

การปรับแต่งค่าตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

โดย

บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

Autotune PID By DSP Board



โดย

นาย นนทวัช ช่างทอง  
นาย ศิริชัย ศรีประทุมวงศ์

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 50214

วัน,เดือน,ปี 27 เม.ย. 2547

|         |
|---------|
| .b..... |
| .i..... |

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแต่งค่าตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

โดย

บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

Autotune PID By DSP Board



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับแต่งค่าตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติโดยบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล  
Autotune PID By DSP Board

ผู้จัดทำ

1. นาย นนทร์วิชัย ช่างทอง

2. นาย ศิริชัย ศรีประทุมวงศ์

(อาจารย์สว่าง

เลิศฤทธิ์สุนทร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การปรับแต่งค่าตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติ

โดย

บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

Autotune PID By DSP Board

โดย

นาย นนทร์วัช ช่างทอง

นาย ศิริชัย ศรีประทุมวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สว่าง เลิศถิรสุนทร

ปีการศึกษา 2545

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษา โครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในและการประยุกต์ใช้งาน ดีเอสพี (Digital Signal Processing : DSP) บนบอร์ดดีเอสเค (DSP Starter Kit : DSK) โดยจะเน้น การเชื่อมต่อสัญญาณ อนุภาคผ่านพอร์ตอนุกรมของดีเอสพี โดยประยุกต์ใช้บอร์ดเป็นตัวควบคุม ความเร็วของดีซี มอเตอร์ ด้วยวิธีการควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี จะใช้วิธีการออโต้จูนนิ่ง (auto tuning) 2 วิธี คือ วิธี DAHLIN และ วิธี ZIEGLER-NICHOLS โดยนำผลการทดลองที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน

## 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 through serial port of DSP . The DSP board application is using it as an automatic PID controller parameter analyzer (auto tuning) which have DAHLIN method and ZIEGLER-NICHOLS method for analysis. We compare the experimental result from both method. In order to control the constant speed of DC motor เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ   | I    |
| สารบัญ   | II   |
| สารบัญรูปภาพ   | III  |
| สารบัญตาราง  | IIII |
| บทที่ 1 บทนำ   | 1    |
| บทที่ 2 ทฤษฎี  | 3    |
| 2.1 โครงสร้างบอร์ดดีเอสเค  | 3    |
| 2.2 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี แบบอัตโนมัติ                  | 8    |
| 2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบควบคุมป้อนกลับ  | 8    |
| 2.2.2 วิธีการควบคุมแบบต่างๆ  | 9    |
| 2.2.3 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ   | 13   |
| 2.2.4 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดีจากผลตอบสนองของกระบวนการที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน    | 18   |
| 2.2.4.1 สังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีของ Ziegler – Nichols แบบวิธี Process Reactive Curve   | 19   |
| 2.2.4.2 การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดีของ Dahlin   | 20   |
| บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง  | 26   |
| 3.1 กล่าวนำ  | 26   |
| 3.2 กระบวนการที่จะทำการควบคุม  | 26   |
| 3.3 วงจรที่ใช้ในการทดลอง   | 29   |
| 3.4 การประยุกต์ใช้บอร์ด ดีเอสเค ตามหลักการและทฤษฎี   | 30   |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง   | 31   |
| 4.1 การป้อนสัญญาณทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการจากผลตอบสนองทางเวลา                               | 31   |
| 4.2 การทดลองที่ 1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Dahlin | 31   |

|                          |   |    |
|--------------------------|---|----|
| 4.3                      | การทดลองที่ 2 การควบคุมระบบที่มีผลตอบสนองช้ากว่ามอเตอร์<br>โดยอาศัยวงจร R-C ด้วยวิธีของ Dahlin                      | 32 |
| 4.4                      | การทดลองที่ 3 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดี<br>แบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Ziegler – Nichols | 32 |
| 4.5                      | การทดลองที่ 4 การควบคุมระบบที่มีผลตอบสนองช้ากว่ามอเตอร์<br>โดยอาศัยวงจร R-C ด้วยวิธีของ Ziegler – Nichols           | 33 |
| บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ |   | 50 |
| ภาคผนวก                  |   |    |
| กิตติกรรมประกาศ          |   |    |
| เอกสารอ้างอิง            |   |    |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1-1 โครงสร้างของบอร์ดคีเอสเคที่จะนำไปควบคุมกระบวนการ  | 2    |
| รูปที่ 2-1 โครงสร้างของบอร์ด คีเอสเค   | 4    |
| รูปที่ 2-2 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับการทดสอบ   | 15   |
| รูปที่ 2-3 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ FOPDT หลังจากป้อนสัญญาณแบบสเต็ป                                 | 16   |
| รูปที่ 2-4 แสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FOPDT  | 17   |
| รูปที่ 2-5 ผลตอบสนองรูปตัวเอส เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve                                    | 19   |
| รูปที่ 2-6 บล็อกไดอะแกรมของระบบปัดเมื่อไม่พิจารณาสิ่งรบกวน   | 20   |
| รูปที่ 2-7 แสดงผลตอบสนองของระบบปัดที่ใช้ในการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ พีไอดี                         | 21   |
| รูปที่ 2-8 แสดงผลตอบสนองของระบบปัดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา $t_0$                                    | 24   |
| รูปที่ 3-1 ชุดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์  | 26   |
| รูปที่ 3-2 ชุดมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์  | 27   |
| รูปที่ 3-3 ชุดแทคโคเจนเนอเรเตอร์   | 27   |
| รูปที่ 3-4 ชุดโหลด   | 28   |
| รูปที่ 3-5 ชุดวงจรอาร์ซี   | 28   |
| รูปที่ 3-6 วงจรขยายสัญญาณควบคุม  | 29   |
| รูปที่ 3-7 วงจรลดขนาดสัญญาณ  | 29   |
| รูปที่ 4-1 แสดงสัญญาณทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเมื่อเป็น มอเตอร์                              | 34   |
| รูปที่ 4-2 แสดงสัญญาณทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเมื่อเป็นวงจร อาร์ซี                           | 34   |
| รูปที่ 4-3 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ<br>โดยวิธีของ Dahlin            | 35   |
| รูปที่ 4-4 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ<br>โดยวิธีของ Ziegler – Nichols | 36   |
| รูปที่ 4-5 แสดงความเร็วของมอเตอร์สูงสุดที่สามารถควบคุมได้ที่ 2240 รอบ/นาที                           | 37   |
| รูปที่ 4-6 แสดงความเร็วของมอเตอร์ต่ำสุดที่สามารถควบคุมได้ที่ 250 รอบ/นาที                            | 37   |
| รูปที่ 4-7 แสดงความเร็วของมอเตอร์ที่ความเร็ว 1495 รอบ/นาที   | 38   |
| รูปที่ 4-8 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1  | 38   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|  |    |
|--|----|
| รูปที่ 4-9 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1และ โหลด2พร้อมกัน                                 | 39 |
| รูปที่ 4-10 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1, โหลด2และ โหลด3พร้อมกัน                         | 39 |
| รูปที่ 4-11 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1ค้างไว้แล้วจึงเปิดสวิตช์โหลด2                    | 40 |
| รูปที่ 4-12 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1และ โหลด2ค้างไว้แล้วจึงเปิดสวิตช์โหลด3           | 40 |
| รูปที่ 4-13 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 1 โวลท์และการใส่โหลดที่ค่า 1 Kohms | 41 |
| รูปที่ 4-14 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 2 โวลท์และการใส่โหลดที่ค่า 1 Kohms | 41 |
| รูปที่ 4-15 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 3 โวลท์และการใส่โหลดที่ค่า 1 Kohms | 42 |
| รูปที่ 4-16 แสดงสัญญาณควบคุมและผลตอบสนองทางเวลาของวิธี Dahlin                      | 42 |
| รูปที่ 4-17 แสดงความเร็วของมอเตอร์สูงสุดที่สามารถควบคุมได้ที่ 1908 รอบ/นาที        | 43 |
| รูปที่ 4-18 แสดงความเร็วของมอเตอร์ต่ำสุดที่สามารถควบคุมได้ที่ 178 รอบ/นาที         | 43 |
| รูปที่ 4-19 แสดงความเร็วของมอเตอร์ที่ความเร็ว 1495 รอบ/นาที                        | 44 |
| รูปที่ 4-20 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1   | 44 |
| รูปที่ 4-21 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1และ โหลด2พร้อมกัน                                | 45 |
| รูปที่ 4-22 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1, โหลด2และ โหลด3พร้อมกัน                         | 45 |
| รูปที่ 4-23 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1ค้างไว้แล้วจึงเปิดสวิตช์โหลด2                    | 46 |
| รูปที่ 4-24 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1และ โหลด2ค้างไว้แล้วจึงเปิดสวิตช์โหลด3           | 46 |
| รูปที่ 4-25 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 1 โวลท์และการใส่โหลดที่ค่า 1 kohms | 47 |
| รูปที่ 4-26 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 2 โวลท์และการใส่โหลดที่ค่า 1 kohms | 47 |
| รูปที่ 4-27 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 3 โวลท์และการใส่โหลดที่ค่า 1 kohms | 48 |
| รูปที่ 4-28 แสดงสัญญาณควบคุมและผลตอบสนองทางเวลาของวิธี Ziegler-Nichols             | 48 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2-1 แสดงสูตรหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี<br>ด้วยวิธี Process Reaction Curve                   | 5    |
| ตารางที่ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่สังเคราะห์ได้<br>จาก วิธี Ziegler – Nichols และจากวิธี Dahlin | 49   |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

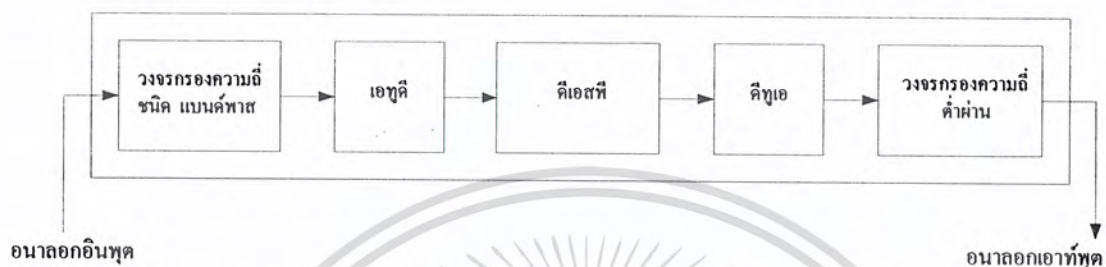
เนื่องจากในปัจจุบัน ในการควบคุมระบบใดๆ ก็ตามโดยส่วนใหญ่จะเป็นการควบคุม ลักษณะกึ่งอัตโนมัติ กล่าวคือในระบบการควบคุมต้องมีตัวควบคุม ควบคุมแทนมนุษย์ แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องมีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ซึ่งในการปรับแต่งต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ เพื่อให้ระบบมีสมรรถนะภาพที่ดีที่สุดและถ้าผู้ปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ไม่มีประสบการณ์ก็จะทำให้เสียเวลาอย่างมาก ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการประยุกต์ใช้งานของบอร์ด คีเอสเค ซึ่งมี คีเอสพี เบอร์ ทีเอ็มเอส320ซ31-50 เป็นตัวประมวลผลเป็นตัวควบคุม ในการควบคุมความเร็วของ ดิซีมอเตอร์ โดยใช้วิธีการควบคุมแบบหาค่าพารามิเตอร์โดยอัตโนมัติ

เนื่องจากการประมวลสัญญาณไฟฟ้า โดยการใช้อุปกรณ์ทางอนาลอกนั้น มักนำตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ และทรานซิสเตอร์ นำมาประกอบเป็นวงจรเพื่อจัดรูปสัญญาณตามที่เราต้องการ ข้อด้อยที่หลีกเลี่ยงไม่ได้คือ การที่ค่าของอุปกรณ์อาจเปลี่ยนแปลงไปได้ตามอุณหภูมิ ซึ่งจะส่งผลให้การทำงานผิดพลาดไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าทำงานที่ความถี่สูง การประกอบวงจรจะเป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจากสัญญาณรบกวน และการเดินทางของคลื่นไฟฟ้าในความถี่สูงๆนั้นจะเดินทางไปอยู่ที่ผิวของวัตถุ

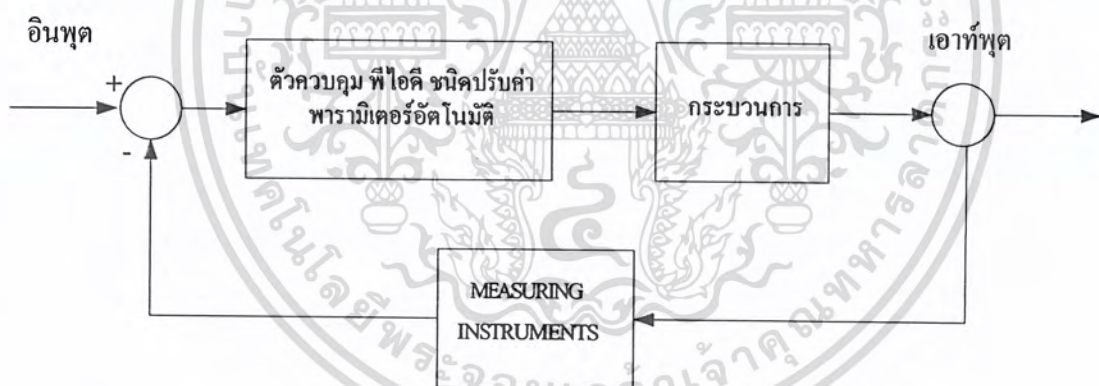
ในปัจจุบันการประมวลสัญญาณไฟฟ้านั้น ได้นำ คอมพิวเตอร์มาใช้ในการประมวลซึ่งสามารถทำได้ง่ายขึ้น สามารถตัดข้อเสียของอุปกรณ์เรื่องอุณหภูมิได้ เพราะสามารถออกแบบวงจรด้วย การเขียนโปรแกรมขึ้นมาได้ และสามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ง่ายโดยเปลี่ยนแปลงค่าในโปรแกรมเท่านั้น ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ภายนอก สามารถจำลองผลการทำงานบนที่ผลไว้ประมวลผลครั้งต่อไปได้และหากเป็นการกระทำกับ สัญญาณที่มีความถี่สูงๆ ก็สามารถใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลโดย ฮาร์ดแวร์ ซึ่งจะมีความเร็วสูงมาก เช่น คีเอสพี มีลักษณะเป็น ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถทำงานได้ทั้งโหมด ไมโครโปรเซสเซอร์ และโหมด ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย คีเอสพี นี้เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ ที่มีความเร็วสูงมาก มีชุดคำสั่งพิเศษ มีสถาปัตยกรรมภายในเหมาะสมสำหรับการประมวลสัญญาณทางตัวเลข ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้าน การควบคุมระบบต่างๆได้

ในการประมวลสัญญาณอนาลอก ของ ดีเอสพี นี้จะต้องมีการเชื่อมต่อ ไอซี ทีแอลซี 32040 ซึ่งจะมีอยู่ในบอร์ด ดีเอสเค แล้วโดยใน ทีแอลซี 32040 ประกอบด้วย อินพุต / เอาท์พุต อนาลอก ผ่าน อาร์ซีเอ แจ็ค, เอพูดีและ ดีทูเอ ขนาด 14 บิต และมีอัตราการแซมปลิ่งสูงสุด 20 กิโลเฮิรตซ์, วงจรกรองความถี่ด้านอินพุต ชนิดแบนด์พาส โดยสามารถ บายพาสได้, วงจรกรองความถี่ด้านเอาท์พุตเป็นชนิดวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยมีการเชื่อมต่อสัญญาณอนาลอก ดังรูป



รูปที่ 1-1 โครงสร้างของบอร์ดดีเอสเคที่จะนำไปควบคุมกระบวนกร

โดยในระบบปิดที่ควบคุมจะมีบล็อก ไดอะแกรมดังรูป



จาก บล็อกไดอะแกรมเราจะใช้บอร์ด ดีเอสเค เป็นตัวควบคุมแบบ พีไอดี หาค่าพารามิเตอร์โดยอัตโนมัติและความเร็วของ ดีซี มอเตอร์ เป็นกระบวนการที่เราจะควบคุมโดยควบคุมความเร็วของ ดีซี มอเตอร์ ในส่วนของการป้อนสัญญาณกลับนั้นเราจะใช้ ทาโคเจนเนอเรเตอร์ เป็นตัวป้อนกลับของสัญญาณ

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

ในส่วนของทฤษฎีจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

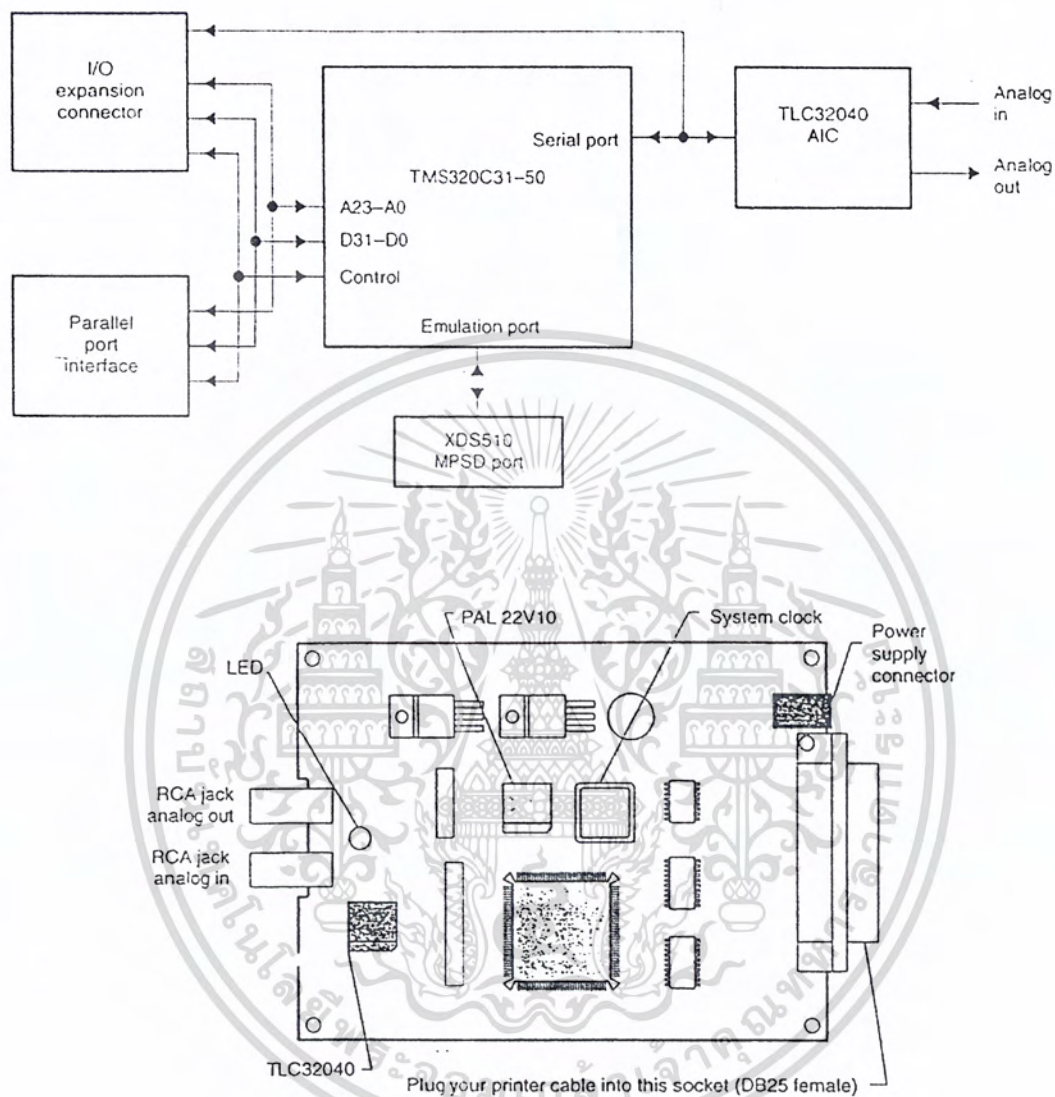
1. โครงสร้างของบอร์ด คีเอสเค
2. วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีแบบอัตโนมัติ

#### 2.1 โครงสร้างบอร์ดคีเอสเค

ส่วนประกอบของบอร์ด คีเอสเคประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้

- คีเอสพี ( ทีเอ็มเอส 320ซี31-50)
- 40 นาโนวินาที ต่อ ไซเคิลไทม์ ,50 ล้านคำสั่งอิงครรชนิต่อวินาที ,25 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- พอร์ตขนานสำหรับ เชื่อมต่อ กับ คอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะ โหลด โปรแกรมที่เขียนบนคอมพิวเตอร์ ลงบนบอร์ด คีเอสเค
- พอร์ตอนุกรมสำหรับรับส่งข้อมูล อนุลอก ผ่านทางวงจรเชื่อมต่อสัญญาณ อนุลอก ผ่าน AIC CHIP ประกอบด้วย ทีแอลซี 32040 ซึ่งประกอบด้วย เทอูดี ขนาด 14 บิต และวงจร กรองความถี่ด้านเอาท์พุทมีสวิตซ์คาปาซิเตอร์ป้องกันสัญญาณรบกวน
- อาร์ซีเอ แจ็ค (รับและส่งข้อมูลอนุลอก)
- เอ็กซ์แพนชันคอนเนคเตอร์ (expansion connectors) (รับส่งข้อมูลแบบขนาน)

โดยมี โครงสร้างดังรูปในหน้าถัดไป



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของบอร์ด DSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สถาปัตยกรรม ทีเอ็มเอส 320 ซีสามเอ็กซ์ (TMS320C3X)

สถาปัตยกรรม ของดีเอสพีเบอร์นี้ สามารถตอบสนองความต้องการพื้นฐานของขั้นตอนวิธีคำนวณที่ซับซ้อนและเน้นการแก้ปัญหาทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ หน่วยอินตรรชนีมี พิสัยแบบพลวัต ที่กว้างและเที่ยงตรง, หน่วยความจำบนชิปขนาดใหญ่, ระบบแบบขนานดีกรีสูง, และตัวควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง ทำให้ ดีเอสพีเบอร์นี้ มีสมรรถภาพสูง

### 1.หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU)

ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- ตัวคูณเลขอินตรรชนี/จำนวนเต็ม (Floating-point/integer multiplier)
- หน่วยคำนวณและตรรกะ (Arithmetic logic unit : ALU) สำหรับ ไว้ดำเนินการเลขอินตรรชนี, จำนวนเต็ม และตรรกะ
- ตัวเลื่อนหรือหมุนเวิร์ดข้อมูล (barrel shifter) 32 บิต
- บัสภายใน (CPU1/CPU2 และ REG1/REG2)
- หน่วยคำนวณรีจิสเตอร์ช่วย (Auxiliary register arithmetic units : ARAUs)
- แฟ้มรีจิสเตอร์ของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU register file)

