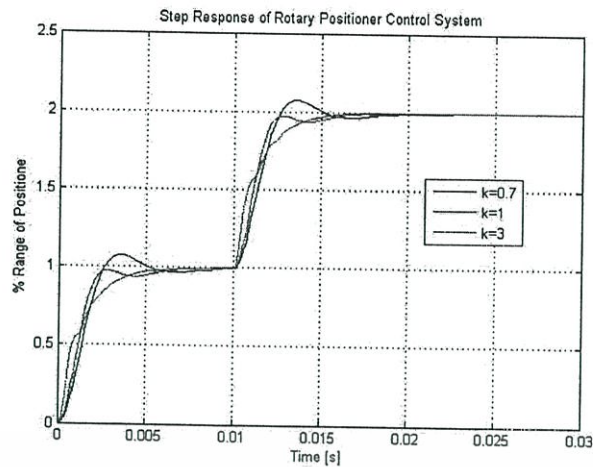
จะได้ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอเมื่อปรับค่า k เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าเวลาเข้าที่ของผลตอบสนองของระบบควบคุม

k	W_c	W_a
0.7	1379.30	265.51
1	1970.50	679.31
3	5911.40	3437.90

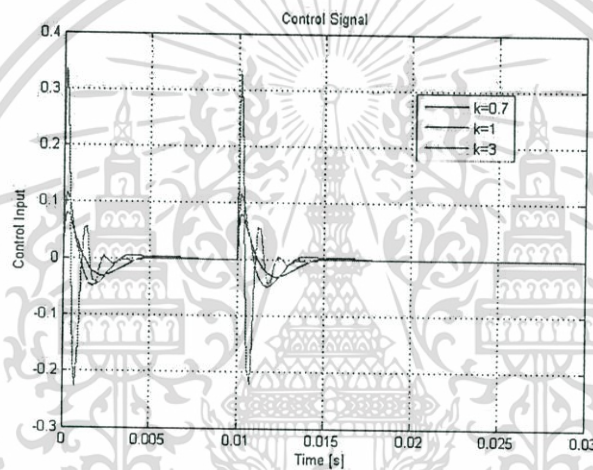
ผลตอบสนองของระบบควบคุมและสัญญาณควบคุมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 ถึง 5.10 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ผลตอบสนองของระบบควบคุมจากการจำลองต่อสัญญาณขั้นบันไดเมื่อปรับความเร็ว

ผลตอบสนองของระบบควบคุม โดยการปรับค่า k



รูปที่ 5.8 สัญญาณควบคุมจากการจำลองเมื่อปรับค่า k

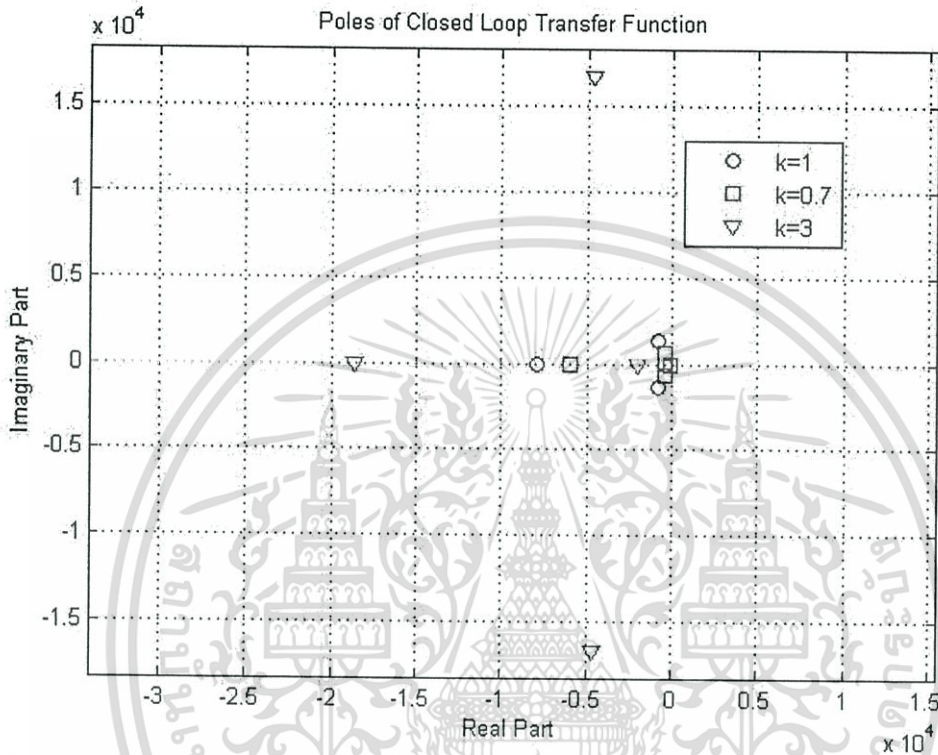
จากรูปที่ 5.7 แสดงผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดเมื่อปรับค่า k จากรูปสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อปรับให้ค่า k เพิ่มขึ้นจาก 0.7 เป็น 1 และ 3 จะทำให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมเร็วขึ้นและมีค่าเวลาเข้าที่เป็น 0.0085 วินาที 0.0065 วินาที และ 0.0057 วินาทีตามลำดับ โดยสมรรถนะของระบบควบคุมสามารถแสดงเปรียบเทียบกันได้ ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมจากการจำลองเมื่อค่า k เปลี่ยนแปลงไป

	W_c	W_a	t_s (sec)	Po (%)
$k = 0.7$	1379.30	265.51	0.0085	1.97
$k = 1$	1970.50	679.31	0.0065	0
$k = 3$	5911.40	3437.90	0.0057	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับค่าพารามิเตอร์ k เป็นผลให้ความเร็วของผลตอบสนองของระบบควบคุมเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 5.9 นั้น เป็นผลมาจาก ค่าตำแหน่งรากของฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดของระบบควบคุมเลื่อนไปทางซ้ายของ s-Plane ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ซึ่งตำแหน่งของรากของฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดของระบบควบคุมที่เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะนี้ ทำให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมเร็วขึ้น



รูปที่ 5.9 ตำแหน่งโพลวงปิดของระบบควบคุมเมื่อปรับความเร็วผลตอบสนองของระบบควบคุมโดยการปรับค่า k

5.3.1.3 ผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ k เมื่อต้องการเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ค่าพุงเกินของผลตอบสนองของระบบควบคุม

จากการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 นั้น สมรรถนะของระบบควบคุม สามารถปรับเปลี่ยนให้เป็นตามต้องการได้ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ k ดังนั้นจึงได้ศึกษาถึงผลกระทบของการปรับค่าพารามิเตอร์ k ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ค่าพุงเกินของผลตอบสนองของระบบควบคุม โดยในการศึกษานี้จะทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ k จาก 0.85 เป็น 1 และ 1.5 ตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะและพารามิเตอร์ k ดังสมการที่ (5.15)

$$\gamma_1 = k \frac{a_1^2}{a_0 a_2}, \gamma_2 = k \frac{a_2^2}{a_1 a_3}, \dots, \gamma_{n-1} = k \frac{a_{n-1}^2}{a_{n-2} a_n} \quad (5.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามคุณลักษณะเปลี่ยนไปดังสมการที่ (5.16)

$$P(s) = (1e-4)s^4 + (9.99e-1)k^3s^3 + (1.97e+3)k^5s^2 + (2.71e+6)k^6s + (9.36e+8)k^6 \quad (5.16)$$

เมื่อ $k = 0.85, 1, 1.5$

เทียบสัมประสิทธิ์สมการพหุนามคุณลักษณะในสมการที่ (5.16) กับ สัมประสิทธิ์สมการพหุนามคุณลักษณะในสมการที่ (5.8) แก้สมการเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ โดย

$$\frac{\tau}{k\gamma_1} = \left(\frac{W_c}{W_a \cdot W_c + 700 \cdot W_c} \right) \quad (5.17)$$

$$\frac{\tau}{k^2\gamma_1\gamma_2} = \frac{1}{W_c}$$

เมื่อ $k = 0.85, 1, 1.5$

จะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีดังต่อไปนี้

$$W_a = \frac{(k\gamma_1 - W_o\tau)}{\tau} \quad (5.18)$$

$$W_c = \frac{(k^2\gamma_1\gamma_2)}{\tau}$$

เมื่อ $k = 0.85, 1, 1.5$

ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีแสดง ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดีเมื่อปรับค่า k เมื่อต้องการปรับอัตราकरणหน้าของผลตอบสนองของระบบควบคุม

k	W_c	W_a
0.85	1423.70	472.41
1	1970.50	679.31
1.5	4433.60	1369.00

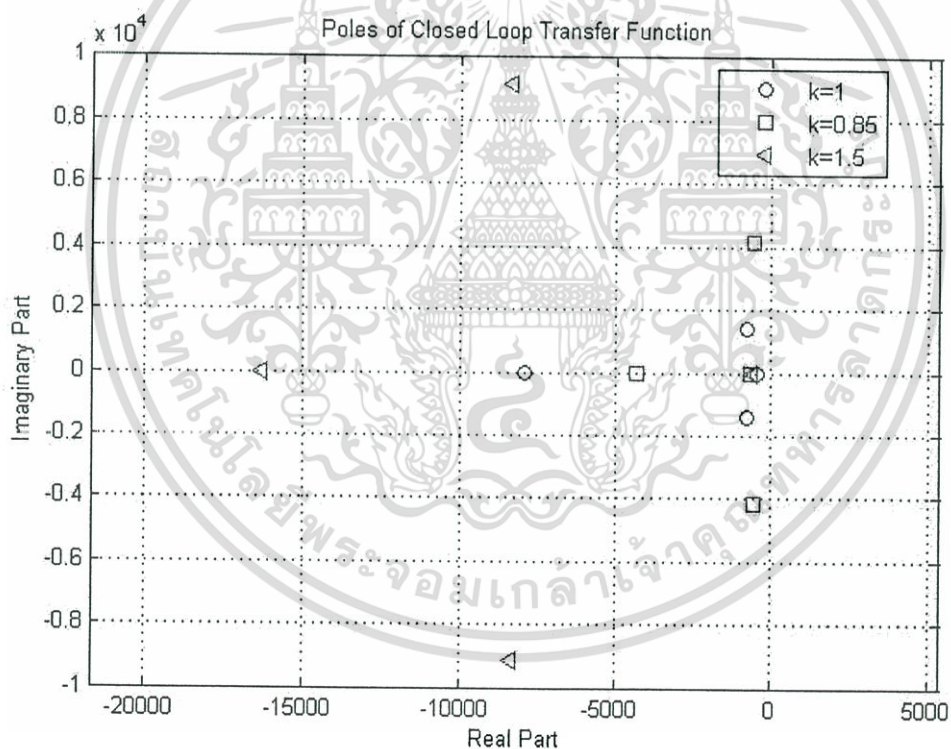
ผลตอบสนองของระบบควบคุมและสัญญาณควบคุมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมจากการจำลองเมื่อค่า k เปลี่ยนแปลงไป

	W_c	W_a	t_s (sec)	Po (%)
$k = 0.85$	1423.70	472.41	0.0079	3.24
$k = 1$	1970.50	679.31	0.0065	0
$k = 1.5$	4433.60	1369.00	0.0055	0

การปรับค่าพารามิเตอร์ k เป็นผลต่อรากการหน่วงของผลตอบสนองของระบบควบคุมเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าพุงเกินของผลตอบสนองลดลงดังรูปที่ 5.12 นั้น เป็นผลมาจาก ค่าตำแหน่งรากของฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดของระบบควบคุมที่เปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 5.12 โดยค่าตำแหน่งรากของฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดของระบบควบคุมเลื่อนไปทางซ้ายของ s-Plane เป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมเร็วขึ้น ค่า Cosine มุมของรากเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ค่าพุงเกินลดลง



รูปที่ 5.12 ตำแหน่งโพลวงปิดของระบบควบคุมเมื่อปรับอัตราการหน่วงของระบบควบคุม โดยการปรับค่า k

5.4 การทดลองกับกระบวนการจริง

หลังจากที่ได้ทำการจำลองการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ซึ่งออกแบบด้วยเทคนิคแผนผังสัมพันธ์โดยโปรแกรม Matlab แล้ว ต่อไปจะนำตัวควบคุมดังกล่าวที่ได้ออกแบบมาใช้ทำการควบคุมกับกระบวนการจริง โดยจะทำการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมกับกระบวนการจริง การวัดค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยวิธี APC TEST และใช้เครื่องทดสอบสมรรถนะของ Rotary Positioner เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner อีกครั้งหนึ่ง

