

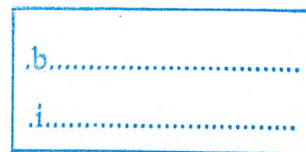
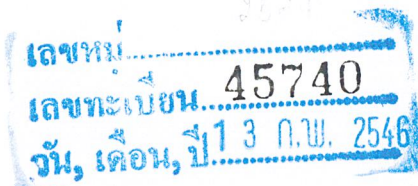
การศึกษาบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและการประยุกต์ใช้งาน
DIGITAL SIGNAL PROCESSING (DSP) BOARD STUDY
AND ITS APPLIICATION



โดย

นาย งานทวี รุจิระกำจรชัย

นาย ดุสิต กอปรรักษาติ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา วิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

6419278845

การศึกษาบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและการประยุกต์ใช้งาน
DIGITAL SIGNAL PROCESSING (DSP) BOARD STUDY
AND ITS APPLICATION

โดย

นาย งานทวี รุจิระกำจรชัย

นาย ดุสิต กอปรรักษาติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สว่าง เลิศธิรสุนทร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา วิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและการประยุกต์ใช้งาน

DIGITAL SIGNAL PROCESSING (DSP) BOARD STUDY AND ITS APPLICATION

ผู้จัดทำ

1. นาย งานทวี รุจิระกำจรชัย

2. นาย คุณิต กอปรรักษาติ

..........อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สว่าง เลิศศิริสุนทร)

การศึกษาระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและการประยุกต์ใช้งาน
DIGITAL SIGNAL PROCESSING (DSP) BOARD STUDY
AND ITS APPLICATION

โดย

นาย งานทวี รุจิระกำธรชัย

นาย ดุสิต กอปรรักษาติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สว่าง เลิศดิทรสุนทร

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายใน และการประยุกต์ใช้งานดีเอสพี (Digital Signal Processing :DSP) บนบอร์ดดีเอสเค (DSP Starter Kit :DSK) โดยจะเน้นการเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อกผ่านพอร์ตอนุกรมของดีเอสพี โดยประยุกต์ใช้บอร์ดเป็นตัวควบคุม ควบคุมความเร็วของดีซี มอเตอร์ ด้วยวิธีการควบคุมแบบพีไอดีซึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ใช้วิธีการอัตโนมัติ(auto tuning)

Abstract

This thesis is the study of the architecture of DSP and its application on the DSK (DSP Starter Kit) Board . The study emphasizes the analog interface thorough serial port of DSP . The DSP board application is using it as an automatic PID controller parameter analyzer (auto tuning) in order to control the constant speed of DC motor .

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	II
สารบัญรูปภาพ	III
สารบัญตาราง	III
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 โครงสร้างบอร์ดดีเอสเค	3
2.2 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบหาค่าพารามิเตอร์ ของตัวควบคุม พีไอดี แบบอัตโนมัติ	8
2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบควบคุมป้อนกลับ	8
2.2.2 วิธีการควบคุมแบบต่างๆ	9
2.2.3 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีจาก ผลตอบสนองของกระบวนการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน	12
2.2.4 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ	17
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	28
3.1 กล่าวนำ	28
3.2 กระบวนการที่จะทำการควบคุม	28
3.3 วงจรที่ใช้ในการทดลอง	30
3.4 การประยุกต์ใช้บอร์ด ดีเอสเค ตามหลักการและทฤษฎี	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง	32
4.1 การทดลองที่ 1 การเชื่อมต่อสัญญาณอนาลอก	32
4.1.1 โปรแกรมแก้ออฟเซทในการรับส่งสัญญาณอนาลอก	33
4.2 การทดลองที่ 2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบ	37

	หาค่าพารามิเตอร์โดยอัตโนมัติ	
4.2.1	การควบคุมความเร็วมอเตอร์เมื่อประมาณ กระบวนการ ของมอเตอร์เป็นระบบอันดับหนึ่ง	37
4.2.2	การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เมื่อประมาณ กระบวนการของมอเตอร์เป็นระบบอันดับหนึ่ง แบบมีค่าเดดไทม์	51
บทที่ 5	บทวิจารณ์และสรุป	68
	กิตติกรรมประกาศ	
	เอกสารอ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1-1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกของบอร์ด คีเอสเค	2
รูปที่ 2-1 โครงสร้างของบอร์ด คีเอสเค	4
รูปที่ 2-2 ผลตอบสนองรูปตัวเอส เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve	14
รูปที่ 2-3 ผลตอบสนองทางเวลาเมื่อเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง โดยวิธี Ultimate method	15
รูปที่ 2-4 แสดงค่าอัตราเสื่อม 1/4 เมื่อปรับด้วยวิธี Damped Oscillation	16
รูปที่ 2-5 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับการทดสอบ	19
รูปที่ 2-6 ผลตอบสนองของกระบวนการ FOPDT ถัดจากป้อนสัญญาณสเต็ป	20
รูปที่ 2-7 แสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FOPDT	21
รูปที่ 2-8 บล็อกไดอะแกรมของระบบลูปิดเมื่อไม่พิจารณาสิ่งรบกวน	22
รูปที่ 2-9 แสดงผลตอบสนองของระบบปิดที่ใช้สังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์พีไอดี	23
รูปที่ 2-10 แสดงผลตอบสนองแบบปิดที่มีการหน่วงเวลา t_0	26
รูปที่ 3-1 ชุดวงจรขังมอเตอร์	28
รูปที่ 3-2 ชุดมอเตอร์ และเจนเนอเรเตอร์	28
รูปที่ 3-3 ชุดแทค โคมิเตอร์	29
รูปที่ 3-4 ชุดโหลด	29
รูปที่ 3-5 ชุดวงจรขยาย	30
รูปที่ 3-6 ชุดวงจรลดขนาดสัญญาณ	30
รูปที่ 4-1 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อป้อนสัญญาณสเต็ปเข้าไปในระบบ	40
รูปที่ 4-2 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบ เท่ากับ 0.05 วินาที (ระบบอันดับหนึ่ง)	44
รูปที่ 4-3 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบ เท่ากับ 0.06วินาที (ระบบอันดับหนึ่ง)	44
รูปที่ 4-4 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบ เท่ากับ 0.07 วินาที (ระบบอันดับหนึ่ง)	45
รูปที่ 4-5 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบ	45

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงสูตรหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ด้วยวิธี Process Reaction Curve	14
ตารางที่ 2-2 แสดงสูตรหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ด้วยวิธี Ultiamte method	15

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากปัจจุบัน ในการควบคุมระบบใดๆ ก็ตามในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะเป็น การควบคุมในลักษณะกึ่งอัตโนมัติ กล่าวคือในระบบการควบคุมต้องมีตัวควบคุม ควบคุมแทน มนุษย์ แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องมีการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ซึ่งในการปรับแต่งต้อง อาศัยผู้มีความรู้ในการปรับแต่งพารามิเตอร์เพื่อให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีที่สุดและถ้าผู้ปรับ แต่งค่าพารามิเตอร์ไม่มีประสบการณ์ก็จะทำให้เสียเวลาอย่างมากในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์

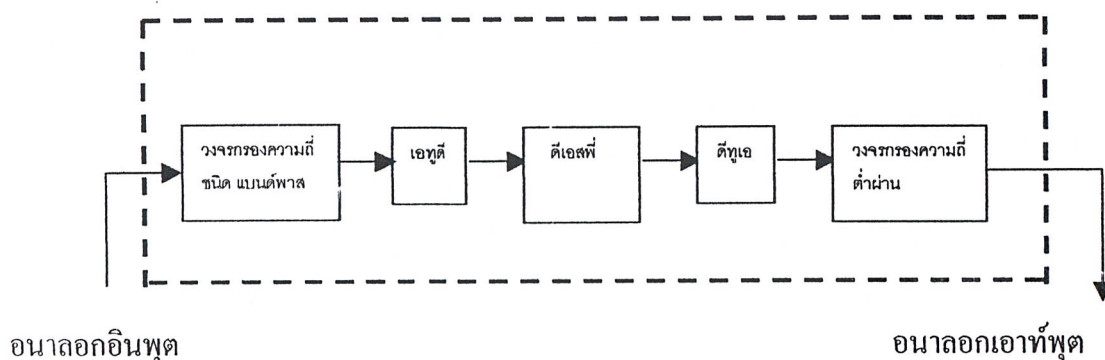
ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการประยุกต์ใช้งานของบอร์ด คีเอสเค ซึ่งมี คีเอสพี เบอร์ที่เอ็มแอส 320ซี 31-50 เป็นตัวประมวลผลเป็นตัวควบคุม ในการควบคุมความเร็วของ คี ซีโมเตอร์ โดยใช้วิธีการควบคุมแบบหาค่าพารามิเตอร์โดยอัตโนมัติ

เนื่องจากการประมวลสัญญาณไฟฟ้า โดยการใช้อุปกรณ์ทางอนาลอกนั้น โดย นำตัวความต้านทาน ,ตัวเก็บประจุ นำมาประกอบเป็นวงจรเพื่อจัดรูปแบบของสัญญาณตามที่เร าต้องการ ข้อด้อยที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือ การที่ค่าของอุปกรณ์อาจเปลี่ยนแปลงไปได้ตามอุณหภูมิ ซึ่งจะส่งผลให้การทำงานผิดพลาดไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าทำงานที่ความถี่สูง การประกอบวง จรจะเป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจาก สัญญาณรบกวน การเดินทางของคลื่นไฟฟ้าในความถี่ สูงๆ นั้นจะเดินทางไปที่ผิวของวัตถุ

ในปัจจุบันการประมวลสัญญาณไฟฟ้านั้น ได้นำ คอมพิวเตอร์มาใช้ในการ ประมวลซึ่งสามารถทำได้ง่ายขึ้น สามารถตัดข้อเสียของอุปกรณ์เรื่องอุณหภูมิได้ เพราะสามารถ ออกแบบวงจรด้วยการเขียนโปรแกรมขึ้นมาได้ และสามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ง่าย โดย เปลี่ยนค่าในโปรแกรมเท่านั้น ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ภายนอก สามารถจำลองผลการ ทำงาน บนที่ผลไว้ประมวลต่อไปได้ และ หากเป็นการกระทำกับสัญญาณที่มีความถี่สูงๆ ก็ สามารถใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลโดย ฮาร์ดแวร์ ซึ่งจะมีความเร็วสูง มาก เช่น คีเอสพี มีลักษณะเป็น ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถทำงานได้ทั้งโหมด ไมโครโปร เซสเซอร์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย คีเอสพี นี้ เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีความเร็วสูงมาก มีชุดคำสั่งพิเศษ มีสถาปัตยกรรมภายในเหมาะสมสำหรับการประมวลสัญญาณทางตัวเลข ซึ่ง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้าน การควบคุมระบบต่างๆ ได้

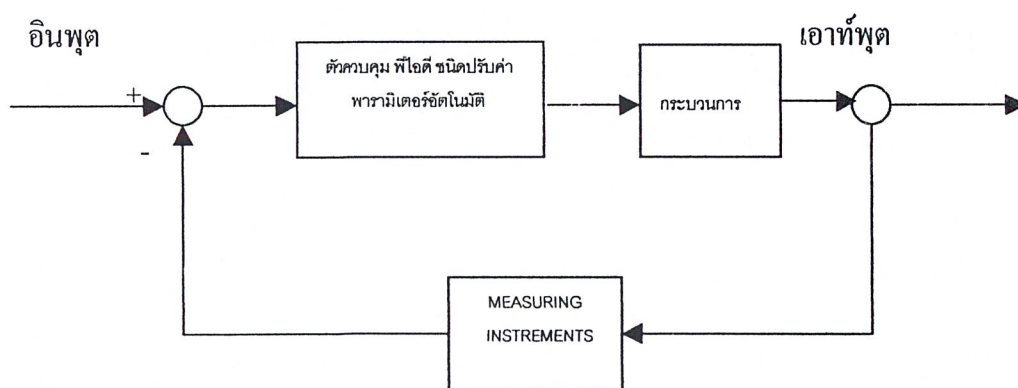
ในการประมวลสัญญาณอนาลอก ของ คีเอสพี นี้จะต้องมีการต่อเชื่อมต่อ ไอซี ที แอลซี 32040 ซึ่งจะมีอยู่ในบอร์ดคีเอสเค แล้ว โดย ไอ ทีแอลซี 32040 ประกอบด้วย

อินพุต / เอาท์พุต อนุลอก ผ่าน อาร์ซีเอ แจ็ค , เอทูดี และดีทูเอ ขนาด 14 บิต และมีอัตรา
 แชนเปลิ่ง สูงสุด 20กิโลเฮิร์ตซ์ , วงจรกรองความถี่ด้านอินพุต ชนิดแบนด์พาส โดยสามารถ บายพาส
 ได้ , วงจรกรองความถี่ด้านเอาท์พุตเป็นชนิดวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยมีการเชื่อมต่อสัญญาณ
 อนุลอก ดังรูป



รูปที่ 1-1 โครงสร้างของบอร์ดดีเอสเคที่จะนำไปควบคุมกระบวนการ

โดยในระบบปิดที่ควบคุมจะมีบล็อกไดอะแกรมดังรูป



จาก บล็อก ไดอะแกรม เราจะใช้บอร์ด ดีเอสเค เป็นตัวควบคุมแบบ พีไอดี
 หาค่าพารามิเตอร์โดยอัตโนมัติ และ ความเร็วของดีซี มอเตอร์ เป็นกระบวนการที่เราจะควบคุม โดย
 ควบคุมความเร็วของ ดีซี มอเตอร์ ในส่วนของการป้อนสัญญาณกลับนั้นเราจะใช้ท่าโคมิเตอร์เป็นตัว
 ป้อนกลับของสัญญาณ

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในส่วนของทฤษฎีจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

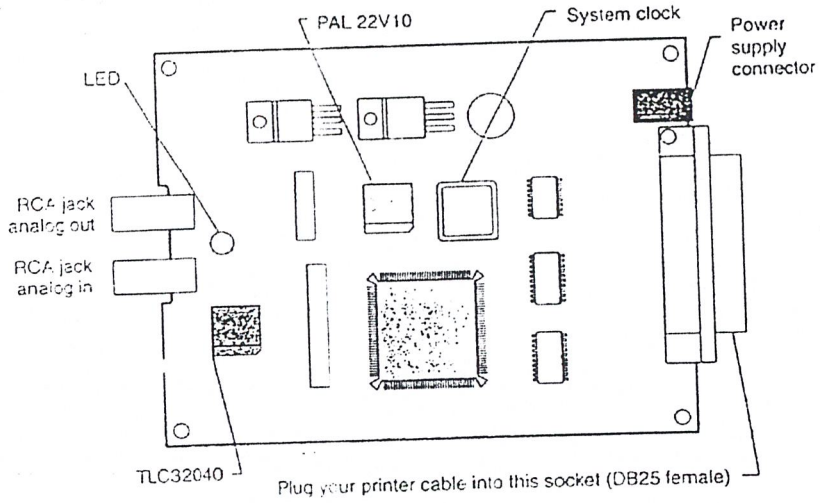
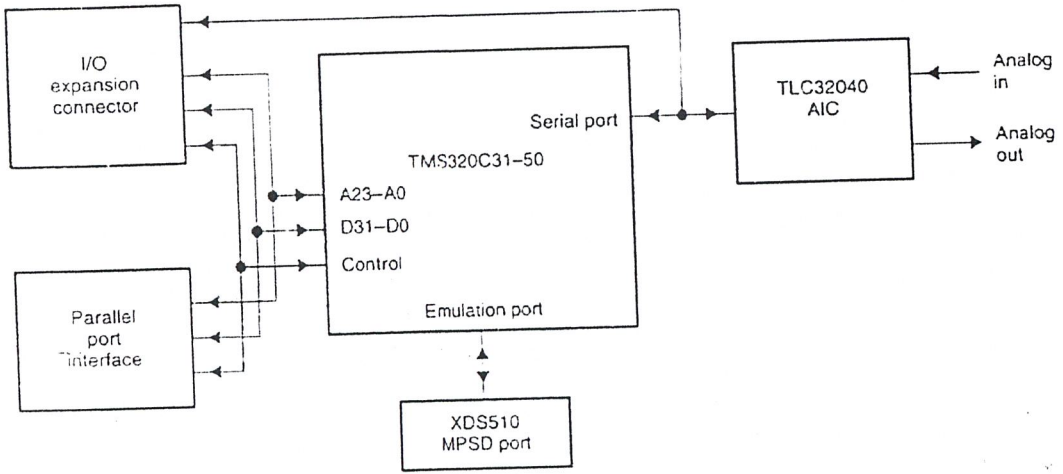
1. โครงสร้างของบอร์ด ดีเอสเค
2. หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีแบบอัตโนมัติ

2.1 โครงสร้างบอร์ดดีเอสเค

ส่วนประกอบของบอร์ด ดีเอสเคประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้

- ดีเอสพี (ทีเอ็มเอส 320ซี31-50)
- 40 นาโนวินาที ต่อ ไซเคลไทม์ , 50 ล้านคำสั่งอิงครรชนี้ต่อวินาที , 25 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- พอร์ตขนานสำหรับ เชื่อมต่อ กับ คอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะโหลด โปรแกรมที่เขียนบน คอมพิวเตอร์ ลงบนบอร์ด ดีเอสเค
- รับส่งข้อมูล อนุาลอก ผ่านทางวงจรเชื่อมต่อสัญญาณ อนุาลอก ผ่านชิป เอไอซี (ประกอบด้วย ทีแอลซี 32040 ซึ่งประกอบด้วย เอทูดี ขนาด 14บิต และ วงจรกรองความถี่ด้านเอาต์พุตมสวิตซ์คาปาซิเตอร์ป้องกันสัญญาณรบกวน
- อาร์ซีเอ แจ็ค (รับและส่งข้อมูลอนุาลอก)
- เอ็กซ์เพนชันคอนเนคเตอร์ (expansion connectors) (รับส่งข้อมูลแบบขนาน)

โดยมี บล็อกไดอะแกรม ดังรูปในหน้าถัดไป



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของบอร์ด dsk

สถาปัตยกรรม ทีเอ็มเอส320ซีสามเอ็กซ์(TMS320C3X)

สถาปัตยกรรม ของดีเอสพีเบอร์นี้ สามารถตอบสนองความต้องการพื้นฐานของขั้นตอนวิธีคำนวณที่ซับซ้อนและเน้นการแก้ปัญหาทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ หน่วยอิงคระชนนี้มีพิสัยแบบพลวัต (dynamic range) ที่กว้างและเที่ยงตรง, หน่วยความจำบนชิปขนาดใหญ่, ระบบแบบขนานดีกรีสูง, และตัวควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง ทำให้ ดีเอสพีเบอร์นี้ มีสมรรถภาพสูง