### 2.การจัดการหน่วยความจำของ TMS320C31-50

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

### 3.การจัดการบัสภายใน

ส่วนใหญ่ ดีเอสพี จะมีสมรรถภาพสูงเพราะบัสภายใน และการแยกแบบขนานของบัสของ โปรแกรม (PADDR และ PDATA), บัสของข้อมูล (DADDR1, DADDR2 และ DDATA) และบัสของการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (DMAADDR และ DMADATA) จะสามารถไปนำโปรแกรมมาแบบขนาน, การเข้าถึงข้อมูล และ การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง โดยบัสเหล่านี้จะต่อกับพื้นที่ทั้งหมด (หน่วยความจำบนชิป, หน่วยความจำนอกชิป และ อุปกรณ์ภายนอกบนชิป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. อุปกรณ์รอบนอก (Peripherals)

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

##### 4.1 ตัวจับเวลา (Timer)

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

การใช้สัญญาณนาฬิกาภายในจะทำให้สามารถใช้ตัวจับเวลาเพื่อส่งสัญญาณให้ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D converter) ภายนอกไปเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลง, หรือสามารถอินเทอร์รัพต์การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรงของ TMS320C3x 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 : แฮนด์เชก (handshake) จะอนุญาตให้ คีเอสพี ทำการติดต่อพอร์ตอนุกรมได้อย่างไม่มีการผิดพลาด

## 5. การเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง (Direct Memory Access : DMA)

ตัวควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรงบนชิป สามารถอ่านหรือเขียนลงตำแหน่งต่างๆ ใน แผนที่หน่วยความจำ โดยไม่เข้าไปแทรกแซงการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง, ดังนั้น ดีเอสพี สามารถเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอกและอุปกรณ์ภายนอก โดยผ่านทางหน่วยประมวลผลหลักซึ่งข้อมูลนั้นจะไม่ถูกลดทอนลง ตัวควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรง จะบรรจุตัวสร้างตำแหน่ง (address generator) ของตัวเอง, รีจิสเตอร์ต้นกำเนิดและจุดหมาย และตัวนับการส่งย้ายข้อมูล (transfer counter) บัซของตำแหน่งและบัซของข้อมูลของการเข้าถึงหน่วยความจำหน้าที่พิเศษ จะลดขนาดความขัดแย้งระหว่างหน่วยประมวลผลกลาง และตัวควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำให้น้อยลง การทำงานของการเข้าถึงหน่วยความจำประกอบด้วยบล็อก หรือเวิร์ดเดียว ส่งย้ายไปยังหรือไปจากหน่วยความจำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบการหาค่าพารามิเตอร์ของ ตัวควบคุม พีไอดี แบบอัตโนมัติ

### 2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบควบคุมป้อนกลับ

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

ระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน ดังนี้

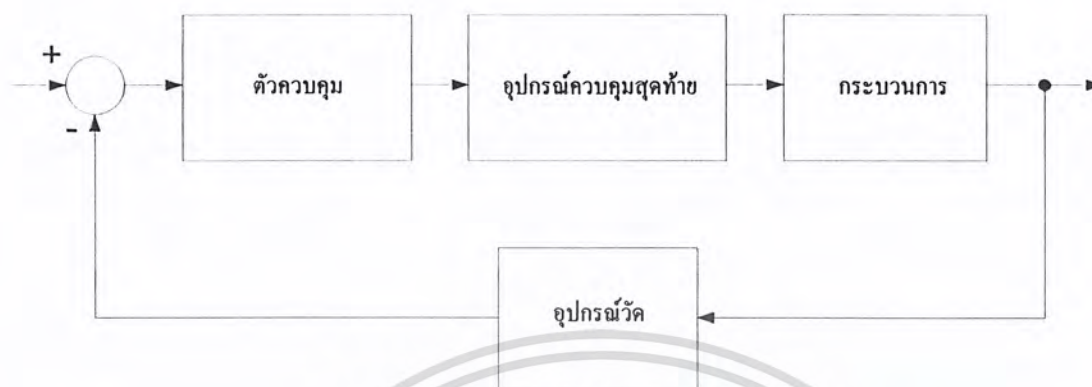
**2.2.1.1 ตัวควบคุม (controller)** เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้กระบวนการที่ต้องการควบคุมมี เอาท์พุทหรือผลตอบสนองเป็นไปตามความต้องการ โดยทั่วไปตัวควบคุมมีหลายชนิด เช่น ตัวควบคุมแบบ ออน – ออฟ ตัวควบคุมแบบ พี ตัวควบคุมแบบ ไอ ตัวควบคุมแบบ ดี หรือ การใช้ตัวควบคุมหลายๆชนิดร่วมกัน เช่น ตัวควบคุมแบบ พีไอ ตัวควบคุมแบบ พีดี หรือ ตัวควบคุมแบบ พีไอดี เป็นต้น

**2.2.1.2 อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element)** คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม , อินเวอเตอร์ หรือแอกทูเอเตอร์ ทั่วไป ๆ

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

**2.2.1.4 อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)** หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณ เอาท์พุทของระบบว่าเป็นไปตาม อินพุท ที่เราต้องการหรือยัง โดยป้อนสัญญาณกลับเพื่อไปลบกับค่า อินพุทที่เราตั้งไว้แล้ว ให้ ตัวควบคุม นำไปคำนวณเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด อุปกรณ์วัดทั่วไปมีหลายชนิด เช่น ทาโคมิเตอร์ , เอนโคเดอร์ ,เซนเซอร์ หรือ ทรานส์ดิวเซอร์ ชนิดต่างๆ

โดยระบบควบคุมป้อนกลับทั่วๆ ไป จะมี บล็อกไดอะแกรม ดังรูป



## 2.2.2 วิธีการควบคุมแบบต่างๆ

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

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

$m(t)$  = ค่า output ของตัวควบคุมแบบ พี

$Kc$  = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ พี

$\bar{m}$  = ค่า เอาต์พุต ของตัวควบคุมเมื่อความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์

$e(t)$  = ค่าความผิดพลาดของกระบวนการ

ในการควบคุมแบบ พี นั้นจะทำให้เกิดการอิมิตัวของค่าความคลื่อน คือ เมื่อ เอาต์พุต สูง ถึง 100% ขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนยังคงเพิ่มขึ้น ไปอีกค่าเอาต์พุตจะไม่สามารถเพิ่มขึ้นตามได้ ทำนองเดียวกันเมื่อค่า เอาต์พุต มีค่าเท่ากับ 0 % ขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนยังคงลดลงอีกค่า เอาต์พุต ก็ไม่สามารถลดลงได้ ซึ่งช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างที่ เอาต์พุต มีค่าจาก 0% ถึง 100% เรียกว่า ช่วงการใช้งานของอัตราขยาย (Proportional Band) โดยค่านี้จะมีผลต่ออัตราขยายของตัวควบคุม กล่าวคือเมื่อ ช่วงการใช้งานของอัตราขยาย มีค่าสูงขึ้น ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมจะลดลง เพราะว่า  $Ke = 100/\text{ช่วงการใช้งานของอัตราขยาย}$  และเมื่ออัตราขยายของตัวควบคุมลดลงทำให้เกิด ออฟเซ็ท ในระบบมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 ตัวควบคุมแบบ ไอ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การควบคุมแบบ รีเซ็ท โดยการควบคุม จะพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งการหาค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุม แบบ ไอ นั้น จะต้องหาพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลาจากนั้นนำไปคูณ กับค่าคงที่ ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ ไอ ( Integral Gain ) เพื่อหาค่า เอาท์พุต ตามสม การคณิตศาสตร์ดังนี้

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

$T_i$  = เวลาอินทิเกรตหรือเวลารีเซ็ทซึ่งมีหน่วยเป็นหน่วยของเวลาและสามารถปรับค่าได้ตาม ความเหมาะสม

$\bar{p}$  = ค่าเอาท์พุต ของตัวควบคุมที่เวลา  $t$  มีค่าเป็นศูนย์

$P(t)$  = ค่า เอาท์พุตของตัวควบคุมแบบ ไอ

$e(t)$  = ค่าความผิดพลาดของกระบวนการ

ผลของการควบคุม ด้วยการควบคุมชนิด ไอ นี้จะไม่ทำให้เกิด ออฟเซต ขึ้นในระบบและ ลดค่า โอเวอร์ชูต ของระบบลงได้ แต่ถ้าในการควบคุมมีค่าสูงเกินไปจะทำให้ผลตอบสนองของ กระบวนการช้าลงได้

2.2.2.3 การควบคุมแบบ ดี การควบคุมแบบนี้ ค่าสัญญาณ เอาท์พุต ของตัวควบคุมจะขึ้น อยู่กับการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มี โอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่า เอาท์พุต ก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าที่สูงขึ้นได้ เมื่อความคลาด เคลื่อนเกิดการเปลี่ยนแปลง 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

$T_d$  = ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ ดี

$e(t)$  = ค่าความผิดพลาดของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$m(t) = \bar{m} + K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right] \quad (2.4)$$

หรืออาจจะเขียนในรูปลาปลาซทรานส์ฟอร์มของอินพุตต่อเอาต์พุตได้ว่า

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

การควบคุมแบบ พีไอจะช่วยให้ค่าออฟเซต ที่ ณ สภาวะคงที่มีค่าเป็นศูนย์แล้วนั้น ยังช่วงลดค่า โอเวอร์ชูต และ การแกว่ง ของระบบลงได้ แต่จะให้ทำให้ ไรซ์ไทม์(rise time) และ เซ็ตติงไทม์ (setting time) เพิ่มมากขึ้น

2.2.2.5 การควบคุมแบบพีดี ในการควบคุมแบบนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ระบบมีผลตอบสนองที่เร็วขึ้น แต่จะไม่มีผลโดยตรงต่อผลตอบสนองที่สภาวะคงที่โดยมีสมการคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

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

ข้อเสียของการควบคุมแบบนี้ก็คือ ไม่สามารถทำให้ ออฟเซต ของระบบลดลงหรือหมดไปได้และ อาจจะทำให้ค่าโอเวอร์ชูต ของระบบมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย

2.2.2.6 การควบคุมแบบพีไอดี จากที่กล่าวมาแล้วว่า การควบคุมแบบ พีดี ทำให้ระบบเข้าสู่เสถียรภาพเร็วขึ้นแต่ไม่สามารถทำให้ค่า ออฟเซต หมดลงไปได้ ส่วนการควบคุมแบบ พีไอ นั้น ทำให้ค่า ออฟเซต ณ สภาวะคงที่หมดไป แต่จะทำให้ระบบใช้เวลานานในการที่จะเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังนั้นบางครั้งเพื่อต้องการให้ระบบมีสมรรถนะภาพที่ดีที่สุด 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 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

การวิเคราะห์และออกแบบการควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรมหรือระบบควบคุมที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม จำเป็นต้องทราบธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของกระบวนการและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการทั้งหมด เพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงสภาพของกระบวนการ เมื่อถูกรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมภายนอกหรือได้รับการควบคุมจากเครื่องควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะได้เลือกการควบคุมและค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม ในอันที่จะได้การควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไป การศึกษาธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติต่างๆของกระบวนการที่ใช้อยู่มี 2 วิธีคือ

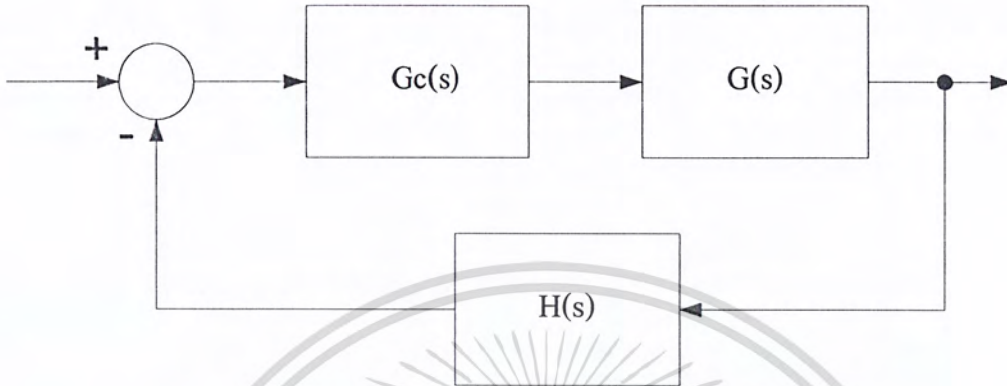
1. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยใช้วิธีการทดสอบ วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์กระบวนการสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดและเครื่องควบคุมทดลองป้อนสัญญาณเข้าและสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของกระบวนการ และ อุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งผลของสัญญาณขาออกนี้จะนำไปพยากรณ์หรือประมาณค่าของค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ เพื่ออธิบายคุณลักษณะของกระบวนการต่อไป

2. การศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการ โดยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ วิธีนี้การวิเคราะห์คุณลักษณะของอุปกรณ์และกระบวนการจะถูกแสดงในลักษณะของสมการคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น สมการพีชคณิต สมการอนุพันธ์ และหลังจากนั้นต้องวิเคราะห์คุณสมบัติของกระบวนการจากการหาค่าตอบของสมการเหล่านี้

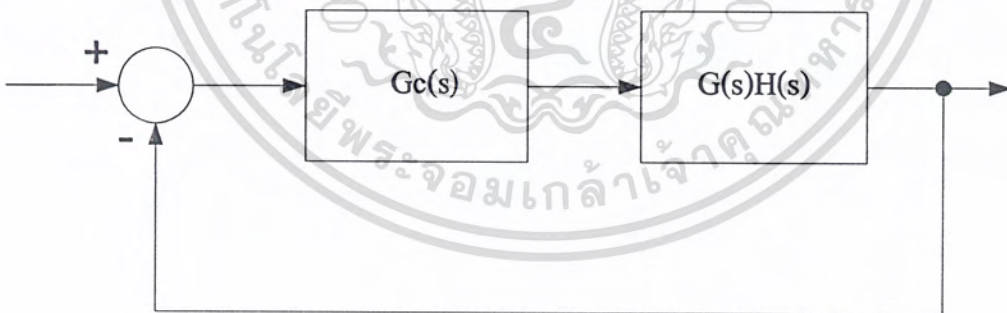
การศึกษารธรรมชาติและคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของกระบวนการ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เป็นวิธีที่ยุ่งยากและต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ ซึ่งจะเป็นปัญหาสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และฟิสิกส์น้อย ดังนั้น ในทางปฏิบัติระบบควบคุมของกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการศึกษาคุณลักษณะของกระบวนการโดยวิธีการทดลองป้อนสัญญาณเข้าให้กระบวนการ เพื่อสังเกตผลที่จะเกิดขึ้นในสภาพความเป็นจริงและนำค่าพารามิเตอร์หรือค่าคุณลักษณะของกระบวนการที่ได้ไปใช้ในการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการต่อไป

### 2.2.3.1 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  $G(s)H(s) = G_1(s)$

$R(s)$  = การแปลงลาปลาซ ของ อินพุต

$C(s)$  = การแปลงลาปลาซ ของ เอาท์พุต

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป ฟังก์ชันถ่ายโอน ของกระบวนการอุตสาหกรรมจะถูกอนุมานให้เป็นรูปแบบของกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการหน่วงเวลา (FOPDT) เนื่องจากเป็นการอนุมานที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรม ซึ่งจะได้ ฟังก์ชันถ่ายโอน ดังนี้

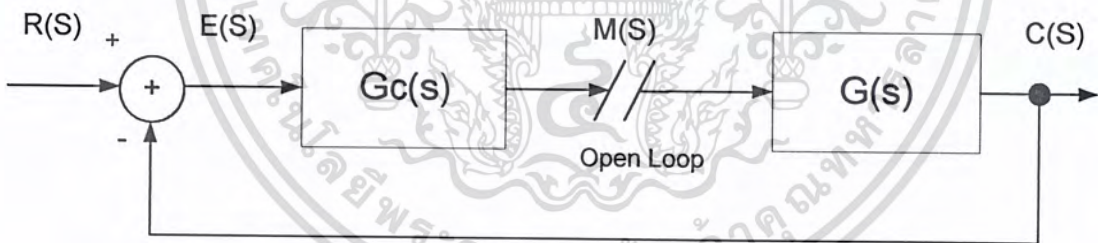
$$\frac{C(s)}{M(s)} = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (2.7)$$

โดย  $K$  = อัตราขยายของกระบวนการ

$t_0$  = ค่าการหน่วงเวลาของกระบวนการ

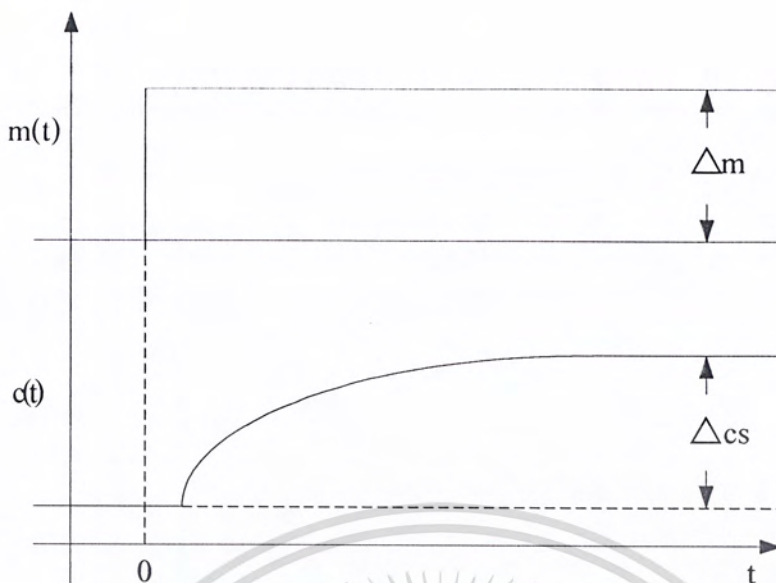
$\tau$  = ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ (Process Time Constant)

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



รูปที่ 2-2 แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับการทดสอบ

จากการทดสอบจะได้ผลตอบสนองทางเวลาของกระบวนการในรูปตัว เอส ซึ่งเป็นรูปแบบของผลตอบสนองนี้จะครอบคลุมถึงกระบวนการอันดับสอง และ กระบวนการอันดับสูง ที่มี แคมป์ ริง เรโซเทกกับหรือมากกว่าหนึ่งได้ด้วย



รูปที่ 2-3 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ FOPDT หลังจากป้อนสัญญาณแบบ เติบโต

จากรูปจะเห็นได้ว่า ฟังก์ชันถ่ายโอน ของระบบคือ

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

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าของสัญญาณควบคุม  $\Delta m$  และกระบวนการตามรูปแบบของ FOPDT ในรูปของการแปลง ลาลาซ จะได้

$$G(s) = \frac{K e^{-t_0 s}}{\tau s + 1} \times \frac{\Delta m}{s} \quad (2.8)$$

$$= K \Delta m e^{-t_0 s} \left[ \frac{1}{s} \times \frac{\tau}{\tau s + 1} \right]$$

แปลงผกผัน ลาลาซ ให้อยู่ในรูปโดเมนเวลาจะได้ว่า

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

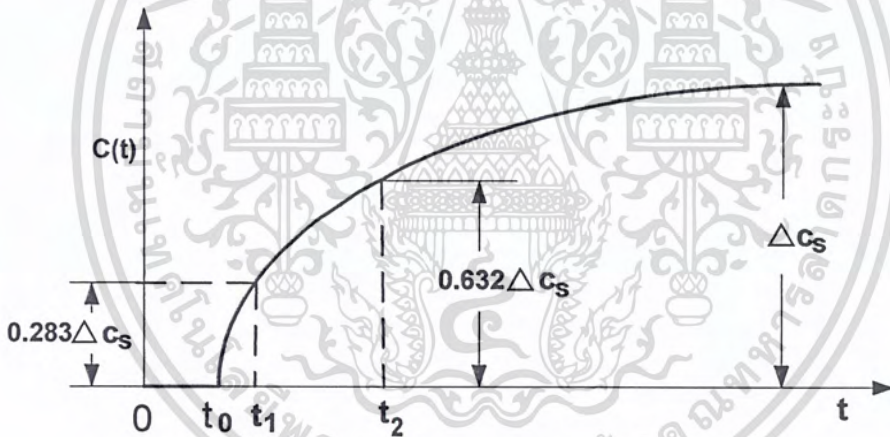
โดย  $\Delta c(t) = c(t) - c(0)$  เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ เอาท์พุทของกระบวนการ จากค่าสถานะเริ่มต้น ส่วนฟังก์ชัน ยูนิตสตีปเป็นพจน์ที่กำหนดให้  $\Delta c(t) = 0$  ที่เวลา  $t \leq t_0$  ดังนั้น เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่ที่สถานะคงที่ (Steady State)

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

ดังนั้นสามารถหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ คือ อัตราขยายได้เป็นค่าแรก คือ

$$K = \frac{\Delta c_s}{\Delta m} \quad (2.10)$$

ค่าคุณลักษณะที่เหลือก็คือค่า  $\tau$  และค่า  $t_0$  สามารถหาได้จากการประมาณค่าจากกราฟดังรูป



รูปที่ 2-4 แสดงการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FOPDT

พิจารณาที่เวลา  $t = (t_0 + \tau/3)$  และ  $t = (t_0 + \tau)$  แทนและแก้สมการจะได้

$$\Delta c_1 = \Delta c(t_0 + \frac{\tau}{3}) = K \Delta m [1 - e^{-\frac{1}{3}}] = 0.283 K \Delta m = 0.283 \Delta c_s \quad (2.11)$$

$$\Delta c_2 = \Delta c(t_0 + \tau) = K \Delta m [1 - e^{-1}] = 0.632 K \Delta m = 0.632 \Delta c_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ที่เวลาเวลา  $t = (t_0 + \tau/3)$  และ  $t = (t_0 + \tau)$  เป็น  $t_1$  และ  $t_2$  ตามลำดับ

จะได้ว่า  $t_1 = t_0 + \tau/3$

$$t_2 = t_0 + \tau$$

ดังนั้น  $t_0 = t_2 - \tau$

$$\tau = 3(t_2 - t_1)/2$$

เมื่อ  $t_1 =$  เวลาที่  $\Delta c = 0.283\Delta c_s$

$t_2 =$  เวลาที่  $\Delta c = 0.632\Delta c_s$

ค่าคุณลักษณะของกระบวนการทั้ง 3 ค่า นี้จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID คือค่า  $K_c$ ,  $T_i$  และ  $T_d$  ที่จะใช้ในการปรับตัวควบคุม ดังจะกล่าวในต่อไป

## 2.2.4 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี จากผลตอบสนองของกระบวนการที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การนำตัวควบคุม พีไอดี ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆ นั้น จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะใช้ปรับให้กับตัวควบคุม พีไอดี เพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีที่สุด บางวิธีจะพิจารณาผลตอบสนองของระบบที่ได้จากการทดสอบกระบวนการ เช่น วิธีของ Ziegler-Nichols, Cohen-Coon และวิธีของ Harriot อีกวิธีหนึ่งคือ วิธีอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์เช่น วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก และโดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไขในโดเมนเวลามากกว่าโดเมนความถี่ โดยวิธีของ Ziegler-Nichols เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามวิธีของ Ziegler-Nichols ในหลายกรณีต้องมีการปรับละเอียดอีกครั้งหนึ่งโดยวิธีการลองผิดลองถูกในอันที่จะได้ผลตอบสนองของระบบอย่างแท้จริง