5.4.1.1 การทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมด้วยวิธี APC TEST

กระบวนการ APC TEST เป็นกระบวนการที่สามารถใช้ตรวจวัดตำแหน่งของหัวอ่านว่าอยู่ในตำแหน่งกลางแทรคซ์หรือไม่ หรือมีความเบี่ยงเบนจากตำแหน่งกลางแทรคซ์ไปมากน้อยเพียงใด ซึ่งค่าที่บ่งบอกคือ ค่า V_{APC} โดยปกติแล้ว หากหัวอ่าน/เขียนอยู่ตรงกลางระหว่างแทรคซ์ ค่า V_{APC} จะมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้น เราจึงสามารถทดสอบการควบคุมตำแหน่งหัวอ่านโดย Rotary Positioner ด้วยกระบวนการ APC TEST นั้นเอง

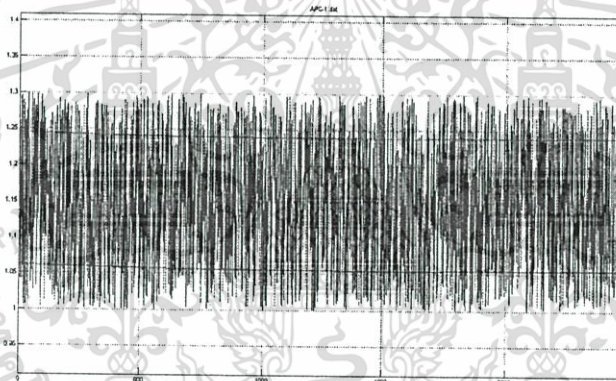
ขั้นตอนการทดสอบด้วย APC TEST มีดังต่อไปนี้

กำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ ดังนี้

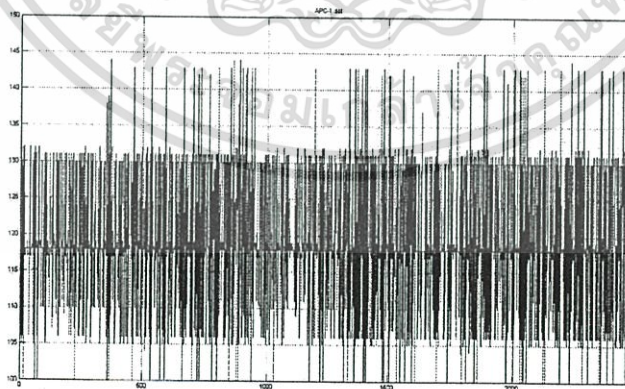
$$Wc = 1970.50, Wa = 679.31$$

(5.19)

ทดสอบตามกระบวนการ APC TEST จะได้กราฟสัญญาณ ดังรูป



รูปที่ 5.13 สัญญาณ APC Step



รูปที่ 5.14 สัญญาณ Positioner Step

จากรูปผลทดสอบโดย APC TEST พบว่าระบบควบคุม ตำแหน่งของ Rotary Positioner สามารถพาหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งเบี่ยงเบนจากกลางแทรคซ์ ที่ค่า 1.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.1.1 ผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ k เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าเวลาเข้าที่ของผลตอบสนองของระบบควบคุม

จากการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 นั้น สมรรถนะของระบบควบคุม สามารถปรับเปลี่ยนให้เป็นตามต้องการได้ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ k ดังนั้นจึงได้ศึกษาถึงผลกระทบของการปรับค่าพารามิเตอร์ k ที่มีต่อค่าเวลาเข้าที่ของผลตอบสนองของระบบควบคุม โดยในการศึกษานี้จะทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ k จาก 0.7 เป็น 1 และ 3 ตามลำดับ

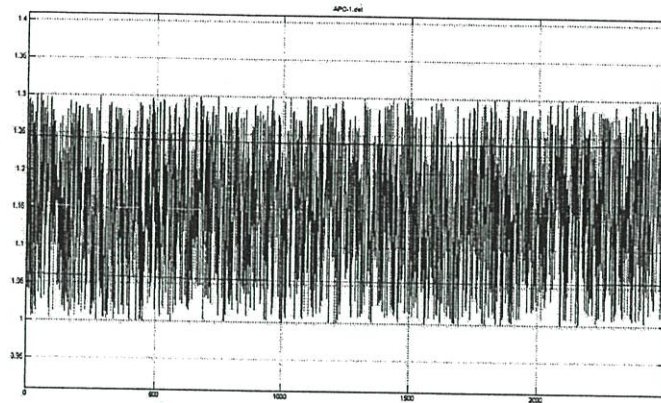
เมื่อ $k = 0.7, 1, 3$

จะได้ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดังตารางที่ 5.6

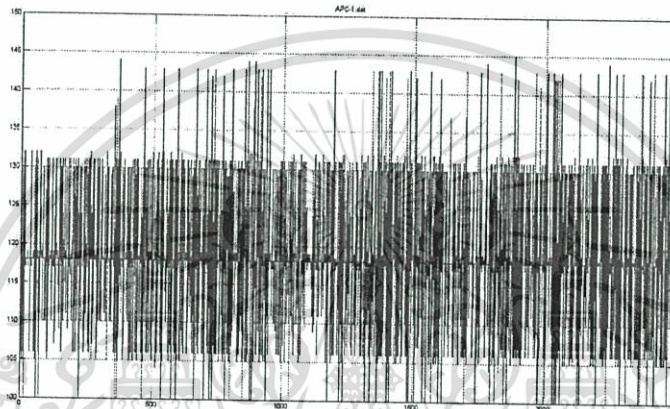
ตารางที่ 5.6 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอเมื่อปรับค่า k เมื่อต้องการเปลี่ยนค่าเวลาเข้าที่ของผลตอบสนองของระบบควบคุม

k	W_c	W_a
0.7	1379.30	265.51
1	1970.50	679.31
3	5911.40	3437.90

ผลการทดสอบตามกระบวนการ APC TEST สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.15 และ 5.16



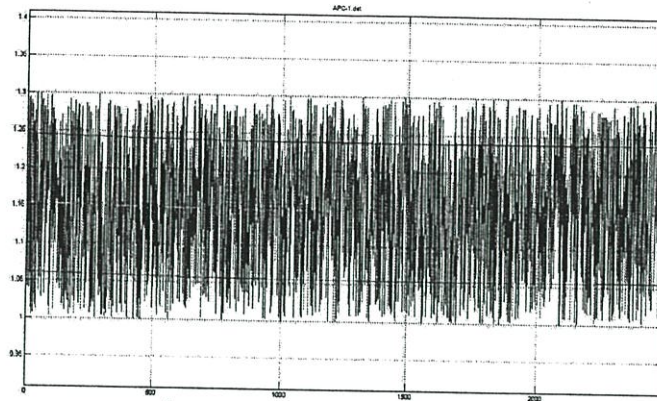
รูปที่ 5.15 สัญญาณ APC Step เมื่อ $k=0.7$



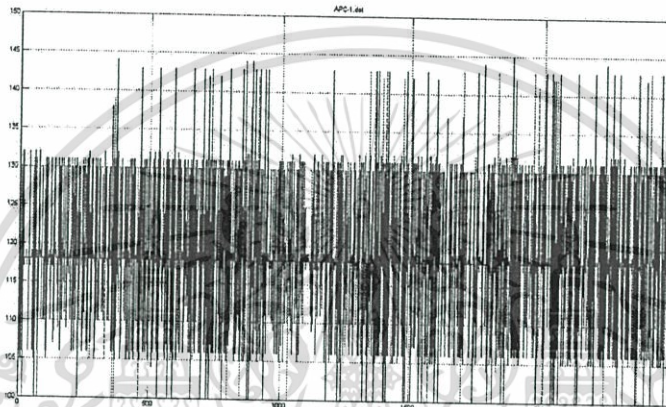
รูปที่ 5.16 สัญญาณ Positoner Step เมื่อ $k=0.7$

จากรูปผลทดสอบโดย APC TEST พบว่าระควบคุม ตำแหน่งของ Rotary Positioner สามารถพาหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งเบี่ยงเบนจากกลางแทรกซ์ ที่ค่า 1.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 สัญญาณ APC Step เมื่อ $k=3$



รูปที่ 5.18 สัญญาณ Positoner Step เมื่อ $k=3$

จากรูปผลทดสอบโดย APC TEST พบว่าระควบคุม ตำแหน่งของ Rotary Positioner สามารถพาหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งเบี่ยงเบนจากกลางแทรกซ์ ที่ค่า 1.10

จากรูปที่ 5.13 ถึง รูปที่ 5.18 แสดงผลทดสอบโดย APC TEST ของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner เมื่อปรับค่า k เพื่อปรับความเร็วของผลตอบสนองของระบบควบคุม จากรูปสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อปรับให้ค่า k เพิ่มขึ้นจาก 0.7 เป็น 1 และ 3 จะส่งผลให้ระควบคุม ตำแหน่งของ Rotary Positioner สามารถพาหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งเบี่ยงเบนจากกลางแทรกซ์ด้วยค่าที่ลดลง เช่นเดียวกับ ค่า 3 sigma ของค่าเบี่ยงเบนทางตำแหน่งของหัวอ่าน โดยสมรรถนะของระบบควบคุมสามารถแสดงเปรียบเทียบกันได้ดังตารางที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมจากการจำลองเมื่อค่า k เปลี่ยนแปลงไป

	W_c	W_u	APC Step
$k = 0.7$	1379.30	265.51	1.33
$k = 1$	1970.50	679.31	1.25
$k = 3$	5911.40	3437.90	1.10

5.4.1.1.2 ผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ k เมื่อต้องการเปลี่ยนอัตราการหวนของผลตอบสนองของระบบควบคุม

จากการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธี CDM ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 นั้น สมรรถนะของระบบควบคุม สามารถปรับเปลี่ยนให้เป็นตามต้องการได้ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ k ดังนั้นจึงได้ศึกษาถึงผลกระทบของการปรับค่าพารามิเตอร์ k ที่มีต่อค่าพ่วงเกินของผลตอบสนองของระบบควบคุม โดยในการศึกษานี้จะทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ จาก 0.85 เป็น 1 และ 1.5 ตามลำดับ

เมื่อ $k = 0.85, 1, 1.5$

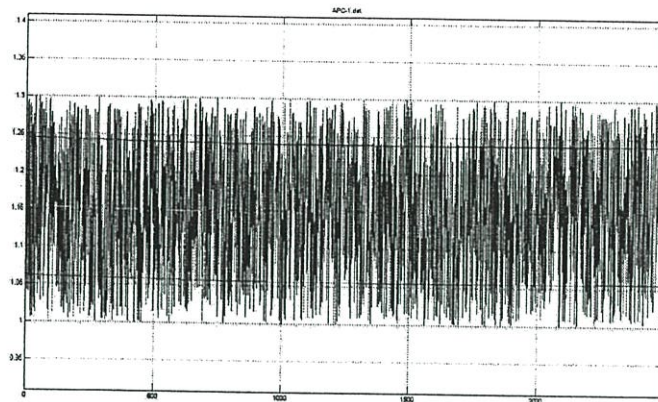
จะได้ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอเมื่อปรับค่า k เมื่อต้องการเปลี่ยนอัตราการหวนของผลตอบสนองของระบบควบคุม

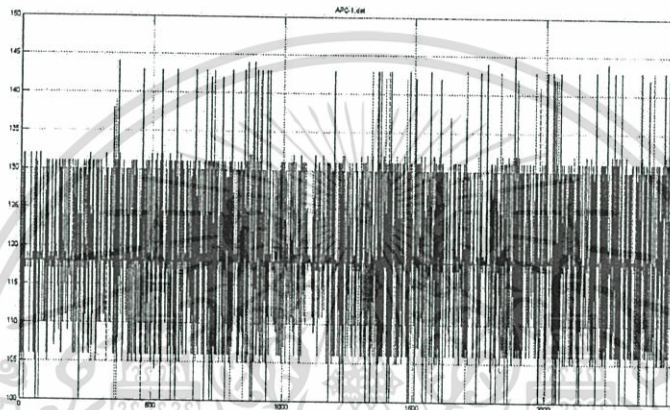
k	W_c	W_u
0.85	1423.70	472.41
1	1970.50	679.31
1.5	4433.60	1369.00

ผลการทดสอบตามกระบวนการ APC TEST สามารถแสดงได้ดังรูป 5.19 และ 5.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