1.หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU)

ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- ตัวคูณเลขอิงคระชนี่/จำนวนเต็ม (Floating-point/integer multiplier)
- หน่วยคำนวณและตรรกะ (Arithmetic logic unit : ALU) สำหรับไว้ดำเนินการเลขอิงคระชนี่, จำนวนเต็ม และตรรกะ
- ตัวเลื่อนหรือหมุนเวิร์ดข้อมูล (barrel shifter) 32 บิต
- บัสภายใน (CPU1/CPU2 และ REG1/REG2)
- หน่วยคำนวณเรจิสเตอร์ช่วย (Auxiliary register arithmetic units : ARAUs)
- แฟ้มเรจิสเตอร์ของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU register file)

2.การจัดการหน่วยความจำของ TMS320C31-50

ดีเอสพีเบอร์นี้ มีหน่วยความจำทั้งหมด 16เมกกะไบต์ 32 บิต เวิร์ด โดยบรรจุโปรแกรม, ข้อมูล และเนื้อที่ของ อินพุต และ เอาท์พุต อยู่ภายใน ดังนั้นจึงสามารถเก็บ ตาราง, c ค่าสัมประสิทธิ์, โปรแกรม หรือข้อมูลไว้ได้ทั้งใน แรม และ รอม ก็ได้ ซึ่งจะสามารถทำให้สามารถใช้หน่วยความจำได้มากที่สุด และจัดพื้นที่หน่วยความจำได้ตามต้องการใน ดีเอสพี มี แรม 2 ตัว โดยแต่ละตัวมีขนาด 1 กิโลไบต์ x 32 บิต ไม่มี รอม และมี แคช ขนาด 64 x 32 บิต เพื่อเก็บคำสั่งที่ใช้บ่อยๆ ให้ทำงานได้ดีขึ้น

3.การจัดการบัสภายใน

ส่วนใหญ่ ดีเอสพี จะมีสมรรถภาพสูงเพราะบัสภายใน และการแยกแบบขนานของบัสของโปรแกรม (PADDR และ PDATA), บัสของข้อมูล (DADDR1, DADDR2และ DDATA) และ บัสของการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (DMAADDR และ DMADATA) จะสามารถไปนำโปรแกรมมาแบบขนาน, การเข้าถึงข้อมูล และ การเข้าถึงหน่วยความ

บัลเหล่านี้จะต่อกับพื้นที่ทั้งหมด (หน่วยความจำบนชิป ,หน่วยความจำนอกชิป และ อุปกรณ์ภายนอกบนชิป) รูปที่ 2-3 แสดงบัลภายในเหล่านี้ และการติดต่อกับบลิคของหน่วยความจำบนชิปและนอกชิป

4.อุปกรณ์รอบนอก (Peripherals)

อุปกรณ์รอบนอกของ คีเอสพี ประกอบด้วยตัวจับเวลา (timer) 2 ตัว และ พอร์ตอนุกรม 1 ตัว

4.1ตัวจับเวลา(Timer)

ตัวจับเวลา 2 ตัวของ คีเอสพี เป็นตัวจับเวลาอเนกประสงค์ (general-purpose timer) /ตัวนับเหตุการณ์ (event-counter) 32 บิตที่มีโหมดด้านสัญญาณ 2 ตัว และสัญญาณนาฬิกา (clocking) ภายในหรือภายนอก (ดูรูปที่ 2-6) สามารถใช้ตัวจับเวลา เพื่อส่งสัญญาณให้ คีเอสพี หรือโลกภายนอกเป็นช่วงๆ ตามที่กำหนด หรือนับเหตุการณ์ภายนอก

การใช้สัญญาณนาฬิกาภายในจะทำให้สามารถใช้ตัวจับเวลาเพื่อส่งสัญญาณให้ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/Dconverter) ภายนอกไปเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลง, หรือสามารถอินเทอร์รัพต์การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรงของTMS320C3x ให้เริ่มต้นส่งย้ายข้อมูล การอินเทอร์รัพต์ตัวจับเวลาเป็นการอินเทอร์รัพต์ภายในแบบหนึ่ง ส่วนการใช้สัญญาณนาฬิกาภายนอกจะทำให้ตัวจับเวลาสามารถนับเหตุการณ์ภายนอกและอินเทอร์รัพต์หน่วยประมวลผลกลางหลังจากระบุจำนวนเหตุการณ์ ตัวจับเวลาแต่ละตัวจะมีขาอินพุต/เอาต์พุต (I/O pin) ซึ่งสามารถใช้เสมือนเป็นสัญญาณนาฬิกาอินพุต (input clock) ให้ตัวจับเวลา, สัญญาณนาฬิกาเอาต์พุต (output clock) หรือขาอินพุต/เอาต์พุตอเนกประสงค์ (general-purpose I/O pin)

4.2 พอร์ตอนุกรม (Serial Port)

พอร์ตอนุกรม 2 ทิศทางทั้ง 2 ตัวจะไม่ขึ้นต่อกัน โดยมีส่วนประกอบของรีจิสเตอร์ควบคุม ที่ควบคุมแต่ละพอร์ตเหมือนกัน แต่ละพอร์ตอนุกรมสามารถกำหนดให้ส่งผ่านข้อมูลต่อเวิร์ด 8, 16, 24 หรือ 32 บิต ส่วนสัญญาณนาฬิกาสำหรับแต่ละพอร์ตอนุกรม เกิดได้จากทั้งภายในและภายนอก ขาของพอร์ตอนุกรมสามารถกำหนดให้เป็นตัวจับเวลาได้ด้วย ส่วนโหมดพิเศษ : แชนด์เชค (handshake) จะอนุญาตให้ คีเอสพี ทำการติดต่อพอร์ตอนุกรมได้อย่างไม่มีการผิดพลาด

5. การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (Direct Memory Access : DMA)

ตัวควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรงบนชิป สามารถอ่านหรือเขียนลงตำแหน่งต่างๆ ใน แผ่นที่หน่วยความจำ โดยไม่เข้าไปแทรกแซงการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง, ดังนั้น ดีเอสพีสามารถเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอกและอุปกรณ์ภายนอก โดยผ่านทางหน่วยประมวลผลหลัก ซึ่งข้อมูลนั้นจะไม่ถูกลดทอนลง ตัวควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง จะบรรจุตัวสร้างตำแหน่ง (address generator) ของตัวเอง, รีจิสเตอร์ต้นกำเนิดและจุดหมาย และตัวนับการส่งย้ายข้อมูล (transfer counter) บั๊สของตำแหน่งและบั๊สของข้อมูลของการเข้าถึงหน่วยความจำหน้าที่พิเศษ จะลดขนาดความขัดแย้งระหว่างหน่วยประมวลผลกลาง และตัวควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำให้น้อยลง การทำงานของการเข้าถึงหน่วยความจำประกอบด้วยบล็อก หรือเวิร์ดเดียว ส่งย้ายไปยังหรือไปจากหน่วยความจำ

2.2 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบการหาค่าพารามิเตอร์ของ ตัวควบคุม พีไอดี แบบอัตโนมัติ

2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบควบคุมป้อนกลับ

หลักการของระบบควบคุมป้อนกลับนั้น เกิดมานานกว่า 2000 ปีแล้ว แต่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม จนกระทั่งเมื่อประมาณ 200 ปีที่แล้ว เจมส์ วัตต์ ได้นำเอาหลักการดังกล่าวมาทำการสร้างเครื่องควบคุมความเร็วให้กับเครื่องจักรไอน้ำ จากนั้นในอุตสาหกรรมมากมาย ได้หันมาให้ความสนใจและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน ระบบควบคุมแบบป้อนกลับนี้อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ระบบควบคุมวงปิด หรือ ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ”

ระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับโดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน ดังนี้

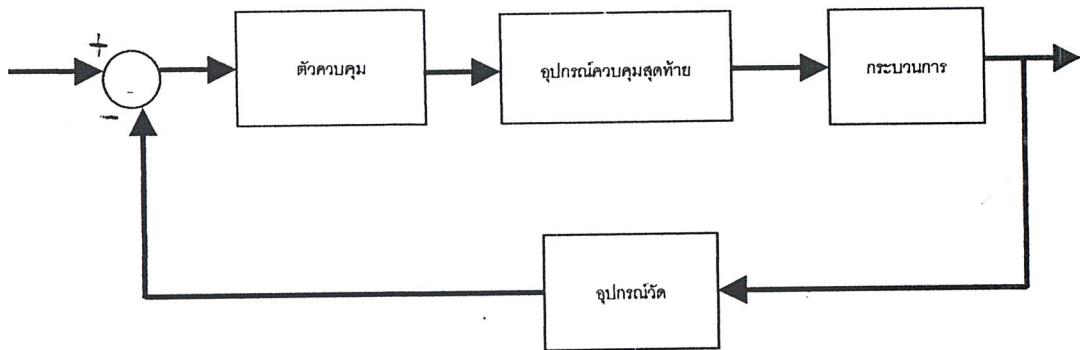
2.1.1 ตัวควบคุม (controller) เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้กระบวนการที่ต้องการควบคุมมี เอาท์พุทหรือผลตอบสนองเป็นไปตามความต้องการ โดยทั่วไปตัวควบคุมมีหลายชนิด เช่น ตัวควบคุมแบบ อน-ออฟ ตัวควบคุมแบบ พี ตัวควบคุมแบบ ไอ ตัวควบคุมแบบ ดี หรือ การใช้ตัวควบคุมหลายๆชนิดร่วมกัน เช่น ตัวควบคุมแบบ พีไอ ตัวควบคุมแบบ พีดี หรือ ตัวควบคุมแบบ พีไอดี เป็นต้น

2.1.2 อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม , อินเวอเตอร์ หรือแอคทูเอเตอร์ ทั่วไป ๆ

2.1.3 กระบวนการ (Plant or Process) หมายถึง ระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามต้องการ เช่น การควบคุมความเร็วของ มอเตอร์ , การควบคุมตำแหน่งของ มอเตอร์ , การควบคุมระดับของเหลว , การควบคุมอุณหภูมิ

2.1.4 อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณ เอาท์พุทของระบบว่าเป็นไปตาม อินพุท ที่เราต้องการหรือยัง โดยป้อนสัญญาณกลับเพื่อไปลบกับค่า อินพุท ที่เราตั้งไว้ แล้ว ให้ ตัวควบคุม นำไปคำนวณเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด อุปกรณ์วัดทั่วไปมีหลายชนิด เช่น เทอร์โมมิเตอร์ , เอนโคเดอร์ , เซนเซอร์ หรือ ทรานส์ดิวเซอร์ ชนิดต่างๆ

โดยระบบควบคุมป้อนกลับทั่วไป จะมี บล็อกไดอะแกรม ดังรูป



2.2 .2 วิธีการควบคุมแบบต่างๆ

2.2.2.1 ตัวควบคุมแบบ พี ในการควบคุมแบบนี้ ค่าเอาต์พุต ของตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความคลื่อน กล่าวคือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามาก เอาต์พุต ก็จะมีค่ามากตามไปด้วย และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลงค่าเอาต์พุตก็จะได้อ่าน้อยตามไปด้วย ความสัมพันธ์ระหว่าง สองตัวแปรนี้ เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ พี (Proportional Gain) โดยสามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) \quad (2.1)$$

$m(t)$ = ค่า เอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ พี

K_c = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ พี

\bar{m} = ค่า เอาต์พุต ของตัวควบคุมเมื่อความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์

$e(t)$ = ค่าความผิดพลาดของกระบวนการ

ในการควบคุมแบบ พี นั้นจะทำให้เกิดการอิมิตัวของค่าความคลื่อน คือ เมื่อเอาต์พุต สูง ถึง 100% ขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนยังคงเพิ่มขึ้นไปอีกค่าเอาต์พุตจะไม่สามารถเพิ่มขึ้นตามได้ ทำนองเดียวกันเมื่อค่า เอาต์พุต มีค่าเท่ากับ 0 %ขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนยังคงลดลงอีกค่า เอาต์พุต ก็ไม่สามารถลดลงได้ ซึ่งช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างที่ เอาต์พุต มีค่าจาก 0% ถึง

100% เรียกว่า ช่วงการใช้งานของอัตราขยาย (Proportional Band) โดยค่านี้อาจมีผลต่ออัตราขยายของตัวควบคุม กล่าวคือเมื่อ ช่วงการใช้งานของอัตราขยาย มีค่าสูงขึ้น ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมจะลดลง เพราะว่า $เกพี = 100/\text{ช่วงการใช้งานของอัตราขยาย}$ และเมื่ออัตราขยายของตัวควบคุมลดลงทำให้เกิด ออฟเซ็ท ในระบบมากขึ้น

2.2.2.2 ตัวควบคุมแบบ ไอ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การควบคุมแบบ รีเซ็ท โดยการควบคุมจะพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งการหาค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุม แบบ ไอ นั้น จะต้องหาพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลาจากนั้นนำไปคูณกับค่าคงที่ ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ ไอ (Integral Gain) เพื่อหาค่า เอาท์พุต ตามสมการคณิตศาสตร์ดังนี้

$$p(t) = \bar{p} + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.2)$$

T_i = เวลาอินทิเกรตหรือเวลารีเซ็ทซึ่งมีหน่วยเป็นหน่วยของเวลาและสามารถปรับค่าได้ตามความเหมาะสม

\bar{p} = ค่าเอาท์พุต ของตัวควบคุมที่เวลา t มีค่าเป็นศูนย์

$P(t)$ = ค่า เอาท์พุตของตัวควบคุมแบบ ไอ

$e(t)$ = ค่าความผิดพลาดของกระบวนการ

ผลของการควบคุม ด้วยการควบคุมชนิด ไอ นี้จะไม่ทำให้เกิด ออฟเซ็ท ขึ้นในระบบและลดค่า โอเวอร์ชูต ของระบบลงได้ แต่ถ้าในการควบคุมมีค่าสูงเกินไปจะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการช้าลงได้

2.2.2.3 การควบคุมแบบ ดี การควบคุมแบบนี้ ค่าสัญญาณ เอาท์พุต ของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่า เอาท์พุต ก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าที่สูงขึ้นได้ เมื่อความคลาดเคลื่อนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการควบคุมในลักษณะนี้สามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$p(t) = \bar{p} + T_d \frac{de}{dt} \quad (2.3)$$

$P(t)$ = ค่า เอาท์พุต ของตัวควบคุมแบบ ดี

\bar{P} = ค่า เอาท์พุต ของตัวควบคุมแบบ ดี ณ เวลา 0

Td = ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ ดี

$e(t)$ = ค่าความผิดพลาดของกระบวนการ

ในการควบคุมลักษณะนี้ เหมาะสำหรับกระบวนการที่มีเวลาหน่วงมากๆ เพราะสามารถแก้ความคลาดเคลื่อนโดยการกระทำล่วงหน้าก่อนที่จะมีการกระทำเกิดขึ้นได้ จึงช่วยให้ผลตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้นแต่มีข้อเสียคือ การควบคุมแบบนี้จะมีความไวต่อสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนมาก โดยเฉพาะในกรณีที่มีค่า ทีดี(Td)หรือ เคดี(Kd) มีค่ามาก ซึ่งจะทำให้เกิดค่าพุ่งเกินสูงได้ ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับกระบวนการที่มีค่าเวลาหน่วงเวลาน้อยๆ และกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น ระบบควบคุมการไหล หรือระบบการควบคุมแรงดัน โดยการควบคุมในลักษณะนี้ไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงได้ เพราะว่าเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ จะทำให้สัญญาณ output ของตัวควบคุมเป็นศูนย์ไปด้วย

2.2.2.4 การควบคุมแบบพีไอ ตามที่กล่าวมาแล้วว่าในการควบคุมแบบ พี นั้นจะทำให้มีออฟเซตเกิดขึ้น ซึ่งการกำจัดค่า ออฟเซต นี้ ทำได้โดยการเพิ่มการควบคุมแบบ ไอ เข้าไป โดยจะมีสมการคณิตศาสตร์ดังนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right]$$

หรืออาจจะเขียนในรูปลาปลาซทรานส์ฟอร์มของอินพุตต่อเอาท์พุตได้ว่า

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} \right) \quad (2.4)$$

นอกการควบคุมแบบ พีไอจะช่วยให้ค่าออฟเซต ที่ณสภาวะคงที่มีค่าเป็นศูนย์แล้วนั้น ยังช่วงลดค่าโอเวอร์ชูต และ การแกว่ง ของระบบลงได้ แต่จะให้ทำให้ ไรซ์ไทม์ (rise time) และ เซ็ตติงไทม์ (setting time) เพิ่มมากขึ้น

2.2.2.5 การควบคุมแบบพีดี ในการควบคุมแบบนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ระบบมีผลตอบสนองที่เร็วขึ้น แต่จะไม่มียผลโดยตรงต่อผลตอบสนองที่สภาวะคงที่โดยมีสมการคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.5)$$

หรืออาจจะเขียนในรูปลาปลาซทรานส์ฟอร์มของอินพุตต่อเอาต์พุตได้ว่า

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c(1 + \tau_d s)$$

ข้อเสียของการควบคุมแบบนี้ก็คือ ไม่สามารถทำให้ ออฟเซต ของระบบลดลงหรือหมดไปได้และ อาจจะทำให้ค่าโอเวอร์ชูต ของระบบมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย

2.2.2.6 การควบคุมแบบพีไอดี จากที่กล่าวมาแล้วว่า การควบคุมแบบ พีดี ทำให้ระบบเข้าสู่ เสถียรภาพเร็วขึ้นแต่ไม่สามารถทำให้ค่า ออฟเซต หดลงไปได้ ส่วนการควบคุมแบบ พีไอ นั้นทำ ให้ค่า ออฟเซต ณ สภาวะคงที่หมดไป แต่จะทำให้ระบบใช้เวลานานในการที่จะเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังนั้นบางครั้งเพื่อต้องการให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีที่สุด เราจึงต้องรวมการควบคุมเป็น พีไอดี โดยมีสมการคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int e(t) dt + K_c \tau_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.6)$$

หรืออาจจะเขียนในรูปลาปลาซทรานส์ฟอร์มของอินพุตต่อเอาต์พุตได้ว่า

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right)$$

2.2.3 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี จากผลตอบสนองของ กระบวนการที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การนำตัวควบคุม พีไอดี ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการ

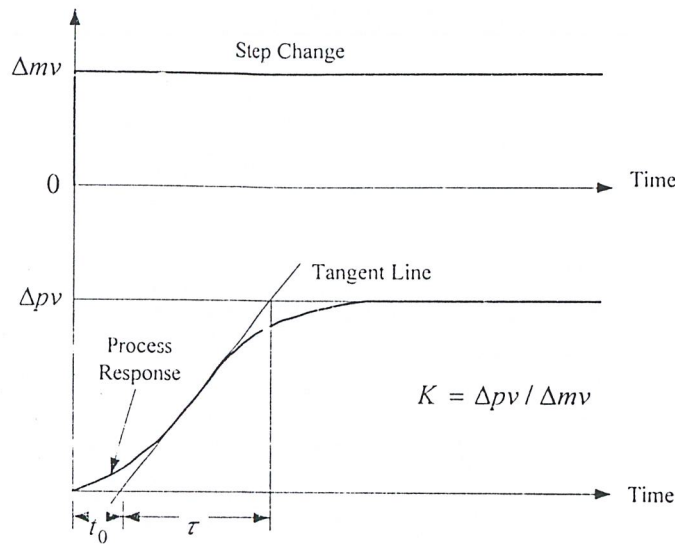
ต่างๆ นั้น จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะใช้ปรับให้กับตัวควบคุม พีไอดี เพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีที่สุด บางวิธีจะพิจารณาผลตอบสนองของระบบที่ได้จากการทดสอบกระบวนการ เช่นวิธีของ Ziegler-Nichols , Cohen-Coon และวิธีของ Harriot อีกวิธีหนึ่งคือวิธีอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์เช่น วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก และโดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไขในโดเมนเวลามากกว่าโดเมนความถี่ โดยวิธีของ Ziegler-Nichols เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ในหลายกรณีต้องมีการปรับละเอียดอีกครั้งหนึ่งโดยวิธีการลองผิดลองถูกในอันที่จะได้ผลตอบสนองของระบบอย่างแท้จริง

วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ ของตัวควบคุม พีไอดี ตามวิธีของ Ziegler – Nichols จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนองซึ่งครู่ของระบบที่ถูกควบคุมที่ได้จากทั้งผลตอบสนองแบบ ระบบเปิด และ ระบบปิด ซึ่งมี 2 วิธีคือ Process Reaction Curve และ Ultimate Method โดยแต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ผลตอบสนองเวลาของระบบต่ออินพุต ยูนิตสเต็ป มีค่า โอเวอร์ชูต ไม่เกิน 25 %

2.2.3.1 การคำนวณวิธี Process Reactive Curve

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมแบบลูปปิดต่ออินพุตแบบ สเต็ป โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้จะไม่มี โพล ที่จุดกำเนิด หรือไม่มี โคมิแนนท์คอมเพลกซ์คอนจูเกต โพลและไม่มีตัวควบคุมต่อร่วมอยู่ ดังนั้น ผลตอบสนองทางเวลาจะได้เป็นตัว เอส โดยผลตอบสนองทางเวลารูปตัวเอส นี้จะถูกนำมาอธิบายคุณลักษณะของกระบวนการ ด้วยค่าพารามิเตอร์ 3 ค่าคือ คือ อัตราขยายกระบวนการ ค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ และค่าคงที่ของกระบวนการ โดยค่าหน่วงเวลาของกระบวนการ และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ จะถูกประมาณ โดยการลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด ดังรูป ส่วนค่าอัตราขยายกระบวนการ ทราบได้เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอน ของกระบวนการจะประมาณ ได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งแบบมีการหน่วงเวลา (FOPDT)

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1}$$



รูปที่ 2-2 ผลตอบสนองรูปตัว เอส เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ พารามิเตอร์ สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ ที่ใช้การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี วิธี Process Reaction Curve ไว้ในตารางดังนี้

Controller Type		Proportional Gain K_c	Integral Time T_i	Derivative Time T_d
Proportional only	P	$\frac{1}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	-	-
Proportional-Integral	PI	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	$3.33 t_0$	-
Proportional-Integral-Derivative	PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	$2.0 t_0$	$0.5 t_0$

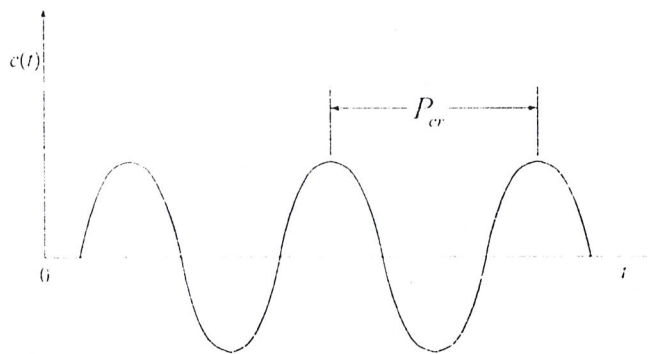
ตารางที่ 2.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ตามวิธี Process Reaction Curve

วิธี Process Reaction Curve จะพบเห็นกันบ่อยมากในทางปฏิบัติ ซึ่งผลตอบสนองของกระบวนการที่จะนำมาประมาณค่านั้น ได้มาจากการบันทึกค่าโดยเครื่องบันทึก ดังนั้นจะเห็นว่าจะเกิดค่าผิดพลาดได้ง่าย จากการกำหนดจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด และการลากเส้นสัมผัส ณจุดนี้ โดยเฉพาะกับ

ผลตอบสนองที่บันทึกด้วยความเร็วการบันทึกต่ำๆ ซึ่งถ้าการกำหนดจุดและลากเส้นผิดพลาดเพียง 1 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าผิดพลาดถึง 14.4วินาที

2.2.3.2 การคำนวณจากวิธี Ultimate Method

วิธีนี้จะหาค่าของพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ พี แบบระบบปิด ต่ออินพุตแบบ ยูนิตสตีป โดยปรับค่าของ เกซึ ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผลตอบสนองเวลาของกระบวนการเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง ดังรูป โดยถ้าผลตอบสนองทางเวลาไม่สามารถแกว่งอย่างต่อเนื่องดังรูปก็จะไม่สามารถทำวิธีนี้ได้



K_{cr} (critical gain) = อัตราขยายที่ทำให้ผลตอบสนองทางเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

P_{cr} (oscillation period) = คาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 2-3 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับโดยใช้วิธี Ultimate method

วิธีนี้ไม่นิยมใช้มากนัก เนื่องจากระบบต้องทำงานใกล้ความไม่เสถียรภาพและใช้เวลาค่อนข้างนานมาก สำหรับระบบที่มีค่า time constant สูง เช่น ระบบการควบคุมอุณหภูมิ โดยในวิธีนี้ Ziegler – Nichols ได้กำหนดค่าของ พารามิเตอร์ ไว้ในตาราง

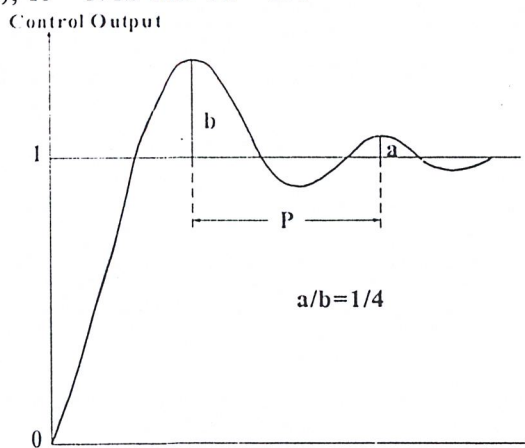
Controller Type		Proportional Gain K_c	Integral Time T_i	Derivative Time T_d
Proportional only	P	$K_{cr}/2$	-	-
Proportional-Integral	PI	$K_{cr}/2.2$	$T_{cr}/1.2$	-
Proportional-Integral-Derivative	PID	$K_{cr}/1.7$	$T_{cr}/2$	$T_{cr}/8$

ตารางที่ 2.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ตามวิธี Ultimate Method

2.2.3.3 การคำนวณจากวิธี Damped Oscillation

วิธีหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Damped Oscillation เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธี Ultimate Method โดย Harriott เพื่อใช้ในกรณีที่มีการปรับค่า K_c ไปอย่างไรก็ตาม ก็ไม่สามารถทำให้ผลตอบสนองทางเวลาของระบบไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะปรับค่า K_c ไปจนผลตอบสนองทางเวลาของระบบควบคุมแบบลูปปิดมีอัตราเสื่อมเท่ากับ $1/4$ ดังรูป จากนั้นวัดค่าคาบเวลา P และ K_c ที่ปรับจนทำให้ผลตอบสนองทางเวลาของระบบ มีอัตราเสื่อมเท่ากับ $1/4$ (สมมติเป็น K_{do}) ไปใช้ในการคำนวณหาค่า K_c , T_i และ T_d ดังนี้

$$K_c = K_{do}(1/4), T_i = P/1.5 \text{ และ } T_d = P/6$$



รูปที่ 2-4 แสดงค่าอัตราเสื่อม $1/4$ เมื่อปรับโดยวิธี Damped Oscillation

2.2.4 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

การวิเคราะห์และออกแบบการควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรมหรือระบบควบคุมที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม จำเป็นต้องทราบธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของกระบวนการและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการทั้งหมด เพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงสภาพของกระบวนการ เมื่อถูกรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมภายนอกหรือได้รับการควบคุมจากเครื่องควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะได้เลือกการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม ในอันที่จะได้การควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไป การศึกษาธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติต่างๆของกระบวนการที่ใช้ อยู่มี 2 วิธีคือ

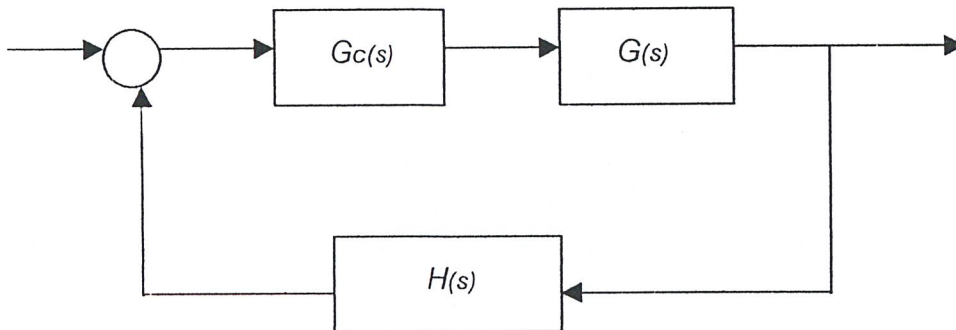
1. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยใช้วิธีการทดสอบ วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์กระบวนการสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดและเครื่องควบคุมทดลองป้อนสัญญาณเข้าและสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของกระบวนการ และ อุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งผลของสัญญาณขาออกนี้จะนำไปพยากรณ์หรือประมาณค่าของค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ เพื่ออธิบายคุณลักษณะของกระบวนการต่อไป

2. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ วิธีนี้การวิเคราะห์คุณลักษณะของอุปกรณ์และกระบวนการจะถูกแสดงในลักษณะของสมการคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น สมการพีชคณิต สมการอนุพันธ์ และหลังจากนั้นต้องวิเคราะห์คุณสมบัติของกระบวนการจากการหาคำตอบของสมการเหล่านี้

การศึกษานี้ธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของกระบวนการ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เป็นวิธีที่ยากและต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ ซึ่งจะเป็นปัญหาสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และฟิสิกส์น้อย ดังนั้น ในทางปฏิบัติระบบควบคุมของกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการโดยวิธีการทดลองป้อนสัญญาณเข้าให้กระบวนการ เพื่อสังเกตผลที่จะเกิดขึ้นในสภาพความเป็นจริง และนำค่าพารามิเตอร์หรือค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่ได้ไปใช้ในการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการต่อไป

2.2.4.1 การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ

โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับทั่วไป เป็นดังในรูป

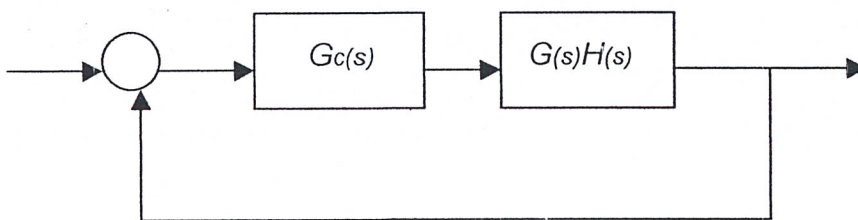


เมื่อ $G_c(s)$ = การแปลงลาปลาซ ของ ตัวควบคุม

$G(s)$ = การแปลงลาปลาซ ของ กระบวนการ

$H(s)$ = การแปลงลาปลาซ ของ อุปกรณ์วัด

และเราสามารถรวม บล็อก เพื่อให้ส่วนป้อนกลับมีค่าเป็น 1 ได้ โดยจะได้ บล็อกไดอะแกรม ดังรูป



โดย กำหนดให้ $G(s)H(s) = G1(s)$

$R(s)$ = การแปลงลาปลาซ ของ อินพุต

$C(s)$ = การแปลงลาปลาซ ของ เอาท์พุต

$M(s)$ = การแปลงลาปลาซ ของ สัญญาณ เอาท์พุตของ ตัวควบคุม

โดยทั่วไป ฟังก์ชันถ่ายโอน ของกระบวนการอุตสาหกรรมจะถูกอนุมานให้เป็นรูปแบบของกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (FOPDT) เนื่องจากการอนุมานที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรม ซึ่งจะได้ ฟังก์ชันถ่ายโอน ดังนี้

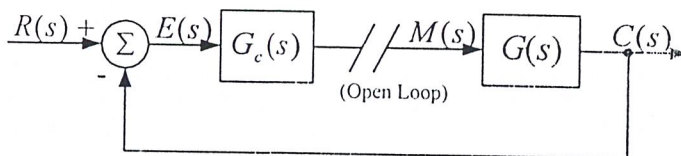
$$\frac{C(s)}{M(s)} = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (2.7)$$

โดย K = อัตราขยายของกระบวนการ

t_0 = ค่าการหน่วงเวลาของกระบวนการ

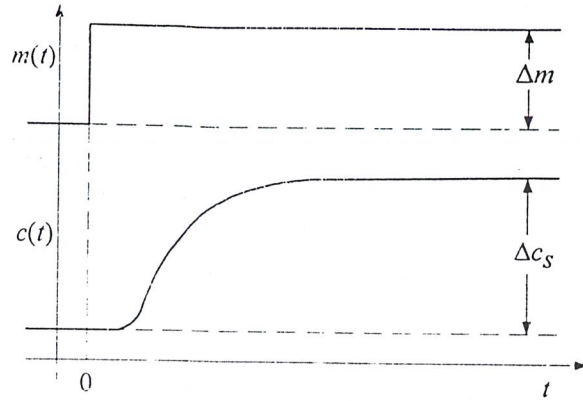
τ = ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ (Process Time Constant)

จากสมการจะเห็นได้ว่าคุณลักษณะของกระบวนการอยู่ในรูปของตัวแปร 3 ตัว ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบกระบวนการ เนื่องจากคุณลักษณะของกระบวนการเป็นเพียงค่าของกระบวนการเท่านั้น ไม่ใช่ทั้ง ลูป การควบคุม ดังนั้น ในการทดสอบจะกระทำเฉพาะส่วนของกระบวนการ นั่นคือ ทำการทดสอบแบบลูปเปิด หรือแบบไม่มีการป้อนกลับ ไม่พิจารณาสิ่งรบกวน โดยการป้อนสัญญาณ $M(s)$ แบบ สเต็ป ดังรูป



รูปที่ 2-5 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับการทดสอบ

จากการทดสอบจะได้ผลตอบสนองทางเวลาของกระบวนการในรูปตัว เอส ซึ่งเป็นรูปแบบของผลตอบสนองนี้จะครอบคลุมถึงกระบวนการอันดับสอง และ กระบวนการอันดับสูง ที่มี แคมป์เรโซเทกซ์หรือมากกว่าหนึ่งได้ด้วย



รูปที่ 2-6 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ FOPDT หลังจากป้อนสัญญาณแบบ เสด็ป

จากรูปจะเห็นได้ว่า ฟังก์ชันถ่ายโอน ของระบบ คือ

$$C(s) = G(s)M(s)$$

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าของสัญญาณควบคุม Δm และกระบวนการตามรูปแบบของ FOPDT ในรูปของการแปลง ลาลาซ จะได้

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{K e^{-t_0 s}}{\tau s + 1} \times \frac{\Delta m}{s} \\ &= K \Delta m e^{-t_0 s} \left[\frac{1}{s} \times \frac{\tau}{\tau s + 1} \right] \end{aligned} \quad (2.8)$$

แปลงผกผัน ลาลาซ ให้อยู่ในรูปโดเมนเวลาจะได้ว่า

$$\Delta c(t) = K \Delta m u(t - t_0) \left[1 - e^{-\frac{-(t-t_0)}{\tau}} \right] \quad (2.9)$$

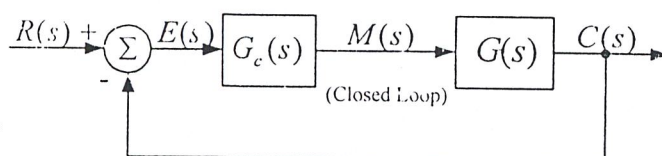
โดย $\Delta c(t) = c(t) - c(0)$ เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ เอาท์พุทของกระบวนการ จากค่าสถานะเริ่มต้น ส่วนฟังก์ชัน ยูนิทสเต็ป เป็นพจน์ที่กำหนดให้ $\Delta c(t) = 0$ ที่เวลา $t \leq t_0$ ดังนั้น เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่ที่สถานะคงที่ (Steady State)

$$\Delta c_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta c(t) = K \Delta m$$

ดังนั้นสามารถหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ คือ อัตราขยายได้เป็นค่าแรก คือ

2.2.4.2 การสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ในการควบคุม

การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการโดยการทดสอบดังที่กล่าวมา จะพิจารณาในลักษณะระบบเปิด ซึ่งจะต่างจากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ที่ทำการพิจารณาในลักษณะการควบคุมแบบ ระบบปิด เนื่องจากต้องพิจารณารวมไปถึงตัวควบคุมด้วย ดังนั้นระบบควบคุมแบบระบบปิด เมื่อไม่มีมีการพิจารณาดัรบวงวนจะได้ บล็อกไดอะแกรมเป็น



รูปที่ 2-8 บล็อกไดอะแกรมของระบบลูปิดเมื่อไม่พิจารณาถึงรบกวน จาก บล็อกไดอะแกรม จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนเมื่อเป็นระบบปิดแล้ว คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)G_c(s)}{1 + G_c(s)G(s)} \quad (2.14)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอน ของตัวควบคุม จะได้