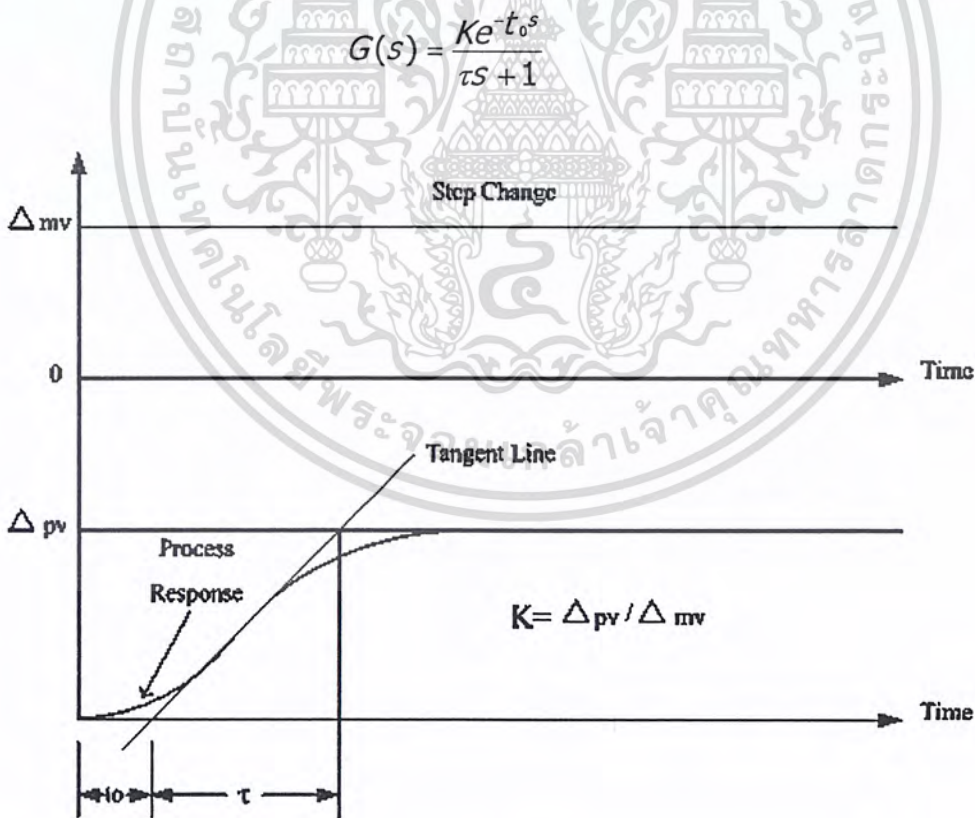
วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ ของตัวควบคุม พีไอดี ตามวิธีของ Ziegler - Nichols จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนองช่วงครู่ของระบบที่ถูกควบคุมที่ได้จากทั้งผลตอบสนองแบบ ระบบเปิด และ ระบบปิด ซึ่งมี 2 วิธีคือ Process Reaction Curve และ Ultimate Method โดยแต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ผลตอบสนองเวลาของระบบต่ออินพุต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

2.2.4.1 การสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ไอดีของ Ziegler - Nichols แบบวิธี

Process Reactive Curve

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมแบบลูปปิดต่ออินพุตแบบ สเต็ป โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้ จะไม่มี โพล ที่จุดกำเนิด หรือไม่มี โดมิแนนท์คอมเพลกซ์คอนจูเกต โพลและไม่มีตัวควบคุมต่อร่วม อยู่ ดังนั้น ผลตอบสนองทางเวลาจะได้เป็นตัว เอส โดยผลตอบสนองทางเวลารูปตัวเอส นี้จะถูกนำมาอธิบายคุณลักษณะของกระบวนการ ด้วยค่าพารามิเตอร์ 3 ค่าคือ คือ อัตราขยายกระบวนการ ค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ และค่าคงที่ของกระบวนการ โดยค่าหน่วงเวลาของกระบวนการ และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ จะถูกประมาณโดยการลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด ดังรูป ส่วนค่าอัตราขยายกระบวนการ ทราบได้เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่

ดังนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอน ของกระบวนการจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งแบบมีเกนหน่วงเวลา



รูปที่ 2-5 ผลตอบสนองรูปตัว เอส เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve

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

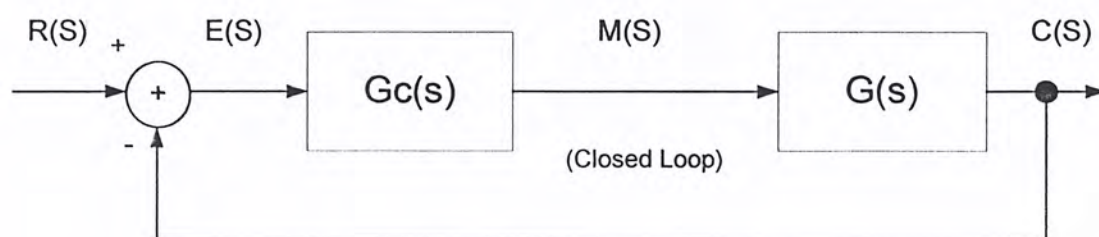
| Controller Type                  |     | Proportional Gain<br>Kc                         | Integral Time<br>Ti | Derivative Time<br>Td |
|----------------------------------|-----|---|---------------------|-----------------------|
| Proportional only                | P   | $\frac{1}{K} \left[ \frac{\tau}{t_D} \right]$   | —                   | —                     |
| Proportional-Integral            | PI  | $\frac{0.9}{K} \left[ \frac{\tau}{t_D} \right]$ | 3.33 t <sub>D</sub> | —                     |
| Proportional-Integral-Derivative | PID | $\frac{1.2}{K} \left[ \frac{\tau}{t_D} \right]$ | 2.0 t <sub>D</sub>  | 0.5 t <sub>D</sub>    |

ตารางที่ 2.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ตามวิธี Process Reaction Curve

วิธี Process Reaction Curve จะพบเห็นกันบ่อยมากในทางปฏิบัติ ซึ่งผลตอบสนองของกระบวนการที่จะนำมาประมาณค่า นั้นได้มาจากการบันทึกค่าโดยเครื่องบันทึก ดังนั้นจะเห็นว่าจะเกิดค่าผิดพลาดได้ง่าย จากการกำหนดจุดที่มีอัตราการเบี่ยงเบนสูงสุด และการลากเส้นสัมผัส ณ จุดนี้ โดยเฉพาะกับผลตอบสนองที่บันทึกด้วยความเร็วการบันทึกต่ำๆ ซึ่งถ้าการกำหนดจุดและลากเส้นผิดพลาดเพียง 1 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าผิดพลาดถึง 14.4 วินาที

#### 2.2.4.2 การสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ของ Dahlin

การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ โดยการทดสอบดังที่กล่าวมา จะพิจารณาในลักษณะระบบเปิด ซึ่งจะต่างจากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ที่ทำการพิจารณาในลักษณะการควบคุมแบบ ระบบปิด เนื่องจากต้องพิจารณารวมไปถึงตัวควบคุมด้วย ดังนั้นระบบควบคุมแบบระบบปิด เมื่อไม่มีมีการพิจารณาดัรบวงวนจะได้ บล็อกไดอะแกรมเป็น



จาก บล็อกไดอะแกรม จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนเมื่อเป็นระบบปิดแล้ว คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)}{1 + G_c(s)G(s)} \quad (2.12)$$

จัดสมการให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอน ของตัวควบคุม จะได้

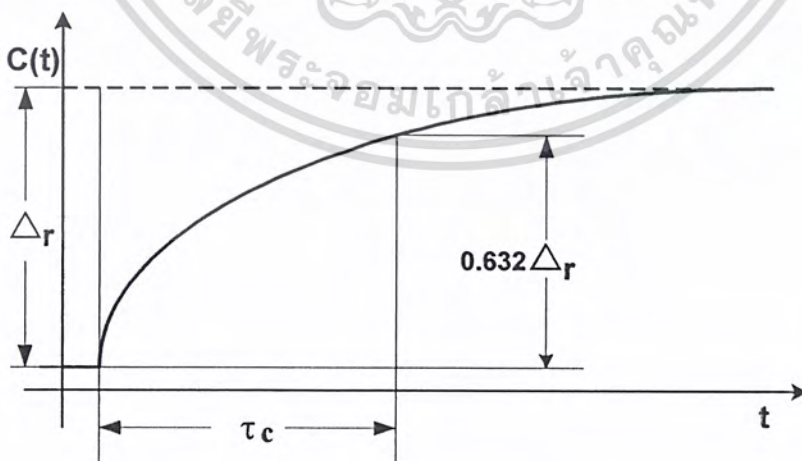
$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \times \frac{C(s)/R(s)}{1 - [C(s)/R(s)]} \quad (2.13)$$

โดยเราจะนำฟังก์ชันถ่ายโอนนี้ไปใช้สำหรับการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมต่อไป

ในการควบคุมกระบวนการหนึ่งๆ ผู้ควบคุมย่อมต้องการให้กระบวนการมีผลตอบสนองแบบ ระบบปิดต่อการควบคุมตามต้องการที่จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากกระบวนการได้ ซึ่งผลตอบสนองปิดของระบบควบคุมที่เข้าใกล้ความต้องการของผู้ควบคุมมากที่สุด ก็คือระบบควบคุมแบบปิดที่ให้ผลตอบสนองเป็นแบบระบบอันดับหนึ่ง โดยมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น

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

โดย  $\tau_c$  เป็นค่าเวลาคงที่ของผลตอบสนองแบบวงปิด



รูปที่ 2-7 แสดงผลตอบสนองของระบบปิดที่ใช้ในการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ พีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่าค่า  $\tau_c$  เป็นพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ ซึ่งถ้าค่า  $\tau_c$  มีค่าน้อย ผลตอบสนองก็จะเข้าสู่ set point ได้เร็วขึ้น และเมื่อแทนค่าในสมการของ  $G_c(s)$  ที่หาไว้จะได้

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

$$G_c(s) = \frac{1}{G(s)} \times \frac{1}{\tau_c s} \quad (2.15)$$

โดยจากสมการจะเห็นได้ว่า มีพจน์อินทิกรัล อยู่ใน ฟังก์ชันถ่ายโอน ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมกระบวนการได้โดยไม่มีออฟเซต

และเนื่องจากในกระบวนการ เราสามารถประมาณได้เป็นกระบวนการได้หลายอย่าง ดังนั้นจึงต้องมีการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับกระบวนการ

1) กระบวนการอันดับหนึ่ง

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2.16)$$

และจากสมการ 2.17 เราจะได้ว่า

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

$$G_c(s) = \frac{\tau}{K \tau_c} \times \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) \quad (2.17)$$

และจากสมการ 2.17 จะเห็นได้ว่า

$$Kc = \frac{\tau}{K \tau_c} \quad \tau_1 = \tau \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าเมื่อกระบวนการเป็นกระบวนการอันดับหนึ่ง เราจะได้ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยมีค่าพารามิเตอร์ตามสมการ 2.18

2) กระบวนการอันดับสอง

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 2)} \quad (2.19)$$

และจากสมการ 2.17 เราจะได้ว่า

$$G_C(s) = \frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{K} \times \frac{1}{\tau_c s} \quad (2.20)$$

$$G_C(s) = [\tau_1 \tau_2 s^2 + (\tau_1 + \tau_2)s + 1] \times \frac{1}{K \tau_c s} \quad (2.21)$$

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

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

จากการสังเคราะห์ และสมการ 2.25 เมื่อเปรียบเทียบกับสมการมาตรฐานของ ตัวควบคุม พีไอดี จะได้ว่า

$$K_C = \frac{\tau_1 + \tau_2}{K \tau_c} \quad T_I = \tau_1 + \tau_2 \quad T_D = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) กระบวนการอันดับหนึ่งมีเดดไทม์ ( FOPDT )

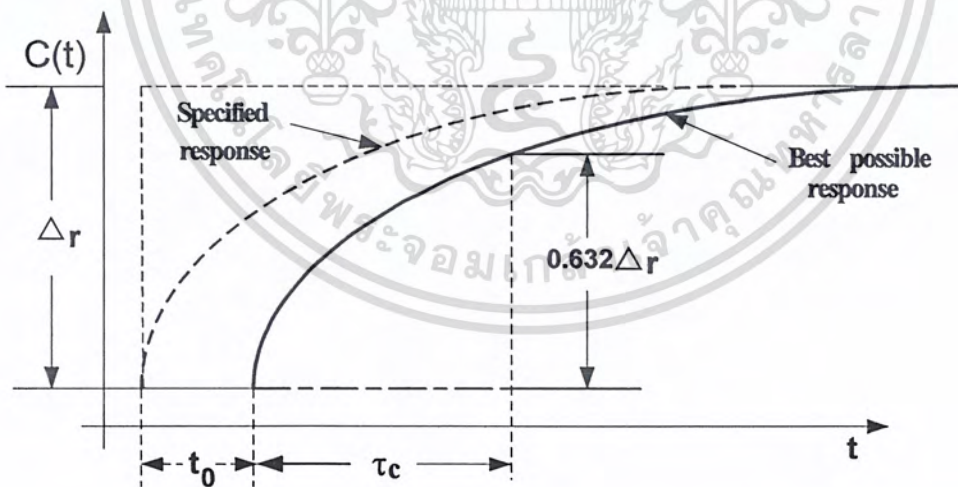
$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (2.25)$$

และจากสมการ 2.17 จะได้ว่า

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K e^{-t_0s}} \times \frac{1}{\tau s} = \frac{\tau}{K\tau c} \left( 1 + \frac{1}{\tau s} \right) e^{t_0s} \quad (2.26)$$

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

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{e^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (2.27)$$



รูปที่ 2-8 แสดงผลตอบสนองของระบบปิดที่มีการหน่วงเวลาเป็นเวลา  $t_0$  ดังนั้นทำให้สรุปได้ว่าค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน ของตัวควบคุม ของกระบวนการแบบ FOPDT

คือ

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K e^{-t_0s}} \times \frac{e^{-t_0s}}{\tau s + 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_c(s) = \frac{\tau s + 1}{K} \times \frac{1}{\tau_c s + 1 - e^{-t_0 s}} \quad (2.28)$$

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

$$e^{-t_0 s} = 1 - t_0 s \quad (2.29)$$

ทำให้สามารถหาค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน ของตัวควบคุมกระบวนการได้เป็น

$$\begin{aligned} G_c(s) &= \frac{\tau s + 1}{K} \times \frac{1}{(\tau_c s + t_0) s} \\ &= \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) \end{aligned} \quad (2.30)$$

จากค่า ฟังก์ชันถ่ายโอน ของ  $G_c(s)$  จะเห็นได้ว่าเป็นตัวควบคุมแบบพีไอ โดยมีค่าพารามิเตอร์คือ

$$K_p = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad T_I = \tau \quad (2.31)$$

แต่จากการสังเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี แบบ ระบบปิด ของ Dahlin ตามกระบวนการ FOPDT สามารถทำเป็นตัวควบคุมแบบ พีไอดี ที่มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$K_p = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \quad T_I = \tau \quad T_d = \frac{t_0}{2} \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบการทดลอง

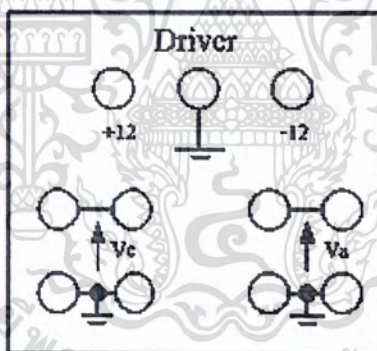
#### 3.1 กล่าวนำ

ในการทดลองนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้งาน บอร์ด คีเอสเค ไปควบคุมกระบวนการ โดยกระบวนการในการทดลองนี้ เป็นการควบคุมความเร็วของ คีซี มอเตอร์ โดยให้มีการควบคุมแบบหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมแบบ พีไอดี โดยอัตโนมัติ

#### 3.2 กระบวนการที่จะทำการควบคุม

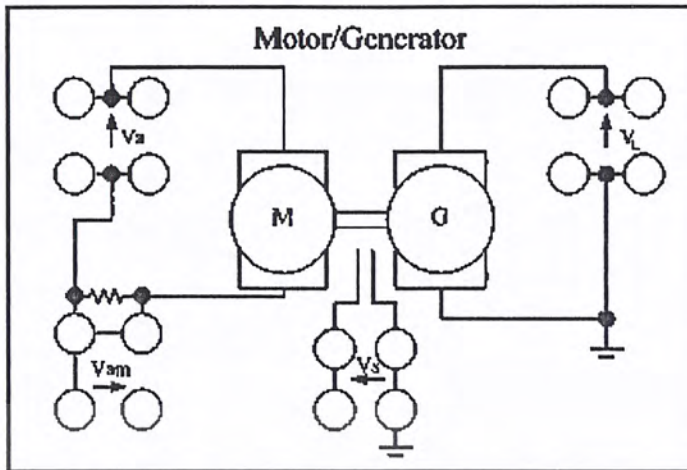
กระบวนการในการทดลองนี้ จะเป็นการควบคุมความเร็วของ คีซี มอเตอร์ โดยมี ส่วนประกอบของกระบวนการดังนี้

3.2.1 ชุดวงจรขับมอเตอร์ เป็นวงจรที่ใช้ไฟเลี้ยง +12 กับ -12 โวลต์ และใช้  $V_c$  เป็นส่วนที่รับคำสั่งจาก เอาท์พุทของวงจรมหาสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุม



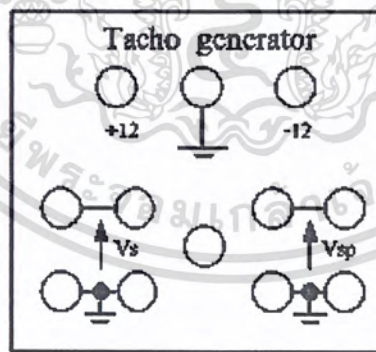
รูปที่ 3-1 ชุดวงจรขับมอเตอร์

3.2.2 ชุดมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ ประกอบด้วยมอเตอร์มีโพลเป็นเจนเนอเรเตอร์ โดยเมื่อมอเตอร์หมุนก็จะทำให้เกิดการสร้างแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น และนำแรงดันไฟฟ้านี้ไปต่อกับชุดของโพล สำหรับผลการตอบสนอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่โพล



รูปที่ 3-2 ชุดมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์

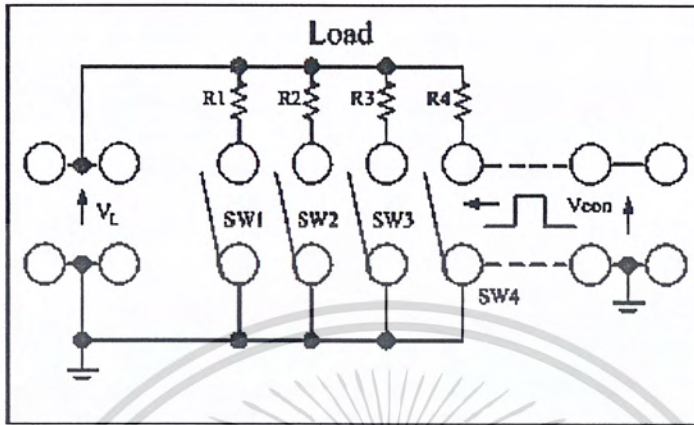
**3.2.3 ชุดแทคโคเจนเนอเรเตอร์** ชุดแทคโคเจนเนอเรเตอร์นี้จะมี สัญญาณอินพุตเป็น สัญญาณ  $V_s$  ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์ (sine) ที่ถูกสร้างออกมาจากเจนเนอเรเตอร์ที่ต่ออยู่กับมอเตอร์ โดยสัญญาณไซน์นี้จะแปรผัน โดยตรงกับความเร็วมอเตอร์ที่หมุน และชุดแทคโคเจนเนอเรเตอร์นี้จะมีสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณคี่ซึ่ โดยสัญญาณคี่ซึ่จะแปรผัน โดยตรงกับความถี่ของสัญญาณไซน์อินพุตที่เข้ามา กล่าวคือถ้าสัญญาณ  $V_s$  มีความถี่สูง ค่า  $V_{sp}$  ก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย และเราจะนำสัญญาณ  $V_s$  นี้เป็นสัญญาณที่ใช้ในการป้อนกลับ



รูปที่ 3-3 ชุดแทคโคเจนเนอเรเตอร์

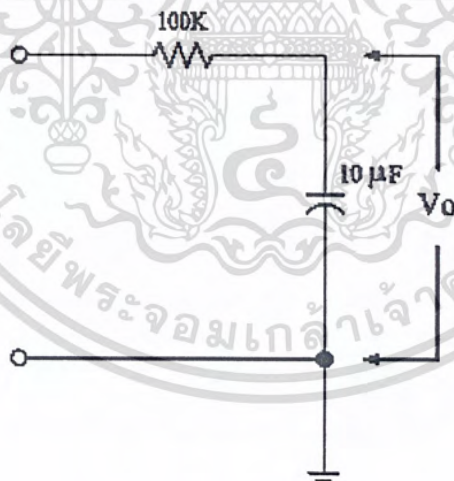
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ชุดโหลด ประกอบด้วยชุดตัวต้านทานซึ่งเมื่อผลักสวิตช์จะทำให้ค่าระดับโวลต์ของ  $V_L$  ลดลงทำให้ออเตอร์หมุนช้าลงด้วย



รูปที่ 3-4 ชุดโหลด

3.2.5 ชุดวงจรรอร์ซี ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ใช้เป็นตัวที่เราจะควบคุมแทนมอเตอร์ โดยที่เราจะควบคุม แรงดันที่เอาท์พุท