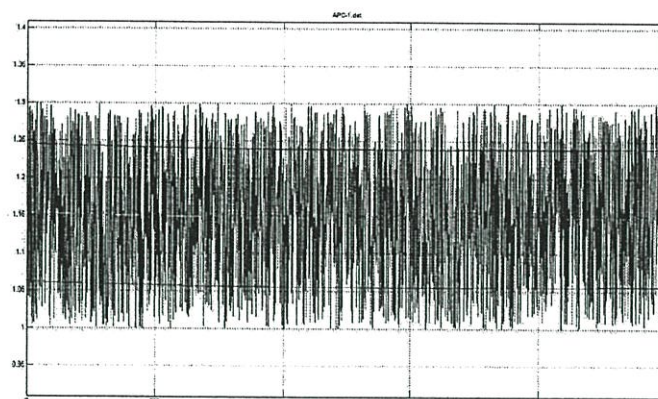
รูปที่ 5.19 สัญญาณ APC Step เมื่อ $k=0.85$



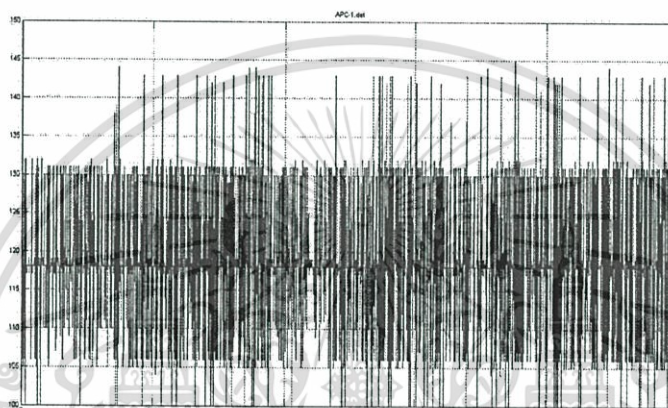
รูปที่ 5.20 สัญญาณ Positoner Step เมื่อ $k=0.85$

จากรูปผลทดสอบโดย APC TEST พบว่าระควบคุม ตำแหน่งของ Rotary Positioner สามารถพาหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งเบี่ยงเบนจากกลางแทรกซ์ ที่ค่า 1.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 สัญญาณ APC Step เมื่อ $k=1.5$



รูปที่ 5.22 สัญญาณ Positoner Step เมื่อ $k=1.5$

จากรูปผลทดสอบโดย APC TEST พบว่าระควบคุม ตำแหน่งของ Rotary Positioner สามารถพาหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งเบี่ยงเบนจากกลางแทรกซ์ ที่ค่า 1.12

จากรูปที่ 5.19 ถึง รูปที่ 5.22 แสดงผลทดสอบโดย APC TEST ของระบบควบคุมตำแหน่ง Rotary Positioner เมื่อปรับค่า k เพื่อปรับอัตราความถี่ของผลตอบสนองของระบบควบคุม จากรูปสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อปรับให้ค่า k เพิ่มขึ้นจาก 0.85 เป็น 1 และ 1.5 จะส่งผลให้ระควบคุม ตำแหน่งของ Rotary Positioner สามารถพาหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งเบี่ยงเบนจากกลางแทรกซ์ด้วยค่าที่ลดลง เช่นเดียวกับ ค่า 3 sigma ของค่าเบี่ยงเบนทางตำแหน่งของหัวอ่าน โดยสมรรถนะของระบบควบคุม สามารถแสดงเปรียบเทียบกันได้ดังตารางที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมจากการจำลองเมื่อค่า k เปลี่ยนแปลงไป

	W_c	W_a	APC Step
$k = 0.85$	1423.70	472.41	1.38
$k = 1$	1970.50	679.31	1.25
$k = 1.5$	4433.60	1369.00	1.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบและปรับแต่งพารามิเตอร์ของโรตารีโพซิชั่นเนอร์โดยวิธีแผนผังสัมพันธ์ โดยในขั้นตอนแรกทำการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม MatLab ซึ่งแบ่งเป็นกรณีในการทดลองเป็นอีก 2 กรณี คือทดลองปรับค่า K เพื่อปรับเวลาเข้าที่ (Settling Time: t_s) และทดลองปรับค่า K เพื่อปรับค่าฟุ้งเกิน ผลการทดลองปรากฏว่าในกรณีที่ต้องการปรับเวลาเข้าที่ เมื่อเพิ่มค่า K จะทำให้เวลาเข้าที่ลดลง และเมื่อลดค่า K จะทำให้เวลาเข้าที่เพิ่มขึ้น ส่วนกรณีปรับค่าฟุ้งเกิน ผลการทดลองปรากฏว่า เมื่อเพิ่มค่า K จะทำให้ค่าฟุ้งเกินลดลง และเมื่อลดค่า K จะทำให้ค่าฟุ้งเกินเพิ่มขึ้น

หลังจากที่ได้ทำการจำลองการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ซึ่งออกแบบด้วยเทคนิคแผนผังสัมพันธ์โดยโปรแกรม Matlab จากนั้นนำเอาผลการออกแบบมาใช้ทำการควบคุมกับกระบวนการจริง ด้วยวิธี APC TEST และใช้เครื่องทดสอบสมรรถนะของ Rotary Positioner เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมตำแหน่งของ Rotary Positioner ในกรณีปรับเวลาเข้าที่ ผลทดสอบโดย APC TEST พบว่าเมื่อปรับค่า K เพิ่มขึ้นจาก 0.7 เป็น 1 และ 3 จะส่งผลให้ระควบคุม ตำแหน่งของ Rotary Positioner สามารถพาหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งเบี่ยงเบนจากกลางแทร็กส์ด้วยค่าที่ลดลง ส่วนในกรณีปรับค่าฟุ้งเกินผลปรากฏว่าเมื่อปรับให้ค่า k เพิ่มขึ้นจาก 0.85 เป็น 1 และ 1.5 จะส่งผลให้ระควบคุม ตำแหน่งของ Rotary Positioner สามารถพาหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งเบี่ยงเบนจากกลางแทร็กส์ด้วยค่าที่ลดลง

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของโรตารีโพซิชั่นเนอร์ด้วยวิธีแผนผังสัมพันธ์นั้นสามารถทำให้โรตารีโพซิชั่นเนอร์สามารถพาหัวอ่าน/เขียน สัญญาณเซอร์โว ไปยังตำแหน่งกลางแทร็กส์ที่ต้องการได้อีกทั้งยังรักษาตำแหน่งให้หัวอ่าน/เขียน อยู่ที่ตำแหน่งกลางแทร็กส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการควบคุมตำแหน่งของโรตารีโพซิชั่นเนอร์ ซึ่งการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน/เขียน หรือระยะห่างระหว่างแทร็กส์มีหน่วยเป็น นาโนเมตร ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาในงานวิจัยนี้ ซึ่งปัญหาที่พบ มีดังนี้

1. ในการเริ่มต้นทดลองตำแหน่งของโรตารีโพซิชั่นเนอร์ไม่อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นซึ่งจะทำให้

ให้การทดลองเกิดการผิดพลาด เพราะฉะนั้นก่อนการทดลองให้สังเกตว่าโรตารีโพซิชั่นเนอร์อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นหรือไม่ ถ้าไม่ให้ทำการ reboot เครื่องใหม่

2. เนื่องจากการทดลองจำเป็นจะต้องทำการเปิดฝาครอบฮาร์ดดิสก์เพราะฉะนั้นหารฝุ่นละอองหรือนิ้วไปสัมผัสหัว อ่าน/เขียน ก็จะทำให้ฮาร์ดดิสก์ใช้งานไม่ได้ แนวทางแก้ไขคือเวลาเปิดฝาครอบฮาร์ดดิสก์พยายามให้ฮาร์ดดิสก์อยู่ในคลินบูนเนื่องจากจะเป็นพื้นที่ที่ปราศจากฝุ่น
3. หัวอ่าน/เขียน ติดบนแผ่นดิสก์ (Head on Disk) ซึ่งจะทำให้ฮาร์ดดิสก์เสียหายไม่สามารถนำไปทดลองต่อได้ แนวทางแก้ไขคือเมื่อเริ่มต้นใช้งานก่อนที่จะนำหัวอ่าน/เขียนลงไปบนดิสก์ต้องให้แน่ใจว่า spindle motor ได้หมุนแผ่นดิสก์แล้ว และก่อนให้แผ่นดิสก์หยุดหมุนให้ทำการเก็บหัวอ่าน/เขียนก่อน

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

ในการวิจัยนี้ได้นำเอาทฤษฎีของแผนผังสัมพันธ์มาใช้เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อควบคุมตำแหน่งของโรตารีโพซิชั่นเนอร์ให้ไปยังตำแหน่งแทรกซ์ที่ต้องการซึ่งผลการวิจัยถือว่าให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งข้อเสนอแนะของผู้วิจัยคิดว่าอาจจะสามารถนำเอาทฤษฎีอื่นมาออกแบบตัวควบคุมเพื่อควบคุมตำแหน่งของโรตารีโพซิชั่นเนอร์ได้



บรรณานุกรม

- [1] Hitachi inspire the next, "Hard Disk Drive Specification Deskstar7K1000, CinemaStar7K1000, UltraStarA7K1000" on 27 June 2007.
- [2] Canon, "ROTARY POSITIONING SYSTEM" OPERATION MANUAL, 2001.11.27, pp. 29-41.
- [3] K. Saito, K. Muta and S. Manabe, "A solution of the Benchmark problem by coefficient diagram method", ACC95-AIAA-20, 1995.
- [4] S. Manabe and Y.C. Kim, "Recent development of Coefficient Diagram Method", ASSC'2000 3rd Asian Control conference, Shanghai, 2000.
- [5] S. Manabe, "Coefficient Diagram Method", 14th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, Seoul Aug 1998.
- [6] Y. C. Kim, L. H. Keel and S. P. Bhattacharyya, "Transient Response Control via Characteristic Ratio Assignment", IEEE Transactions On Automatic Control, Vol.48, No.12, pp.2238-2244, 2003
- [7] Yamaguchi, T., "HDD servo control development - Present and future", SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference Volume , Issue , 18-21 Oct. 2006 Page(s):2756 – 2759
- [8] Ben M. Chen, Tong H. Lee, Kemao Peng and Venkatakrisnan Venkataramanan, "Hard Disk Drive Servo Systems", 2nd Edition, Springer
- [9] Abdullah Al Mamun, GuoXiao Guo and Chao Bi "Hard Disk Drive Mechatronics and Control", CRC Press Taylor&Francis Group
- [10] S. Jayasuriya and J.W. Song. 1990, On the Synthesis of Compensators for Non Overshooting Step Response. Proceedings American Control Conference. : 683-684
- [11] A.V. Lipatov and N.I. Sokolov, "Some Sufficient Conditions for Stability and Instability of Continuous Linear Stationary Systems", Translated from Automatika, No.9,1978, pp. 30-37
- [12] J. Lo, "An Algebraic Approach to Control System Design," Master Thesis, Department of Applied Science, University of Waterloo, Waterloo Canada, 1996.
- [13] Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering, Third Edition, University Of Minnesota, Prentice Hall Internationnal, Inc. 1997
- [14] STW Manufacturing Maintenance Instruction , " Theory " , IBM.
- [15] http://www.canon.com/optoelectro/1_Laser_Rotary/1-F.html