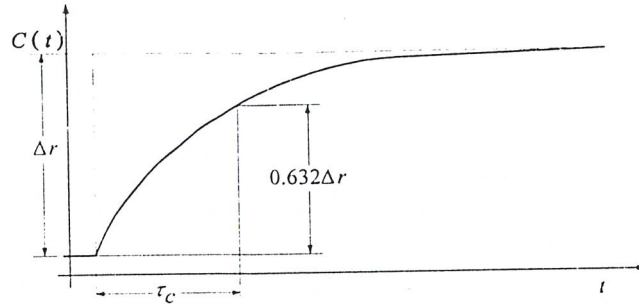
$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \times \frac{C(s)/R(s)}{1 - [C(s)/R(s)]} \quad (2.15)$$

โดยเราจะนำฟังก์ชันถ่ายโอนนี้ไปใช้สำหรับการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อไป

ในการควบคุมกระบวนการหนึ่งๆ ผู้ควบคุมย่อมต้องการให้กระบวนการมีผลตอบสนองแบบ ระบบปิดต่อการควบคุมตามต้องการที่จำทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากกระบวนการได้ ซึ่งผลตอบสนองปิดของระบบควบคุมที่เข้าใกล้ความต้องการของผู้ควบคุมมากที่สุด ก็คือระบบควบคุมแบบปิดที่ให้ผลตอบสนองเป็นแบบระบบอันดับหนึ่ง โดยมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

โดย τ_c เป็นค่าเวลาคงที่ของผลตอบสนองแบบวงปิด

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau_c s + 1} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2-9 แสดงผลตอบสนองแบบปิดที่ใช้การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ พีไอดี
จากรูปจะเห็นได้ว่าค่า τ_c เป็นพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ ซึ่งถ้าค่า τ_c มีค่าน้อย ผลตอบสนองก็จะเข้าสู่ set point ได้เร็วขึ้น และเมื่อแทนค่าในสมการของ $G_c(s)$ ที่หาไว้จะได้

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \times \frac{1}{1 - \frac{1}{\tau_c s + 1}} = \frac{1}{G(s)} \times \frac{1}{\tau_c s + 1 - 1}$$

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \times \frac{1}{\tau_c s} \quad (2.17)$$

โดยจากสมการจะเห็นได้ว่า มีพจน์อินทิกรัล อยู่ใน ฟังก์ชันถ่ายโอน ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมกระบวนการได้โดยไม่มี ออฟเซต และเนื่องจากในกระบวนการ เราสามารถประมาณได้เป็นกระบวนการได้หลายอย่างดังนั้นจึงต้องมีการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับกระบวนการ

1) กระบวนการอันดับหนึ่ง

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2.18)$$

และจากสมการ 2.17 เราจะได้ว่า

$$GC(s) = \frac{\tau s + 1}{k} \times \frac{1}{\tau_c s}$$

$$GC(s) = \frac{\tau}{K\tau_c} \times \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) \quad (2.19)$$

และจากสมการ 2.19 จะเห็นได้ว่า

$$Kc = \frac{\tau}{K\tau_c} \quad \tau_1 = \tau \quad (2.20)$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อกระบวนการเป็นกระบวนการอันดับหนึ่ง เราจะได้ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยมีค่าพารามิเตอร์ตามสมการ 2.20

2) กระบวนการอันดับสอง

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 2)} \quad (2.21)$$

และจากสมการ 2.17 เราจะได้ว่า

$$GC(s) = \frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{K} \times \frac{1}{\tau_c s} \quad (2.22)$$

$$GC(s) = [\tau_1 \tau_2 s^2 + (\tau_1 + \tau_2)s + 1] \times \frac{1}{K\tau_c s} \quad (2.23)$$

$$GC(s) = [\tau_1 \tau_2 s + (\tau_1 + \tau_2)s + \frac{1}{s}] \times \frac{1}{K\tau_c} \quad (2.24)$$

$$G_C(s) = \left[1 + \frac{1}{(\tau_1 + \tau_2)s} + \frac{\tau_1\tau_2 s}{(\tau_1 + \tau_2)} \right] \times \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{K\tau_c} \right) \quad (2.25)$$

จากการสังเคราะห์ และสมการ 2.25 เมื่อเปรียบเทียบกับสมการมาตรฐานของ ตัวควบคุม พีไอดี จะได้ว่า

$$K_C = \frac{\tau_1 + \tau_2}{K\tau_c} \quad T_i = \tau_1 + \tau_2 \quad T_d = \frac{\tau_1\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \quad (2.26)$$

3) กระบวนการอันดับหนึ่งมีเดดไทม์ (FOPDT)

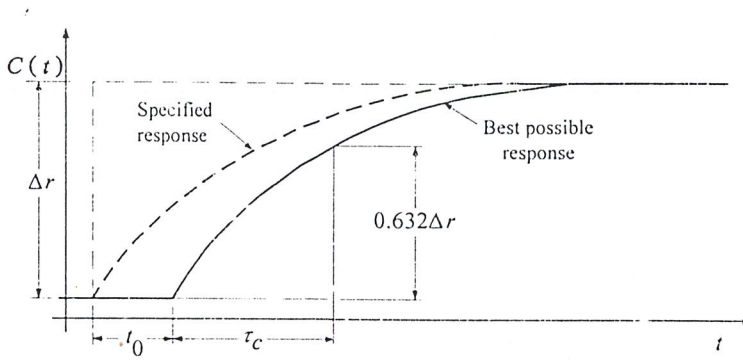
$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (2.27)$$

และจากสมการ 2.17 จะได้ว่า

$$G_C(s) = \frac{\tau s + 1}{K e^{-t_0s}} \times \frac{1}{\tau c s} = \frac{\tau}{K\tau_c} \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right) e^{t_0s} \quad (2.28)$$

จากสมการที่ได้จะเห็นได้ว่า ในโดเมนเวลาพบว่าค่าของการหน่วงเวลา t_0 เป็นลบ ส่งผลให้ไม่สามารถทำให้เป็นตัวควบคุมที่เป็นจริงได้ เนื่องจากต้องการการทำนายค่า t_0 ล่วงหน้า ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเทียบกับผลตอบสนองแบบปิด ที่การหน่วงเวลาเป็นเวลา t_0 คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{e^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (2.19)$$



รูปที่ 2-10 แสดงผลตอบสนองแบบปัดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา t_0
 ดังนั้นทำให้สรุปได้ว่าค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน ของตัวควบคุม ของกระบวนการแบบ

FOPDT คือ

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K e^{-t_0 s}} \times \frac{e^{-t_0 s}}{\tau c s + 1 - e^{-t_0 s}}$$

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K} \times \frac{1}{\tau c s + 1 - e^{-t_0 s}} \quad (2.20)$$

เราสามารถประมาณค่าพจน์เอกซ์โพเนนเชียลด้วยอนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor series expansion)

$$e^{-t_0 s} = 1 - t_0 s + \frac{1}{2!} (t_0 s)^2 - \frac{1}{3!} (t_0 s)^3 + \dots$$

โดยพิจารณาเฉพาะ สองเทอมแรก จะได้เท่ากับ

$$e^{-t_0 s} = 1 - t_0 s \quad (2.21)$$

ทำให้สามารถหาค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน ของตัวควบคุมกระบวนการได้เป็น

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K} \times \frac{1}{(\tau c s + t_0) s}$$

$$= \frac{\tau}{K(\tau c + t_0)} \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) \quad (2.22)$$

จากค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน ของ $G_c(s)$ จะเห็นได้ว่าเป็นตัวควบคุมแบบ พีไอ โดยมีค่าพารามิเตอร์คือ

$$K_p = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad T_i = \tau \quad (2.23)$$

แต่จากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี แบบ ระบบปิด ของ Dahlin ตาม กระบวนการ FOPDT สามารถทำเป็นตัวควบคุมแบบ พีไอดี ที่มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$K_p = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad T_d = \frac{t_0}{2} \quad T_i = \tau \quad (2.24)$$

บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

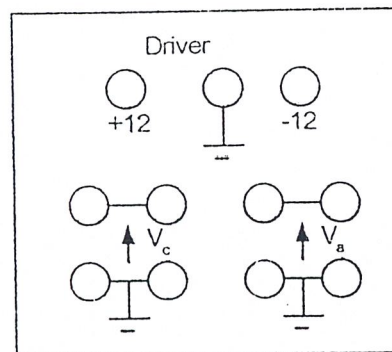
3.1 กล่าวนำ

ในการทดลองนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้งาน บอร์ด ดีเอสเค ไปควบคุมกระบวนการ โดยกระบวนการในการทดลองนี้ เป็นการควบคุมความเร็วของ ดีซี มอเตอร์ โดยให้มีการควบคุมแบบหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ พีไอดี โดยอัตโนมัติ

3.2 กระบวนการที่จะทำการควบคุม

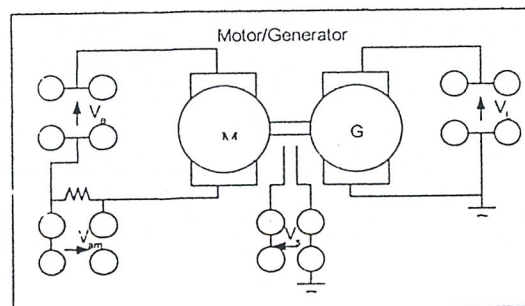
กระบวนการในการทดลองนี้ จะเป็นการควบคุมความเร็วของ ดีซี มอเตอร์ โดยมี ส่วนประกอบของกระบวนการดังนี้

3.2.1 ชุดวงจรขับมอเตอร์ เป็นวงจรที่ใช้ไฟเลี้ยง +12 กับ -12 โวลต์ และใช้ V_c เป็น ส่วนที่รับคำสั่งจาก เอาท์พุทของวงจรขยายสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุม



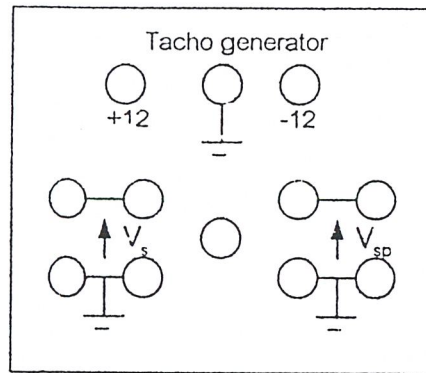
รูปที่3-1 ชุดวงจรขับมอเตอร์

3.2.2 ชุดมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ ประกอบด้วยมอเตอร์มีโหลดเป็นเจนเนอเรเตอร์ โดยเมื่อมอเตอร์หมุนก็จะทำให้เกิดการสร้างแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น และนำแรงดันไฟฟ้านี้ไปต่อกับชุดของโหลด สำหรับดูผลการตอบสนอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด



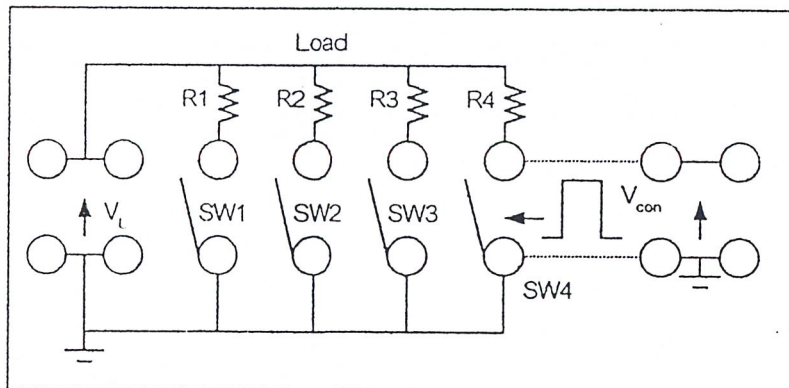
รูปที่3-2 ชุดมอเตอร์-เจนเนอเรเตอร์

3.2.3 ชุดแทคโคเจนเนอเรเตอร์ ชุดแทคโคเจนเนอเรเตอร์นี้จะมี สัญญาณอินพุต เป็นสัญญาณ V_s ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์ (sine) ที่ถูกสร้างออกมาจากเจนเนอเรเตอร์ที่ต่ออยู่กับ มอเตอร์ โดยสัญญาณไซน์นี้จะแปรผันโดยตรงกับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่หมุน และชุดแทคโคเจนเนอเรเตอร์นี้จะมีสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณดีซี โดยสัญญาณดีซีจะแปรผันโดยตรงกับ ความถี่ของสัญญาณไซน์อินพุตที่เข้ามา กล่าวคือถ้าสัญญาณ V_s มีความถี่สูง ค่า V_{sp} ก็จะมีค่าสูง ตามไปด้วย และเราจะนำสัญญาณ V_s นี้ เป็นสัญญาณที่ใช้ในการป้อนกลับ



รูปที่ 3-3 ชุดทดลองแทคโคเจนเนอเรเตอร์

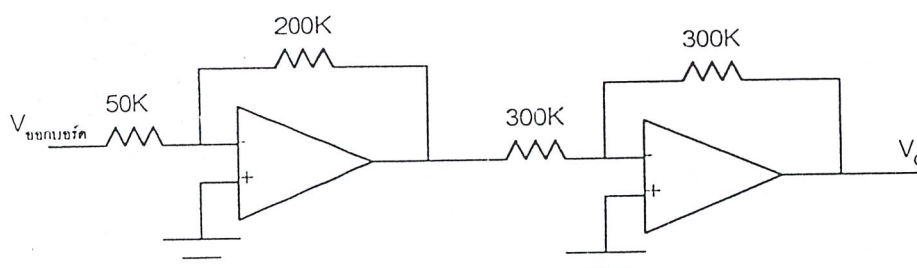
3.3.4 ชุดโหลด ประกอบด้วยชุดตัวต้านทานซึ่งเมื่อผลกสวิตช์จะทำให้ค่าระดับโวลต์ของ V_L ลดลงทำให้มอเตอร์หมุนช้าลงด้วย



รูปที่ 3-4 ชุดโหลด

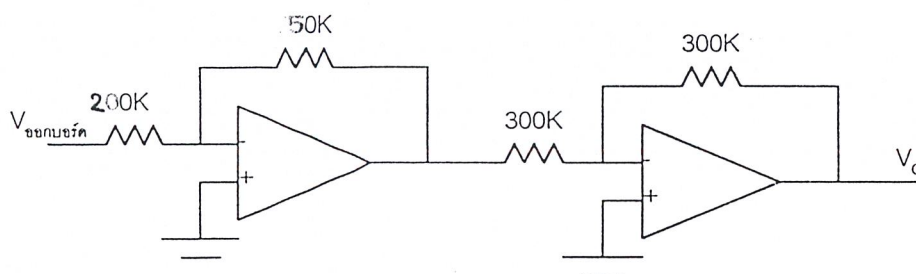
3.3 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากสัญญาณจากบอร์ด dsk ที่จะนำไปใช้ในการควบคุมความเร็ว ดีซีมอเตอร์ มีย่านการใช้งานที่ต่ำมากคืออยู่ระหว่าง -3 ถึง $+3$ โวลต์เท่านั้น ดังนั้นเราจึงต้องขยายย่านการใช้งาน โดยมีการต่อวงจรขยายสัญญาณเพิ่มขึ้นมา โดยวงจรนี้จะมีอัตราขยายเท่ากับ 4 สามารถจะขยายย่านการใช้งานจาก $+3$ ถึง -3 โวลต์ เป็น $+12$ ถึง -12 โวลต์ โดยวงจรที่ใช้ในการขยายจะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3-5 วงจรขยายสัญญาณควบคุม

และหลังจากสัญญาณนี้ผ่านชุดขับมอเตอร์ ชุดมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ ชุดแพคโคเจนเนอเรเตอร์ ก็ต้องมีการลดช่วงสัญญาณกลับมาอีกโดยใช้วงจรที่มีอัตราขยาย $1/4$ เพื่อให้สัญญาณกลับไปอยู่ในช่วงการใช้งานเดิม



รูปที่ 3-6 วงจรลดขนาดสัญญาณ

ในวงจรขยายสัญญาณควบคุมและลดขนาดสัญญาณนี้ ได้ใช้ ออปแอมป์เบอร์ 741 ขนาด 8 ขา เนื่องจากเป็นเบอร์ที่มีการใช้งานทั่วไป

3.4 การประยุกต์ใช้บอร์ด ดีเอสเค ตามหลักการและทฤษฎี

ในการทดลองนี้จะนำบอร์ด dsk ไปเป็นตัวควบคุมกระบวนการ โดยให้มีการควบคุม PID แบบสามารถหาค่าพารามิเตอร์โดยอัตโนมัติ ตามหลักการและทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

- 1) สร้างสัญญาณเสถียรที่ป้อนเข้าไปในระบบที่เราต้องการจะควบคุม และรอให้ถึงสถานะคงที่ เพื่อจะหาค่า อัตราขยายของระบบ โดยสามารถหาได้จาก นำค่าสัญญาณเสถียรที่ป้อนเข้าไปเป็นอินพุตหารด้วยค่าณสถานะคงที่
- 2) ลดสัญญาณเสถียรลงแล้วตรวจสอบเวลาเมื่อสัญญาณของเอาต์พุตเป็น $0.632 \Delta C_s$ และ $0.283 \Delta C_s$ โดยกำหนดให้เป็นค่า t_1 และ t_2
 เมื่อ $t_2 = t_0 + \tau/3$
 $t_1 = t_0 + \tau$
- 3) นำค่าพารามิเตอร์ t_1 และ t_2 ไปคำนวณหาค่า τ และ t_0 และนำค่า τ และ t_0 ที่ได้ไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้จากการสังเคราะห์
- 4) นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปเขียน โปรแกรมควบคุมกระบวนการตามที่เรากำลังต้องการ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อก

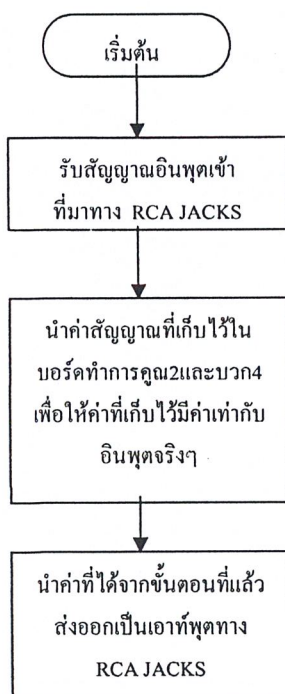
การทดลองจะเป็นการรับสัญญาณ อินพุตที่เป็นค่า ดีซี เข้ามาในบอร์ด และส่งสัญญาณดังกล่าวออกไปเป็น เอาท์พุตโดยให้มีค่าเท่ากับค่าอินพุตดั้งเดิม โดยจากผลการทดลองจะเห็นได้ชัดเจนว่าจะเกิดค่า ออฟเซตขึ้น นั่นก็คือ จากการตรวจสอบเมื่อเราส่งสัญญาณอินพุตเข้ามาในบอร์ดและตรวจสอบค่าในบอร์ดที่รับเข้ามาเก็บไว้จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$V1 = \frac{1}{2}(V2 - 4)$$