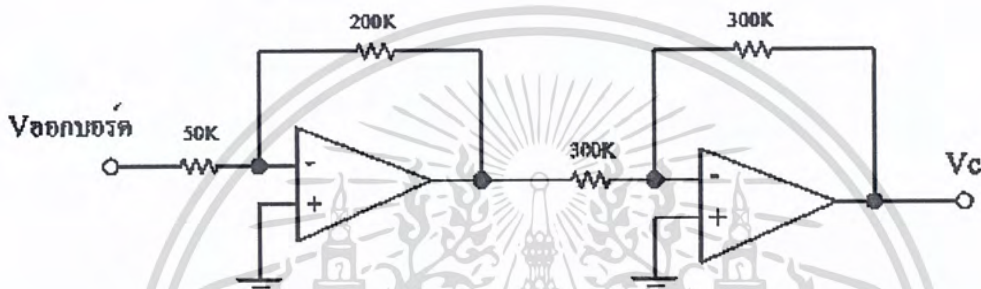


รูปที่ 3-5 ชุดวงจรรอร์ซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

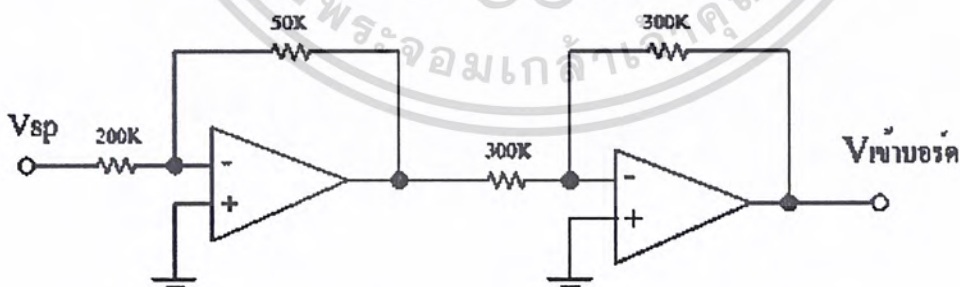
### 3.3 วงจรที่ใช้ในการทดลอง

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 3-6 วงจรขยายสัญญาณควบคุม

และหลังจากสัญญาณนี้ผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ชุดมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ ชุดแทคโคเจนเนอเรเตอร์ ก็ต้องมีการลดช่วงสัญญาณกลับมาอีก โดยใช้วงจรที่มีอัตราขยาย  $1/4$  เพื่อให้สัญญาณกลับไปอยู่ในช่วงการใช้งานเดิม



รูปที่ 3-7 วงจรลดขนาดสัญญาณ

ในวงจรขยายสัญญาณควบคุมและลดขนาดสัญญาณนี้ ได้ใช้ ออปแอมป์เบอร์ 741 ขนาด 8 ขา เนื่องจากเป็นเบอร์ที่มีการใช้งานทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การประยุกต์ใช้บอร์ด ดิเอสเค ตามหลักการและทฤษฎี

ในการทดลองนี้จะนำบอร์ด DSK ไปเป็นตัวควบคุมกระบวนการ โดยให้มีการควบคุม PID แบบสามารถหาค่าพารามิเตอร์โดยอัตโนมัติ ตามหลักการและทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 โดยจะแบ่งเป็น 2 วิธีคือ

1) การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แบบอัตโนมัติโดยวิธีของ Dahlin ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1.1 สร้างสัญญาณเสถียรโดยป้อนเข้าไปในระบบที่เราต้องการจะควบคุม และรอให้ถึงสถานะคงที่ เพื่อ จะหา ค่า อัตราขยายของระบบ โดยสามารถหาได้จากนำค่าสัญญาณเสถียรที่ป้อนเข้าไปเป็นอินพุตหารด้วยค่า ณ สถานะคงที่

1.2 ลดสัญญาณเสถียรลงแล้วตรวจสอบเวลาเมื่อสัญญาณของเอาต์พุตเป็น

$0.632 \Delta C_s$  และ  $0.283 \Delta C_s$  โดยกำหนดให้เป็นค่า  $t_1$  และ  $t_2$

$$\text{เมื่อ } t_2 = t_0 + \tau/3$$

$$t_1 = t_0 + \tau$$

1.3 นำค่าพารามิเตอร์  $t_1$  และ  $t_2$  ไปคำนวณหาค่า  $\tau$  และ  $t_0$  และนำค่า  $\tau$  และ  $t_0$  ที่ได้ไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมโดยวิธีของ Dahlin

1.4 นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปเขียนโปรแกรมควบคุมกระบวนการ

2) การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID อัตโนมัติโดยวิธีของ Ziegler-Nichols ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

2.1 สร้างสัญญาณ เสถียรโดยป้อนเข้าไปในระบบที่เราต้องการจะควบคุม และรอให้ถึงสถานะคงที่ เพื่อจะหาค่า อัตราขยายของระบบ โดยสามารถหาได้จากนำค่าสัญญาณเสถียรที่ป้อนเข้าไปเป็นอินพุต หารด้วยค่า ณ สถานะคงที่

2.2 ลดสัญญาณเสถียรลงแล้วเขียนเส้น Tangent line จะ ได้ค่าพารามิเตอร์ของระบบคือค่า  $\tau$  และค่า  $t_0$

2.3 นำค่าพารามิเตอร์  $\tau$  และ  $t_0$  ที่ได้ไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยใช้ตารางของ Ziegler-Nichols วิธี Process Reaction Curve

2.4 นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปเขียนโปรแกรมควบคุมกระบวนการ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

**4.1 การทดลองที่ 1** การป้อนสัญญาณทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการจากผลตอบสนองทางเวลา

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองป้อนสัญญาณทดสอบจากบอร์คเคิสเคเข้าไปในระบบ 2 ระบบ คือ มอเตอร์ และ วงจร R-C เพื่อนำผลตอบสนองทางเวลา มาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบทั้ง 2 คือ อัตราการขยาย (K), ค่าหน่วงเวลา ( $t_0$ ) และค่าเวลาคงที่ (T)

สัญญาณทดสอบและผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อเป็นมอเตอร์ แสดงดังรูป 4-1

สัญญาณทดสอบและผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อเป็นวงจร R-C แสดงดังรูป 4-2

**4.2 การทดลองที่ 2** การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Dahlin

ในการทดลองนี้เป็นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เพื่อดู ความเร็วสูงสุดและต่ำสุดของมอเตอร์ที่สามารถควบคุมได้ และเมื่อมีการเพิ่ม โหลดแล้วความเร็วจะตกลงมาเท่าไร

การทดลองนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานบอร์คเคิสเคไปเป็นตัวควบคุมความเร็วของ มอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Dahlin และประมาณกระบวนการมอเตอร์เป็นระบบอันดับหนึ่งแบบมีเคาท์ไทม์ โดยเมื่อมีการประมาณในลักษณะนี้จะสามารถสังเคราะห์ตัวควบคุม พีไอดี โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$K_c = 1.69$$

$$T_i = 0.2$$

$$T_d = 0.02$$

จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้สามารถควบคุมให้ความเร็วของมอเตอร์เข้าสู่ค่าอินพุตที่ตั้งไว้ได้ดังนี้

ความเร็วสูงสุดที่สามารถควบคุมได้อยู่ที่ 2240 รอบ/นาที แสดงดังรูป 4-5

ความเร็วต่ำสุดที่สามารถควบคุมได้อยู่ที่ 250 รอบ/นาที แสดงดังรูป 4-6

#### 4.3 การทดลองที่ 3 การควบคุมระบบที่มีผลตอบสนองช้ากว่ามอเตอร์ โดยอาศัยวงจร R-C ด้วยวิธีของ Dahlin

ในการทดลองนี้ ใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุและเราต้องการควบคุมแรงดัน  $V_o$  ของตัวเก็บประจุให้มีค่าคงที่ ที่ค่าหนึ่ง แล้วจะดูว่าเมื่อมีการต่อ โหลดคร่อมตัวเก็บประจุ แล้วจะสามารถควบคุมได้หรือไม่

การทดลองนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานบอร์ดคิเอสเคไปเป็นตัวควบคุมแรงดันเอาต์พุต ที่คร่อมตัวเก็บประจุโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีที่สังเคราะห์โดยวิธีของ Dahlin

จากการทดลองจะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมดังนี้

$$K_c = 1.35$$

$$T_i = 0.1$$

$$T_d = 0.015$$

จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้สามารถควบคุมแรงดันที่ตัวเก็บประจุให้เข้าสู่ค่าอินพุตที่ตั้งไว้ได้ และเมื่อมีการต่อ โหลดคร่อมตัวเก็บประจุพบว่า แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุลดลงมาก่อนที่ตัวควบคุมจะปรับให้เข้าสู่สถานะเดิมอีกครั้ง

การควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่ระดับ 1 โวลต์

แสดงดังรูป 4-13

การควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่ระดับ 2 โวลต์

แสดงดังรูป 4-14

การควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่ระดับ 3 โวลต์

แสดงดังรูป 4-15

#### 4.4 การทดลองที่ 4 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ โดยวิธีของ Ziegler – Nichols

ในการทดลองนี้เป็นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เพื่อดู ความเร็วสูงสุดและต่ำสุดของมอเตอร์ที่สามารถควบคุมได้ และเมื่อมีการเพิ่ม โหลดแล้วความเร็วจะตกลงมาเท่าไร

การทดลองนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานบอร์ดคิเอสเคไปเป็นตัวควบคุมความเร็วของ มอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Ziegler - Nichols และประมาณ กระบวนการมอเตอร์เป็นระบบอันดับหนึ่งแบบมีเดคไทม์ โดยสามารถสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี ได้ดังนี้

$$K_c = 7.23$$

$$T_i = 0.7$$

$$T_d = 0.2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้สามารถควบคุมให้ความเร็วของมอเตอร์เข้าสู่ค่าอินพุตที่ตั้งไว้ได้ดังนี้

ความเร็วสูงสุดที่สามารถควบคุมได้อยู่ที่ 1908 รอบ/นาที      แสดงผังรูป 4-17

ความเร็วต่ำสุดที่สามารถควบคุมได้อยู่ที่ 178 รอบ/นาที      แสดงผังรูป 4-18

4.5 การทดลองที่ 5 การควบคุมระบบที่มีผลตอบสนองช้ากว่ามอเตอร์โดยอาศัยวงจร R-C ด้วยวิธีของ Ziegler – Nichols

ในการทดลองนี้ ใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุและเราต้องการควบคุมแรงดัน  $V_o$  ของตัวเก็บประจุให้มีค่าคงที่ ที่ค่าหนึ่ง แล้วจะดูว่าเมื่อมีการต่อโหลดคร่อมตัวเก็บประจุ แล้วจะสามารถควบคุมได้หรือไม่

การทดลองเป็นการประยุกต์ใช้งานบอร์ดคิเอสเคไปเป็นตัวควบคุมแรงดันเอาต์พุต ที่คร่อมตัวเก็บประจุโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีที่สังเคราะห์โดยวิธีของ Ziegler – Nichols จากการทดลองจะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมดังนี้

$$K_c = 2.85$$

$$T_i = 0.4$$

$$T_d = 0.1$$

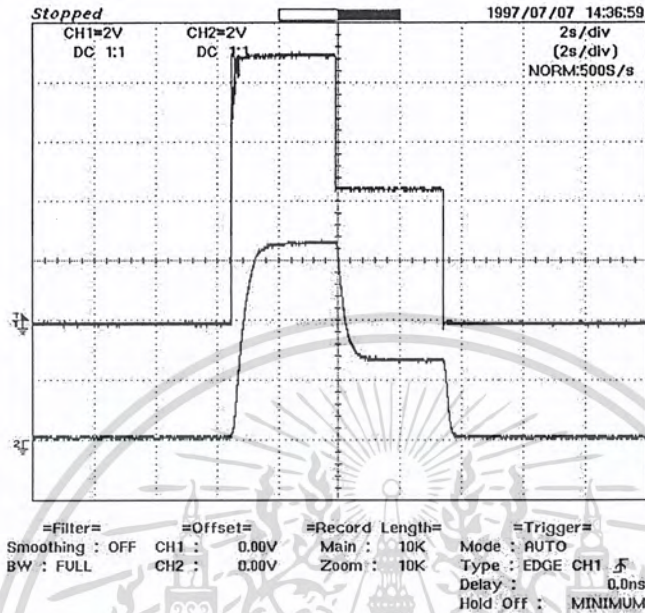
จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้สามารถควบคุมแรงดันที่ตัวเก็บประจุให้เข้าสู่ค่าอินพุตที่ตั้งไว้ได้ และเมื่อมีการต่อโหลดคร่อมตัวเก็บประจุพบว่า แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุลดลงมาก่อนที่ตัวควบคุมจะปรับให้เข้าสู่สภาวะเดิมอีกครั้ง

การควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่ระดับ 1 โวลต์      แสดงผังรูป 4-25

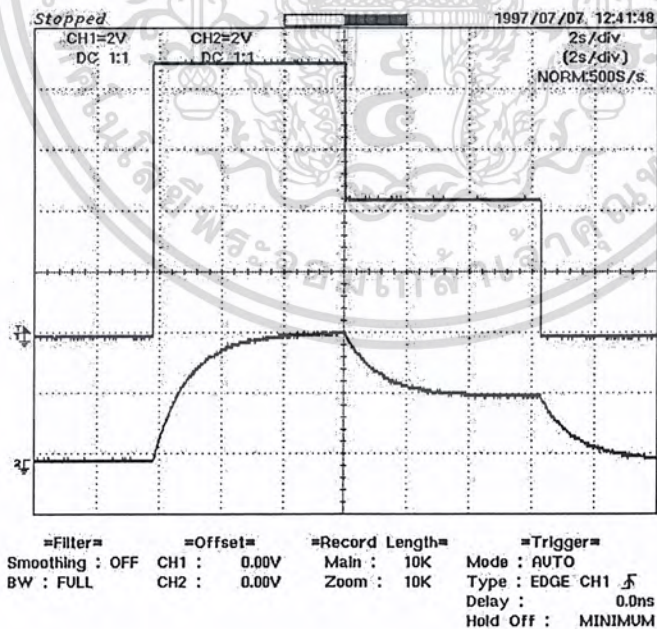
การควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่ระดับ 2 โวลต์      แสดงผังรูป 4-26

การควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรที่ระดับ 3 โวลต์      แสดงผังรูป 4-27

การทดลองที่ 1 การป้อนสัญญาณทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการจากผลตอบสนองทางเวลา

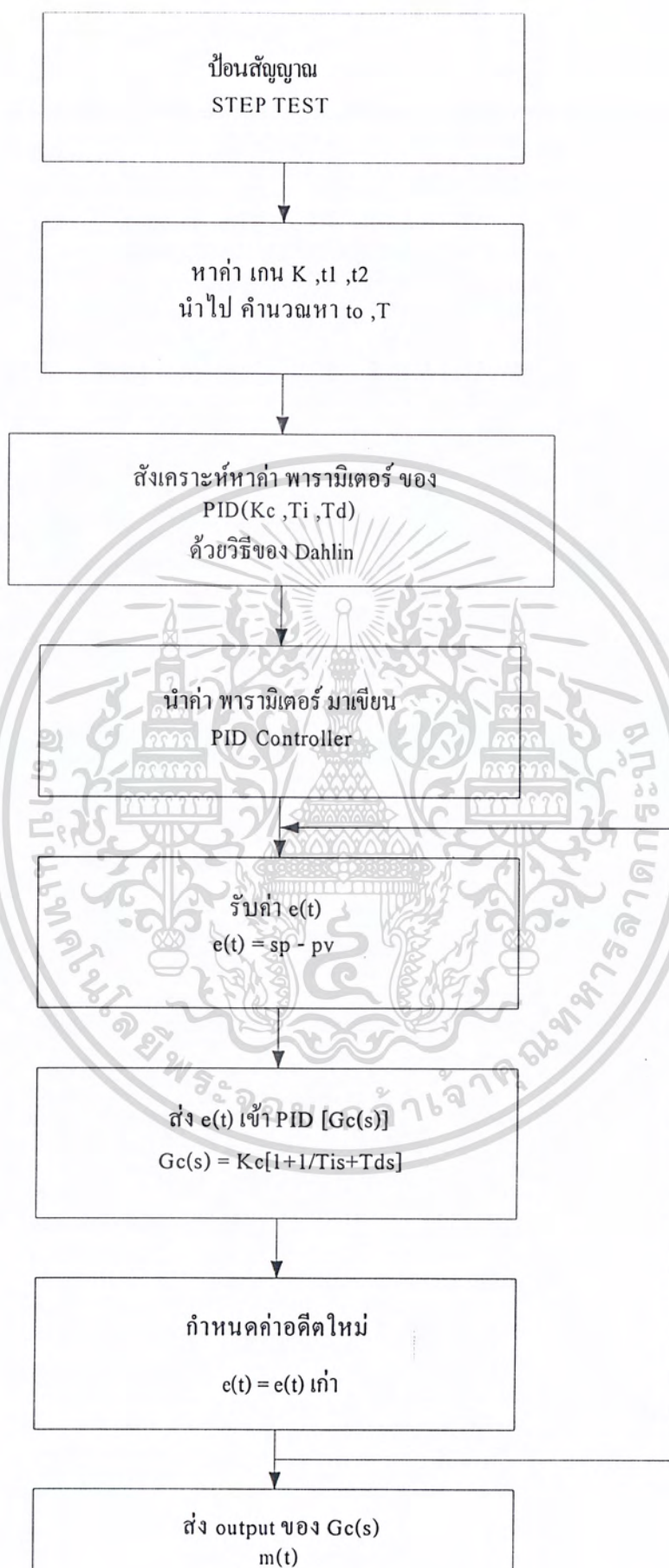


รูปที่ 4-1 แสดงสัญญาณทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเมื่อเป็น มอเตอร์

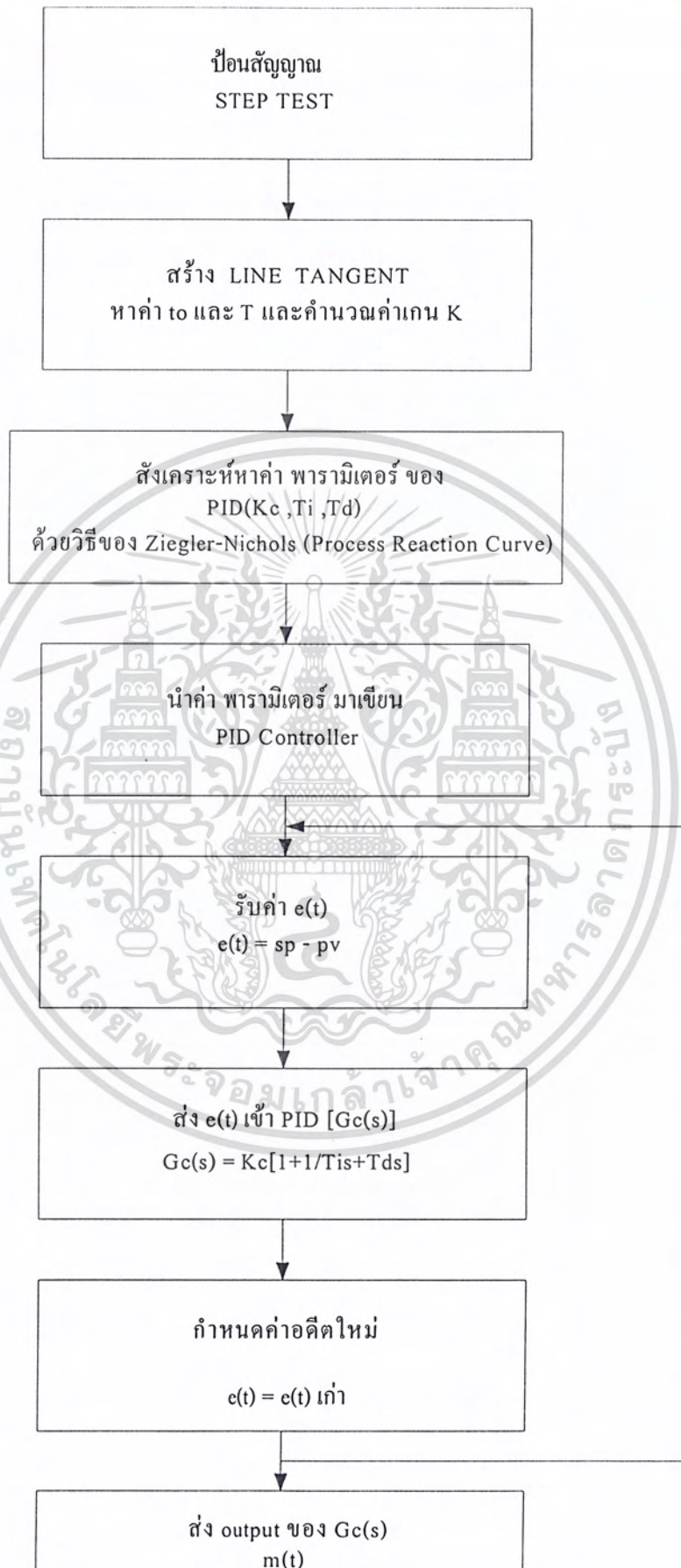


รูปที่ 4-2 แสดงสัญญาณทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเมื่อเป็นวงจร อาร์ซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ 4-3 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Dahlin

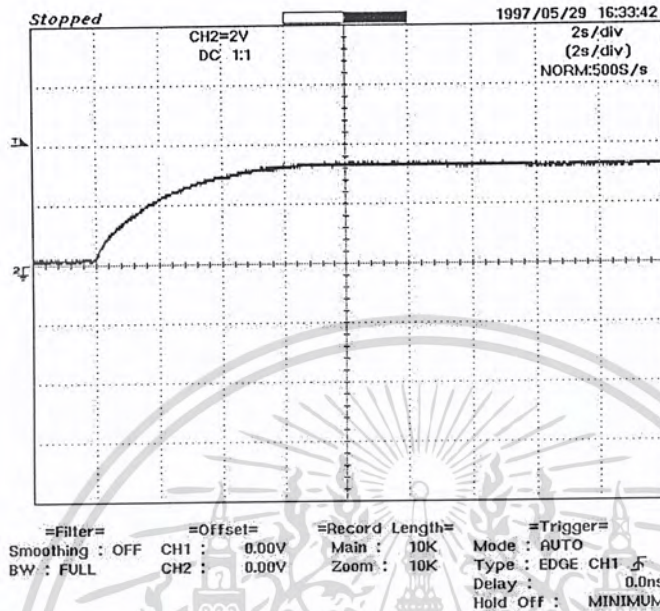


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-4 แสดงขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมการหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ

โดยวิธีของ Ziegler-Nichols

การทดลองที่ 2 การหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Dahlin เมื่อสิ่งที่เราจะควบคุมคือ ความเร็วของ ดีซี มอเตอร์