- [16] http://thaieleczone.com/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=54
- [17] <http://202.28.94.55/web/322461/2550/report/g4/15result1.html>
- [18] <http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet1/hardware/hdisk.htm>
- [19] <http://www.tws.ac.th/thoenwit/Library/ruen%20computer/www.ruencom.com/hdd.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมในการอ่านและเขียนสัญญาณ APC

```

void Amnat(void)
{ int inkey;
  int rc;
  printf("Ver1.12 (19/07/2009) LQ Control For Positioner..... ");
  inkey=0;
  while (inkey!=9)
  {
    printf("\nEnter the SCP parameter For Positioner: 1 - 3: ");
    scanf("%i", &inkey);
    switch(inkey)
    {
      case 1: PosLoadParameter("SCP2");
              // rc=SendCommand("C7A/0" );
              printf("SCP2 parameter For Positioner..... %d ",rc);
              break;
      case 2: PosLoadParameter("SCP3");
              // rc=SendCommand("C7A/0" );
              printf("SCP3 parameter For Positioner..... %d ",rc);
              break;
      case 3: PosLoadParameter("SCP4");
              // rc=SendCommand("C7A/0" );
              printf("SCP4 parameter For Positioner..... %d ",rc);
              break;
      case 4: break;
      default: PosLoadParameter("SCP1");
              // rc=SendCommand("C7A/1" );
              printf("default parameter For Positioner..... %d ",rc);
              break;
    }
  }
}

void measure_pitch(void) // modify to measure canon pos performance
                        // 00/01/26 (chg408)
{
  int s;
  int starting_head;
  int ending_head;
  long starting_cyl;
  long ending_cyl;
  long positioner_start_location1;
  int head;
  int move_to_od;
  int write_first;
  long track; //this is inner loop counter
  int step; //this is micro jog steps
  FILE *tmp1; //107H ,*tmp2,*tmp3;
  long offset_from_start; //wanted to read the whole move line
  long save_pos_start; //save to restore global
                          positioner_start_location

  long normsuma[MAXSECTORS];
  long normsumb[MAXSECTORS];
  long normsumc[MAXSECTORS];
  long suma, sumb, sumc;
  int squeeze [MAXSECTORS];
  float apc;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

long  justa,justb,justc;
int   rbpa,rbpb,rbpc;      // locals for accumulating burst values
float sumnorm;
float sumapc;
long  offset;
int   offset_s;
int   vagc[MAXHEADS];     // no more than 10 heads per ae
int   normavg[MAXHEADS];  // for track average norms returned from
                           // autogain

int   rc;
int   count;
int   apcavg;
//107H int clippeddata;
char  bindat;
int   hit;
int   reg306;
int   aft_erase;
float diff=1000;
int   denominator;        //108A

tmp1=RamFileOpen("w+t","APC.DAT");

load_radial_pattern();//make sure normal pattern is loaded and active
while (!esc_key)
{
    printf("\nEnter the starting head number %i - %i : ",headstart,
headend);
    scanf("%i", &starting_head);
//108A    ending_head=starting_head;
    if ((starting_head >= 0) && (starting_head <= 9))
        break;
}

while (!esc_key)
{
    printf("\nEnter the ending head number %i - %i : ",headstart,
headend);
    scanf("%i", &ending_head);
    if ((ending_head >= 0) && (ending_head <= 9))
        break;
}

printf("\nEnter the starting cylinder (LAST TRK %ld) :
",patternsteps);
scanf("%ld", &starting_cyl);

printf("\nEnter the ending cylinder (LAST TRK %ld) : ",patternsteps);
//107H
scanf("%ld", &ending_cyl);

printf("\nYou will be testing every 1000 cylinders from %ld thru %ld
cylinders at constant step move.",starting_cyl, ending_cyl);

printf("\nDo you want to write bursts? (1=yes 0=no) : ");
scanf("%i", &write_first);

printf("\nDo you want to move to the start location? (1=yes 0=no) :
");
scanf("%i", &move_to_od);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while (!esc_key)
{
    printf("\nDo you want to power off after erasing (1=yes 0=no
2=latch only) : "); //107H
    scanf("%i", &aft_erase);
    if (aft_erase >= 0 && aft_erase <= 2) //107H
        break;
}

if( move_to_od == 1 )
    PusherHeadLoad(0); //WCHNCH//pusher_start(); //chg405
rc = PosReadCount(&positioner_read_location);
if( rc )
{
    printf("\nPositioner Failure at move\n");
    return;
}
positioner_start_location = nchidlocation; //107H
positioner_read_location;
positioner_move_location = nchidlocation; //107H
positioner_read_location;

save_pos_start = positioner_start_location;
rc = PosMoveCount(positioner_start_location);
if( rc )
{
    printf("\nPositioner Failure at move\n");
    return;
}
printf("\nStarting location = %ld.\n",positioner_start_location);

denominator=12; //108A
GangOn(); //108A
gotonewvcm(BIAS_TO_WRITE);

sendintegral((float)getvcmvalue()); // initialize gain acc. w/dac
interruptoff(); // mask off all interrupts
except coprocessor - must maintain real-time control

//107H gaincontrol(base_agc); // set for default
// Write
offset_from_start = - GetStep(starting_cyl);
rc = PosMoveCount(positioner_start_location + offset_from_start);
if( rc )
{
    printf("\nPositioner Failure at move\n");
    return;
}
if(write_first)
{
    wb=0; // anyway start from A burst
    sendwrburst(wb); // send the write burst count
to TMS 30
    for (track = starting_cyl; track < (ending_cyl+20); track++)
//change tracks to +20 from +50
    {
        offset_from_start = - GetStep(track);
        rc = PosMoveCount(positioner_start_location + offset_from_start);
        if (rc != 0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        printf("\nAn error has happen during pos_move rc: %d.", rc);
        break;
    }
    endwait();          // wait for last sector indicator
// waitrev();          // change cycle
    writestart();       // enables write gate R-card
// note: writes only take place in individual rad burst locations
// don't worry about head switches, always a sector between
writes

    for (head = starting_head; head <= ending_head; head++)
    {
        sethead(head); /* set the head selects */ //chg406

        for (s = 0; s < nsect; s++)
            readsector(0); // set gains to 0 and write are accruing

        radialnop();    //107E
    }
    writeend();         // disable write gate

    wb = (wb+1)%nbrst; // next write burst
    sendwrburst(wb);   // send the write burst count to C30
    if ((*button&1) == 0) break;
    } // end "track" writing loop
}
// Measure APC
    printf("\nAPC measurement...");
    fprintf(tmp1, "measure pitch from %ld trk to %ld trk\n",
starting_cyl, ending_cyl);
    for (head = starting_head; head <= ending_head; head++)
    {
        positioner_move_location = nchidlocation;
        for( track=(starting_cyl+2),rb=2; track < ending_cyl;
track++,rb=(rb+1)%nbrst )
        {
            hit=0;
            sethead(head); /* set the head selects */
            offset=1000;
            if( track== ( starting_cyl+2) && write_first )
            {
                offset_from_start = - GetStep(track) + offset;
            }
            else
            {
                rc = PosReadCount(&positioner_move_location);
                offset_from_start=0;
            }
            rc = PosMoveCount(positioner_move_location + offset_from_start);
            if (rc != 0)
            {
                printf("\nAn error has happened during pos_move rc: %d.", rc);
                break;
            }
            if( track>(starting_cyl+2) )
                gaincontrol(vagc[head]); // sets rf gain to desired value
            else
                gaincontrol(150/*base_agc*/); // set for default 107H
        }
    }
    rbpa = (rb+nbrst-1)%nbrst;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

rbpb = rb;
rbpc = (rb+1)%nbrst;
sendrdburst(rbpa); // switch read burst
//107E if( track==( starting_cyl+2) && write_first )
//107E {
offset= -200;
offset_s = -200;
for (step = 0; step < 40/*200*/; step++) //107H
{
justa = justb =justc = 0L;
radial_synch();

for (s = 0; s < nsect/denominator; s++) //107H 108A change
to "denominator"
{
readsector(0);
justa += (long)getrawsignal(rbpa);
}
for (s = 0; s < nsect/denominator; s++) //107H
{
readsector(0);
justb += (long)getrawsignal(rbpb);
}
for (s = 0; s < nsect/denominator; s++) //107H
{
readsector(0);
justc += (long)getrawsignal(rbpc);
}
if( (justb/(nsect/denominator)) > 500/*900*/ ) //107H
{
if(abs(offset_s) > 10 )
{
if( (justc > justa) && (offset_s <= 0) )
offset_s /= -2;
else if( (justa > justc) && (offset_s >= 0) )
offset_s /= -2;
}
else
{
if( (justc > justa) )
{
offset_s = 10;
//107H offset_s = (int) ((float)(justc-justa)/(float)nsect/(float)10);
//107h if(offset_s < 1 ) offset_s=5;
}
else if( (justa > justc) )
{
offset_s = -10;
//107E offset_s = (int) ((float)(justc-justa)/(float)nsect/(float)10);
//107E if(offset_s < -1 ) offset_s=-5;
}
hit++;
}
}
offset = (long)offset_s;
//107E////////////////////////////////////
if(hit > 2/*5*/ ) //107H
{
if( track==(starting_cyl+2) /* ||:track==(starting_cyl+3)*/)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้หรือเผยแพร่ในทางอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//          radial_synch();
          vagc[head] = autogain(rbpb, &normavg[head]); // adjust
rf gain for 5v demod signal
          gaincontrol(vagc[head]); // sets rf gain to desired
value
          printf("\nHead = %d : Norm = %d AGC =
%d\n", head, normavg[head], vagc[head]);
          fprintf(tmp1, "\nHead=%d Norm=%d
AGC=%d\n", head, normavg[head], vagc[head]); //108A
        }
        break;
    }
    offset_from_start += offset;
    rc = PosMoveCount(positioner_move_location +
offset_from_start);
    if (rc != 0)
    {
rc);
        printf("\nAn error has happened during pos_move rc: %d.",
        break;
    }

} // end of step loop

for (s = 0; s < nsect/denominator; s++) //107H
    normsuma[s] = normsumb[s] = normsumc[s] = 0L;
    radial_synch();
for (count=0; count<4 /*10*/; count++) //107H
{
    for (s = 0; s < nsect/denominator; s++) //107H
    {
        readsector(0);
        normsuma[s] += (long)getrawsignal(rbpa);
    }

    for (s = 0; s < nsect/denominator; s++) //107H
    {
        readsector(0);
        normsumb[s] += (long)getrawsignal(rbpb);
    }

    for (s = 0; s < nsect/denominator; s++) //107H
    {
        readsector(0);
        normsumc[s] += (long)getrawsignal(rbpc);
    }
}
for (s = 0; s < nsect/denominator; s++) //107H
{
    apc= (float)(normsuma[s] + normsumc[s]) / (float) normsumb[s];
//107H    squeeze[s] = (int)(apc *(float)512); // units are 1=
read width/512
}

sumapc = (float)0.0;
sumnorm= (float) 0.0;
for (s=0; s < nsect/denominator; s++) //107H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        sumapc += (float)(normsuma[s] + normsumc[s]) / (float)
normsumb[s];
        sumnorm += (float) normsumb[s];
    }
    sumapc /= (float)nsect/denominator;           //107H
    sumnorm /= (float)nsect/denominator;         //107H
    sumnorm /= (float)10;    // 8 revolution loop above

    if( head == starting_head )
    {
        if(track==(starting_cyl+2) )
        {
            for (s = starting_head; s <= ending_head; s++)
            {
                // end head

            }
        }
//107I//////////
        if ((ending_cyl-starting_cyl)<=5000)
        {
            fprintf(tmp1, "%6ld %8ld
%1.4f",track,positioner_move_location,sumapc);
        }
        else
        {
            fprintf(tmp1, "%8ld %1.4f", positioner_move_location,
sumapc); //to measure wide range
        }
        fprintf(tmp1, "\n");
//107E        fprintf(tmp2, "\n");
    }
    else
    {
        if ((ending_cyl-starting_cyl)<=5000)
        {
            fprintf(tmp1, "%6ld %8ld
%1.4f",track,positioner_move_location,sumapc);
        }
        else
        {
            fprintf(tmp1, "%8ld %1.4f", positioner_move_location,
sumapc); //to measure wide range
        }
        fprintf(tmp1, "\n");
//107E        fprintf(tmp2, "\n");
    }
//107E    cprintf("\r\r\rHead %d Cylinder %ld",head,track+1 );
    cprintf("\r\r\rCylinder %6ld POS %8ld APC
%1.4f",track+1,positioner_move_location,sumapc );

    radial_synch();
    if ((*button&1) == 0) break;
}
    if ((*button&1) == 0) break;
}
        // end head loop

    fprintf(tmp1, "\n");
//107E    fprintf(tmp2, "\n");

```

//ลบThen eraser surface สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(write_first)
{
    load_quiet_radial_pattern();           // new for fremont p2
    for (track = starting_cyl; track < ending_cyl+50; track++)
//expand cyl to erase more OD 108A
    {

        offset_from_start = - GetStep(track);

        rc = PosMoveCount(positioner_start_location +
offset_from_start);
        reg306=*x306;
        for (head = starting_head; head <= ending_head; head++)
            {
                sethead(head);           // set the ae & head selects
                // turn on erase
                *x306 = 0x3a5;
                eraseon();
                WaitRevWoRad(rpm);
                eraseoff();
                *x306 = 0x365;
            }
            *x306 = reg306;
        }
        load_radial_pattern(); // new for fremont p2
        endwait(); // resynch to index to ensure full rev erasures
    }
    interrupton();
    if (rc == 0)
    {
        rc = PosMoveCount(posfirst); // go to id
        if (rc == 0)
            rc = PosReadCount(&positioner_move_location);
    }

// GangOn(1); //chg024 3.5 NCH
GangOn(); //chg A.kagawa

    fclose(tmp1); // wrap up
//107E fclose(tmp2);
//107E fclose(tmp3);
    if(aft_erase==1) //MotorOff();
    {
        latch(); //del405 add 185B
        UnloadUnit(); //add 185B
    }
    else if(aft_erase==2) //107H
    { //107H
        latch(); //107H
    } //107H
    return;
} // end of measure_apc