โดย $V1$ = ค่าของสัญญาณอินพุตที่บอร์ดดีเอสเคเก็บไว้

$V2$ = ค่าของสัญญาณอินพุตที่ส่งเข้าไปในบอร์ด

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ้าเราส่งสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ $V1$ ออกไปเป็นเอาท์พุตจะทำให้ค่าของสัญญาณเอาท์พุตและอินพุตจะมีค่าไม่เท่ากัน จึงต้องมีการปรับค่าของสัญญาณ $V1$ และ $V2$ ให้มีค่าเท่ากัน โดยนำค่า $V1$ คูณ 2 และ บวก 4 แล้วค่อยส่งออกไปเป็นค่าสัญญาณเอาท์พุต โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



4.1.1 โปรแกรมการแก้ออฟเซต ในการรับส่งสัญญาณนอก

```

;PROGRAM I/O OFFSET TEST(Fs=20MHZ)
;DATA SET
.start ".data",0x809900
.start ".text",0x809c00
.data
PBASE      .word    808000h
SETSP      .word    0c970300h
ATABLE     .word    AICSEC
AICSEC     .word    0a14h,1h,3e7eh,63h
k          .float   1.9
k_addr     .word    k
INPUT      .float   0
INPUT_addr .word    INPUT
.entry BEGIN
.text
;-----
;SET PROGRAM
BEGIN     ldp    AICSEC
          ldi    @PBASE,AR0
          ldi    1h,R0
          sti   R0,*+AR0(28h)
          ldi    03c1h,R0
          sti   R0,*+AR0(20h)
          ldi    62h,IOF
          ldi    @ATABLE,AR1
          rpts  99

```

```

nop
ldi 131h,R0
sti R0,*+AR0(42h)
sti R0,*+AR0(43h)
ldi @SETSP,R0
sti R0,*+AR0(40h)
ldi 0,R0
sti R0,*+AR0(48h)
or 06h,IOF
ldi 03h,RC
rptb SECEND
call TWAIT
ldi 03h,R0
sti R0,*+AR0(48h)
call TWAIT
ldi *AR1++(1),R0
SECEND sti R0,*+AR0(48h)

```

```

;-----

```

```

;LOAD INPUT AND OFFSET SET

```

```

LOOP ldi *+AR0(4ch),R6
lsh 16,R6
ash -18,R6
;ldi 0fffch,R2
;lsh 16,R2
;ash -4,R2
;addi R2,R6
ldi R6,R4
ldi 5233,R3 ;(LOAD 2 volt TO R3)

```

```

addi R3,R4
ldp k_addr
ldi @k_addr,AR4
ldf *AR4,R3
float R4,R4
mpyf3 R3,R4,R7
ldf R7,R6
fix R7,R7
;IF OUTPUT=+ : output=output-0.5volt
ldi 2000h,R1
and3 R1,R7,R0
cmpi 0,R0
ldi 5,AR5
dbgt AR5,LOOP1
;+OUTPUT(CLEAR OFFSET)
ldf 544,R1
subf R1,R6
ldp INPUT_addr
ldi @INPUT_addr,AR1
stf R6,*AR1
call OUT
br LOOP
;-OUTPUT
LOOP1 ldp INPUT_addr
Ldi @INPUT_addr,AR1
stf R6,*AR1
call OUT
br LOOP

```

```
;-----  
;OUTPUT  
    OUT    call  TWAIT  
    ldp   INPUT_addr  
    ldi   @INPUT_addr,AR1  
    ldf   *AR1,R7  
    fix   R7,R7  
    lsh   2,R7  
    sti   R7,*+AR0(48h)  
    rets  
TWAIT ldi   *+AR0(40h),R1  
    and   02h,R1  
    bz   TWAIT  
    RETS  
;-----
```

4.2 การทดลองที่ 2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ

ในการทดลองนี้เป็นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และ มอเตอร์นั้นเราสามารถจะประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการได้ 3 อย่างคือ

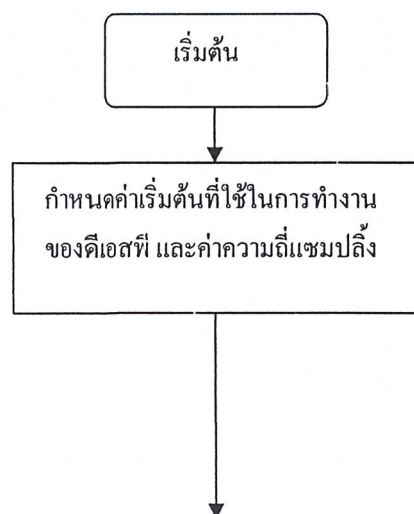
- 1) กระบวนการอันดับหนึ่ง
- 2) กระบวนการอันดับหนึ่งและมีเดดไทม์

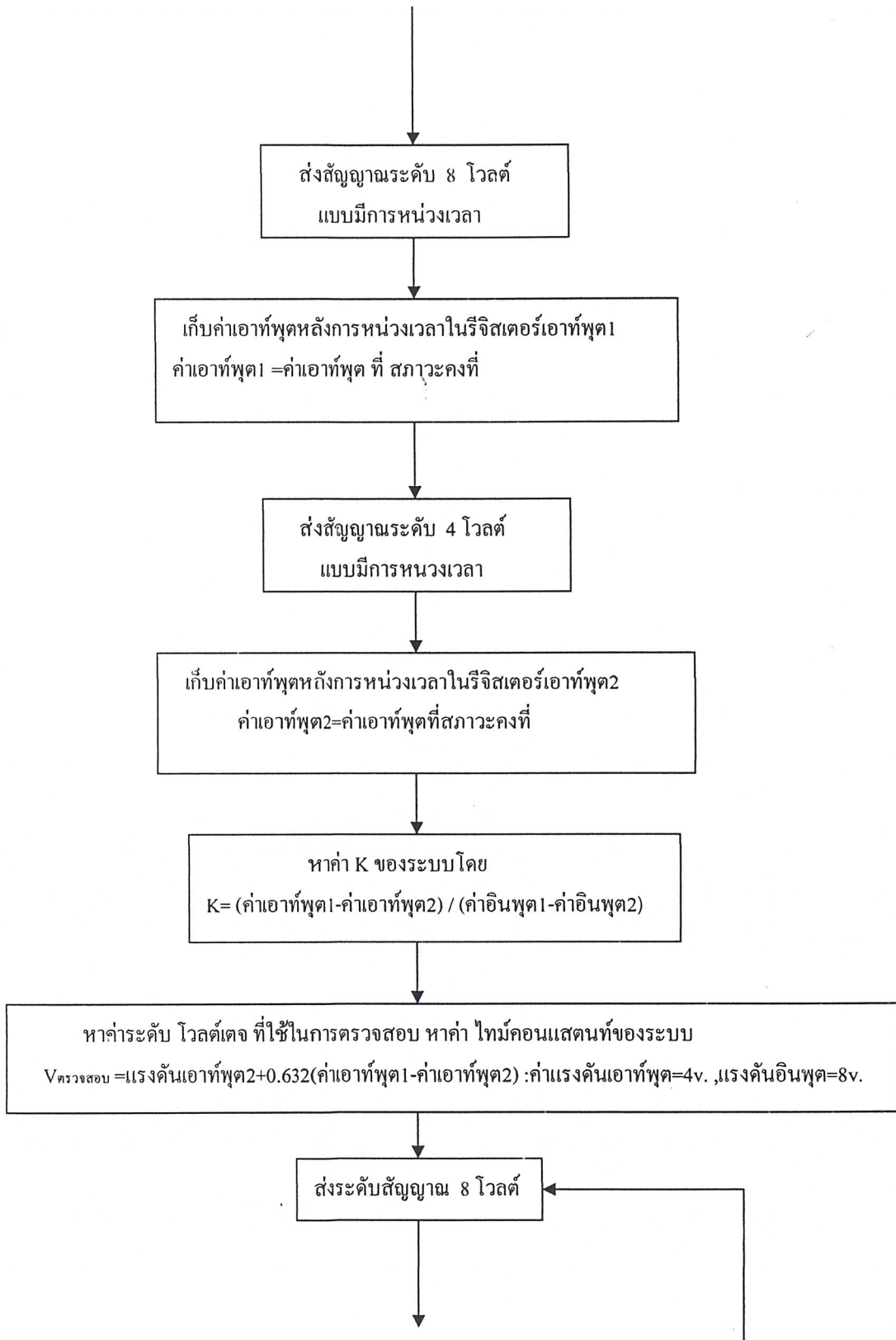
ดังนั้นเราจะควบคุมความเร็วโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีชนิดหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ด้วยการประมาณกระบวนการทั้งสองแบบ

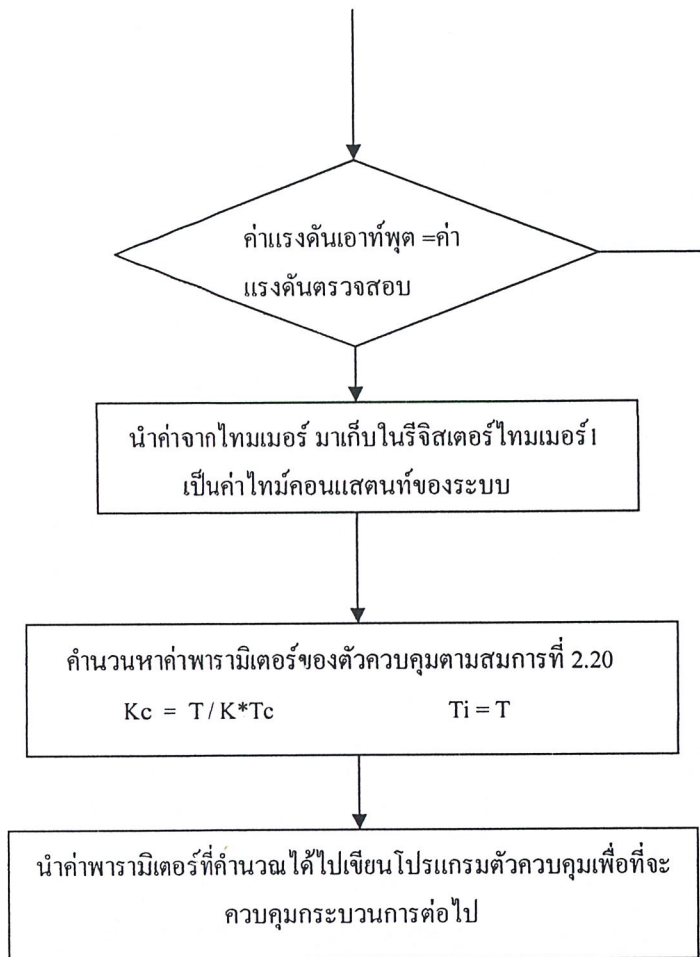
4.2.1 การควบคุมความเร็วมอเตอร์เมื่อประมาณกระบวนการมอเตอร์เป็นระบบอันดับหนึ่งจากการสังเคราะห์จากสมการที่ 2.20 จะได้ว่าเป็นการควบคุมแบบพีไอโดยมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$K_C = \frac{\tau}{K\tau_c} \qquad \tau_1 = \tau$$

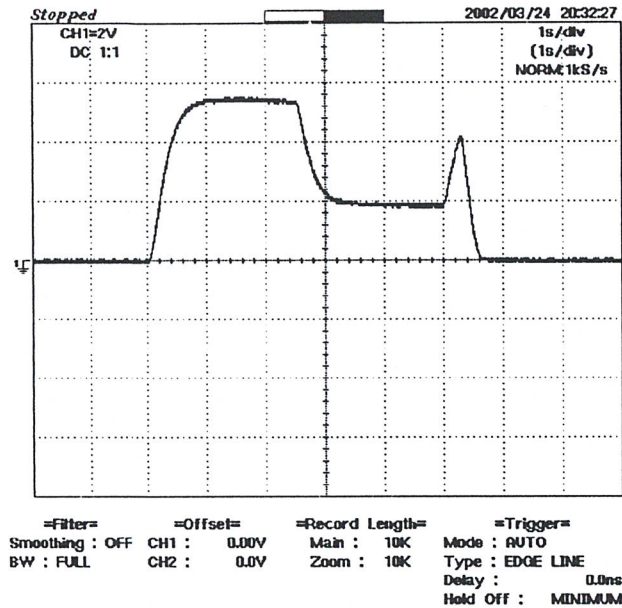
โดยในการทดลองนี้เราสามารถกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ (time constant) ที่ต้องการจากระบบได้ จากโปรแกรม โดยมีค่าเวลาไทม์คอนสแตนต์เรียงเป็นลำดับดังนี้เป็นดังนี้ 0.05 , 0.06 , 0.07 , 0.08 , 0.09, 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.4 , 0.5 , 0.6 , 0.7 , 0.8 , 0.9 , 1 วินาที โดยมีลักษณะกราฟดังรูปเรียงตามลำดับค่าไทม์คอนสแตนต์และขั้นตอนการทำงานดังนี้







โดยในการส่งสัญญาณสแต็ปเข้าไปในกระบวนการเพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของระบบเพื่อที่จะคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจะมีลักษณะดังรูปนี้



รูปที่ 4-1 แสดงสัญญาณทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ

$$K \cdot (\text{อินพุต1-disturbance}) = \text{เอาต์พุต1} - (1) \quad K \cdot (\text{อินพุต2-disturbance}) = \text{เอาต์พุต2} - (2)$$

$$(1) - (2): \quad K \cdot (\text{อินพุต1} - \text{อินพุต2}) = (\text{เอาต์พุต1} - \text{เอาต์พุต2})$$

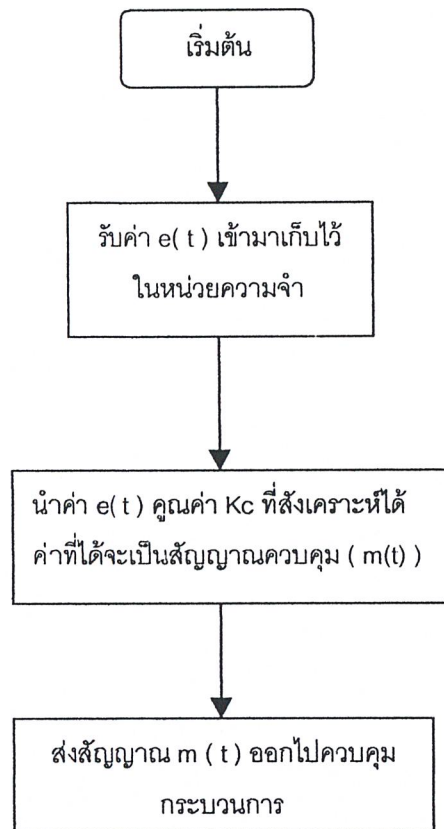
$$K = (\text{เอาต์พุต1} - \text{เอาต์พุต2}) / (\text{อินพุต1} - \text{อินพุต2})$$

เริ่มต้นส่งสัญญาณระดับ 8 โวลต์จะได้ค่าเอาต์พุต1(5.5โวลต์) จากนั้นลดระดับสัญญาณเป็น 4 โวลต์จะได้ค่าเอาต์พุต2 (2โวลต์) นำค่าผลต่างของเอาต์พุตทั้งสองมาหารด้วยผลต่างของอินพุตเป็นค่าคงที่ของกระบวนการ จากนั้นส่งสัญญาณระดับ 8 โวลต์อีกครั้ง เพื่อหาค่า ไทม์คอนสแตนต์

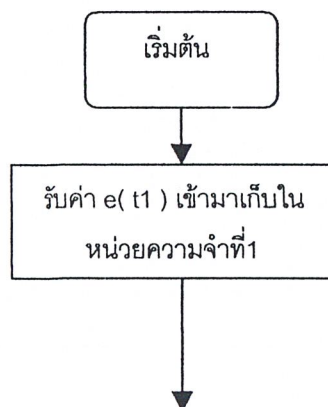
และในการเขียนโปรแกรมในช่วงที่เป็นการเขียนตัวควบคุมพีไอได้นั้นจะมีขั้นตอนการเขียนดังนี้