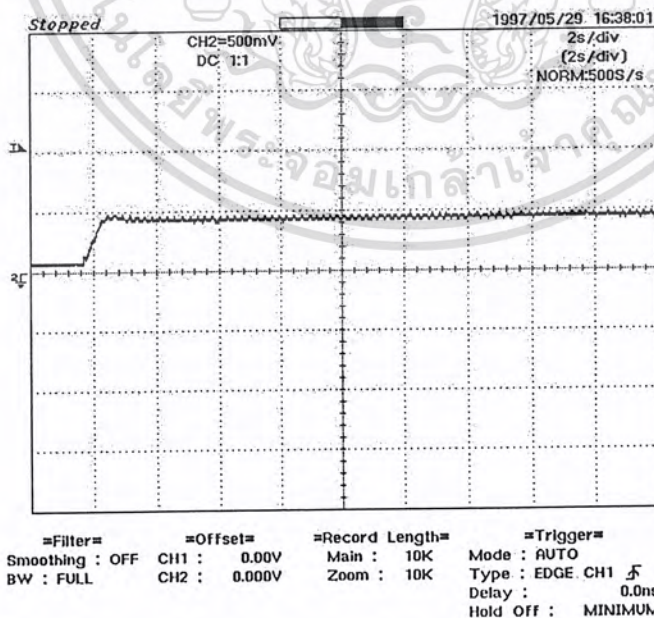


รูปที่ 4-5 แสดงความเร็วของมอเตอร์สูงสุดที่สามารถควบคุมได้ที่ 2240 รอบ/นาที

$K_c=1.69$

$T_i=0.2$

$T_d=0.02$



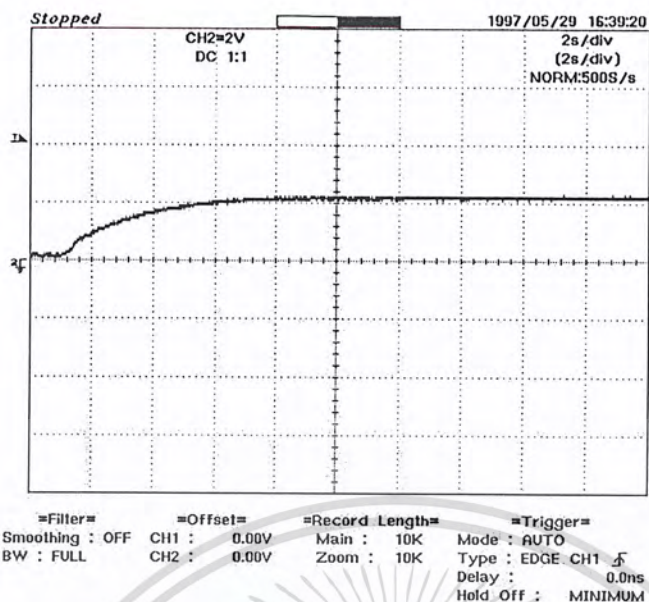
รูปที่ 4-6 แสดงความเร็วของมอเตอร์ต่ำสุดที่สามารถควบคุมได้ที่ 250 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

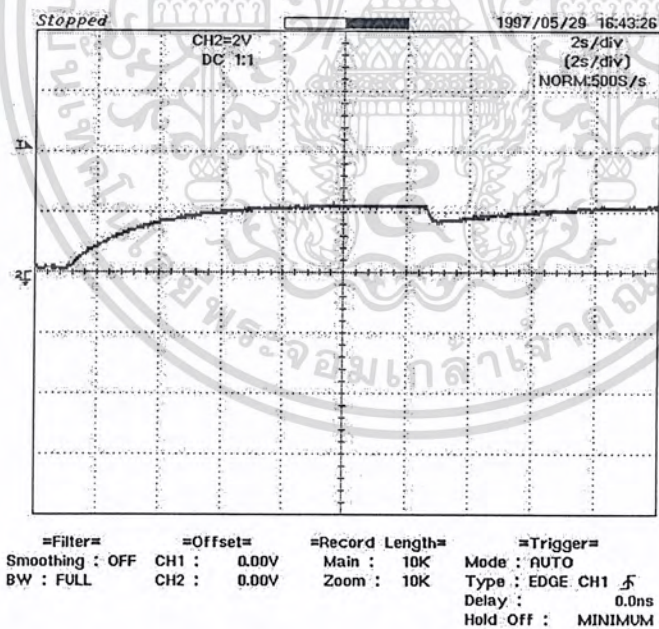
$K_c=1.69$

$T_i=0.2$

$T_d=0.02$



รูปที่ 4-7 แสดงความเร็วของมอเตอร์ที่ความเร็ว 1495 รอบ/นาที  
 $K_c=1.69$   $T_i=0.2$   $T_d=0.02$



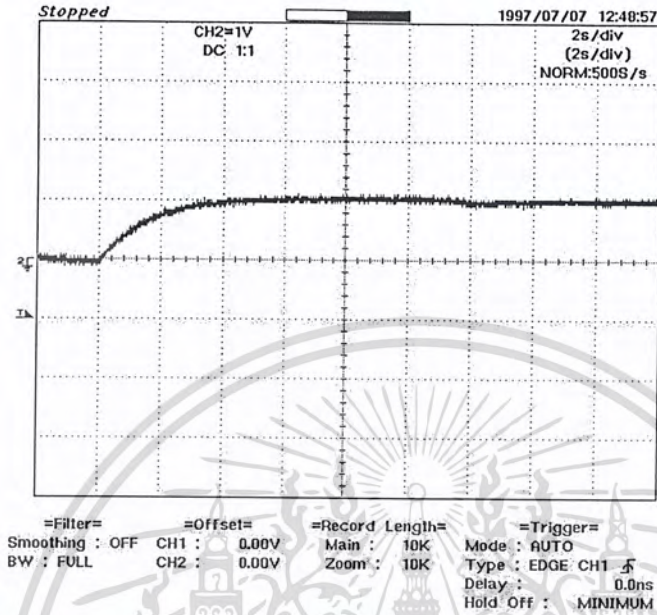
รูปที่ 4-8 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด 1  
 ความเร็วของมอเตอร์ตกลงมาที่ความเร็ว 1195 รอบ/นาที  
 ก่อนที่ตัวควบคุมจะปรับความเร็วมาที่ 1495 รอบ/นาที เหมือนเดิม  
 $K_c=1.69$   $T_i=0.2$   $T_d=0.02$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

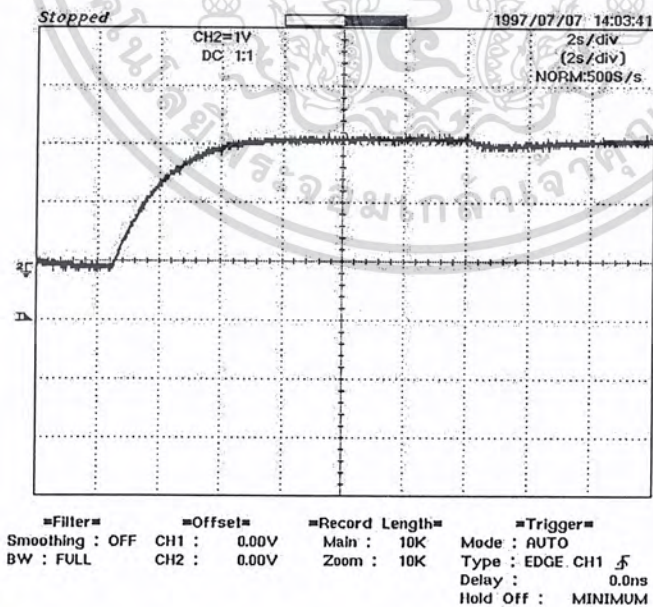




การทดลองที่ 3 การควบคุมระบบที่มีผลตอบสนองช้ากว่ามอเตอร์โดยอาศัยวงจร R-C ด้วยวิธีของ Dahlin

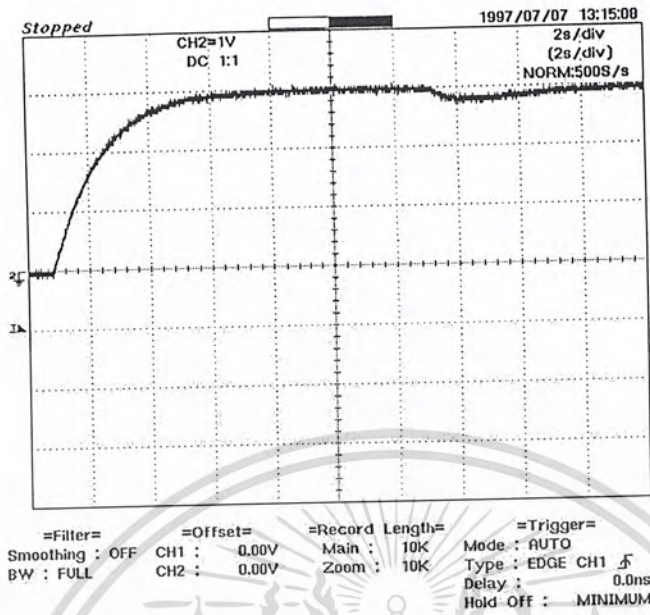


รูปที่ 4-13 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 1 โวลต์และการใส่โหลดที่ค่า 1 Kohms  
 $K_c=1.35$        $T_i=0.1$        $T_d=0.015$



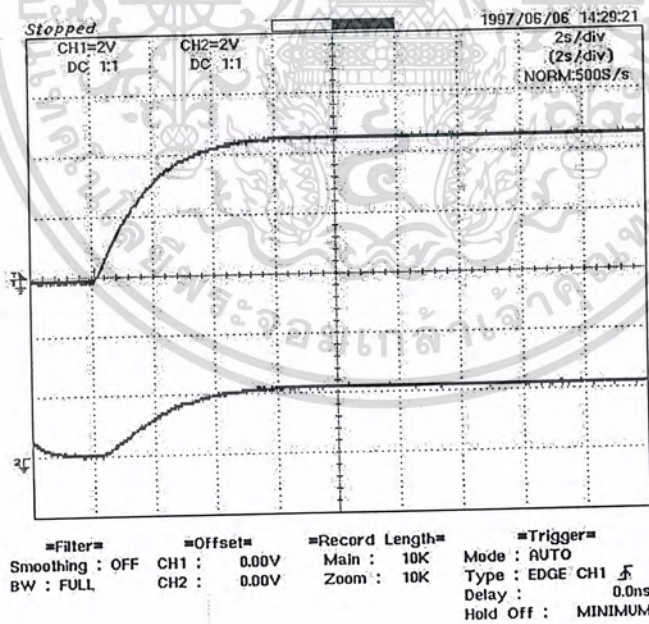
รูปที่ 4-14 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 2 โวลต์และการใส่โหลดที่ค่า 1 Kohms

$K_c=1.35$        $T_i=0.1$        $T_d=0.015$   
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-15 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 3 โวลต์และการใส่โหลดที่ค่า 1 Kohms

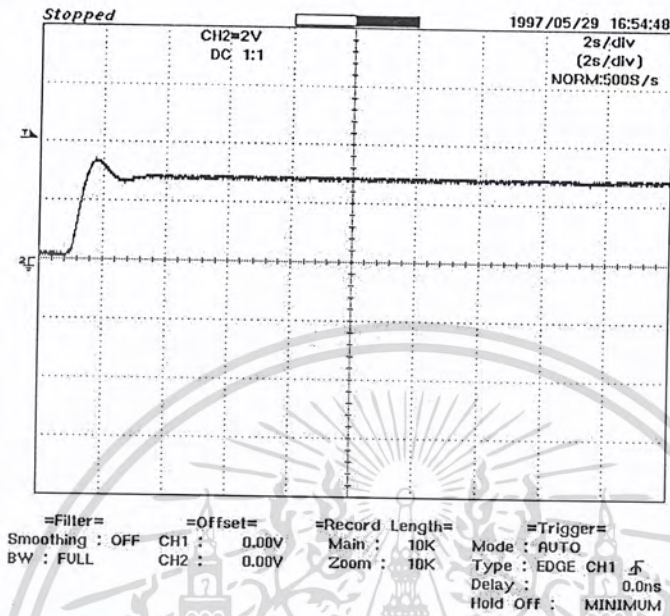
$K_c=1.35$   $T_i=0.1$   $T_d=0.015$



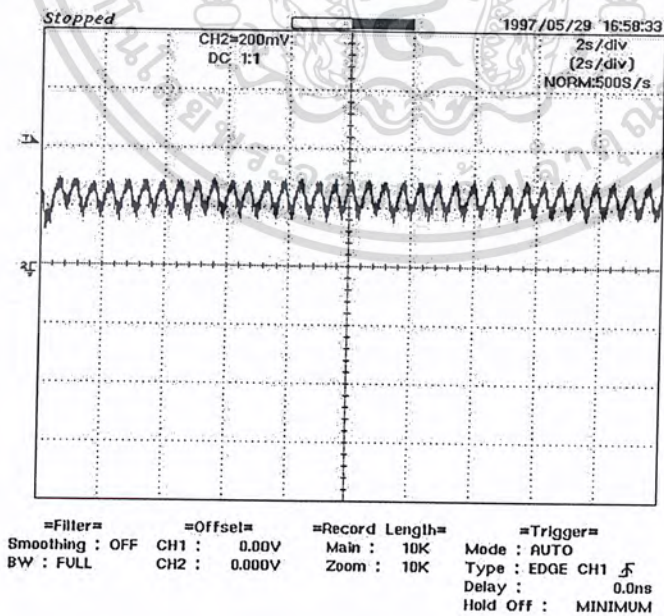
รูปที่ 4-16 แสดงสัญญาณควบคุมและผลตอบสนองทางเวลาของวิธี Dahlin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 การหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Ziegler-Nichols เมื่อสิ่งที่เราจะควบคุมคือความเร็วของ คีชี มอเตอร์

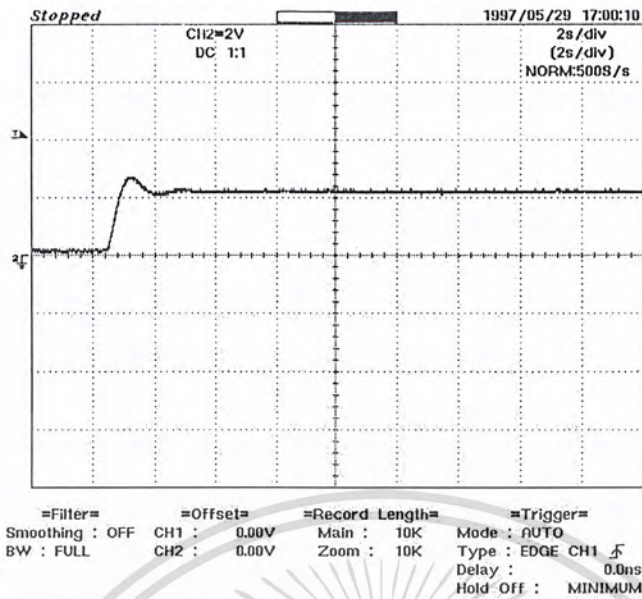


รูปที่ 4-17 แสดงความเร็วของมอเตอร์สูงสุดที่สามารถควบคุมได้ที่ 1908 รอบ/นาที  
 $K_c=7.23$   $T_i=0.7$   $T_d=0.2$

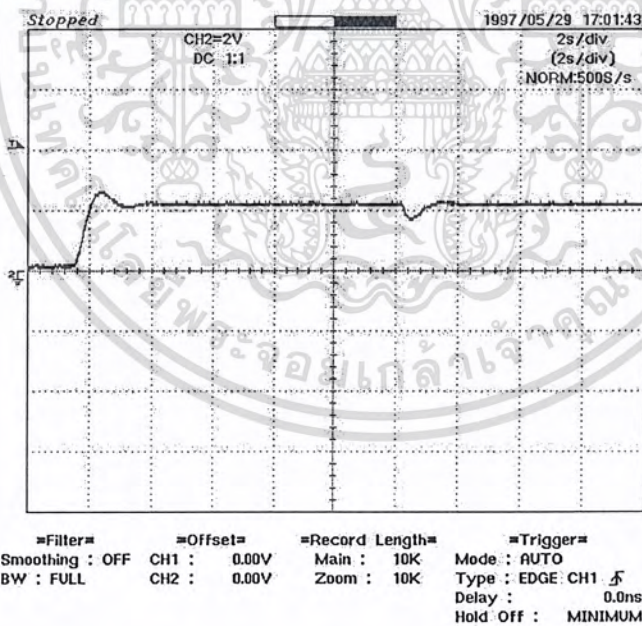


รูปที่ 4-18 แสดงความเร็วของมอเตอร์ต่ำสุดที่สามารถควบคุมได้ที่ 178 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้ Ti=0.7 การศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

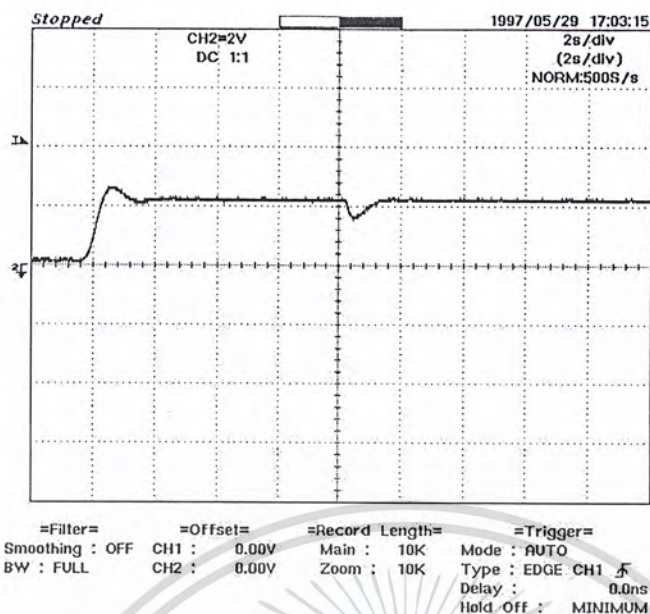


รูปที่ 4-19 แสดงความเร็วของมอเตอร์ที่ความเร็ว 1495 รอบ/นาที  
 $K_c=7.23$   $T_i=0.7$   $T_d=0.2$

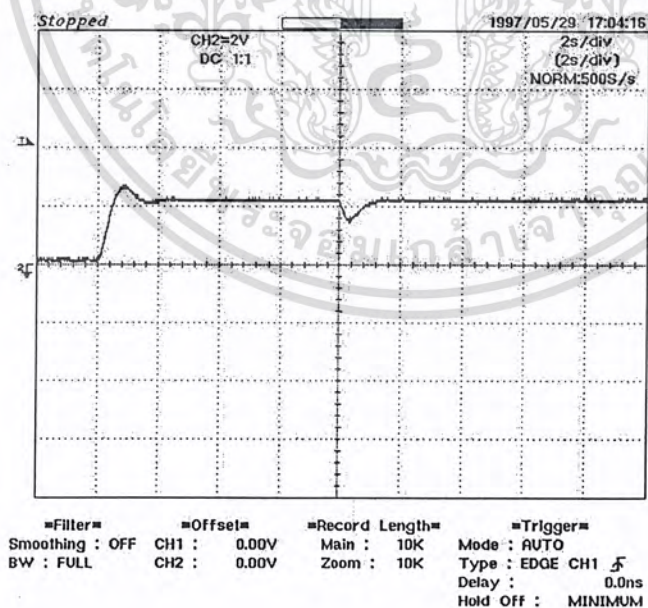


รูปที่ 4-20 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด 1  
 ความเร็วของมอเตอร์ตกลงมาที่ความเร็ว 1270 รอบ/นาที  
 ก่อนที่ตัวควบคุมจะปรับความเร็วมาที่ 1495 รอบ/นาที เหมือนเดิม  
 $K_c=7.23$   $T_i=0.7$   $T_d=0.2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

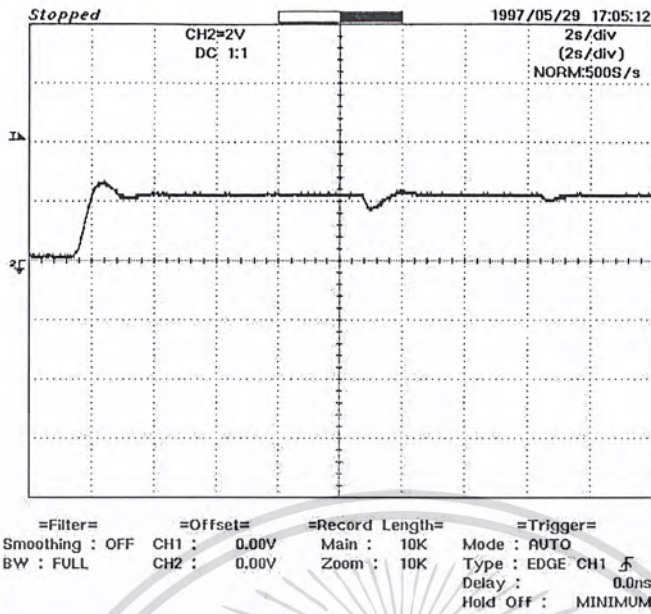


รูปที่ 4-21 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1และโหลด2พร้อมกัน  
ความเร็วของมอเตอร์ตกลงมาที่ความเร็ว 1195 รอบ/นาที  
ก่อนที่ตัวควบคุมจะปรับความเร็วมาที่ 1495 รอบ/นาที เหมือนเดิม  
 $K_c=7.23$        $T_i=0.7$        $T_d=0.2$

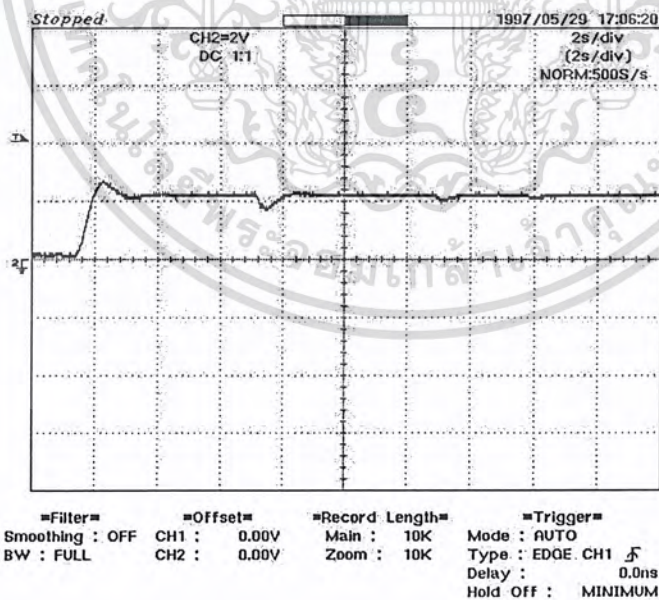


รูปที่ 4-22 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1, โหลด2และโหลด3พร้อมกัน  
ความเร็วของมอเตอร์ตกลงมาที่ความเร็ว 1120 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารก่อนที่ตัวควบคุมจะปรับความเร็วมาที่ 1495 รอบ/นาที เหมือนเดิม ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้ง  $K_c=7.23$  ห้ามมิให้ดัดแปลง  $T_i=0.7$  และต้องอ้างอิงถึง  $T_d=0.2$  สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-23 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1ค้างไว้แล้วจึงเปิดสวิตช์โหลด2  
ความเร็วของมอเตอร์ตกลงมาที่ความเร็ว 1270 รอบ/นาทีที่โหลด1  
ความเร็วของมอเตอร์ตกลงมาที่ความเร็ว 1375 รอบ/นาทีที่โหลด2  
ก่อนที่ตัวควบคุมจะปรับความเร็วมาที่ 1495 รอบ/นาทีเหมือนเดิม  
 $K_c=7.23$        $T_i=0.7$        $T_d=0.2$