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ผลของ APC

```

clear all;
% get rawdata file
[filename,pathname] = uigetfile({'*.dat','Data files (*.dat)';'*.*','All
Files (*.*)'},'Select data file');
if isequal(filename,0)|isequal(pathname,0)
    %disp('Abort');
    return;
end
cd (pathname);
filename1 = strcat(pathname,filename);
fid = fopen(filename1);
for i = 1:3                                %% delete top 3 lines %%
    fgetl(fid);
end
apc1 = fscanf(fid,'%d %d %f',[3 inf]);
apc1 = apc1';
apc = [apc1(:,2) apc1(:,3)];
fclose(fid);
last = size(apc);
%apc = load(filename);
%% find curve fitting to plot UCL and LCL at +/- 8% of average value of
all data
x = (1:last(1))';
x_m = (x - mean(x))./std(x);              % centering and scaling x to avoid error
in polyfit
p = polyfit(x_m,apc(:,2),4);
p1 = p;
p1(5) = p1(5) + (p1(5)*0.08);
p2 = p;
p2(5) = p2(5) - (p2(5)*0.08);
ucl = polyval(p1,x_m);
lcl = polyval(p2,x_m);
avg = polyval(p,x_m);
figure;
%plot(apc(:,2));
plot(x,apc(:,2),x,ucl,'r',x,lcl,'r',x,avg,'y');
title(filename);
%plot(apc(:,1),apc(:,3))
add1 = apc(1:last-1);
%add1 = apc(1:last-1,2);
add2 = apc(2:last);
%add2 = apc(2:last,2);
add = add1-add2;
grid;
figure;
plot(add);
title(filename);
%plot(apc(1:last-1,1),add);
grid;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. “Traffic Forecasting and Navigation Assistance System via Web Application”
Amnat Meemongkol, Arjin Numsomran, Vittaya Tipsuwannaporn and Pisit Boonsrimuang ,
International Conference on Control, Automation and Systems 2007 Oct. 17-20, 2007 in
COEX, Seoul, Korea
2. “OPTIMIZATION PARAMETERS OF ROTARY POSITIONER CONTROLLER USING
CDM” Meemongkol A., Tipsuwanporn V. and Numsomran A., World Academy of Science,
Engineering and Technology 59 2009, Bali Indonesia.

ICCAS 2007

International Conference on Control, Automation and Systems 2007

• PROCEEDINGS



- Welcome Message
- Conference Organization
- Conference Information
- Plenary Talks, Invited Talks & Special Session
- Table of Contents
- Author Index
- Financial Contribution
- E-proceeding Search
- EXIT

October 17-20, 2007
COEX, Seoul, Korea

IEEE Catalog Number: 07EX1874 ISBN: 978-89-950038-6-2-98560

In conjunction with KIC 2007



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Traffic Forecasting and Navigation Assistance System via Web Application

Amnat Meemongkol, Arjin Numsomran, Vittaya Tipsuwannaporn and Pisit Boonsrimuang

Faculty of Engineering, Department of Instrumentation Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
(Tel : +668-1-925-0356; E-mail: ktvittay@kmitl.ac.th)

Abstract: This paper presents a model of Traffic Forecasting and Navigation Assistance System via Web Application which provides guidance information to drivers for the efficient route planning. Traffic Forecasting and Navigation Assistance System (TFNAS) consists of survey car with GPS module which has rolls of reading traffic information and sending the information to TFNAS Center via internet. TFNAS Center is the center of GPS database and traffic information processing system. It collects GPS information real-time, calculates the traffic density and sends the guidance information of the most effective route which has a least time of arrival to Front-end Devices, Smart Phone PDA Laptop, via Web Brower.

Keywords: Traffic forecasting, Navigation assistance, Web Application, Graphic User Interface, Mobile device

1. INTRODUCTION

Nowadays, traffic load in the large cities becomes increasingly worse so that the effective navigation which is supported by advance satellite navigation and communication technology is required for handling strategies to the drivers in order to provide efficient dynamic guidance information [1,2]. This research presents a model of Traffic Forecasting and Navigation Assistance System via Web Application which provides guidance information to drivers for the efficient route planning. Traffic Forecasting and Navigation Assistance System (TFNAS) consists of survey car with GPS module which has rolls of reading position, time and velocity information and sending the information to TFNAS Center via internet. TFNAS Center is the center of GPS database and traffic information processing unit. It collects GPS information real-time, calculates the traffic density and sends the guidance information of the most effective route which has a least time of arrival to Front-end Devices via Web Brower [3]. With the help of TFNAS center, TFNAS can guide the driver through the traffic by mobile devices such as PDA, smart phone or mobile phone [4]. The driver profits from improved quality of the route calculation with dynamic traffic data is the accurate travel time forecast which can be accessed by Wi-Fi Hotspot, GPRS, EAGE, CDMA, ADSL anywhere any time [5,6,7]. The paper is organized as follows. The next section gives details about vehicle navigation theory. Section 3 explains the TFNAS design method. Section 4 shows experiment process and results. Finally, conclusions are given in section 5.

2. TFNAS DESIGN METHOD

In this section, Fig. 1 TFNAS architecture will be explained. The TFNAS design is divided by 5 parts as GPS module, Survey Car, TFNAS Center, Internet Connections, Front-end Devices which have details as following [8].

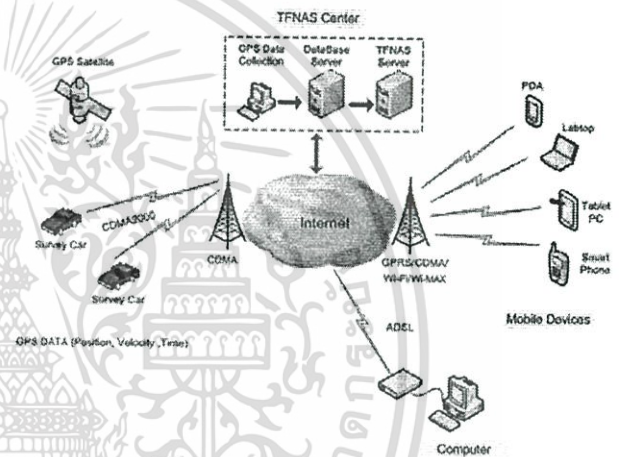


Fig. 1 TFNAS Architecture

2.1 GPS Module

GPS Module consists of Global Positioning System: GPS and Mobile Computer.

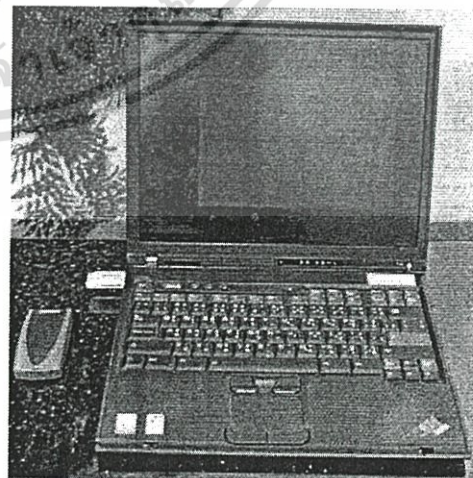


Fig. 2 GPS Module

- GPS is a satellite-based navigation system made up of a network of 24 satellites placed into orbit. GPS receivers take signal information from satellites and

calculate the user's exact position in 2D (latitude and longitude). Once the user's position has been determined, the GPS unit can calculate other information, such as speed over ground, track, trip distance, distance to destination, sunrise and sunset time and more. The following received data of GPS module is in National Marine Electronics Association (NMEA) format. The code meaning has the details as table1.[2]

\$GPRMC,074442,A,1344.1962,N,10040.2161,E,040.9,099.1,070507,000.4,W*67

Table1 Meaning of RMC in NMEA format

GPS Value	Meaning
RMC	Recommended Minimum Sentence C
074442	Fix taken at 07:44:42 UTC
A	Status A = active
1344.1962,N	Latitude 13 deg 44.1962' N
10040.2161,E	Longitude 100 deg 40.2161' E
040.9	Speed over the ground in knots
099.1	Track angle in degrees True
290107	Date - Jan 29, 2007
000.4,W	Magnetic Variation
*67	The checksum data, always begins with *

In this paper, we calculate the ground speed of survey cars (Km/h) for traffic density reference as following.

$$\text{Speed over Ground (Km/h)} = \frac{V * 0.514444444 * 3600}{1000} \tag{1}$$

where

V is Speed over Ground (Knot)

- Mobile Computer is used for collecting the data from GPS and sending them to TFNAS Center via internet by Wi-Fi Hotspot, GPRS, EAGE, CDMA, etc.

2.2 Survey Car

In this paper, we installed GPS modules into survey cars and lets they travel along the interested route for measuring and collecting the data of traffic density such as position and their velocity at that time. The collected data from survey cars will be sent to TFNAS center for traffic condition analyzation.

The survey cars with GPS modules will send the collect traffic density data to TFNAS Center via internet by Wi-Fi Hotspot, GPRS, EAGE, CDMA, etc. This paper uses the CDMA2000 1X EVDO to connect between GPS module and TFNAS Center at high speed for applicable sending the traffic information real-time.

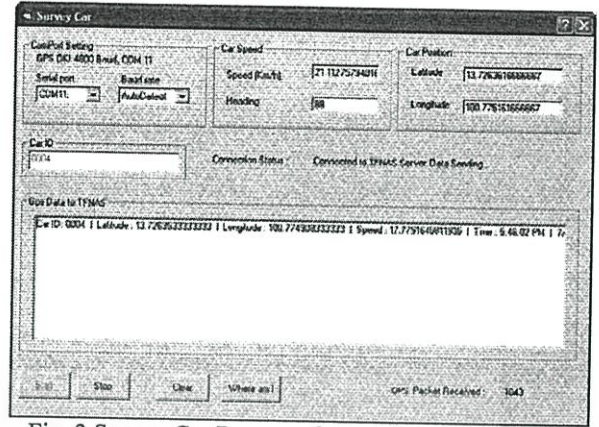


Fig. 3 Survey Car Program for sending the data to TFNAS Server

2.3 TFNAS Center

Traffic Forecasting and Navigation Assistance System Center (TFNAS) is the center of GPS database server and TFNAS Server. It collects GPS information from survey cars real-time and saves it into database server. Then TFNAS server act in 2 rolls as following details.

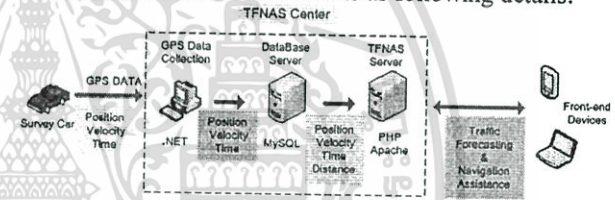


Fig. 4 Infrastructure of TFNAS Center

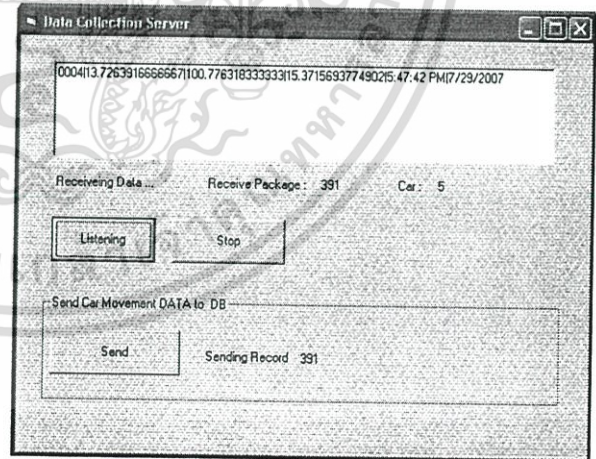


Fig. 5 Data Collection Program for receiving the data from Survey Car

- TFNAS server is the application server for traffic forecasting and navigation assisting for the required routes. TFNAS server drags the GPS information from database server for traffic forecast processing as the following details.

In this paper, we define the density of traffic by the reference with the ground speed of surveys cars. They are arranged into the table of equivalent of percent of traffic jam as table 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