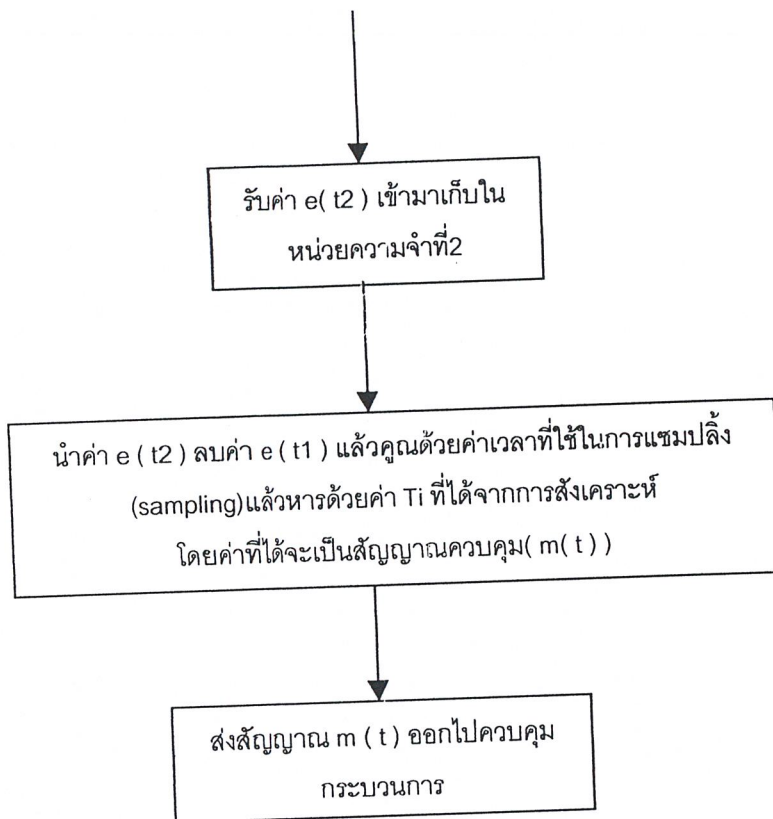
มี

1 .การเขียน ตัวควบคุมพี

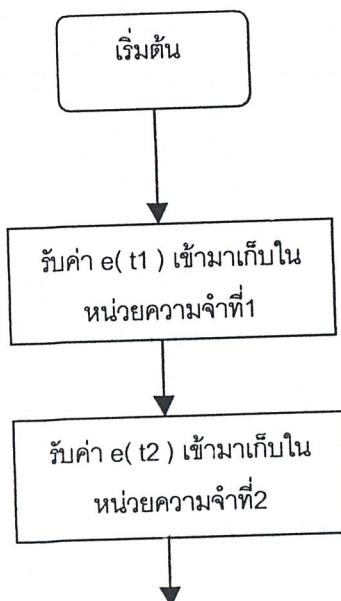


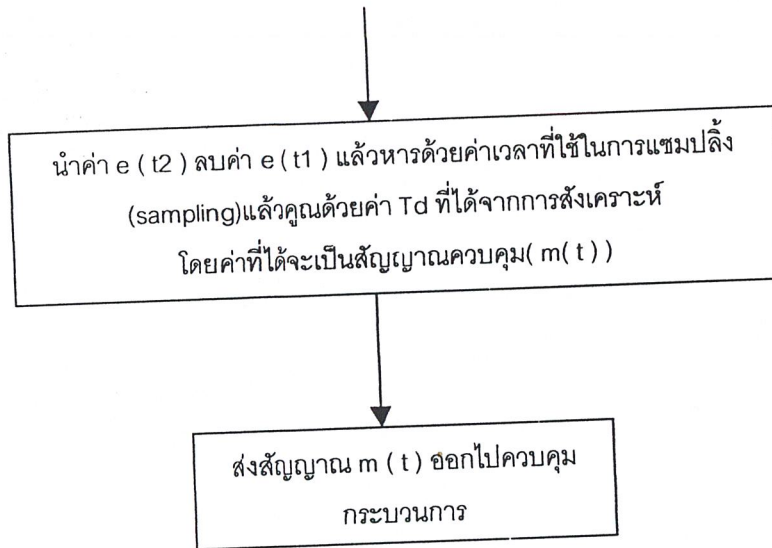
2. การเขียนตัวควบคุม ไอ

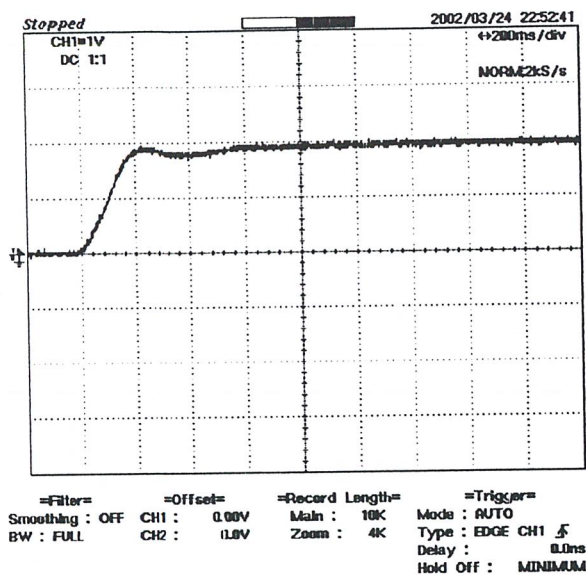




3. การเขียนตัวควบคุม ดี

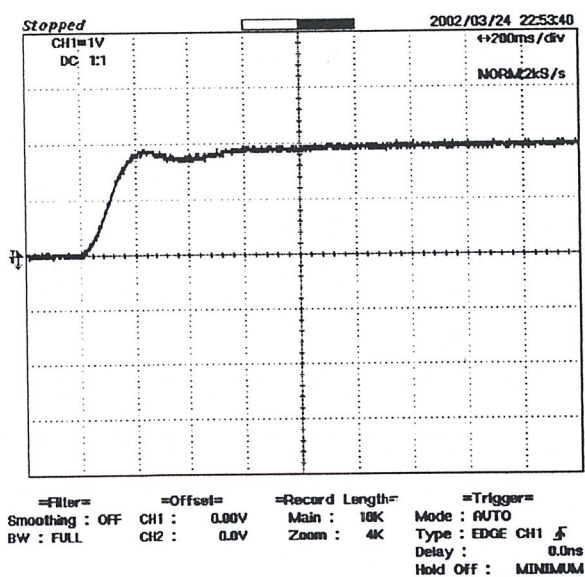






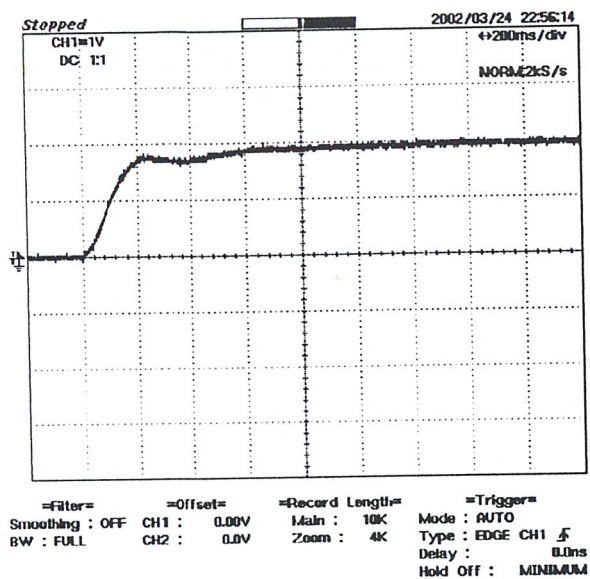
รูปที่ 4-4 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.07 วินาที

$$K_c = 4.285 \quad T_i = 0.3$$



รูปที่ 4-5 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.08 วินาที

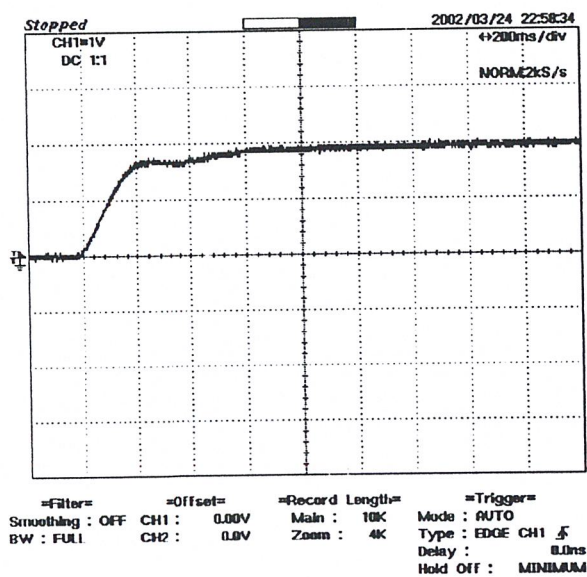
$$K_c = 3.75 \quad T_i = 0.3$$



รูปที่ 4-6 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.09 วินาที

$$K_c = 3.333$$

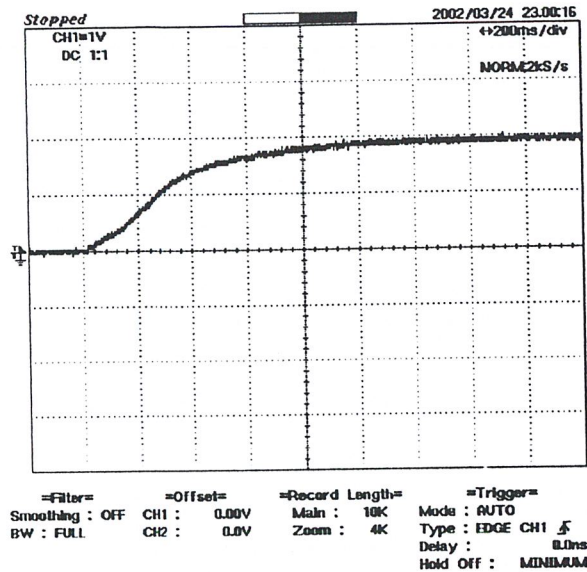
$$T_i = 0.3$$



รูปที่ 4-7 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.1 วินาที

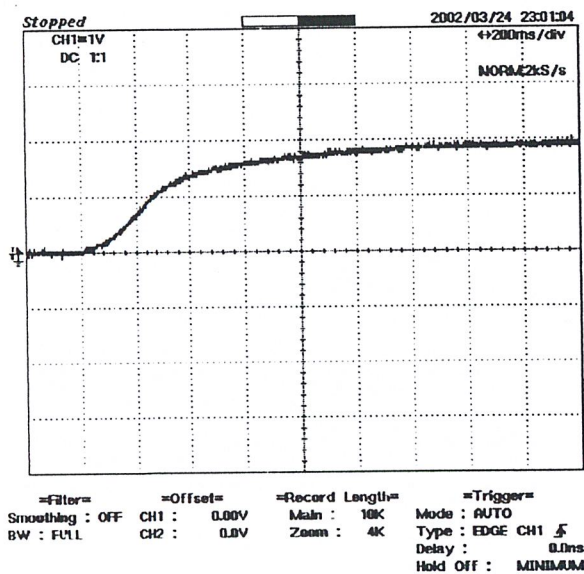
$$K_c = 3$$

$$T_i = 0.3$$



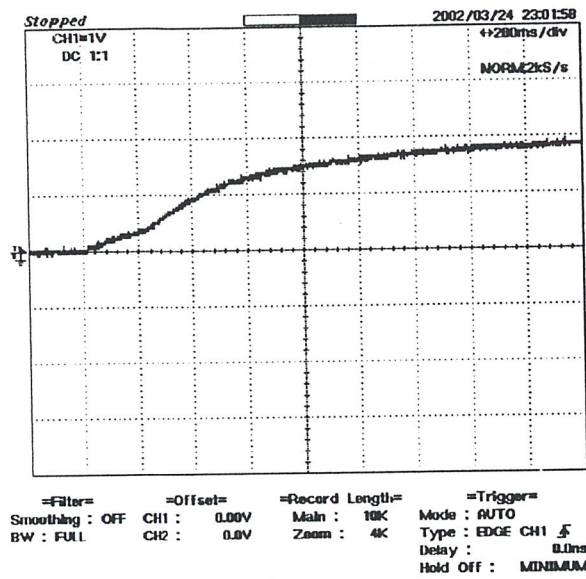
รูปที่ 4-8 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.2 วินาที

$$K_c = 1.5 \quad T_i = 0.3$$



รูปที่ 4-9 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.3 วินาที

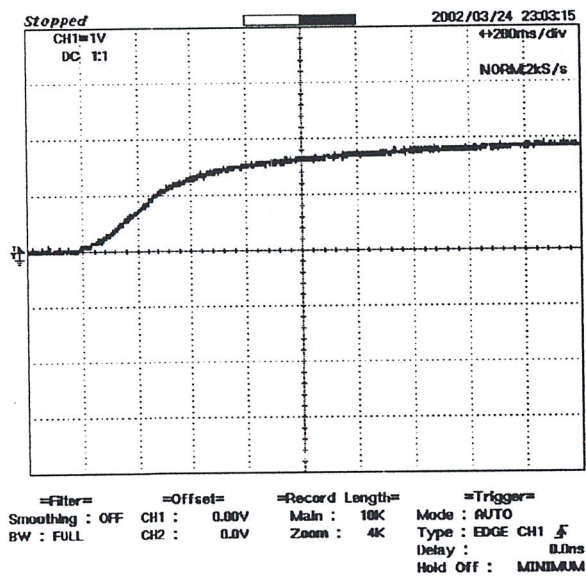
$$K_c = 1 \quad T_i = 0.3$$



รูปที่ 4-10 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.4 วินาที

$$K_c = 0.75$$

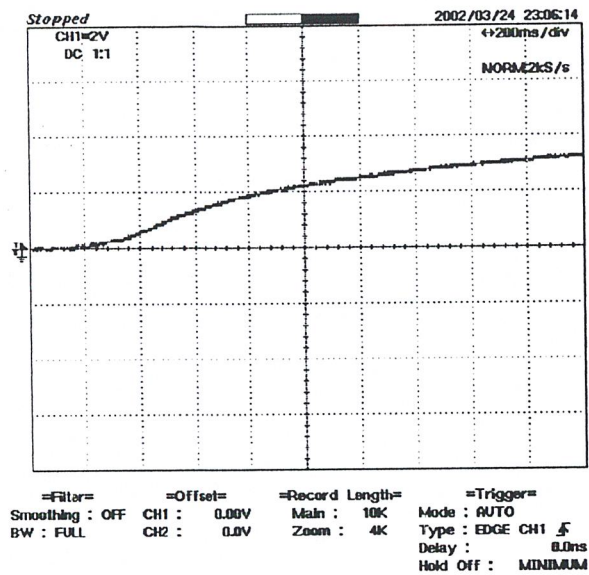
$$T_i = 0.3$$



รูปที่ 4-11 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.5 วินาที

$$K_c = 0.6$$

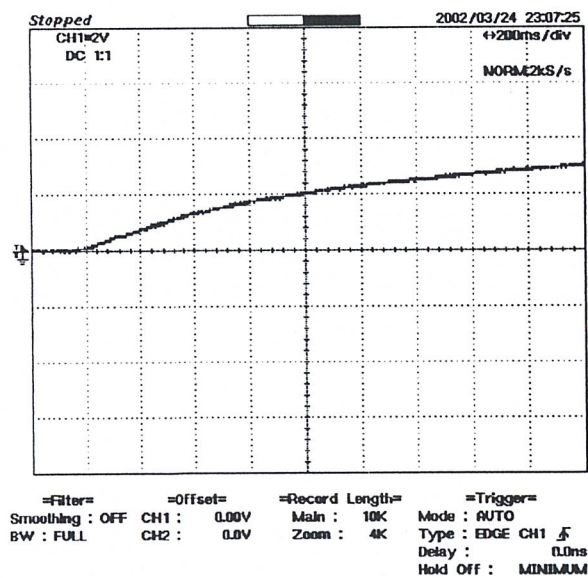
$$T_i = 0.3$$



รูปที่ 4-12 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.8 วินาที

$$K_c=0.375$$

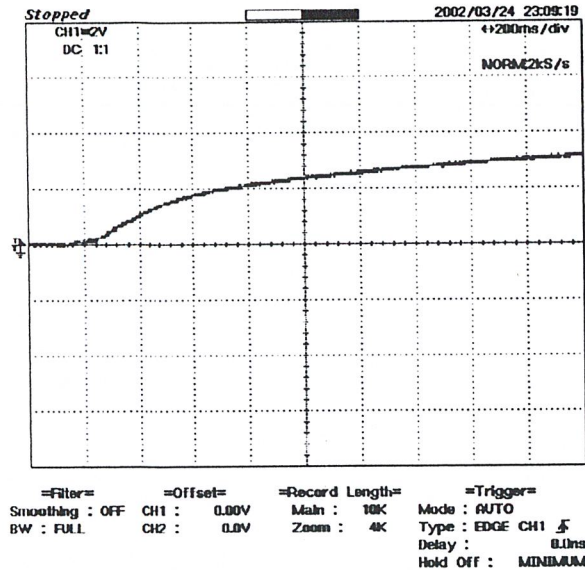
$$T_i=0.3$$



รูปที่ 4-13 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.9วินาที

$$K_c=0.333$$

$$T_i=0.3$$



รูปที่ 4-14 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 1 วินาที

$$K_c=0.3 \quad T_i=0.3$$

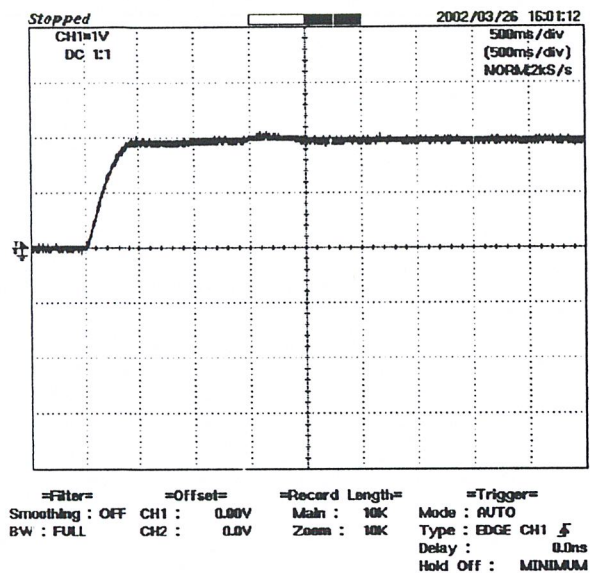
4.2.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์เมื่อประมาณกระบวนการมอเตอร์เป็นระบบอันดับหนึ่งและมีเดดไทม์ จากการสังเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเราจะได้ว่าในกระบวนการลักษณะนี้ จะมีการควบคุมได้ 2 แบบคือ 1) พีไอ โดยมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเป็น

$$K_p = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad T_i = \tau$$

2) พีไอดี โดยมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเป็น

$$K_p = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad T_d = \frac{t_0}{2} \quad T_i = \tau$$

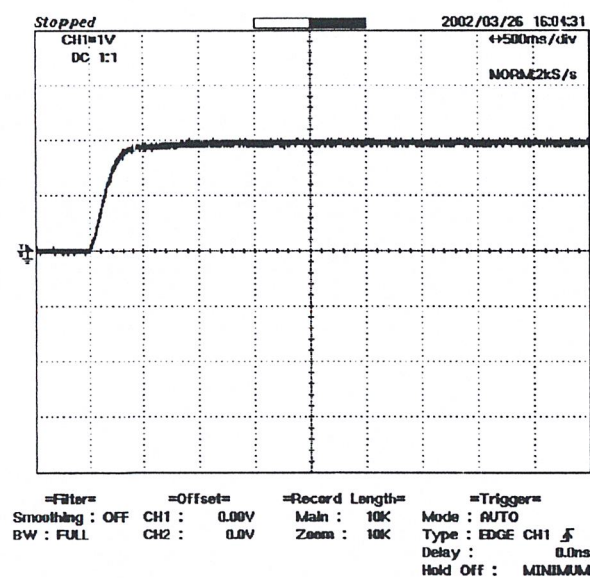
โดยในการทดลองนี้เราสามารถกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ (time constant) ที่ต้องการจากระบบได้จากโปรแกรม โดยมีค่าเวลาไทม์คอนสแตนต์เรียงเป็นลำดับดังนี้เป็นดังนี้ 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1 วินาที โดยมีลักษณะกราฟดังรูปเรียงตามลำดับค่าไทม์คอนสแตนต์และขั้นตอนการทำงานเหมือนกับการที่ประมาณกระบวนการเป็นระบบอันดับหนึ่ง