รูปที่ 4-24 แสดงการเปิดสวิตช์โหลด1และโหลด2ค้างไว้แล้วจึงเปิดสวิตช์โหลด3

ความเร็วของมอเตอร์ตกลงมาที่ความเร็ว 1270 รอบ/นาทีที่โหลด1

ความเร็วของมอเตอร์ตกลงมาที่ความเร็ว 1375 รอบ/นาทีที่โหลด2

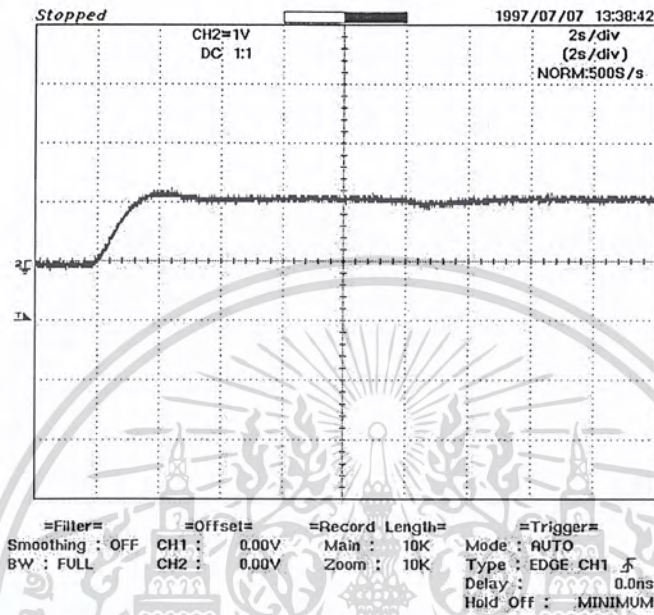
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ความเร็วของมอเตอร์ตกลงมาที่ความเร็ว 1410 รอบ/นาทีที่โหลด3  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ก่อนที่ตัวควบคุมจะปรับความเร็วมาที่ 1495 รอบ/นาทีเหมือนเดิม

$K_c=7.23$

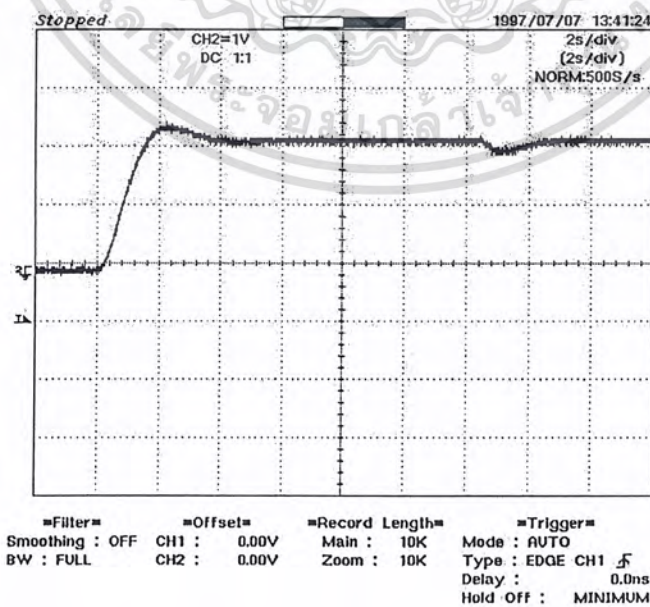
$T_i=0.7$

$T_d=0.2$

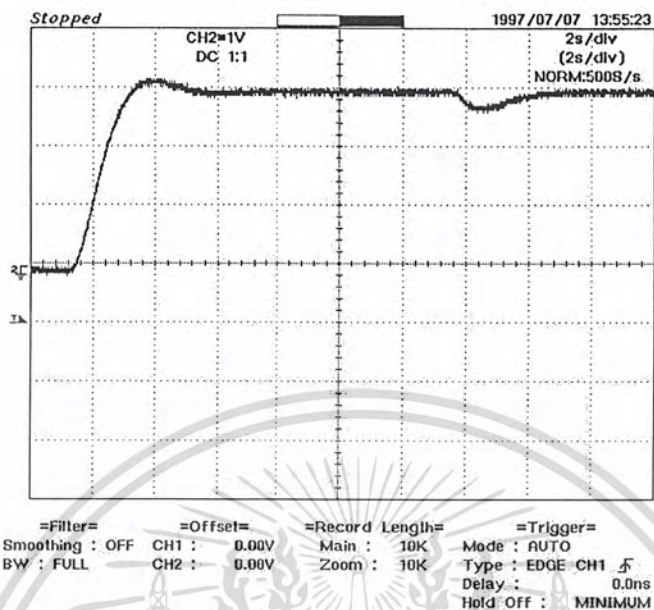
การทดลองที่ 5 การควบคุมระบบที่มีผลตอบสนองช้ากว่ามอเตอร์โดยอาศัยวงจร R-C ด้วยวิธีของ Ziegler – Nichols



รูปที่ 4-25 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 1 โวลต์และการใส่โหลดที่ค่า 1 kohms  
 $K_c=2.85$                        $T_i=0.4$                        $T_d=0.1$



เอกสารรูปที่ 4-26 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 2 โวลต์และการใส่โหลดที่ค่า 2 kohms ด้านการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น  $K_c=2.85$  มิให้ตัดแปลงเนื้อ  $T_i=0.4$  ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  $T_d=0.1$

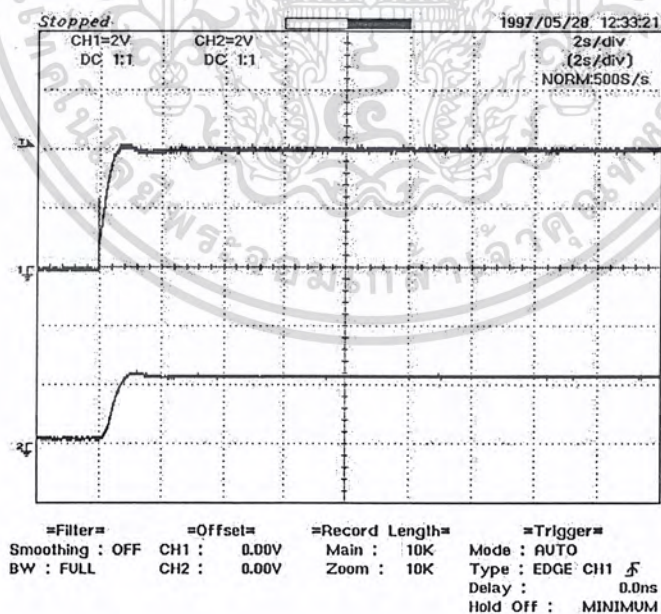


รูปที่ 4-27 แสดงการควบคุมแรงดันเอาต์พุตที่ระดับ 3 โวลต์และการใส่โหลดที่ค่า 1 kohms

$K_c=2.85$

$T_i=0.4$

$T_d=0.1$



รูปที่ 4-28 แสดงสัญญาณควบคุมและผลตอบสนองของทางเวลาของวิธี Ziegler-Nichols

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์

| Process                     |    | Method | Ziegler - Nichols | Dahlin |
|-----------------------------|----|--------|-------------------|--------|
| Motor<br>Set point 1495 rpm | Kc |        | 7.23              | 1.69   |
|                             | Ti |        | 0.7               | 0.2    |
|                             | Td |        | 0.2               | 0.02   |
| R-C                         | Kc |        | 2.85              | 1.35   |
|                             | Ti |        | 0.4               | 0.1    |
|                             | Td |        | 0.1               | 0.015  |

ตารางที่ 2-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่สังเคราะห์ได้จาก  
วิธี Ziegler – Nichols และจากวิธี Dahlin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและวิจารณ์

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุม พีไอดี เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีที่สุด ซึ่งจะทำให้เราได้ระบบที่มีสมรรถนะหรือข้อกำหนดตามที่ต้องการ ข้อกำหนด (Specification) ต่างๆ เช่น ความเที่ยงตรง, ความเร็วของผลตอบสนอง, เสถียรภาพสัมพัทธ์

จากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดีทั้ง 2 วิธี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ได้แตกต่างกันทำให้พฤติกรรมของระบบแตกต่างกันถ้าจะมองว่าระบบใดเป็นระบบที่ดีกว่า ก็ต้องพิจารณาว่าระบบที่ต้องการนั้นมีข้อกำหนดใดบ้าง และระบบใดที่สอดคล้องกับข้อกำหนดนั้นมากกว่ากัน โดยในการทดลองจะพบว่า ทั้งสองระบบต่างก็มีข้อดีข้อด้อยต่างกันไป ขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการเลือกใช้ระบบที่มีสมรรถนะในด้านใด

#### 1. การทดลองที่ 1 การป้อนสัญญาณทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการจากผลตอบสนองทางเวลา

จากรูปที่ 4-3 และ 4-4 จะเห็นว่าขั้นตอนในกระบวนการควบคุมแตกต่างกันที่ การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการทั้ง 3 ค่า และวิธีการสังเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของ ตัวควบคุมพีไอดี เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่ได้แตกต่างกันทำให้พฤติกรรมของระบบแตกต่างกันดังจะสรุปในการทดลองที่ 2 ถึงการทดลองที่ 5 ต่อไป

#### 2. การทดลองที่ 2 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Dahlin

$K_c$  และ  $T_d$  ในการทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลองที่ 4 ส่งผลให้การเข้าสู่สภาวะคงที่ของระบบจากการทดลองที่ 2 นั้นใช้เวลามากกว่าการเข้าสู่สภาวะคงที่ ของการทดลองที่ 4 แต่ช่วงผลตอบสนองชั่วคราวของการทดลองที่ 2 จะไม่เกิดโอเวอร์ชูต สาเหตุเป็นเพราะว่า ค่า  $T_d$  ไม่มากเกินไป ส่วนค่า  $T_i$  ที่ได้ ถือว่าเหมาะสมเพราะ เมื่อทำการเปิดสวิตช์โหลดแล้วความเร็วรอบตกเกิดค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ ระบบสามารถปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนนั้นได้ แต่เมื่อเทียบกับการปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ ในการทดลองที่ 4 แล้ว การทดลองที่ 4 สามารถปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ได้ดีกว่า ส่วนค่าออฟเซตนั้นเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในทุกการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การทดลองที่ 3 การควบคุมระบบที่มีผลตอบสนองช้ากว่ามอเตอร์โดยอาศัยวงจรร R-C ด้วยวิธีของ Dahlin

$K_c$  และ  $T_d$  มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลองที่ 5 ส่งผลให้การเข้าสู่ สภาวะคงที่ของระบบจากการทดลองที่ 3 นั้นใช้เวลานานกว่าการเข้าสู่ สภาวะคงที่ของระบบการทดลองที่ 5 มาก แต่ระบบของการทดลองที่ 3 นี้ไม่เกิด โอเวอร์ชูตในช่วงผลตอบสนองชั่วคราว เหมือนกับการทดลองที่ 5 เป็นเพราะว่า  $T_d$  มีค่าเหมาะสม ซึ่งถ้าน้อยเกินไปจะทำให้ไม่สามารถปรับปรุงเสถียรภาพสัมพัทธ์ได้ดีเท่าที่ควรหรือถ้ามากเกินไปก็อาจเกิด โอเวอร์ชูตขึ้นได้ ส่วนค่า  $T_i$  ได้ค่าที่สามารถปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ได้ถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสมในการปรับปรุงช่วงสภาวะคงที่

### 4. การทดลองที่ 4 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีพีไอดีแบบหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Ziegler – Nichols

$K_c$  และ  $T_d$  ในการทดลองที่ 4 นี้ทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วมาก แต่ระบบจะเกิด โอเวอร์ชูตขึ้น โดยจากการทดลองนี้เกิด โอเวอร์ชูตที่ 22 % สาเหตุที่ทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วและระบบเกิด โอเวอร์ชูตขึ้นนั้นมาจาก การสังเคราะห์หาค่าควบคุม โดยวิธีของ Ziegler – Nichols ให้ค่า  $K_c$   $T_d$  ที่สูงเกินไป ทำให้ระบบมีผลตอบสนองเร็วแต่เกิด โอเวอร์ชูต แต่โอเวอร์ชูตที่ 22 % เราสามารถจะยอมรับได้เพราะไม่เกิน 25 % ส่วนค่า  $T_i$  ที่ได้นั้นก็ถือว่าเหมาะสมเพราะช่วยให้การปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ได้ดีขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับปรุงค่าความคลาดเคลื่อนในการ ทดลองที่ 2 เมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นระบบจะกลับเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วมาก

### 5. การทดลองที่ 5 การควบคุมระบบที่มีผลตอบสนองช้ากว่ามอเตอร์โดยอาศัยวงจรร R-C ด้วยวิธีของ Ziegler – Nichols

$K_c$  และ  $T_d$  จากการทดลองที่ 5 ทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่เร็วกว่า เมื่อเทียบกับการเข้าสู่สภาวะคงที่ของระบบจากการทดลองที่ 3 เพราะว่า  $K_c$  และ  $T_d$  จากการทดลองที่ 5 มากกว่าการทดลองที่ 3 ส่งผลให้ผลตอบสนองเร็วกว่า แต่ก็จะมีปัญหาเรื่องการ เกิด โอเวอร์ชูตขึ้น โดยจากการทดลองนี้เกิด โอเวอร์ชูตที่ 9 % ส่วนค่า  $T_i$  ที่ได้เป็นค่าที่เหมาะสมในการทำให้ความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ลดลง

## ปัญหาที่เกิดขึ้น

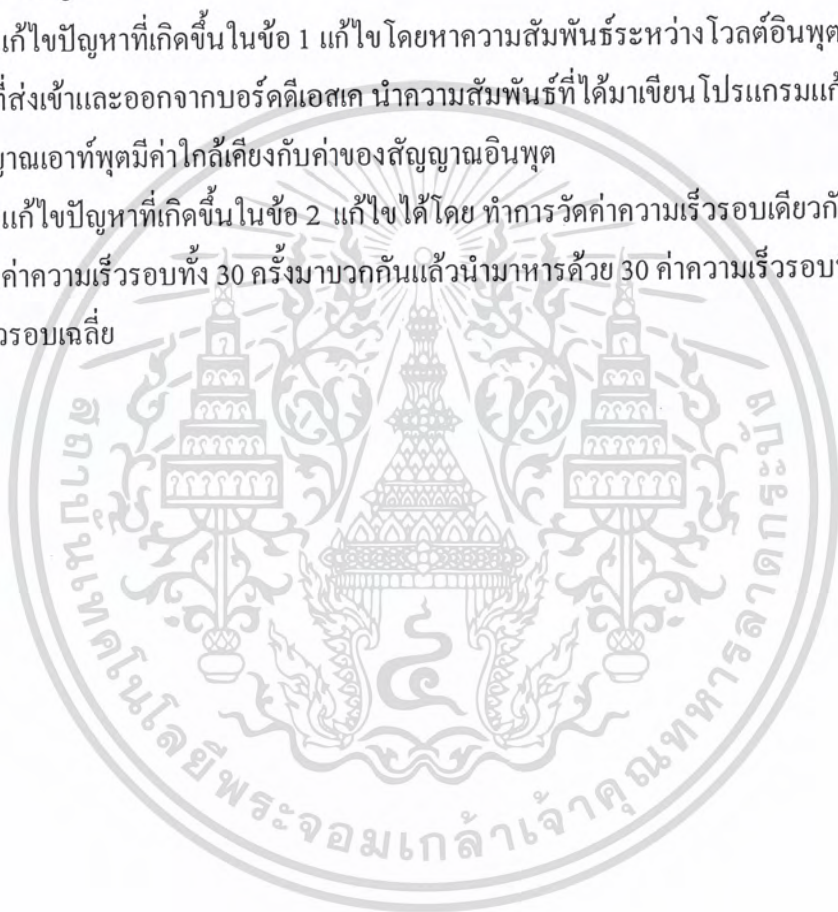
1. เมื่อมีการรับส่งสัญญาณอินพุตผ่านวงจรเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อกโดยกำหนดให้ค่าของอินพุตมีค่าเท่ากับค่าของเอาต์พุต แต่ปรากฏว่าค่าที่ได้มีค่าไม่เท่ากัน

2. การวัดค่าความเร็วรอบของ มอเตอร์โดยใช้แทค โคมิเตอร์ ในแต่ละครั้งที่ทำการวัดค่าความเร็วรอบเดียวกัน ปรากฏว่าค่าที่วัดได้มีค่าไม่เท่ากัน

## แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในข้อ 1 แก้ไขโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์อินพุตและโวลต์เอาต์พุตที่ส่งเข้าและออกจากบอร์ดดีเอสเค นำความสัมพันธ์ที่ได้มาเขียน โปรแกรมแก้ไขเพื่อทำให้ค่าของสัญญาณเอาต์พุตมีค่าใกล้เคียงกับค่าของสัญญาณอินพุต

2. การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในข้อ 2 แก้ไขได้โดย ทำการวัดค่าความเร็วรอบเดียวกัน 30 ครั้ง จากนั้นนำค่าความเร็วรอบทั้ง 30 ครั้งมาบวกกันแล้วนำมาหารด้วย 30 ค่าความเร็วรอบที่ได้จะเป็นค่าความเร็วรอบเฉลี่ย

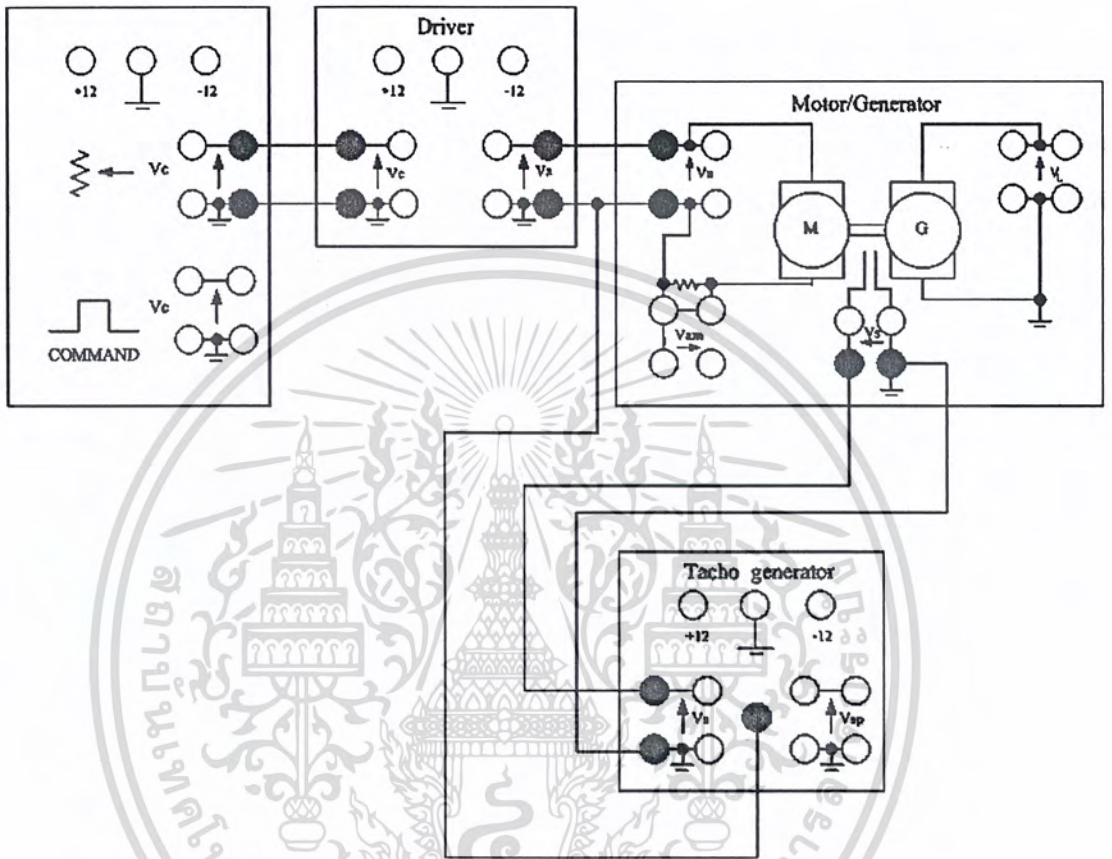


# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์กระแสตรง

การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ ทำโดยทดลองกับกล่องมอเตอร์ที่ประกอบด้วย วงจรขับมอเตอร์ มอเตอร์กระแสตรง และแทคโคเจเนอเรเตอร์ ซึ่งใช้ในการป้อนกลับสัญญาณ



รูป ก แสดงบล็อกทดลองมอเตอร์

### การทดลองวัดค่า $R_a$

ทำการทดลองโดยการลัดมอเตอร์

1. ปรับ  $V_c$  เป็น 0.5 โวลต์ วัดค่า  $V_o$  และ  $V_{am}$  บันทึกค่า  $V_o$ ,  $V_{am}$  และ  $I_{am}$  ( $I_{am} = V_{am} / 0.5$ ) และ  $R_a$  ( $R_a = V_o / I_{am}$ ) ลงในตาราง ก
2. ทำการทดลองตามข้อ 1 โดยเพิ่มครั้งละ 0.5 โวลต์จนถึง 3 โวลต์
3. คำนวณค่า  $R_a$  เฉลี่ย

| Vc (V) | Va (V) | Vam (V) | Iam (V) | Ra     |
|--------|--------|---------|---------|--------|
| 0.5    | 0      | 0       | 0       | 0      |
| 1      | 0      | 0       | 0       | 0      |
| 1.5    | 1.28   | 0.04    | 0.08    | 16     |
| 2      | 1.77   | 0.04    | 0.08    | 22.125 |
| 2.5    | 2.28   | 0.04    | 0.08    | 28.5   |
| 3      | 2.77   | 0.05    | 0.1     | 27     |

ตาราง ก แสดงผลการหาค่า R

$$R \text{ เฉลี่ย} = (\sum Ra) / \text{จำนวนครั้งที่วัด}$$

$$= 23.58 \Omega$$

การทดลองการวัดค่า La

จากรูป ก ทำให้ Eb = 0 โดยการล๊อคมอเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ปรับสัญญาณ Vc เป็นชนิดพัลส์ ขนาด 0-3 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์
2. ปรับออสซิลอกรวัดสัญญาณ Va และ Ia (ได้จากการวัดสัญญาณ Vam, Iam = Vam/Ram) เปรียบเทียบกับเวลา บันทึกลงในรูป ข
3. จากรูปสัญญาณในข้อ 2 วัดค่า Te
4. คำนวณค่า La = (Te)(Re)

จากรูป ข จะได้ La = 0.003 H

การทดลองคำนวณค่า Kφ

วิธีการทดลอง

1. คำนวณค่า Kφ และบันทึกค่า Ia,w และ Kφ แต่ละค่าลงในตาราง
2. คำนวณค่า Kφ เฉลี่ย

จากการทดลองหาค่า Kφ เฉลี่ยได้เท่ากับ 0.01528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองการวัดค่า $\tau_m$

### วิธีการทดลอง

1. ใช้วงจรตามรูป ก โดยไม่ต้องสวิตช์คอมเตอรื
2. ปรับสัญญาณ  $V_c$  เป็นชนิดพัลส์ ขนาด 0-3 โวลต์ ที่ความถี่ 10 เฮิรท์ซ
3. ใช้ออสซิลโลโกรบวัดสัญญาณ  $V_a$  และ  $V_{sp}$  เปรียบเทียบกับเวลา บันทึกลงในรูป ค
4. จากรูปสัญญาณในข้อ 3 วัดค่า  $\tau_m$

