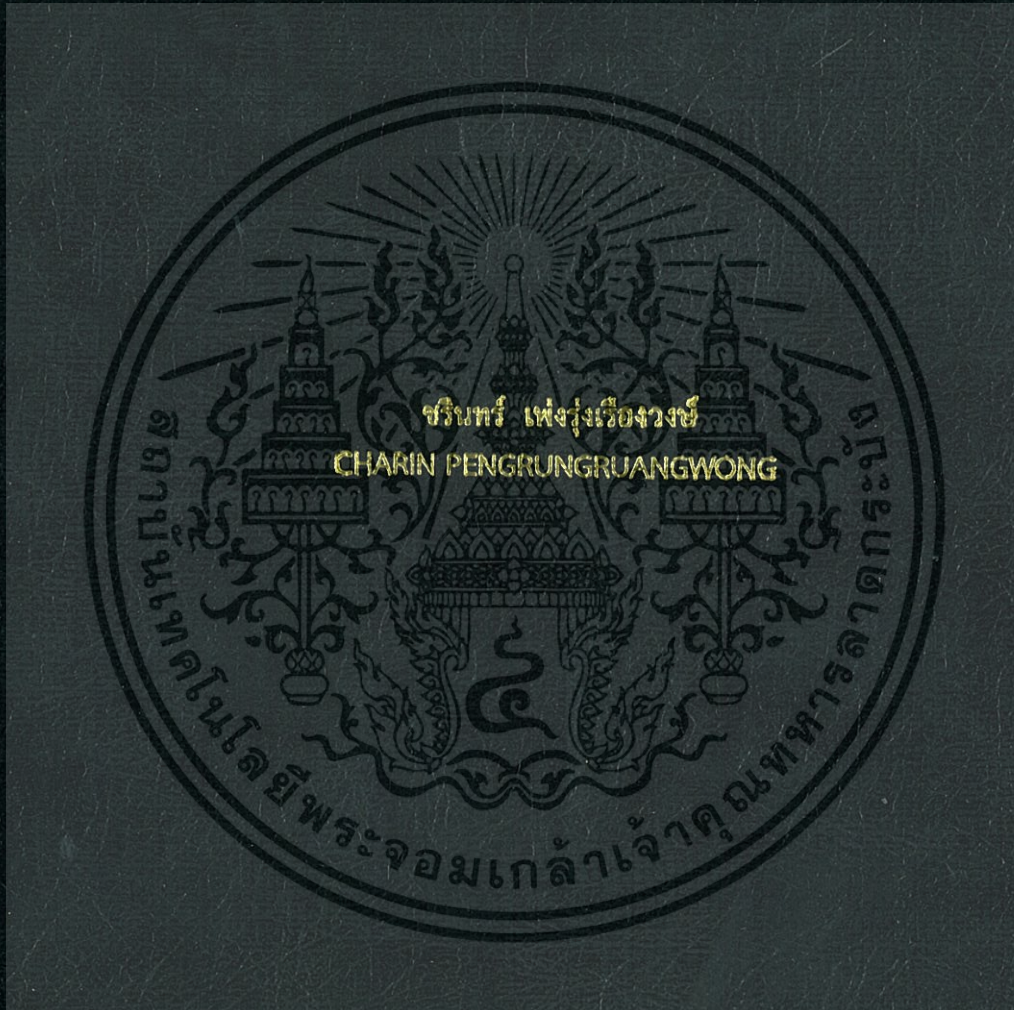


ตัวควบคุมแบบพีไอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาคบนคี่ซีเอส

PID \times ($n-2$) STAGE PD CASCADE CONTROLLER ON DCS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMUTL-2013-EN-M-257-038

ตัวควบคุมแบบพีไอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาคบนดีซีเอส

PID \times (n-2) STAGE PD CASCADE CONTROLLER ON DCS



ชรินทร์ เฟ่งรุ่งเรืองวงศ์
CHARIN PENGRUNGRUANGWONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

KMITL-2013-EN-M-257-038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PID × (n-2) STAGE PD CASCADE CONTROLLER ON DCS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013
KMITL-2013-EN-M-257-038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013


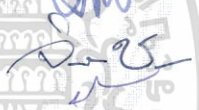
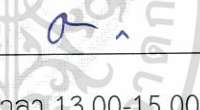


FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

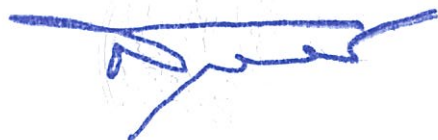
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ตัวควบคุมแบบพีไอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาคบนดีซีเอส
Thesis Title PID x (n-2) Stage PD Cascade Controller on DCS
นักศึกษา นายชรินทร์ เฟ่งรุ่งเรืองวงษ์
รหัสประจำตัว 54613404
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ธนิตย์ ตรีสุวรรณวัฒน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-257-038