รูปที่ 4-15 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.05 วินาที(พีไอ)

$$K_c=2.222$$

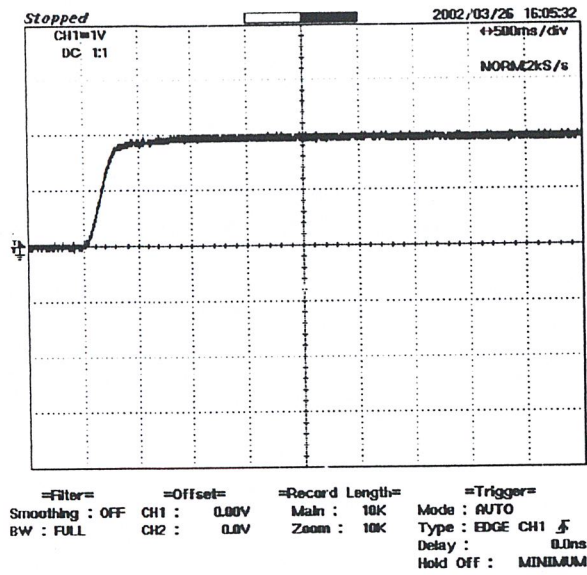
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-16 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.06 วินาที(พีไอ)

$$K_c=2$$

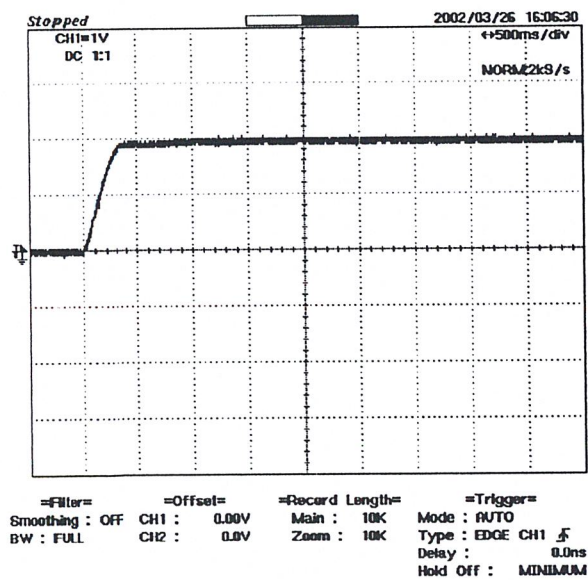
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-17 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.07 วินาที(พีไอ)

$$K_c=1.818$$

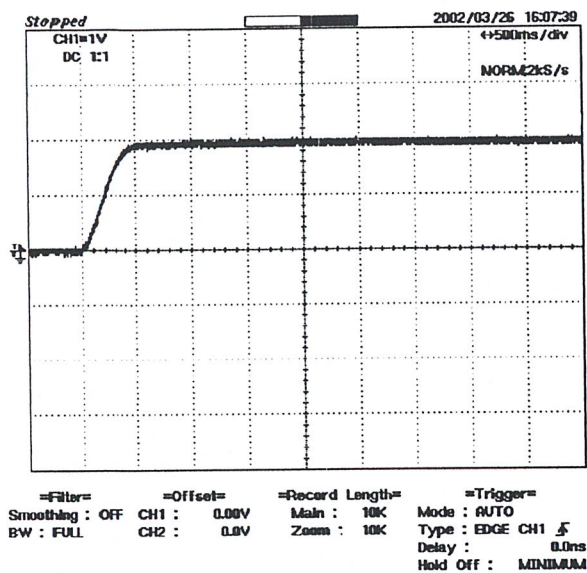
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-18 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.08 วินาที(พีไอ)

$$K_c=1.666$$

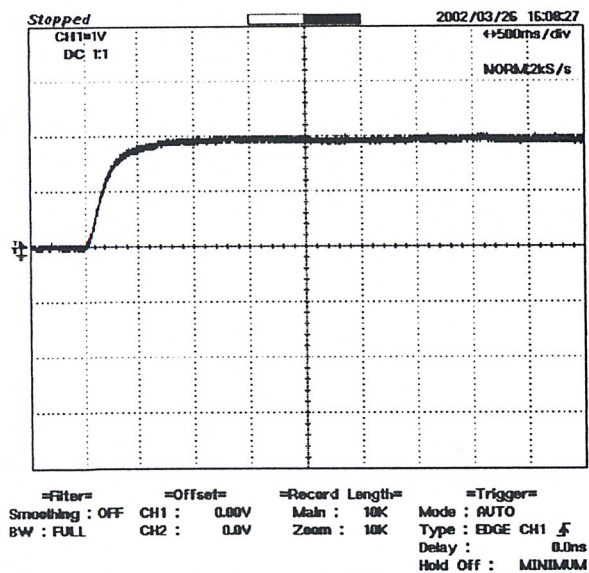
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-19 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.09 วินาที(พีโอ)

$$K_c=1.538$$

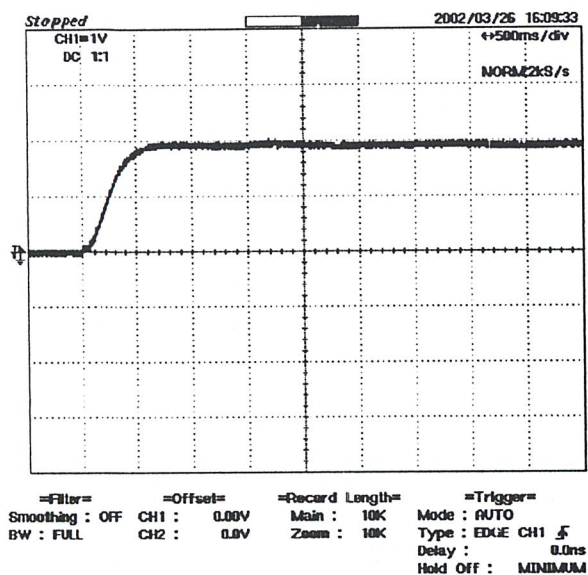
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-20 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.1 วินาที(พีโอ)

$$K_c=1.428$$

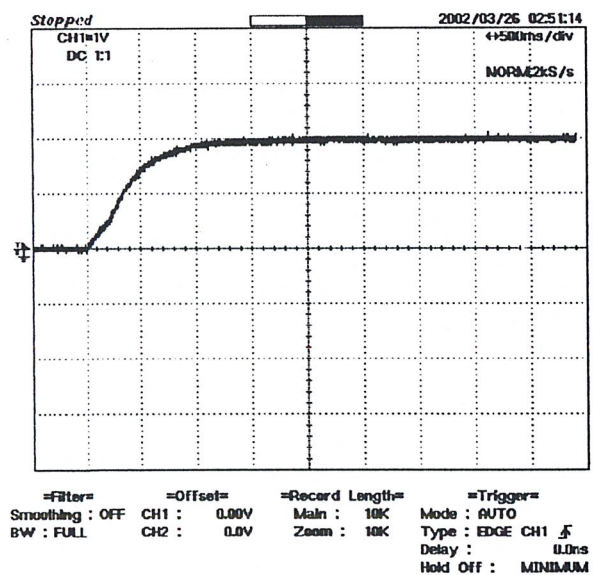
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-21 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.2 วินาที(พีไอ)

$$K_c=0.8333$$

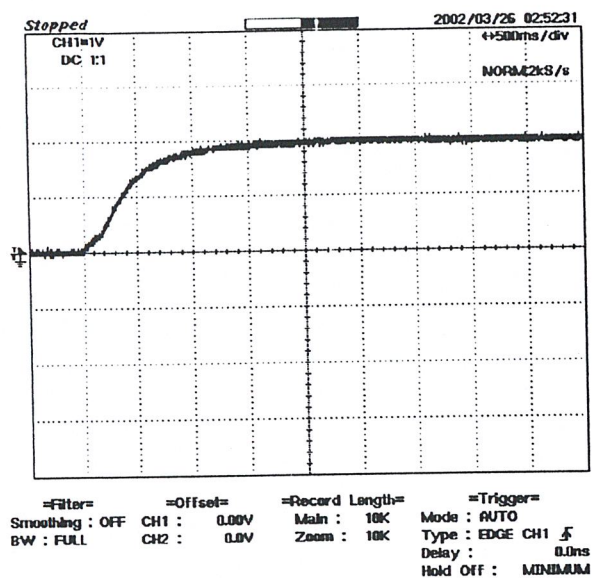
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-22 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.3 วินาที(พีไอ)

$$K_c=0.588$$

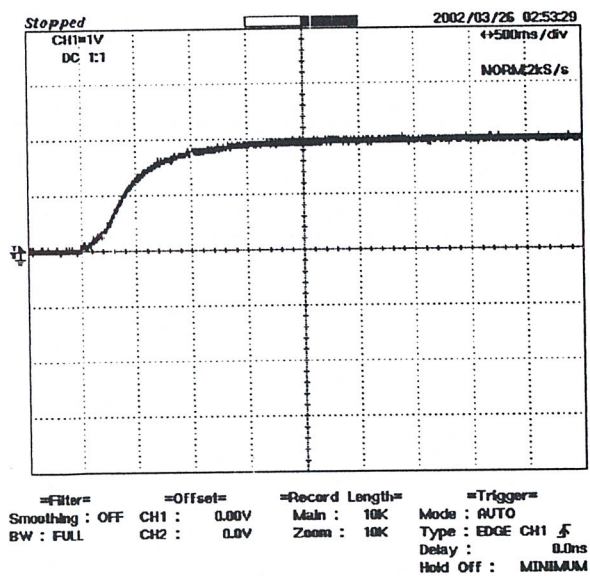
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-23 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.4วินาที(พีไอ)

$$K_c=0.454$$

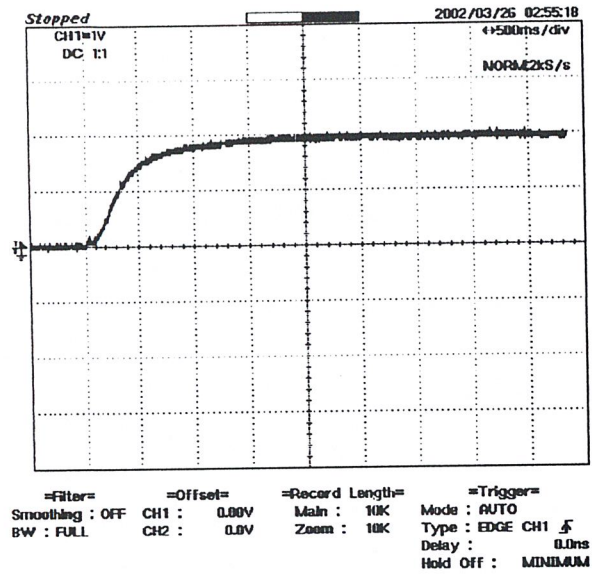
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-24 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.5 วินาที(พีไอ)

$$K_c=0.37$$

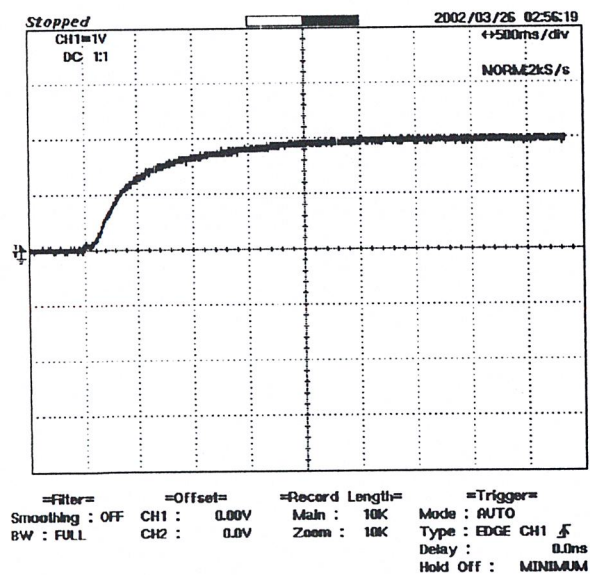
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-25 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.6 วินาที(ไฟโอ)

$$K_c=0.3125$$

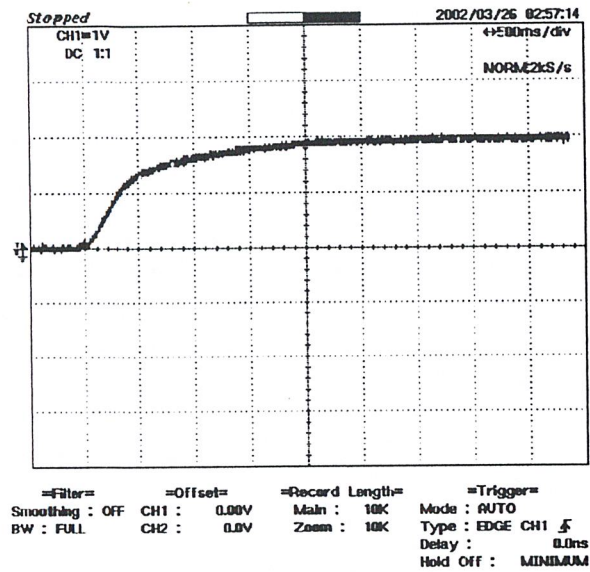
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-27 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.7 วินาที(ไฟโอ)

$$K_c=0.27$$

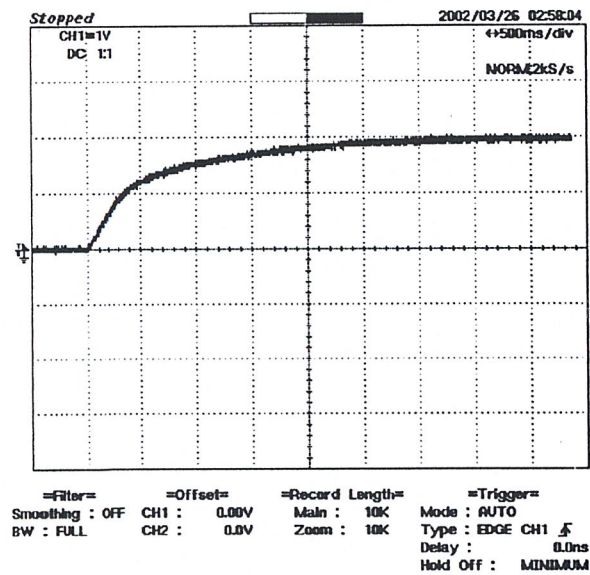
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-28 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.8 วินาที(พีไอ)

$$K_c=0.238$$

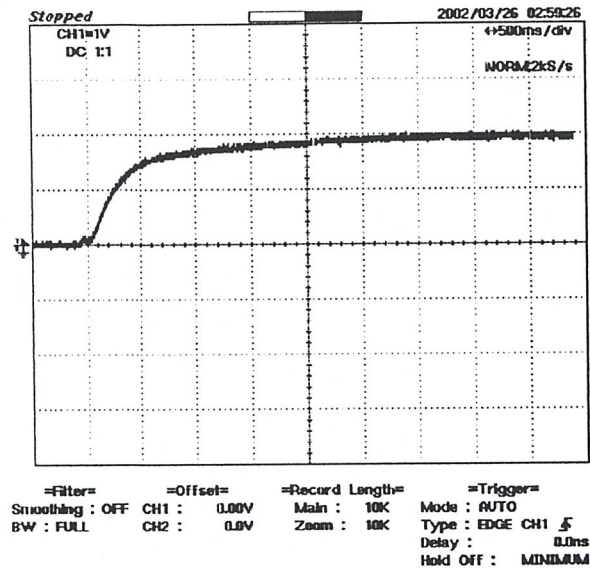
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-29 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.9วินาที(พีไอ)

$$K_c=0.212$$

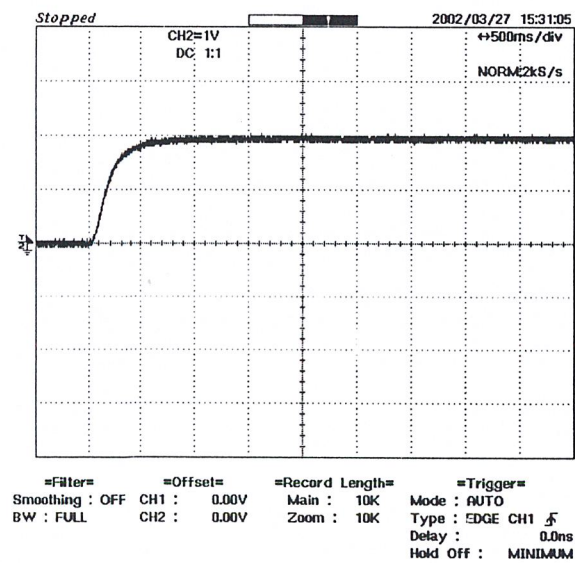
$$T_i=0.2$$



รูปที่ 4-30 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 1 วินาที(พีไอ)

$$K_c=0.192$$

$$T_i=0.2$$

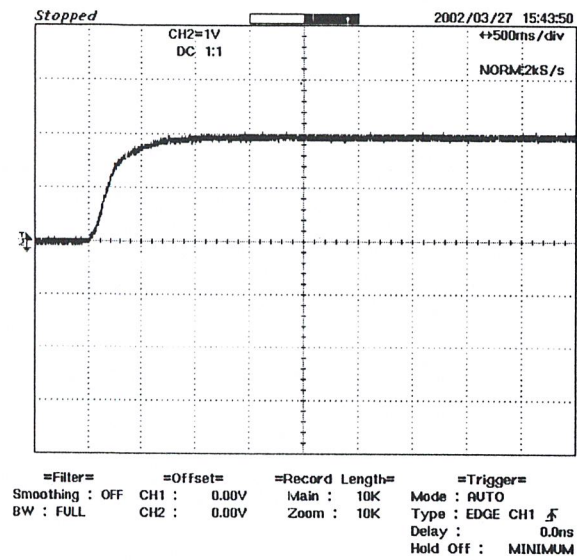


รูปที่4-31 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.05วินาที(พีไอดี)

$$K_c=2.222$$

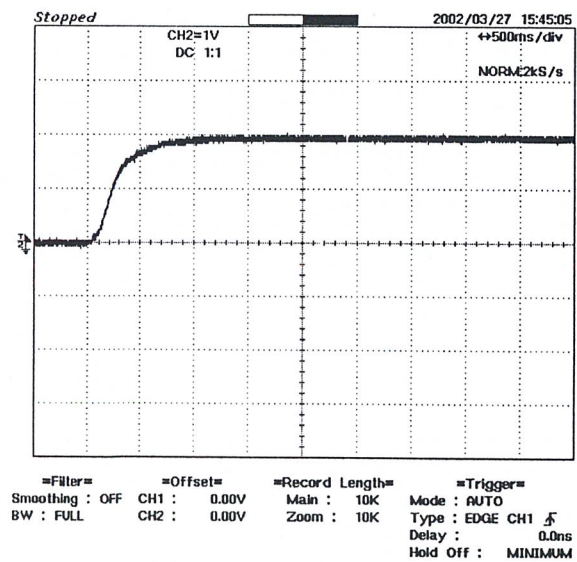
$$T_i=0.2$$

$$T_d=0.02$$



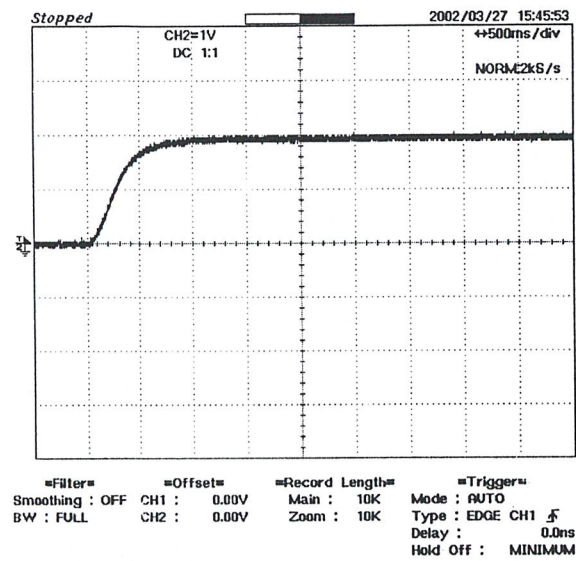
รูปที่ 4-34 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.08วินาที(พีไอดี)