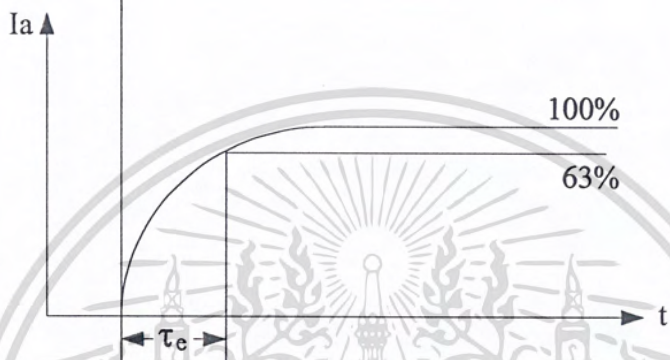
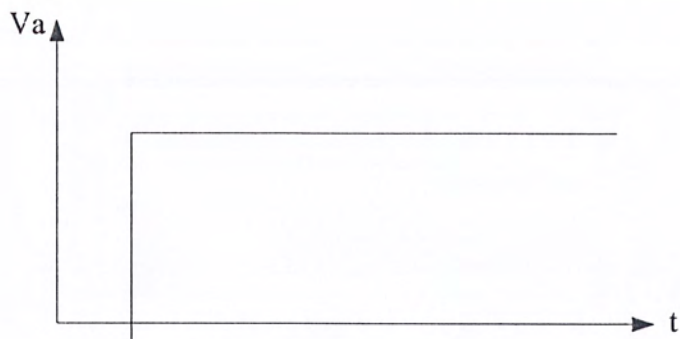
## การหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์กระแสตรง

จากบล็อกของมอเตอร์ในรูป ก เมื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ตามข้างต้นก็สามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ในการทดลองได้ดังนี้

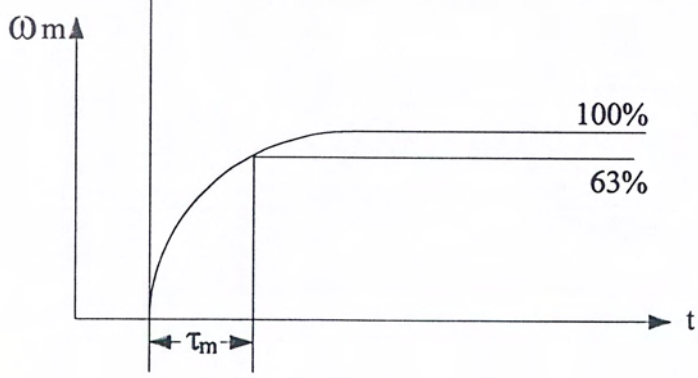
จะได้

$$\frac{W(s)}{V_a(s)} = \frac{1}{(S^2 \tau_m \tau_e + S \tau_m + 1) K \phi}$$
$$\frac{W(s)}{V_a(s)} = \frac{1}{3.735 \times 10^{-6} S^2 + 3.3616 \times 10^{-3} S + 0.01528}$$

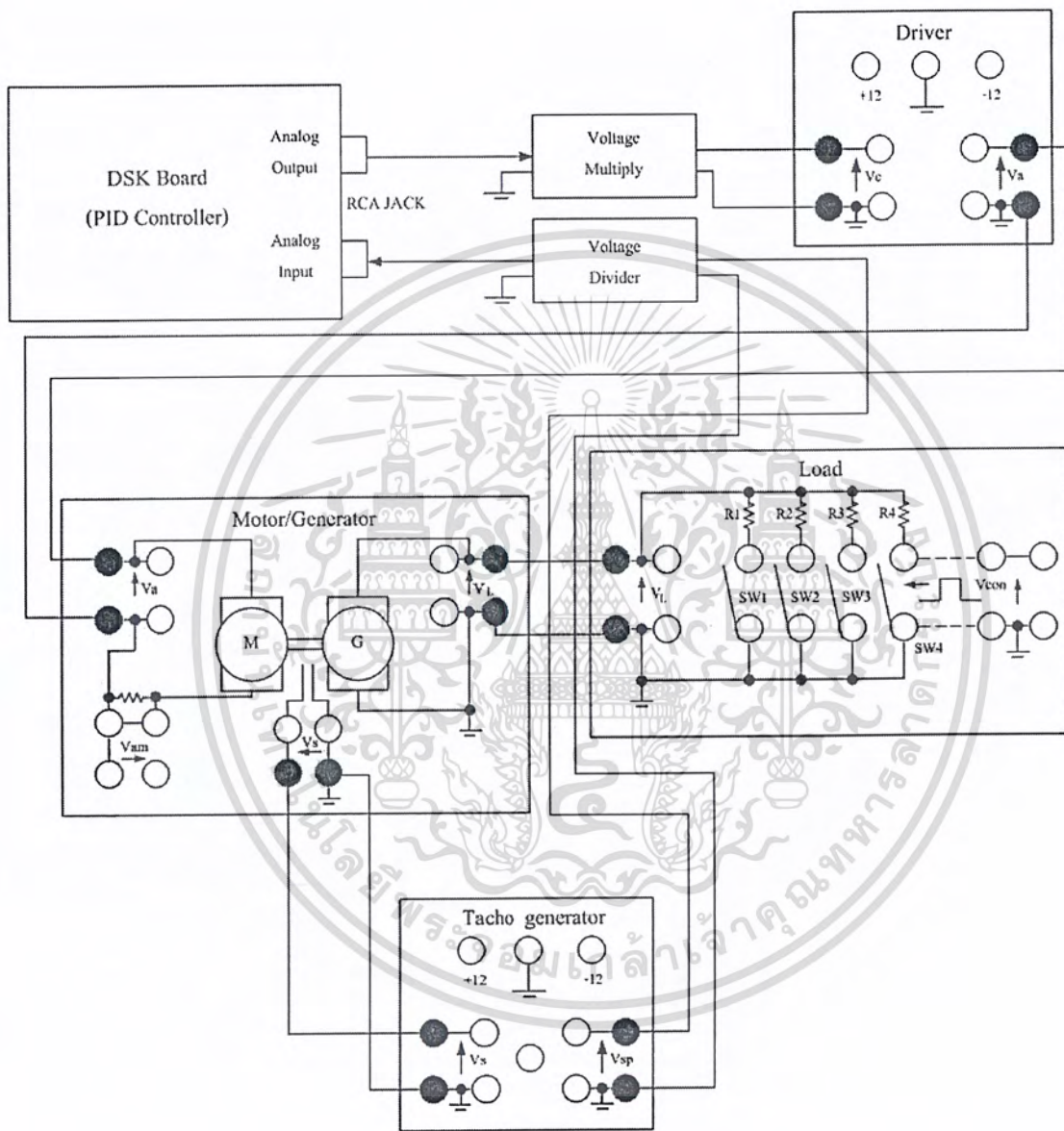
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_a$ ,  $I_a$  ในการหาค่า  $\tau_e$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูป แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_a$ ,  $I_a$  ในการหาค่า  $\tau_m$  ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ง แสดงการต่อใช้บอร์ด ดีเอสเค เป็นตัวควบคุมความเร็ว ดีซี มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

---

## ;โปรแกรมการหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ Dahlin

### File Dpid.asm

---

;(PROGRAM PID AUTOTUNE OF FIRST ORDER DELAYTIME PLAN).....[Dahlin Method]

;DATA SET

```
.start ".data",0x809900
.start ".text",0x809c00

.data
PBASE .word 808000h
SETSP .word 0e970300h
ATABLE .word AICSEC
AICSEC .word 0a14h,1h,3e7eh,63h ;SET Fs=20Khz
TC .float 2 ;(S)
TC_addr .word TC ;CONTROL TIME CONSTANT
OUTPUT1 .float 2
OUTPUT1_addr .word OUTPUT1 ;SETPOINT PLANT
k .float 1.9
k_addr .word k ;k = k OFFSET
INPUT .float 0
INPUT_addr .word INPUT ;INPUT DSP(feedback)
INPUT1 .float 0
INPUT1_addr .word INPUT1 ;VOLTAGE AT STEADY STATE
INPUT2 .float 0
INPUT2_addr .word INPUT2 ;VOLTAGE AT STEADY STATE
OUTPUT .float 8
OUTPUT_addr .word OUTPUT ;SET INPUT PLAN(0-9volt)
OUTPUT2 .float 4
OUTPUT2_addr .word OUTPUT2 ;SET INPUT PLAN FOR FIND T1,T2
OUTPUT3 .float 0
OUTPUT3_addr .word OUTPUT3 ;SET INPUT PLAN FOR FIND T1,T2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OUTE      .word 0
OUTE_addr .word OUTE
OUTT      .word 0
OUTT_addr .word OUTT
OUTI      .float 0
OUTI_addr .word OUTI
OUTI1     .float 0
OUTI1_addr .word OUTI1
VC1       .float 0
VC1_addr  .word VC1
VC2       .float 0
VC2_addr  .word VC2
DV        .float 0
DV_addr   .word DV
DVin      .float 2316
DVin_addr .word DVin
Es1       .float 0
Es1_addr  .word Es1 ;ERROR(t)=IN(t)-OUT(t)
Es2       .float 0
Es2_addr  .word Es2 ;ERROR(t-1)
c         .float 579
c_addr    .word c ;GAIN( 579*(0-3volt)=(0-3voltdsp)
TIMER1    .float 0
TIMER1_addr .word TIMER1 ;TIME 283%VOLTAGES ;T1 = To(deadtime) + T/3
TIMER2    .float 0
TIMER2_addr .word TIMER2 ;TIME 632%VOLTAGES ;T2 = To(deadtime) + T(timecon)
Kvc1      .float .283
Kvc1_addr .word Kvc1 ;0.283 VOLTS
Kvc2      .float .632
Kvc2_addr .word Kvc2 ;0.632 VOLTS
To        .float 0

```

เอา To\_addr เป็นเอกสารชื่อ word To สำหรับ DEAD TIME เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

To2      .float 0
To2_addr .word To2  ;DEAD TIME
T        .float 0
T_addr   .word T
A        .float 0.0049999
A_addr   .word A
B        .float 0.995
B_addr   .word B
CC       .float 0.0000499
CC_addr  .word CC
TT       .float 0
TT_addr  .word TT  ;TIME CONSTANT OPENLOOP
KC       .float 0
KC_addr  .word KC  ;CONTRLER GAIN(P)
Ks       .float 0
Ks_addr  .word Ks
Kp       .float 0
Kp_addr  .word Kp
Es       .float 0
Es_addr  .word Es
Ti       .float 0
Ti_addr  .word Ti  ;integrate TIME(Ti)
Td       .float 0
Td_addr  .word Td  ;div TIME(Td)
Ki       .float 0
Ki_addr  .word Ki  ;Ki = 1/Ti
dT       .float 0.00005
dT_addr  .word dT  ;1/Fs(20KHz)
X        .float 1.5
X_addr   .word X
c2       .float 0.0001

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

c1          .float 0.0001
c1_addr     .word c1
c3          .float 0.00000001
c3_addr     .word c3
Fs          .float 20000
Fs_addr     .word Fs
delay       .word 50000
d_addr      .word delay ;DELAY TIMER START OUTPUT
delay1      .word 50000
d1_addr     .word delay1 ;DELAY TIMER START OUTPUT
delay2      .word 50000
d2_addr     .word delay2 ;DELAY TIMER START OUTPUT
CT          .float .00000008
CT_addr     .word CT ;TIMER INCREAT EVERY 80 nS
;TIMER DATA SET
TIM1_GCTRL_INI .word 3c3h
TIM_PER1_INI  .word 0ffffffh
            .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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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
PART1 ldp d_addr
ldi @d_addr,AR1
ldi *AR1,R1
subi 1,R1
sti R1,*AR1
bz LOAD1
call LOOP
br PART1
;-----
LOAD1 ldp INPUT_addr
ldi @INPUT_addr,AR1
ldf *AR1,R1
ldi @INPUT1_addr,AR2
stf R1,*AR2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;-----
PART2    ldp  OUTPUT_addr
         ldi  @OUTPUT_addr,AR2
         ldi  @OUTPUT2_addr,AR3
         ldf  *AR3,R2
         stf  R2,*AR2
         ldp  d1_addr
         ldi  @d1_addr,AR1
         ldi  *AR1,R1
         subi 1,R1
         sti  R1,*AR1
         bz   LOAD2
         call LOOP
         br  PART2

```

```

;-----
LOAD2    ldp  INPUT_addr
         ldi  @INPUT_addr,AR1
         ldf  *AR1,R1
         ldi  @INPUT2_addr,AR2
         stf  R1,*AR2
         br  PARTDV

```

```

;-----
LOOP     ldi  *+AR0(4ch),R6
         lsh  16,R6
         ash  -18,R6
         ldi  R6,R4
         ldi  5233,R3    ;(LOAD 2 volt TO R3)
         addi R3,R4
         ldp  k_addr
         ldi  @k_addr,AR4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

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
rets

;-----
LOOP1 ldp INPUT_addr
ldi @INPUT_addr,AR1
stf R6,*AR1
call OUT
rets

;-----
;OUTPUT
OUT call TWAIT
ldp OUTPUT_addr
ldi @OUTPUT_addr,AR1
ldf *AR1,R7
ldi @c_addr,AR2
ldf *AR2,R6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mpyf R6,R7
fix R7,R7
lsh 2,R7
sti R7,*+AR0(48h)
rets

```

```

;-----
TWAIT   ldi  *+AR0(40h),R1
        and  02h,R1
        bz   TWAIT
        RETS

```

```

;FIND Ks

```

```

PARTDV  ldp  INPUT1_addr
        ldi  @INPUT1_addr,AR1
        ldf  *AR1,R1
        ldi  @INPUT2_addr,AR2
        ldf  *AR2,R2
        subf3 R2,R1,R3
        ldi  @DV_addr,AR3
        stf  R3,*AR3

```

```

;FIND VOLTCHECK1 AND VOLTCHECK2

```

```

PARTVC  ldp  INPUT1_addr
        ldi  @INPUT1_addr,AR1
        ldf  *AR1,R1
        ldi  @INPUT2_addr,AR2
        ldf  *AR2,R2
        subf3 R2,R1,R3
        ldi  @DV_addr,AR3
        stf  R3,*AR3
        ldp  VC1_addr
        ldi  @VC1_addr,AR1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ldf *AR2,R2
ldi @DV_addr,AR3
ldf *AR3,R3
ldi @Kvc1_addr,AR4
ldf *AR4,R4
mpyf R3,R4
addf3 R4,R2,R1
stf R1,*AR1
ldi @VC2_addr,AR1
ldi @INPUT2_addr,AR2
ldf *AR2,R2
ldi @DV_addr,AR3
ldf *AR3,R3
ldi @Kvc2_addr,AR4
ldf *AR4,R4
mpyf R3,R4
addf3 R4,R2,R1
stf R1,*AR1

```

---

;SET TIMER AND COUNT START

```

TIMERSET  ldi 0,R0
           sti R0,*+AR0(30h) ;RESET TIMER1
           ldi @TIM_PER1_INI,R1
           sti R1,*+AR0(38h)
           ldi @TIM1_GCTRL_INI,R0
           sti R0,*+AR0(30h)

```

---

```

PARTT1   ldp INPUT_addr
           ldi @OUTPUT_addr,AR1
           ldf 8,R1
           stf R1,*AR1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ldf *AR2,R2
ldi @VC1_addr,AR3
ldf *AR3,R3
ldi 5,AR5
cmpf R2,R3
dbgt AR5,CHECKVin1
br Time1
Time1 ldi *+AR0(34h),R1
float R1,R1
ldi @CT_addr,AR2
ldf *AR2,R2
mpyf R2,R1
ldp @TIMER1_addr
ldi @TIMER1_addr,AR1
stf R1,*AR1
br PARTT2
CHECKVin1 call LOOP
br PARTT1
;
PARTT2 ldp INPUT_addr
ldi @OUTPUT_addr,AR1
ldf 8,R1
stf R1,*AR1
call LOOP
ldi @INPUT_addr,AR2
ldf *AR2,R2
ldi @VC2_addr,AR3
ldf *AR3,R3
ldi 5,AR5
cmpf R2,R3
dbgt AR5,CHECKVin2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Time2      ldi  *+AR0(34h),R1
           float R1,R1
           ldi  @CT_addr,AR2
           ldf  *AR2,R2
           mpyf R2,R1
           ldp  @TIMER2_addr
           ldi  @TIMER2_addr,AR1
           stf  R1,*AR1
           br   PARTKs

```

```

CHECKVin2 call LOOP
           br   PARTT2

```

```

;-----
PARTKs     ldi  @DV_addr,AR3
           ldf  *AR3,R3
           ldi  @DVin_addr,AR1
           ldi  @Ks_addr,AR2
           call DIV
           br   PLAN

```

```

;FIND PLANPARAMETER

```

```

PLAN       ldp  To_addr
           ldi  @To_addr,AR1
           ldi  @T_addr,AR2
           ldi  @TIMER1_addr,AR3
           ldf  *AR3,R3
           ldi  @TIMER2_addr,AR4
           ldf  *AR4,R4
           ldi  @X_addr,AR5
           ldf  *AR5,R5

```

```

;T = 1.5*(T2-T1)

```

```

subf3 R3,R4,R6

```

```

mpyf R5,R6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
stf R6,*AR2
```

```
;To = T2-T
```

```
subf3 R6,R4,R7
```

```
stf R7,*AR1
```

```
;PID AUTOTUNE PARAMETER
```

```
;To2 = To/2 = Td
```

```
ldp To2_addr
```

```
ldi @To2_addr,AR1
```

```
ldi @To_addr,AR2
```

```
ldi @Td_addr,AR3
```

```
ldf *AR2,R2
```

```
ldf 0.5,R3
```

```
mpyf R3,R2
```

```
stf R2,*AR1
```

```
stf R2,*AR3
```

```
;Ti = T
```

```
PID ldp Ti_addr
```

```
ldi @Ti_addr,AR1
```

```
ldi @T_addr,AR2
```

```
ldf *AR2,R2
```

```
stf R2,*AR1
```

```
;FIND 1/Ti(Ki)
```

```
com1 ldp Ti_addr
```

```
ldi @Ti_addr,AR1
```

```
ldf *AR1,R1
```

```
ldi @Ki_addr,AR2
```

```
ldf *AR2,R2
```

```
ldf 1,R3
```

```
mpyf3 R1,R2,R4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

subf3 R4,R3,R6
ldi @c1_addr,AR3
ldf *AR3,R0
ldi 5,AR5
cmpf R0,R6 ;(cmpf x,y if y>x goto loop)
dbgt AR5,loop1
br FINDKp
loop1 addf R0,R2
stf R2,*AR2
br com1
;Kp=(T+To/2)/T
FINDKp ldi @T_addr,AR1
ldf *AR1,R1
ldi @To2_addr,AR2
ldf *AR2,R2
ldi @Ki_addr,AR3
ldf *AR3,R3
addf R1,R2
mpyf R3,R2
ldi @Kp_addr,AR4
stf R2,*AR4

```

-----

```

;KC = T/Ks*(TC+To)
FINDKC ldp TC_addr
com ldp TC_addr
ldi @TC_addr,AR1
ldf *AR1,R1
ldi @To_addr,AR1
ldf *AR1,R2
addf R2,R1
ldi @Ks_addr,AR4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mpyf R4,R1
ldi @KC_addr,AR2
ldf *AR2,R2
ldi @T_addr,AR3
ldf *AR3,R3
mpyf3 R1,R2,R4
subf3 R4,R3,R6
ldi @c1_addr,AR7
ldf *AR7,R0
ldi 5,AR5
cmpf R0,R6 ;(cmpf x,y if y>x goto loop)
dbgt AR5,loop
br SH
loop
addf R0,R2
stf R2,*AR2
br com

```

;TT=0.5\*TC\*To/TC+To

```

SH
ldi @To_addr,AR1
ldf *AR1,R6
ldi @TC_addr,AR3
ldf *AR3,R7
addf3 R6,R7,R3
mpyf3 R6,R7,R4
ldf 0.5,R5
mpyf R5,R4
stf R3,*AR1
stf R4,*AR3
ldi @TT_addr,AR2
call DIV
ldi @c2_addr,AR1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ldf *AR2,R2
ldi @TT_addr,AR1
ldi @A_addr,AR2
ldi @CC_addr,AR3
ldf 1,R7
subf3 R2,R7,R4
ldi @B_addr,AR4

```

-----

```

SHOW ldp Ti_addr
ldi @Ti_addr,AR1
ldf *AR1,R1
ldi @KC_addr,AR2
ldf *AR2,R2
ldi @TIMER1_addr,AR3
ldf *AR3,R3
ldi @TIMER2_addr,AR4
ldf *AR4,R4
ldi @To_addr,AR5
ldf *AR5,R5
ldi @T_addr,AR6
ldf *AR6,R6

```

;RESET INPUT -----

```

PARTRESET ldp OUTPUT_addr
ldi @OUTPUT_addr,AR2
ldi @OUTPUT3_addr,AR3
ldf *AR3,R2
stf R2,*AR2
ldp d2_addr
ldi @d2_addr,AR1
ldi *AR1,R1
subi 1,R1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สํารองไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

bz OUTPUT_PID
call LOOP
br PARTRESET

```

```

;-----
;OUTPUT PID CONTROLER

```

```

OUTPUT_PID

```

```

ldp OUTPUT1_addr
ldi @OUTPUT1_addr,AR1
ldi @OUTPUT_addr,AR2
ldf *AR1,R1
stf R1,*AR2
call LOOPPI
ldi @INPUT_addr,r1
ldf *ar1,r1
br OUTPUT_PID

```

```

;-----
LOOPIID

```

```

ldi *+AR0(4ch),R6
lsh 16,R6
ash -18,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,R5
mpyf3 R3,R5,R7
ldf R7,R6
fix R7,R7

```

```

;IF OUTPUT=+ : output=output-0.5volt

```

```

ldi 2000h,R1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารอ้างอิง R1,R7,R0 การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    cmpi 0,R0
    ldi 5,AR5
    dbgt AR5,LOOP2

;+OUTPUT(CLEAR OFFSET)

    ldf 544,R1
    subf R1,R6
    ldp INPUT_addr
    ldi @INPUT_addr,AR1
    stf R6,*AR1
    call OUTPID
    rets

;-OUTPUT
LOOP2 ldp INPUT_addr
    ldi @INPUT_addr,AR1
    stf R6,*AR1
    call OUTPID
    rets

;-----
;OUTPUT CONTROL
OUTPID call TWAIT
;-----
;ERROR PART
;LOAD INPUT VOLTAGE

    ldp OUTPUT_addr
    ldi @OUTPUT_addr,AR1
    ldf *AR1,R7
    ldi @c_addr,AR2
    ldf *AR2,R6
    mpyf R6,R7

;E(s) = IN(s) - OUT(s)

    ldi @INPUT_addr,AR3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
subf R3,R7 ;E(s)=in(s)-out(s)
```