Table 2 Percentages of traffic Jam compare to GP

Ground Speed (Km/h)	AVG Ground Speed (Km/h)	% of Traffic Jam
>= 60	60	0 %
>40 & <=59	49.5	20%
>30 & <=49	39.5	50%
>10 & <=29	19.5	75%
<= 10	10	100%

** Speed Limit in the City not over 60 Km/h

The results of TFNAS server are shown as the percentages of traffic jam and the reference of colored route. The details of routes in colors which are compared to the percentage of traffic jam are shown as table 3.

Table 3 Routes in colors compare to % of traffic Jam

Route in Color	% of traffic Jam
Dark Green 	0%
Light Green 	20%
Yellow 	50%
Orange 	75%
Red 	100%

TFNAS Server will suggest the optimal route to drivers. In this paper, we define the optimal route as the route which has a least time of driving while the routing calculation is come from percentage of traffic jam at that time, the average value of vehicle velocity and the distance of route.

$$T = \frac{D}{AGP} \tag{1}$$

where

T is Driving time (sec)

D is Distance (meter)

AGP is Average Ground Speed (m/s)

Example

Driver would like to travel from place A to B. Three routes that can be used have the conditions as following.

Route 1 : 75% of traffic Jam, Distance 750 meters

Route 2 : 50% of traffic Jam, Distance 930 meters

Route 3 : 0% of traffic Jam, Distance 1,9500 meters

TFNAS Server calculates the driving time (*T*) for each route as following.

Route 1 : *T* = 138.46 s

Route 2 : *T* = 84.76 s

Route 3 : *T* = 90 s

TFNAS Server will suggest route2 which has least driving time, 84.76 sec, to user for the traveling from place A to B.

- TFNAS Server is Web Server for traffic

information service via web browser which can minimize the limitation of compatibility between operating system and front-end devices.

2.4 Internet Connections

Internet Connection is the important part which connects the network of Mobile Computer on Survey Cars, users' Mobile Devices to TFNAS Center. The Mobile Computer on Survey Cars use CDMA2000 Air Cards as communication tools for sending GPS information to TFNAS Center.

Drivers can use Mobile devices to access the Traffic Forecasting and Navigation Assistance service via Internet by Wi-Fi Hotspot , GPRS, CDMA , ADSL, Wi-MAX ,etc.

2.5 Front-end Devices

The final part of TFNAS is Front-end Devices. They are the equipments for communication between users and TFNAS Center; display the Traffic Forecasting and Navigation Assistance to users. In this paper, PDA and Laptop are the Front-end Devices for the experiments.

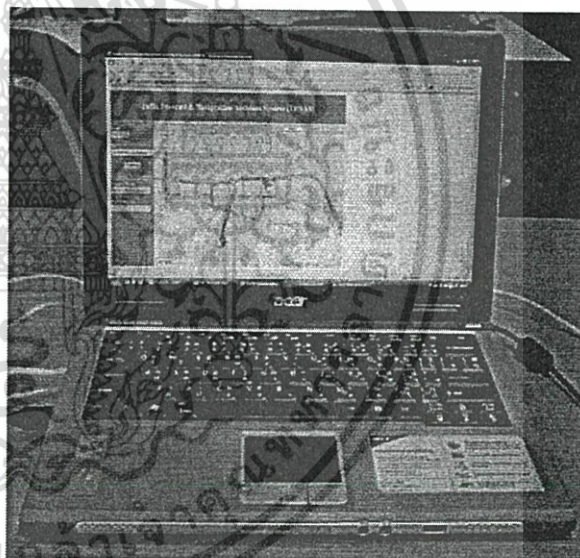


Fig. 6 Front-end Device

4. THE EXPERIMENT RESULTS

In this section, the implemented TFNAS system consisted of 6 survey cars with GPS modules which consist of GPS, lab top and CDMA2000 Air card), TFNAS Server and user laptop as a front-end device.

We installed the Survey Car Application program into the laptop of GPS module and then packed the GPS module with the Survey Car for collecting the traffic density data along the specified route.

The experiment of TFNAS in this paper, we define the starting place at the Department of Instrumentation Engineering and the arriving place at the Suwanaphom Airport. The distance along the route is xx00 meter. The survey cars with GPS modules drove from the starting point to the end along 2 routes which were R1:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Charongkrung-Aonnuch and R2: a street along the edge of Moterway.

In the experiment, we divided the 6 survey car by two group. First group surveyed the traffic density along the way of path R1 and second group for path R2.

The GPS modules on each survey cars sent the GPS data such as Route_name_id, Car_id, Latitude, Longitude, Velocity, Data and Time to TFNAS center continuously. The TFNAS center collected the traffic data and saved them in MySQL Database Server.

TFNAS server processed the traffic data for analysis the traffic density in each route and then sent the results to user's laptop via web browser. TFNAS server sent the result as Fig. 7 and Fig. 8 and assisted user to select the light green route for the best efficient plan.

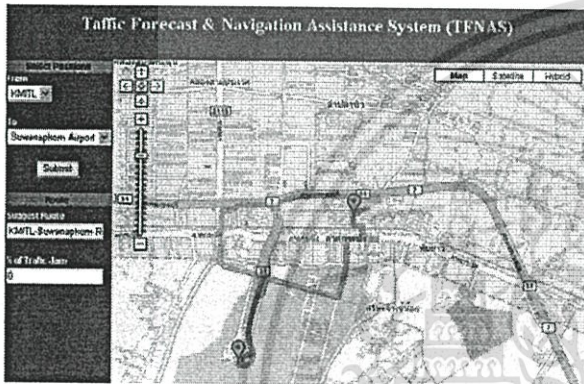


Fig. 7 The assistant traffic density information from TFNAS in the rush hours: about 7:00 to 10:00 am and 2:00 to 8:00 pm.

In the rush hours: about 7:00 to 10:00 in the morning and 2:00 to 8:00 in the evening, TFNAS center assisted user to choose R2 path, green color, which has a 0% of traffic jam.

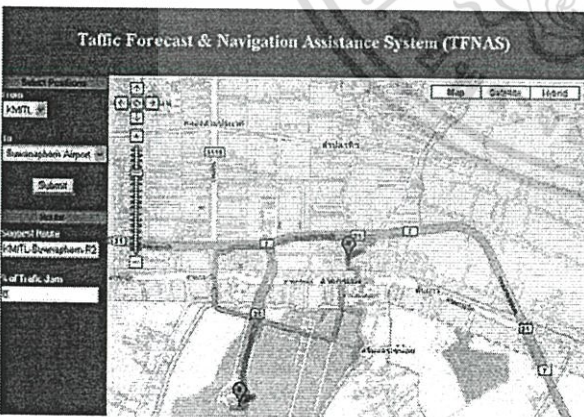


Fig. 8 The assistant traffic density information from TFNAS in the period of 9:00 to 11:00 am

In the period of 9:00 to 11:00 am which had the less traffic density, TFNAS center allowed user to choose both path, R1 and R1, green color, depend on the convenience of user.

As the experiment results TFNAS System is able to

report the traffic density data which conform to the real traffic condition and provide the guidance of the most efficient route that spent the less time for driving to user correctly.

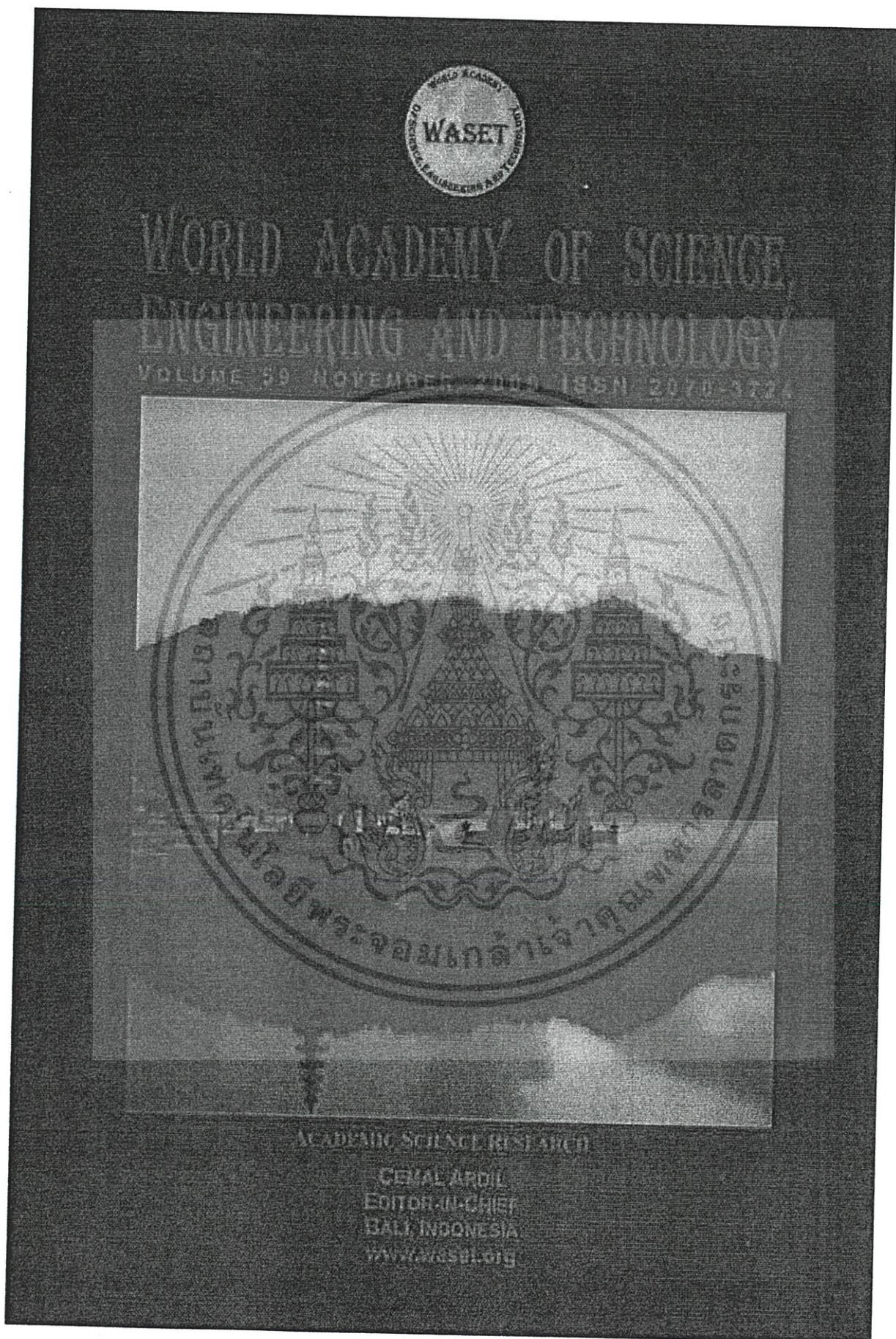
5. CONCLUSION

The total in this research, Traffic Forecasting and Navigation Assistance System via Web Application is presented. The experiment results are able to illustrate that TFNAS can provides traffic guidance information to users for the efficient route planning via Web Brower real-time. The driver profits from improved quality of the route calculation with dynamic traffic data is the accurate travel time forecast which can be accessed via internet anywhere any time.

REFERENCES

- [1] Dunstan, W. "Computer and GPS navigation system for an autonomous ocean vessel" Digital Object Identifier: 10.1109/ANZIIS.1995.705758
- [2] Catling, I.; Warriner, D. "Using GPS as part of an on-bus video system for bus lane enforcement"
- [3] Boonsrimuang, P. Kobayashi, H. Paungma, T. "Mobile Internet navigation system" Digital Object Identifier: 10.1109/ HSNMC. 2002.1032600
- [4] Thomas J. Nagle, James A. Arnold, Christopher K. Wilson, Paul M. Novak "Automotive Concepts for Use of the Modernized Global Positioning System (Gps)" SAE Technical Papers, Document Number: 2003-01-0538
- [5] John Skibinski, Jim Trainor, Chad Reed "Internet-Based Vehicle Communication Network " SAE Technical Papers, Document Number: 2000-01-3503
- [6] Shi, Y.Q., Zhang, Z.H., Fang, Y. and Jiang, C. J. (2003) 'Build city traffic information service system based on grid platform', *Proceedings of 2003 IEEE Intelligent Transportation Systems*, Vol. 1, pp.278-282.
- [7] Stockus, A., Bouju, A., Bertrand, F. and Boursier, P. (2000) 'Web-based vehicle localization', *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000 (Cat. No.00TH8511)*, pp.436-441.
- [8] Zhang, Z.H., Zhi, Q., Zeng, G.S. and Jiang, C.J. (2004) 'The architecture of traffic information grid', *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3032, pp.209-212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimization Parameters of Rotary Positioner Controller using CDM

Meemongkol A., Tipsuwanporn V. and Numsomran A.

Abstract— The authors present optimization parameters of rotary positioner controller in hard disk drive servo track writing process using coefficient diagram method; CDM. Due to estimation parameters in PI Positioning Control System by expected ratio method cannot meet the required specification of response effectively, we suggest coefficient diagram method for defining controller parameters under the requirement of the system. Finally, the simulation results show that our proposed method can improve the problem in tuning parameter of rotary positioner controller. It is satisfied specification of performance of control system. Furthermore, it is very convenient as a fast adjustment damping ratio as well as a high speed response.

Keywords—Optimization Parameters, Rotary Positioner, CDM

I. INTRODUCTION

Rotary positioner control system in No Clock Head servo track writer control the product actuator during the servo write process by PI controller which is configured to suit various specifications by setting controller parameters.

Problem that occurred with the parameters adjustment in PI Positioning Control System of Rotary Positioner is estimating them from the related ratio that recommended by user manual [1] cannot meet the desired specification response. Due to the relation of parameters in control system, tuning them formlessly cannot meet the required specification of response and causes time wasting. This paper proposes optimization the parameters of PI Rotary Positioner Control System using Coefficient Diagram Method which is satisfied specification of performance of control system. Furthermore, it is very convenient as a fast adjustment damping ratio as well as a high speed response.