$$K_c = 1.666 \quad T_i = 0.2 \quad T_d = 0.02$$



รูปที่ 4-35 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.09วินาที(พีไอดี)

$$K_c = 1.538 \quad T_i = 0.2 \quad T_d = 0.02$$

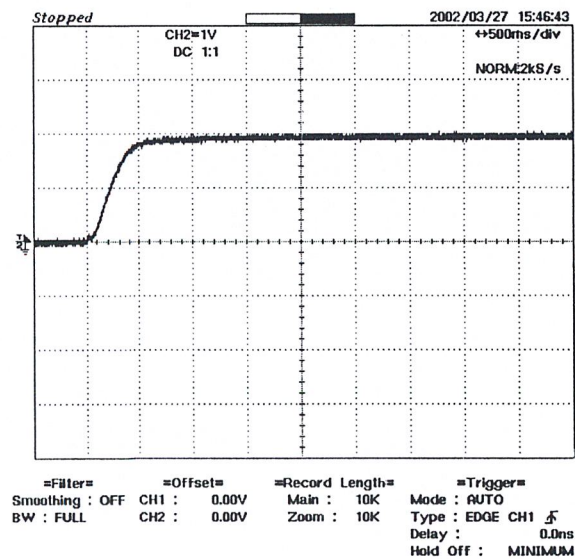


รูปที่ 4-36 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.1วินาที(พีเอ็ด)

$$K_c=1.428$$

$$T_i=0.2$$

$$T_d=0.02$$

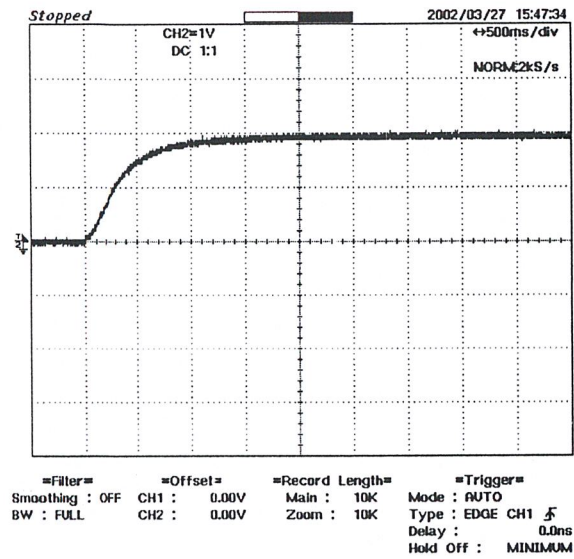


รูปที่ 4-37 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.2วินาที(พีเอ็ด)

$$K_c=0.833$$

$$T_i=0.2$$

$$T_d=0.02$$

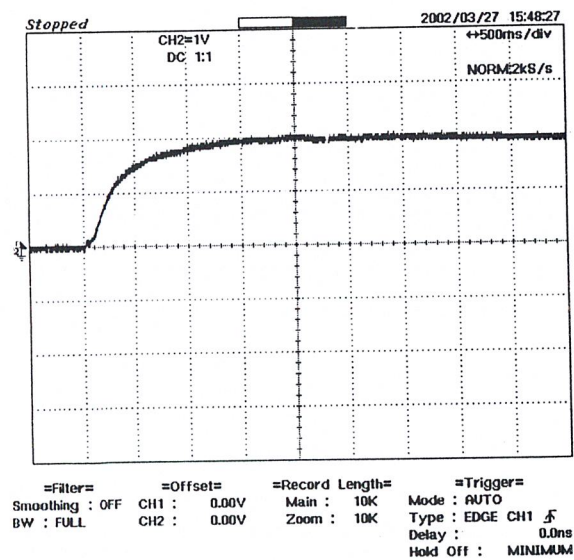


รูปที่ 4-38 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.3วินาที(พีโอดี)

$$K_c=0.588$$

$$T_i=0.2$$

$$T_d=0.02$$

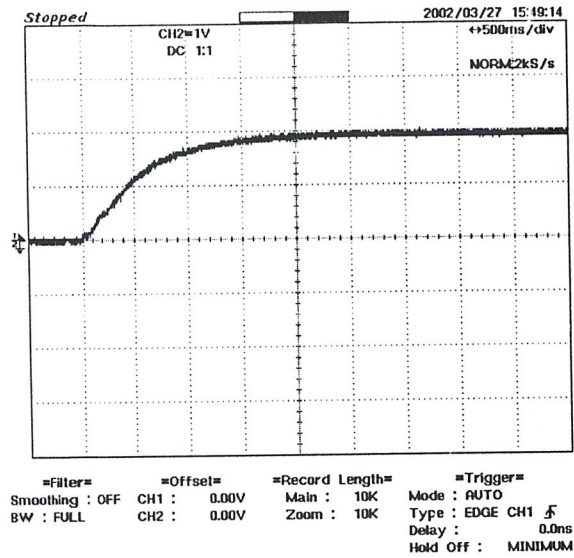


รูปที่ 4-39 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.4วินาที(พีโอดี)

$$K_c=0.454$$

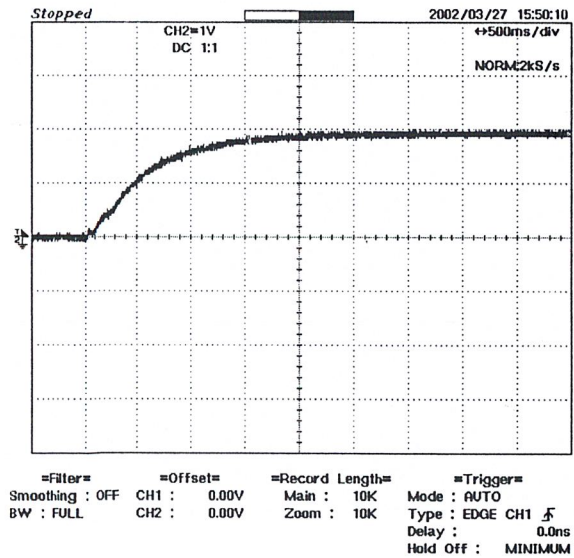
$$T_i=0.2$$

$$T_d=0.02$$



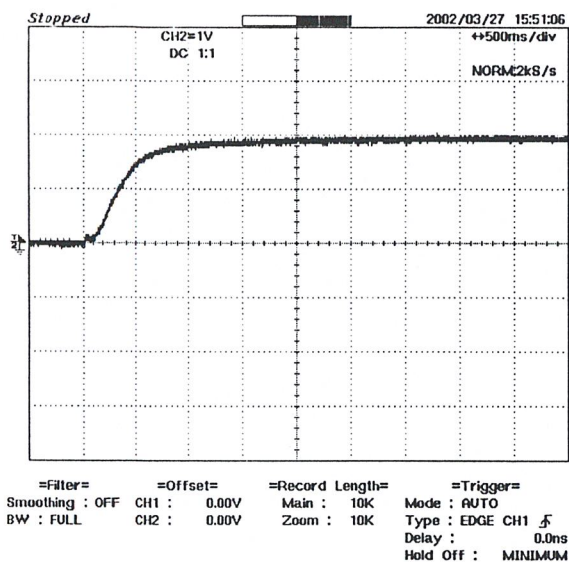
รูปที่ 4-40 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.5วินาที(พีไอดี)

$K_c=0.37$ $T_i=0.2$ $T_d=0.02$



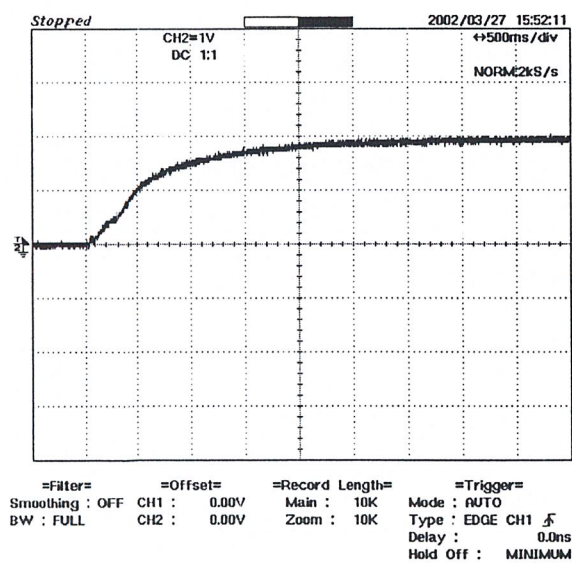
รูปที่ 4-41 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.6วินาที(พีไอดี)

$K_c=0.3125$ $T_i=0.2$ $T_d=0.02$



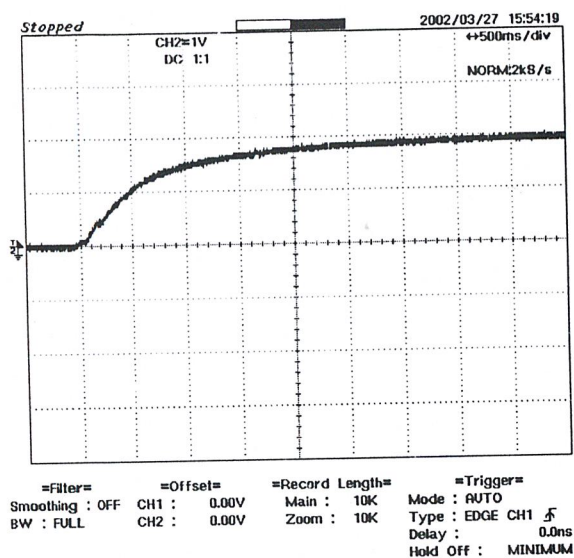
รูปที่ 4-42 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.7วินาที(พีโอดี)

$$K_c=0.27 \quad T_i=0.2 \quad T_d=0.02$$



รูปที่ 4-43 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.8วินาที(พีโอดี)

$$K_c=0.238 \quad T_i=0.2 \quad T_d=0.02$$

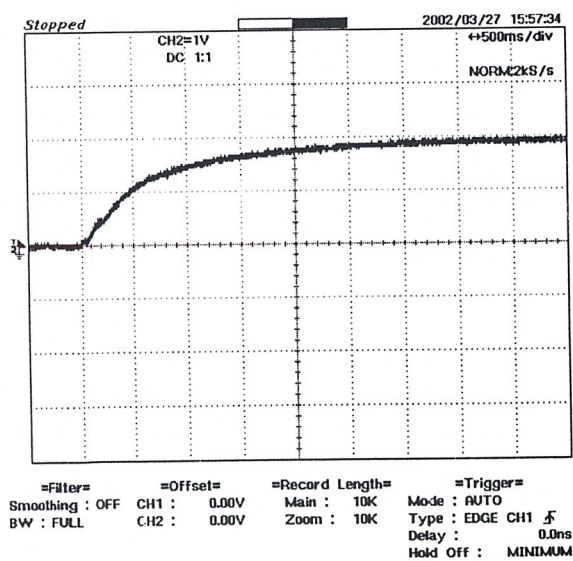


รูปที่ 4-44 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 0.9วินาที(พีโอดี)

$$K_c=0.212$$

$$T_i=0.2$$

$$T_d=0.02$$

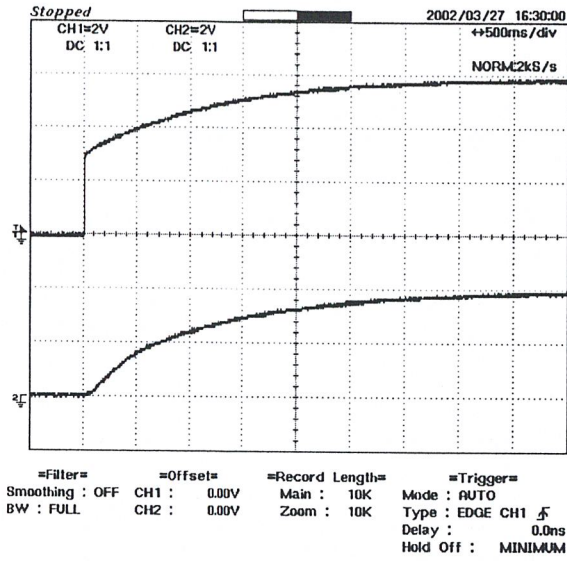


รูปที่ 4-45 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อกำหนดค่าไทม์คอนสแตนต์ของระบบเท่ากับ 1วินาที(พีโอดี)

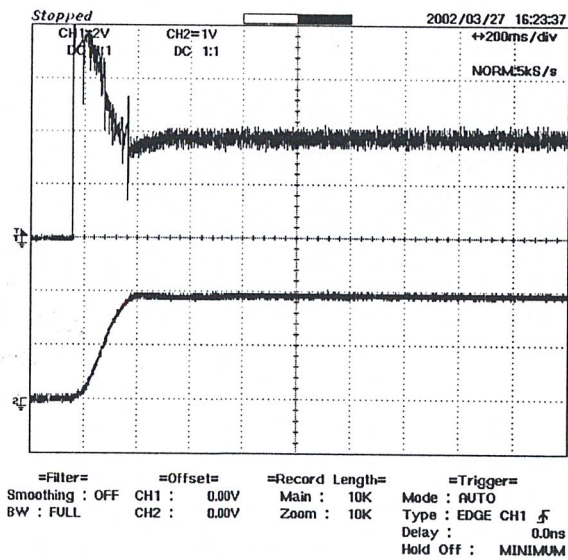
$$K_c=0.192$$

$$T_i=0.2$$

$$T_d=0.02$$



รูปที่ 4-46 แสดงสัญญาณควบคุมและผลตอบสนองทางเวลาโดยมีการควบคุมแบบพีไอ



รูปที่ 4-47 แสดงสัญญาณควบคุมและผลตอบสนองทางเวลาโดยมีการควบคุมแบบพีไอดี

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

ผลการทดลอง

1. การทดลองที่ 1 การรับส่งสัญญาณผ่านวงจรเชื่อมต่อนับสัญญาณอนาล็อก

ในการทดลองนี้ได้มีการเขียนโปรแกรมให้บอร์ดดีเอสเค โดยมีการรับอินพุตเข้ามาและส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปด้วยค่าเดิม พบว่าเกิดความแตกต่างของสัญญาณด้านอินพุตและเอาต์พุตเกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการแก้ปัญหานี้ก่อนที่จะนำสัญญาณไปควบคุม กระบวนการใดๆก็ตาม โดยต้องเขียนโปรแกรมแก้ไขสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตมีขนาดเท่ากัน

2. การทดลองที่ 2 การควบคุมมอเตอร์ด้วยวิธีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ

ในการทดลองนี้ได้เป็นการประยุกต์ใช้งานบอร์ดดีเอสเคไปเป็นตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์โดยอัตโนมัติ โดยแบ่งการทดลองเป็นการทดลองย่อยอีกคือ

2.1 ประมาณกระบวนการมอเตอร์เป็นระบบอันดับหนึ่ง โดยเมื่อมีการประมาณในลักษณะนี้จะสามารถสังเคราะห์ตัวควบคุมได้เป็นแบบพีไอ และมีค่าพารามิเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สามารถควบคุมให้มอเตอร์เข้าสู่ค่าอินพุตที่ตั้งไว้ได้ และมีค่าโหม้คอนสแตนต์ของระบบปิดใกล้เคียงตามที่ได้โปรแกรมไว้

2.2 ประมาณกระบวนการมอเตอร์เป็นระบบอันดับหนึ่งมีเดคไทม์ โดยเมื่อมีการประมาณในลักษณะนี้จะสามารถสังเคราะห์ตัวควบคุมได้เป็นทั้งแบบ พีไอ และพีไอดี โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า

ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. จากการทดลองที่ 1 เมื่อมีการรับส่งสัญญาณอินพุตผ่านวงจรเชื่อมต่อนับสัญญาณอนาล็อกโดยกำหนดให้ค่าของอินพุตมีค่าเท่ากับค่าของเอาต์พุตแต่ปรากฏว่าค่าที่ได้มีค่าไม่เท่ากัน

2. เนื่องจากการรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมจะผ่านทางวงจรเชื่อมต่อนับสัญญาณอนาล็อก ซึ่งมีช่วงการใช้งานเพียง +3 โวลต์ ถึง -3 โวลต์ ทำให้มีช่วงการใช้งานที่แคบเกินไป

แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. การแก้ไขปัญหาที่เกิดในการทดลองที่ 1 โดยได้มีการพล็อตกราฟค่าโวลต์อินพุต และโวลต์เอาต์พุต ที่ส่งเข้าและออกจากบอร์ดดีเอสเค จากนั้นหาความสัมพันธ์ของโวลต์อินพุตและโวลต์เอาต์พุต และนำความสัมพันธ์นั้นมาเขียนโปรแกรมแก้ไขเพื่อให้ค่าสัญญาณอินพุตมีค่าเท่ากับสัญญาณเอาต์พุต

2. ปัญหาในด้านช่วงการใช้งาน ก็ได้มีการต่อวงจรมายเพิ่มโดยใช้วงจรมายธรรมดาทั่วไป กำหนดให้มีอัตราขยายเท่ากับ 4 เพื่อให้ช่วงการใช้งานของสัญญาณอินพุตกว้างขึ้น หลังจากผ่านกระบวนการแล้วก็นำสัญญาณผ่านวงจรลดทอนสัญญาณให้อยู่ในช่วงการใช้งานเดิมเพื่อนำเป็นอินพุตเข้าสู่บอร์ดซีเอสเค

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ

อาจารย์สว่าง เดชศิริสุนทร ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและคอยให้คำแนะนำในการทำงาน
อาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ
พี่ สโตร์ ที่ช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ
เพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารอ้างอิง

1. Texas Instrument , “ TMS320C3x User’s Guide “,1996
2. Texas Instrument , “ TMS320C3x DSP Starter Kit User’s Guide”,1996
3. Texas Instrument , “ TLC3040, TLC32041C , TLC32041I Analog Interface Circuit “ ,1995
4. Rulph Chassaing, “Digital Signal Processing Laboratory Experiment Using C and TMS320C31 DSK
5. Carlos A. Smith , Ph.D.,P.E. and Armando B.Corripio , Ph.D., P.E. ,
“ Principles and Practice of Automatic Process Control “ , John Wiley & Sons, Inc ,1997
6. รศ. วิพันธ์ ปรีชาพานิชย์ , “ การวิเคราะห์ระบบควบคุมเวลาติสกรีต “ , พิมพ์ครั้งที่ 1 ,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2537