```
ldi @Es_addr,AR4
```

```
stf R7,*AR4
```

```
;
```

```
;DIV PART( OUTE = Td.(ES-Es1)/(DT)
```

```
ldi @Es_addr,AR1
```

```
ldf *AR1,R1
```

```
ldi @Es1_addr,AR2
```

```
ldf *AR2,R2
```

```
subf3 R2,R1,R4
```

```
stf R1,*AR2
```

```
ldi @Td_addr,AR3
```

```
ldf *AR3,R3
```

```
mpyf R3,R4
```

```
ldi @Fs_addr,AR3
```

```
ldf *AR3,R3
```

```
mpyf3 R3,R4,R1
```

```
ldi @OUTE_addr,AR4
```

```
stf R1,*AR4
```

```
;
```

```
;INTEGRATE PART
```

```
ldi @OUTI_addr,AR6
```

```
ldf *AR6,R3
```

```
ldi @Es_addr,AR7
```

```
ldf *AR7,R7
```

```
ldi @dT_addr,AR4 ;dT=0.00005 S
```

```
ldf *AR4,R4
```

```
mpyf3 R4,R7,R6
```

```
addf R3,R6
```

```
stf R6,*AR6
```

```
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

;OUTPUT PART (  $OUT = Kc*( Kp.Es + Ki.(integrate Es) + Kd.dE/dT$  )

;OUTI =  $Ki.(integarte Es)$

```
ldi @OUTI_addr,AR1
ldf *AR1,R1
ldi @Ki_addr,AR2
ldf *AR2,R2
mpyf R2,R1
ldi @Es_addr,AR2
ldf *AR2,R3
ldi @Kp_addr,AR5
ldf *AR5,R5
mpyf3 R5,R3,R2
addf R2,R1
ldi @OUTE_addr,AR3
ldf *AR3,R3
addf R3,R1
ldi @KC_addr,AR4
ldf *AR4,R4
mpyf R4,R1
ldi @A_addr,AR1
ldf *AR1,R2
mpyf R2,R1
ldi @OUTT_addr,AR3
ldf *AR3,R3
ldi @B_addr,AR4
ldf *AR4,R4
mpyf R3,R4
addf R4,R1
stf R1,*AR3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BACK      lsh  2,R7
          sti  R7,*+AR0(48h)
          RETS
;-----
;(PROGRAM DIV: *AR2 = *AR3/*AR1)
DIV       ldf  *AR1,R1
          ldf  *AR2,R2
          ldf  *AR3,R3
          mpyf3 R1,R2,R4
          subf3 R4,R3,R6
          ldi  5,AR5
          ldi  @c2_addr,AR4
          ldf  *AR4,R0
          cmpf R0,R6 ;(cmpf x,y if y<x goto INCREAT)
          dbgt AR5,INCREAT
          br   EXIT
INCREAT   addf R0,R2
          stf  R2,*AR2
          br   DIV
EXIT      RETS
;-----
SAT       ldi  5000,R7
          br   BACK
INSAT     ldi  -5000,R7
          br   BACK
;-----END-----;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

---

## โปรแกรมการหาค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยวิธีของ

### Ziegler – Nichols (Process Reaction Curve)

#### File zpid1.asm

---

;(PROGRAM PID AUTOTUNE OF FIRST ORDER DELAYTIME PLAN)...(Ziegler – Nichols)

;DATA SET

```
.start ".data",0x809900
.start ".text",0x809c00
.data
PBASE .word 808000h
SETSP .word 0e970300h
ATABLE .word AICSEC
AICSEC .word 0a14h,1h,3e7eh,63h ;SET Fs=20Khz
; START INITIAL
OUTPUT1 .float 2
OUTPUT1_addr .word OUTPUT1 ;SET POINT OF PLAN(0-9volt)
k .float 1,9
k_addr .word k ;k = k OFFSET
INPUT .float 0
INPUT_addr .word INPUT ;INPUT DSP(feedback)
INPUT1 .float 0
INPUT1_addr .word INPUT1 ;VOLTAGE AT STEADY STATE
INPUT2 .float 0
INPUT2_addr .word INPUT2 ;VOLTAGE AT STEADY STATE
INPUTOLD .float 0.005 ;OLD INPUT [Initial Input]
INPUTOLD_addr .word INPUTOLD
INPUTS .float 0.0055
INPUTS_addr .word INPUTS
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OUTPUT      .float 8
OUTPUT_addr .word OUTPUT ;SET INPUT PLAN(0-9volt)
OUTPUT2     .float 4
OUTPUT2_addr .word OUTPUT2 ;SET INPUT PLAN FOR FIND T1,T2
OUTPUT3     .float 0
OUTPUT3_addr .word OUTPUT3 ;SET INPUT PLAN FOR FIND T1,T2
OUTE        .word 0
OUTE_addr   .word OUTE
OUTT        .word 0
OUTT_addr   .word OUTT
OUTI        .float 0
OUTI_addr   .word OUTI
OUTI1       .float 0
OUTI1_addr  .word OUTI1
ON          .float 0
ON_addr     .word ON
DV          .float 0
DV_addr     .word DV
DVin        .float 2316
DVin_addr   .word DVin
n           .float 0 ; Sampling Number
n_addr      .word n
SLOPE       .float 0.0009 ; MAX SLOPE (Initial max slope)
SLOPE_addr  .word SLOPE
sn          .float 1
sn_addr     .word sn
Es1         .float 0
Es1_addr    .word Es1 ;ERROR(t)=IN(t)-OUT(t)
Es2         .float 0
Es2_addr    .word Es2 ;ERROR(t-1)
c           .float 579

```

c\_addr เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับ GAIN( 579\*(0-3volt)=(0-3voltdsp) ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

A          .float 0.0049999
A_addr    .word A
B          .float 0.995
B_addr    .word B
CC         .float 0.0000499
CC_addr   .word CC
INPUTN    .float 0.005005
INPUTN_addr .word INPUTN
SLOPENEW  .float 0          ; SLOPE
SLOPENEW_addr .word SLOPENEW
KC         .float 0
KC_addr   .word KC          ;CONTRLER GAIN(P)
Ks         .float 0          ; K From Plan
Ks_addr   .word Ks
Es         .float 0
Es_addr   .word Es
YM2        .float 0
YM2_addr  .word YM2
Ti         .float 0
Ti_addr   .word Ti          ;integrate TIME(Ti)
Td         .float 0
Td_addr   .word Td          ;div TIME(Td)
Ki         .float 0
Ki_addr   .word Ki          ;Ki = 1/Ti
dT         .float 0.00005
dT_addr   .word dT          ;1/Fs(20KHz)
X          .float 1.5
X_addr    .word X
c2         .float 0.0001
c2_addr   .word c2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

c1          .float 0.0001
c1_addr     .word c1
c3          .float 0.00000001
c3_addr     .word c3
ss          .float 0.01875
ss_addr     .word ss
town        .float 0
town_addr   .word town
T1          .float 0
T1_addr     .word T1
t0          .float 0
t0_addr     .word t0
kpp         .float 1.2 ;Fomular of Z - N
kpp_addr    .word kpp
gt          .float 0 ;Numerator
gt_addr     .word gt
harn        .float 0 ;Demulator
harn_addr   .word harn
PTIK        .float 2
PTIK_addr   .word PTIK
PTDDK       .float 0.5
PTDDK_addr  .word PTDDK
Fs          .float 20000
Fs_addr     .word Fs
delay       .word 50000
d_addr      .word delay ;DELAY TIMER START OUTPUT
delay1      .word 50000
d1_addr     .word delay1 ;DELAY TIMER START OUTPUT
delay2      .word 50000
d2_addr     .word delay2 ;DELAY TIMER START OUTPUT
CT          .float .00000008
CT_addr     .word CT

```

แต่ CT\_addr เป็นเอกสารที่หา CT สำหรับ TIMER INCREAT EVERY 80 ns ไม่นิยามให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;TIMER DATA SET
TIM1_GCTRL_INI .word 3c3h
TIM_PER1_INI .word 0ffffffh
        .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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SECEND      sti  R0,*+AR0(48h)
```

```
;-----
```

```
;LOAD INPUT AND OFFSET SET
```

```
PART1      ldp  d_addr  
           ldi  @d_addr,AR1  
           ldi  *AR1,R1  
           subi 1,R1  
           sti  R1,*AR1  
           bz  LOAD1  
           call LOOP  
           br  PART1
```

```
;-----
```

```
LOAD1      ldp  INPUT_addr  
           ldi  @INPUT_addr,AR1  
           ldf  *AR1,R1  
           ldi  @INPUT1_addr,AR2  
           stf  R1,*AR2  
           br  PART2
```

```
;-----
```

```
PART2      ldp  OUTPUT_addr  
           ldi  @OUTPUT_addr,AR2  
           ldi  @OUTPUT2_addr,AR3  
           ldf  *AR3,R2  
           stf  R2,*AR2  
           ldp  d1_addr  
           ldi  @d1_addr,AR1  
           ldi  *AR1,R1  
           subi 1,R1  
           sti  R1,*AR1  
           bz  LOAD2  
           call LOOP  
           br  PART2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LOAD2    ldp  INPUT_addr
         ldi  @INPUT_addr,AR1
         ldf  *AR1,R1
         ldi  @INPUT2_addr,AR2
         stf  R1,*AR2
         br   PARTDV

```

```

;-----
LOOP     ldi  *+AR0(4ch),R6
         lsh  16,R6
         ash  -18,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

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ stf R6,\*AR1 ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

call OUT
rets
LOOP1  ldp  INPUT_addr
        ldi  @INPUT_addr,AR1
        stf  R6,*AR1
        call OUT
        rets

```

```

-----;
OUT     call TWAIT
        ldp  OUTPUT_addr
        ldi  @OUTPUT_addr,AR1
        ldf  *AR1,R7
        ldi  @c_addr,AR2
        ldf  *AR2,R6
        mpyf R6,R7
        fix  R7,R7
        lsh  2,R7
        sti  R7,*+AR0(48h)
        rets

```

```

-----;
TWAIT  ldi  *+AR0(40h),R1
        and  02h,R1
        bz  TWAIT
        RETS

```

```

-----;
;FIND Ks

```

```

PARTDV  ldp  INPUT1_addr
        ldi  @INPUT1_addr,AR1
        ldf  *AR1,R1
        ldi  @INPUT2_addr,AR2
        ldf  *AR2,R2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ldi @DV\_addr,AR3

stf R3,\*AR3

;-----

PARTKs ldi @DV\_addr,AR3

ldf \*AR3,R3

ldi @DVin\_addr,AR1

ldi @Ks\_addr,AR2

call DIV

ldi @Ks\_addr,AR2

ldf \*AR2,R2

ldi @ss\_addr,AR1

ldf \*AR1,R1

mpyf R1,R2

stf R2,\*AR2

br KR

;-----

;NUMBER OF SAMPLING

KR ldp n\_addr ; Sampling Number (n) Address

ldi @n\_addr,AR1

ldf \*AR1,R1

ldi @sn\_addr,AR2

ldf \*AR2,R2

addf R2,R1

sti R1,\*AR1 ; n=n+1

ldi @INPUTN\_addr,AR1 ;Find max slope point ( X , Y )

ldf \*AR1,R1

ldi @INPUTOLD\_addr,AR2

ldf \*AR2,R2

subf3 R2,R1,R3

ldi @Fs\_addr,AR1

ldf \*AR1,R4

mpyf R4,R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ารับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ldi @SLOPENEW_addr,AR1
```

```
stf R3,*AR1
```

```
call Equation1
```

```
br GS
```

```
;-----
```

```
; FIND DEAD TIME ( $T_0$ ) =  $X_1 = X - (Y - Y_1)/m$  when  $Y_1 = 0$ 
```

```
Equation1 ldp n_addr ; Sampling Number (n) Address
```

```
ldi @n_addr,AR1
```

```
ldf *AR1,R1
```

```
ldi @dT_addr,AR2
```

```
ldf *AR2,R2
```

```
mpyf R1,R2
```

```
ldi @INPUTOLD_addr,AR3
```

```
ldf *AR3,R3
```

```
ldi @SLOPENEW_addr,AR1 ;dy/dx (1/dx=Fs)
```

```
ldi @t0_addr,AR2
```

```
call DIV
```

```
ldi @t0_addr,AR3
```

```
stf R2,*AR3
```

```
call Equation2
```

```
rets
```

```
;-----
```

```
; FIND T1 For TIME CONSTANT ( $T = T_1 - T_0$ ) when  $Y_2 = \text{Output at steady state}$ 
```

```
;  $T_1 = X_2 = (Y_2 - Y)/m + X$ 
```

```
Equation2 ldp INPUTS_addr
```

```
ldi @INPUTS_addr,AR1
```

```
ldf *AR1,R1
```

```
ldi @INPUTOLD_addr,AR2
```

```
ldf *AR2,R2
```

```
subf3 R2,R1,R3
```

```
ldi @ON_addr,AR3
```

```
stf R3,*AR3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. ทรัพยากรใช้ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ldi @SLOPE_addr,AR1
```

```
ldi @ON_addr,AR3
```

```
ldf *AR3,R3
```

```
ldi @YM2_addr,AR2
```

```
call DIV
```

```
ldi @YM2_addr,AR2
```

```
stf R2,*AR2
```

```
ldi @dT_addr,AR2
```

```
ldf *AR2,R2
```

```
ldi @YM2_addr,AR3
```

```
ldf *AR3,R3
```

```
addf3 R2,R3,R4
```

```
ldi @T1_addr,AR1
```

```
stf R4,*AR1
```

```
-----
```

```
;FIND TIME CONSTANT ( T )
```

```
ldi @t0_addr,AR4
```

```
ldf *AR4,R4
```

```
ldi @T1_addr,AR2
```

```
ldf *AR2,R5
```

```
subf R4,R5
```

```
ldi @town_addr,AR3
```

```
stf R5,*AR3
```

```
ldf *AR3,R7
```

```
rets
```

```
-----
```

```
; Auto tune PID (Ziegler - Nichols] BY K Control 02 Continuos
```

```
GS ldp @harn_addr
```

```
ldi @harn_addr,AR1
```

```
ldi @gt_addr,AR3
```

```
ldi @town_addr,AR5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และได้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ldi @kpp_addr,AR6
ldf *AR6,R6
mpyf R5,R6 ;R6=1.2*town
stf R6,*AR3
ldf *AR3,R3
ldi @Ks_addr,AR5
ldf *AR5,R5
ldi @t0_addr,AR6
ldf *AR6,R6
mpyf R5,R6
stf R6,*AR1
ldi @Ks_addr,AR2
call DIV
stf R2,*AR2

```

---

```

;Find [Ti]=R7 & [TD]=R4

```

```

ldp PTIK_addr
ldi @PTIK_addr,AR5
ldf *AR5,R7
ldi @t0_addr,AR6
ldf *AR6,R6
mpyf R6,R7 ;R7=2*t0
ldi @Ti_addr,AR7
stf R7,*AR7
ldi @PTDDK_addr,AR1
ldf *AR1,R3
mpyf3 R6,R3,R5 ;R5=0.5*t0
ldi @Td_addr,AR4
stf R5,*AR4

```

---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;find 1/Ti=(Ki)
com1      ldp  Ti_addr
          ldi  @Ti_addr,AR1
          ldf  *AR1,R1
          ldi  @Ki_addr,AR2
          ldf  *AR2,R2
          ldf  1,R3
          mpyf3 R1,R2,R4
          subf3 R4,R3,R6
          ldi  @c1_addr,AR3
          ldf  *AR3,R0
          ldi  5,AR5
          cmpf R0,R6 ;(cmpf x,y if y>x goto loop)
          dbgt AR5,loop1
          br  SH
loop1     addf R0,R2
          stf  R2,*AR2
          br  com1
;-----
;RESET INPUT -----
PARTRESET ldp  OUTPUT_addr
          ldi  @OUTPUT_addr,AR2
          ldi  @OUTPUT3_addr,AR3
          ldf  *AR3,R2
          stf  R2,*AR2
          ldp  d2_addr
          ldi  @d2_addr,AR1
          ldi  *AR1,R1
          subi 1,R1
          sti  R1,*AR1
          bz  OUTPUT_PID

```

เอกสารนี้เป็นเอกสาร **call** LOOP สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
br PARTRESET
```

```
;
```

```
;OUTPUT PID CONTROLER
```

```
OUTPUT_PID
```

```
ldp OUTPUT1_addr  
ldi @OUTPUT1_addr,AR1  
ldi @OUTPUT_addr,AR2  
ldf *AR1,R1  
stf R1,*AR2  
call LOOPPI  
LDI @INPUT_addr,ar1  
ldf *AR1,R1  
br OUTPUT_PID
```

```
;
```

```
LOOPPID
```

```
ldi *+AR0(4ch),R6  
lsh 16,R6  
ash -18,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,R5  
mpyf3 R3,R5,R7  
ldf R7,R6  
fix R7,R7
```

```
;IF OUTPUT=+ : output=output-0.5volt
```

```
ldi 2000h,R1  
and3 R1,R7,R0  
cmpi 0,R0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        dbgt AR5,LOOP2
;+OUTPUT(CLEAR OFFSET)
        ldf 544,R1
        subf R1,R6
        ldp INPUT_addr
        ldi @INPUT_addr,AR1
        stf R6,*AR1
        call OUTPI
        rets
;-OUTPUT
LOOP2   ldp INPUT_addr
        ldi @INPUT_addr,AR1
        stf R6,*AR1
        call OUTPID
        rets
;-----
;OUTPUT CONTROL
OUTPID  call TWAIT
;-----
;ERROR PART
;LOAD INPUT VOLTAGE
        ldp OUTPUT_addr
        ldi @OUTPUT_addr,AR1
        ldf *AR1,R7
        ldi @c_addr,AR2
        ldf *AR2,R6
        mpyf R6,R7
;E(s) = IN(s) - OUT(s)
        ldi @INPUT_addr,AR3
        ldf *AR3,R3
        subf R3,R7      ;E(s)=in(s)-out(s)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stf R7,\*AR4

;

;DIV PART( OUTE = Td.(ES-Es1)/(DT)

ldi @Es\_addr,AR1

ldf \*AR1,R1

ldi @Es1\_addr,AR2

ldf \*AR2,R2

subf3 R2,R1,R4

stf R1,\*AR2

ldi @Td\_addr,AR3

ldf \*AR3,R3

mpyf R3,R4

ldi @Fs\_addr,AR3

ldf \*AR3,R3

mpyf3 R3,R4,R1

ldi @OUTE\_addr,AR4

stf R1,\*AR4

;

;INTEGRATE PART

ldi @OUTI\_addr,AR6

ldf \*AR6,R3

ldi @Es\_addr,AR7

ldf \*AR7,R7

ldi @dT\_addr,AR4 ;dT=0.00005 S

ldf \*AR4,R4

mpyf3 R4,R7,R6

addf R3,R6

stf R6,\*AR6

;

;OUTPUT PART ( OUT = Kc\*( Es+ Ki.(integrate Es) + Kd.dE/dT )

;OUTI = Ki.(integrate Es)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ldf *AR1,R1
ldi @Ki_addr,AR2
ldf *AR2,R2
mpyf R2,R1
ldi @Es_addr,AR7
ldf *AR7,R2
addf R2,R1
ldi @OUTE_addr,AR3
ldf *AR3,R3
addf R3,R1
ldi @Ks_addr,AR4
ldf *AR4,R4
mpyf R4,R1
ldi @A_addr,AR1
ldf *AR1,R2
mpyf R2,R1
ldi @OUTT_addr,AR3
ldf *AR3,R3
ldi @B_addr,AR4
ldf *AR4,R4
mpyf R3,R4
addf R4,R1
stf R1,*AR3
fix R1,R7

```

BACK

```

lsh 2,R7
sti R7,*+AR0(48h)
RETS

```

```

;-----
;(PROGRAM DIV: *AR2 = *AR3/*AR1)

```

```

DIV      ldf *AR1,R1
         ldf *AR2,R2

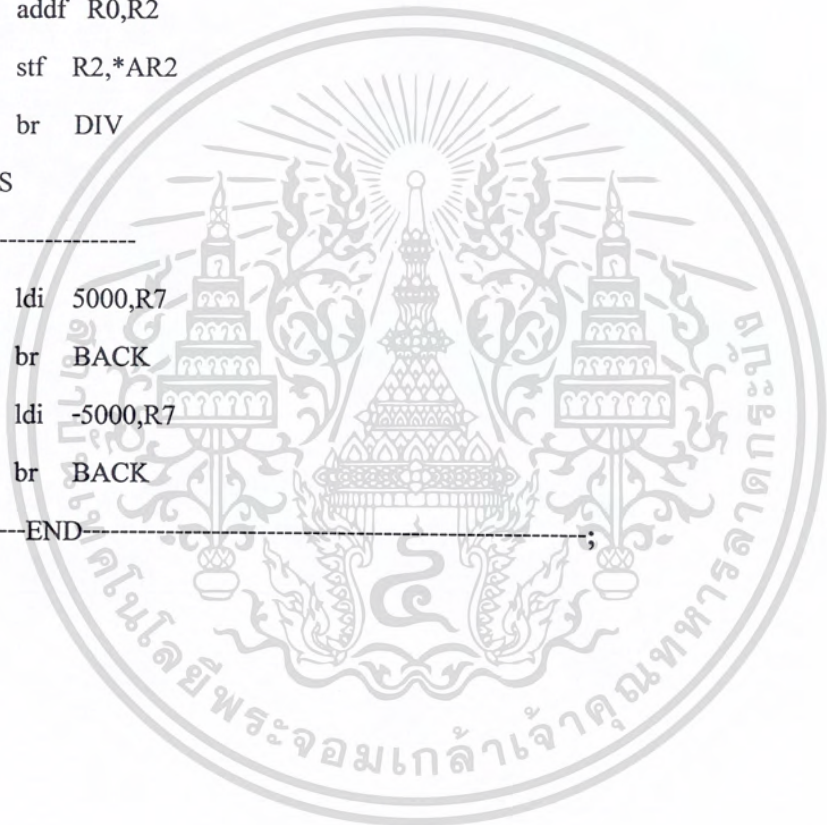
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mpyf3 R1,R2,R4
subf3 R4,R3,R6
ldi 5,AR5
ldi @c2_addr,AR4
ldf *AR4,R0
cmpf R0,R6 ;(cmpf x,y if y<x goto INCREAT)
dbgt AR5,INCREAT
br EXIT
INCREAT addf R0,R2
stf R2,*AR2
br DIV
EXIT RETS
;-----
SAT ldi 5000,R7
br BACK
INSAT ldi -5000,R7
br BACK
;-----END-----;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ

อาจารย์ สว่าง เลิศถิรสุนทร ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและคอยให้คำแนะนำในการทำงาน  
อาจารย์ ทุกท่านที่ให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ  
พี่ สโตร์ ที่ช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ  
เพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเหลือ

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Texas Instrument , “TMS320C3X DSP Starter Kit User's Guide”,1996
2. Texas Instrument , “TMS320C3X User's Guide” ,1996
3. Texas Instrument , “TMS320C3X User 's Guide” ,1996
4. Texas Instrument , “TMS320C3X DSP Starter Kit User 's Guide” ,1996
5. Texas Instrument , “TLC3040, TLC32041C, TLC32041I Analog Interface Circuit” ,1995.
6. Rulph Chassaing , “ Digital Signal Processing Laboratory Experiment Using C and TMS320C31 DSK”
7. 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 ,Sons,Inc,1997