The details of our proposed method and experiment are described clearly as the following topic. In section 2 has the detail of Position control of rotary Positioner in servo track writing process. In section 3 explains the detail of Coefficient Diagram Method. In section 4 describes the detail of Numerical Experiment. In section 5 has the detail of

Memongkol A. is with the Faculty of Engineering, Instrumentation Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

Tipsuwanporn V. is with the Faculty of Engineering, Instrumentation Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand., Phone: 661-9250356; Email: ktvittay@kmitl.ac.th

Numsomran A. is with the Faculty of Engineering, Instrumentation Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand., Phone: 661-9250356; Email: knarjin@kmitl.ac.th

Simulation & Results and the conclusion is explained in section 6.

II. POSITION CONTROL OF ROTARY POSITIONER IN SERVO TRACK WRITING PROCESS

A. Rotary Positioner Control System

Rotary Positioner Control System is one of the most important parts of conventional servo track writer. It is used to control the product actuator during the servo write process. In Figure1 shows structure of one cell servo track writer experimental equipment that consists of the first part as personal computer (PC). It executes test code for monitor and controls all procedures in servo track writing process. The second part is block of control/driver and interface card which consist of radial card, R/W motor card, clock pattern card and DE IF card.

The third significant part is the part of positioning control in rotary positioner control system which plays a crucial role as it carries out the positioning of R/W head. It consists of rotary positioner (Motor/Encoder KP-1M) and positioner control card (System Controller : SC-01H/PC) which receives commands and the value of positioning control parameters from PC in the form of execute software. Then the positioning control are controlled by an on-board DSP, which runs its own task to generate the suitable control signal and send the signal to drive circuit and rotary positioner respectively.

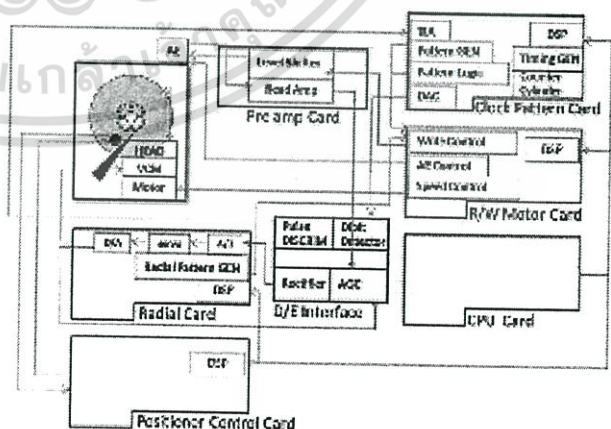


Fig. 1. Block Diagram of One Cell Tester

B. Parameters of Rotary Positioner Control System

This section describes the parameters which are used in this rotary positioner system. The rotary positioner system can be

configured to suit various specifications by setting parameters. The parameters are sent to the rotary positioner from the host computer via the interface.

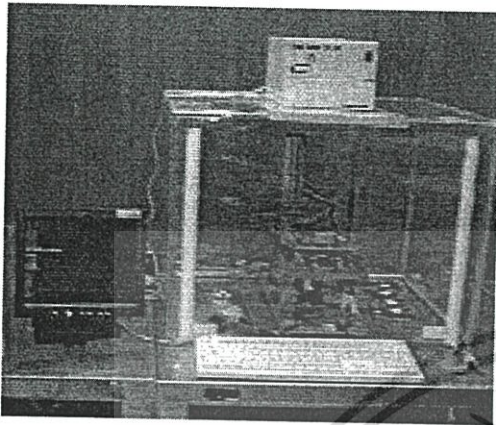


Fig. 2. STW One Cell Test Bench

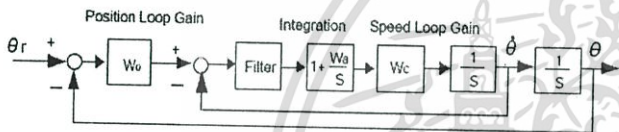


Fig. 3 Schematic of PI Positioning Control System

Control system's block diagram is showed in Fig. 3. Because the servo system consists of digital sub-systems, it is a discrete system. However, so the servo system can be regarded as a continuous system.

The functions of parameters from the viewpoint of the servo system as a continuous system are individually described in the following

W_o : Position Loop Gain [rad/second]

This parameter is used to determine the response of the position control loop. Generally, the position loop gain W_o is set to a value less than one-fourth of the Speed Loop Gain.

W_c : Speed Loop Gain [rad/sec]

This parameter, which determines the response of the speed control loop, is normally set to a value at least four times the Position Loop Gain. The higher the speed loop gain, the greater the servo stiffness. It is thus desirable to set as high a speed loop gain value as possible, but setting it too high will affect the resonant frequency point of the mechanical system and cause hunting to occur in the servo system. Therefore, set the Speed Loop Gain to the maximum value at which no hunting occurs.

W_a : Integration Constant [rad/sec]

Similar to speed loop gain, this parameter also greatly affects the servo stiffness. The higher the integration constant, the greater the servo stiffness, setting this value too high, however, will adversely affect the stability of the servo system and cause hunting to occur. The Integration Constant is normally set to a value about one-third of the Speed Loop Gain.

W_f : Filter Constant [rad/sec]

This parameter fixes cut off frequency of low pass filter. A typical value for this parameter is four times as large as the speed loop gain. The lower the cut-off frequency W_f is, the smaller the noise in the system becomes. Setting W_f too low, however, affects the system stability and requires longer setting time.

C. Problems with parameter tuning of Rotary Positioner Controller

Problem that occurred with the parameters adjustment in PI Positioning Control System of Rotary Positioner is estimating them from the related ratio that recommended by user manual cannot meet the desired position response.

Due to the relation of parameters in control system, tuning them formlessly cannot meet the required specification of response and causes time wasting.

This paper proposes optimization the parameters of PI Rotary Positioner Control System using Coefficient Diagram Method which is satisfied specification of performance of control system. Furthermore, it is very convenient as a fast adjustment damping ratio as well as a high speed response.

III. COEFFICIENT DIAGRAM METHOD

The CDM [2], [3] is used for design the controller so that the step response of the controlled system satisfies both transient and steady state response specifications, and also satisfies the requirements of stability, faster response and robustness.

Coefficient Diagram is used for investigating the stability, time response and robustness characteristics of systems in a single diagram, which is important for systems with large characteristic polynomial degree.

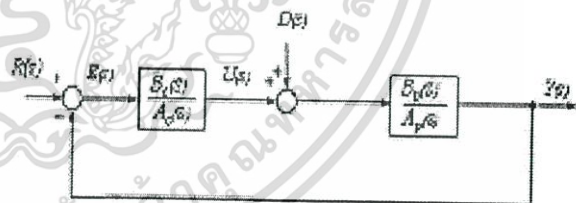


Fig. 4 A block diagram of CDM control system.

The block diagram of CDM design for a single input-single output (SISO) system is shown in Fig 4. Here $Y(s)$ is the output signal, $R(s)$ is the reference input, $D(s)$ is the disturbance. $B_p(s)$ and $A_p(s)$ are numerator and denominator of transfer function of the plant, respectively. $B_c(s)$ and $A_c(s)$ are numerator and denominator of transfer function of the controller transfer function.

The polynomials form of the controller and the plant are generally be written respectively in the form [4].

$$A_c(s) = l_\lambda s^\lambda + l_{\lambda-1} s^{\lambda-1} + \dots + l_0 \tag{1}$$

$$B_c(s) = k_\lambda s^\lambda + k_{\lambda-1} s^{\lambda-1} + \dots + k_0 \tag{2}$$

and

$$A_p(s) = P_k s^k + P_{k-1} s^{k-1} + \dots + P_0 \tag{3}$$

$$B_p(s) = q_m s^m + q_{m-1} s^{m-1} + \dots + q_0 \tag{4}$$

where $\lambda < k$ and $m < k$

When we neglect the effect by disturbance $D(s)$, closed loop transfer function become $G_{cl}(s)$ in eq. (5).

$$G_{cl}(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{B_p(s)}{A_c(s)A_p(s) + B_c(s)B_p(s)} \tag{5}$$

the characteristic polynomial and given by

$$P(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 \tag{6}$$

$$= \sum_{i=0}^n a_i s^i$$

where a_0, a_1, \dots, a_n are the real coefficients.

The stability index γ_i the equivalent time constant τ and the stability limit γ_i^* are defined as follows:

$$\gamma_i = \frac{a_i^2}{a_{i+1} a_{i-1}}, i = 1, \dots, n-1, \gamma_0 = \gamma_n = \infty \tag{7}$$

$$\tau = \frac{a_1}{a_0} \tag{8}$$

$$\gamma_i^* = \frac{1}{\gamma_{i+1}} + \frac{1}{\gamma_{i-1}} \tag{9}$$

From Eq. (6) - (8), the coefficients a_i and the characteristic equation $P(s)$ are

$$a_i = a_0 \tau^i \frac{1}{\gamma_{i-1} \dots \gamma_2 \gamma_1^{i-1}} = a_0 \tau^i \prod_{j=1}^{i-1} \frac{1}{(\gamma_{i-j})^j} \tag{10}$$

$$P(s) = a_0 \left\{ \sum_{i=2}^n \left(\prod_{j=1}^{i-1} \frac{1}{\gamma_{i-j}^j} \right) (\tau s)^i + \tau s + 1 \right\}, \tag{11}$$

The coefficients in Eq. (5) came from the chosen stability index γ_i and equivalent time constant τ by equating the $P(s)$ of Eq. (5) with the characteristic equation of Rotary Positioner control system, such that the parameters of PI controller are obtained.

IV. CONTROLLER DESIGN FOR THE ROTARY POSITIONER SYSTEM

In this section, the design procedures of PI Controller via CDM.

where PI Controller transfer function is Eq. (12)

$$G_c(s) = \frac{W_c s + W_o W_a}{s} \tag{12}$$

Rotary Positioner closed loop system transfer function is expressed as below.

$$G_{cl}(s) = \frac{W_o \cdot s + W_o \cdot W_a \cdot W_c}{T_f s^4 + s^3 + W_c s^2 + (W_a \cdot W_c + W_o \cdot W_c) s + W_o \cdot W_a \cdot W_c} \tag{13}$$

The equivalent time constant τ is chosen as $\tau = t_s / 2.58$ where t_s is the specified settling time.

Stability indices for Rotary Positioner system came from the best value that gave best simulation results. It is different from standard form [4] but still achieve the desired characteristics for the controller

Stability index $\gamma_1 = 4, \gamma_2 = 1.4286, \gamma_3 = 5$

The stability limits are computed from Eq.9 to be

$$\gamma_i^* = [0.699 \quad 0.45 \quad 0.699]; i = 1 \sim 3, \gamma_0, \gamma_4 = \infty$$

the $P(s)$ can be expressed as

$$P(s) = a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0, \tag{14}$$

where

$$a_i = \frac{a_0 \tau^i}{(\gamma_{i-1} \gamma_{i-2}^2 \dots \gamma_2^{i-2} \gamma_1^{i-1})}$$

and characteristic equation of closed loop transfer function is

$$P_{cl}(s) = T_f s^4 + s^3 + W_c s^2 + (W_a \cdot W_c + W_o \cdot W_c) s + W_o \cdot W_a \cdot W_c \tag{15}$$

Equated the above $P(s)$ to the $P_{cl}(s)$ of the plant in Eq. (15), the parameters of PI controller are obtained as Eq. (16)~(17).

$$W_c = \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{\tau} \tag{16}$$

$$W_a = \frac{\gamma_1 - W_o \tau}{\tau} \tag{17}$$

V. SIMULATION & RESULTS

In this paper, the simulation results of rotary positioner positioning control is given by MATLAB Simulink program. The simulation in Fig. 4 illustrates optimization of PI controller's parameters using Coefficient Diagram Method which is satisfied specification of performance of control system and explain about adjustment of response speed and its overshoot by CDM technique.

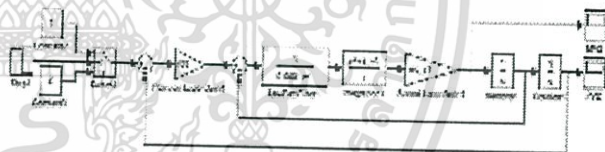


Fig. 4 Simulation System

Plant Parameters was shown in Table I.

TABLE I
Rotary Positioner Plant Parameters

Symbol	Description	Quantity
T_f	1/Cut off frequency	0.0001 [sec/rad]
W_o	Position Loop Gain	700 [rad/sec]
W_a	Speed Loop Gain	$(\gamma_1 - W_o \tau) / \tau$
W_c	Integration Constant	$\gamma_1 \cdot \gamma_2 / \tau$

From this data formed by Eq. (15) then it is obtained the characteristic equation of closed loop transfer function as

$$P_{cl}(s) = 1e - 3s^4 + s^3 + W_c s^2 + (W_a \cdot W_c + 700 \cdot W_c) s + 700 \cdot W_a \cdot W_c \tag{18}$$

According to Eq. (14), design of PI controller based on CDM, is assigned parameter follow as time constant $\tau = 0.0029$, The stability index $\gamma_1 = 4, \gamma_2 = 1.4286, \gamma_3 = 5$ then the characteristic equation is,

$$P(s) = (1e-3)s^4 + (9.99e-1)s^3 + (1.97e+3)s^2 + (2.71e+6)s + 9.36e+8 \tag{19}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Equated the above $P_{cl}(s)$ in Eq. (18) to the $P(s)$ of the plant with the PI controller in Eq. (19), the parameters of PI controller are

$$W_c = 1970.50, W_a = 679.31$$

The step response in Fig.5, showed the response's overshoot which is over 0 percent and settling time is at 0.0065 msec.

k	W_c	W_a
0.7	1379.30	265.51
1	1970.50	679.31
3	5911.40	3437.90

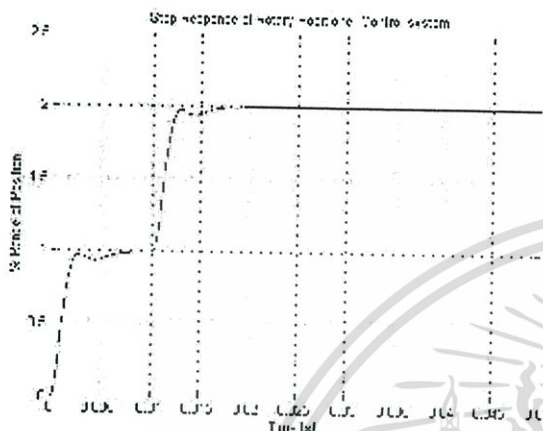


Fig. 5. Step Response of Rotary Positioner Control System

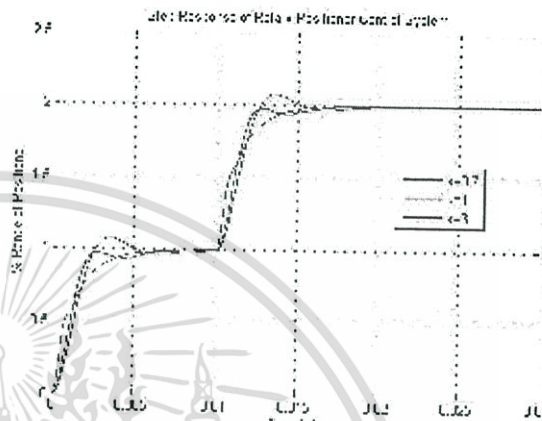


Fig. 7. Speed Adjustment of Step Response of Rotary Positioner Control System

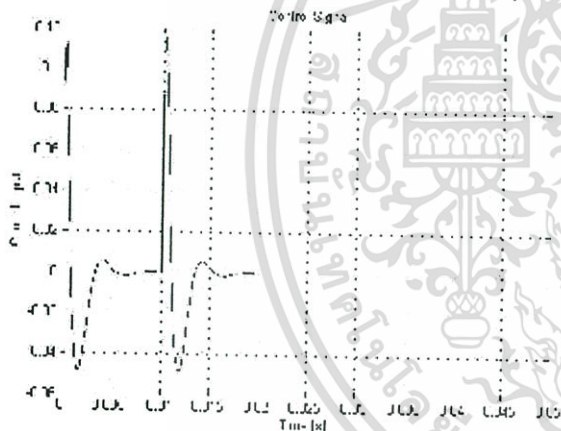


Fig. 6. Control Signal of Controller

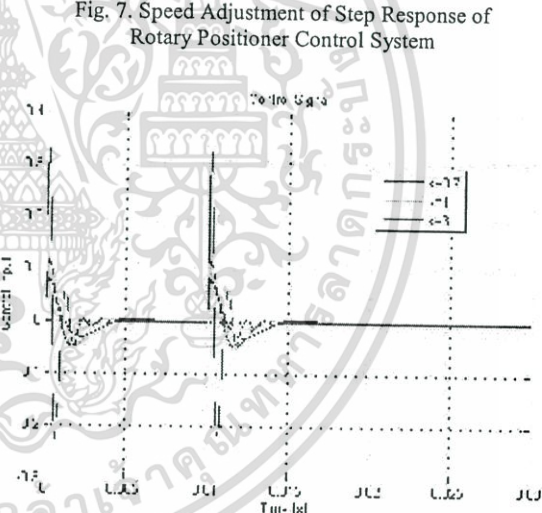


Fig. 8. Control Signal of Controller

Adjustment speed response by using CDM method for optimization of PI controller's parameters are described as follow details

The characteristic equation is,

$$P(s) = (1e-3)s^4 + (9.99e-1)ks^3 + (1.97e+3)k^2s^2 + (2.71e+6)k^3s + (9.36e+8)k^4 \quad (20)$$

where k are 0.7, 1, 3 respectively.

Assign parameter follow as time constant $\tau=0.0029$, The stability index $\gamma_1 = 4, \gamma_2 = 1.4286, \gamma_3 = 5$.

Equated the above $P_{cl}(s)$ in Eq. (18) to the $P(s)$ of the plant with the PI controller in Eq. (20), and the parameter of PI controller are given as shown in table II.

Fig 7 shows that, when k is adjusted, setting time is decreased from 0.0085 sec. to 0.0065 sec. to 0.0057 sec. therefore; the system response is faster.

Adjustment overshoot of response by using CDM method for optimization of PI controller's parameters are described as follow details

The characteristic equation is,

$$P(s) = (1e-3)s^4 + (9.99e-1)k^3s^3 + (1.97e+3)k^5s^2 + (2.71e+6)k^6s + (9.36e+8)k^6 \quad (21)$$

where k are 0.85, 1, 1.5 respectively.

Equated the above $P_{cl}(s)$ in Eq. (18) to the $P(s)$ of the plant with the PI controller in Eq. (21), then the parameter of PI controller are given as shown in table III.

TABLE III
Controller Parameters

k	W_c	W_a
0.85	1423.70	472.41
1	1970.50	679.31
1.5	4433.60	1369.00

illustrate that CDM Techniques can be applied to Positioning Control System of Rotary Positoner for solving the problem in tuning controller parameters. Its advantage which only one parameter is to be adjusted, speed and overshoot response is changed and satisfied the required response specification.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to acknowledge his sincere thank to the Industry/University Cooperative Research Center in Data Storage Technology and Application, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang and National Electronics and Computer Technology Center, National Science and Technology Development Agency.

REFERENCES

- [1] Canon Rotary Positioning System Operation Manual, Software Version: pms1.5
- [2] K. Saito, K. Muta and S. Manabe, "A solution of the Benchmark problem by coefficient diagram method", ACC95-AIAA-20,1995.
- [3] S. Manabe and Y.C. Kim, "Recent development of Coefficient Diagram Method", ASSC'2000 3rd Asian Control conference, Shanghai, 2000.
- [4] S. Manabe, "Coefficient Diagram Method", 14th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, Seoul Aug 1998.
- [5] Y. C. Kim, L. H. Keel and S. P. Bhattacharyya, "Transient Response Control via Characteristic Ratio Assignment", *IEEE Transactions On Automatic Control*, Vol.48, No.12, pp.2238-2244, 2003
- [6] Yamaguchi, T., "HDD servo control development - Present and future", SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference Volume, Issue, 18-21 Oct. 2006 Page(s):2756 - 2759
- [7] Ben M. Chen, Tong H. Lee, Kemao Peng and Venkatakrishnan Venkataramanan, "Hard Disk Drive Servo Systems", 2nd Edition, Springer

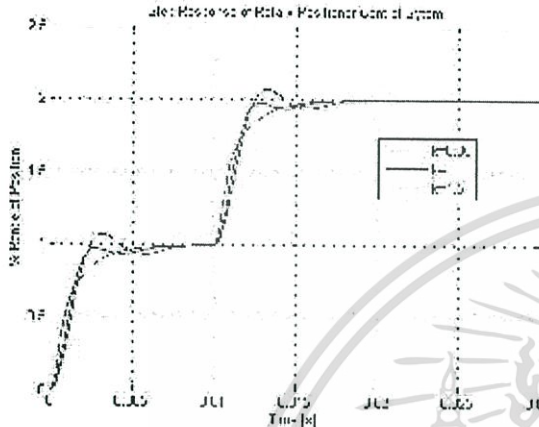


Fig. 9. Overshoot Adjustment of Step Response of Rotary Positoner Control System

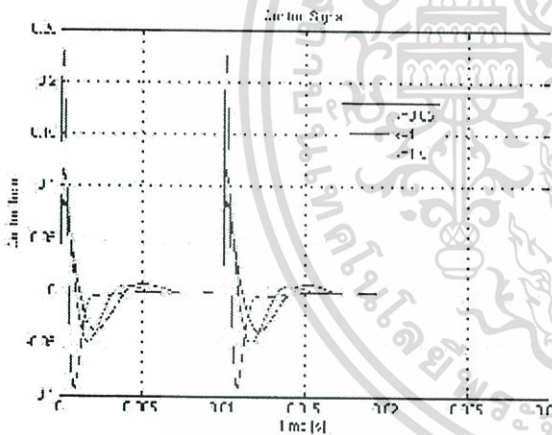


Fig. 10. Control Signal of Controller

Fig 9 shows the step response, when k is changed 0.85 to 1 and 1.5 respectively then the damping ratio is also increased but the overshoot is decreased from 3.24 percent to 0%.

As shown simulation results, we can conclude that Coefficient Diagram Method can be used for optimization the parameters of PI Rotary Positoner Control System and satisfy specification of performance of control system. Furthermore, it is very convenient as a fast adjustment damping ratio as well as a high speed response.

VI. CONCLUSION

In this paper, optimization the parameters of PI Rotary Positoner Control System using Coefficient Diagram Method is presented. The simulation results from MATLAB are able to

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอำนาจ มีมงคล
วัน เดือน ปีเกิด	29 เมษายน 2518
ที่อยู่	9/110 ซอยอ่อนนุช 74/4 ถนนอ่อนนุช แขวงประเวศ เขตประเวศ จังหวัดกรุงเทพฯ 10250
ประวัติการศึกษา	2538 ประกาศนียบัตรชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พายัพ 2541 ปริญญาตรี วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง 2549 ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	“Traffic Forecasting and Navigation Assistance System via Web Application” ที่ COEX, Seoul Korea, Oct 2007 “OPTIMIZATION PARAMETERS OF ROTARY POSITIONER CONTROLLER USING CDM” ที่ WASET, Bali Indonesia, Nov 2009
ประวัติการทำงาน	2541 Network Engineer บริษัท Professional Computer Company (Loxley Group) 2543 Network Engineer บริษัท Linksys Thailand Ltd. 2546 Product Manager บริษัท Ingram Micro Thailand Ltd. 2548 Sales Engineer & Product Specialist บริษัท Cisco System – Linksys Thailand 2552 Upcountry Sales Manager บริษัท Cisco System –Linksys Thailand

นักเขียนอิสระเกี่ยวกับ Computer Networking มีผลงานเขียนดังนี้

- ออกแบบและติดตั้ง Home Networking,
- ออกแบบและติดตั้งเครือข่าย Wireless LAN
- ติดตั้งและใช้งานอินเทอร์เน็ตที่ความเร็วสูง ADSL
- ช่างเทคนิค volume II Networking
- ช่างเทคนิค volume III การติดตั้งและประยุกต์ใช้งานระบบ VoIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้