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ไสว	พงษ์สวัสดิ์	
รศ.ประภาช	อุคคกิมพานธุ์	
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิศรธรรม	
รศ.ประสิทธิ์	จุลเสวีวงศ์	
รศ.ดร.ธนิตย์	ตรีสุวรรณวัฒน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวควบคุมแบบพีไอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาค บนดีซีเอส
ชื่อนักศึกษา	นายชรินทร์ เฟ่งรุ่งเรืองวงศ์
รหัสประจำตัว	54613404
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ธนิตย์ ตรีสุวรรณวัฒน์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอขั้นตอนการออกแบบและวิธีการนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการ
อันดับสามด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาคบนดีซีเอส ซึ่งตัว
ควบคุมนั้นได้รับการออกแบบเพื่อให้ได้ผลตอบสนองช่วงขณะและสภาวะคงที่ตามข้อกำหนดด้วยวิธีการ
ของเส้นทางเดินราก โดยผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าไม่เพียงแต่ผลตอบสนองที่เร็วกว่าด้วยค่าพุงเกินที่น้อยกว่า
แต่ยังช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของระบบควบคุมแบบปิดอีกทางหนึ่งด้วย



Thesis PID \times (n-2) STAGE PD CASCADE CONTROLLER ON DCS
Student Mr. Charin Pengrungruangwong
Student ID. 54613404
Degree Master of Engineering
Program Automation Engineering
Year 2013
Thesis Advisor Assoc.Prof.Dr.Thanit Trisuwannawat

ABSTRACT

This thesis presents a design method and how to implement the third order plant with PID (Proportional-Integral-Derivative) \times (n-2) stage PD as a cascade controller on DCS (Distributed Control System). The controller is designed to meet the transient and steady state response specifications via the root locus approach and the result is shown that not only faster with smaller overshoot response but also improve stability of the closed-loop control system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ธนิตย์ ตรีสุวรรณวัฒน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณเหล่าคณาจารย์ปริญญาโทวิศวกรรมอัตโนมัติในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ตลอดจนความเอาใจใส่ดูแลที่ดีต่อข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษาปริญญาโทวิศวกรรมอัตโนมัติในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ เป็นกำลังใจที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆแก่ข้าพเจ้า

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ชรินทร์ เฟ่งรุ่งเรืองวงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การตอบสนองทางพลวัตของระบบ.....	3
2.2 ระบบอันดับหนึ่ง.....	4
2.2.1 การตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย.....	4
2.2.2 การตอบสนองต่อสัญญาณลาดเอียงความชันหนึ่งหน่วย.....	6
2.2.3 การตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์หนึ่งหน่วย.....	7
2.3 ระบบอันดับสอง.....	8
2.3.1 การตอบสนองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤต เมื่อ $0 < \zeta < 1$	10
2.3.2 การตอบสนองแบบหน่วงวิกฤต เมื่อ $\zeta = 1$	11
2.3.3 การตอบสนองแบบหน่วงเกิน เมื่อ $\zeta > 1$	11
2.4 ข้อกำหนดของการตอบสนองชั่วคราว.....	13
2.4.1 ช่วงเวลาขึ้น (t_r).....	14
2.4.2 ช่วงเวลาขนาดสูงสุด (t_p).....	16
2.4.3 ค่าพุงเกินสูงสุด (M_p).....	17
2.4.4 ช่วงเวลาเข้าที่ (t_s).....	17
2.5 การหาค่าโพลและซีโร.....	22
2.6 การตอบสนองของระบบเมื่อเพิ่มโพล.....	26
2.7 การตอบสนองของระบบเมื่อเพิ่มซีโร.....	29

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 หลักการของตัวควบคุม PID \times $(n-2)$ stage PD.....	31
3.1 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ.....	31
3.1.1 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ.....	31
3.1.2 ข้อกำหนดของระบบ.....	32
3.2 ตัวควบคุมแบบ PID.....	34
3.2.1 กริยาของการควบคุม.....	34
3.2.2 ข้อจำกัดของตัวควบคุมแบบ PID.....	38
3.3 ตัวควบคุมแบบ PID \times $(n-2)$ stage PD.....	40
บทที่ 4 ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน DCS	43
4.1 ประวัติของดีซีเอส.....	43
4.1.1 เครื่องมือติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานของดีซีเอส.....	47
4.1.2 การออกแบบและติดตั้งระบบควบคุม.....	55
4.1.3 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า.....	57
4.1.4 ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยในกระบวนการผลิตของดีซีเอส.....	58
4.1.5 เครื่องมือเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการของดีซีเอส.....	59
4.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของ DCS ในปัจจุบัน.....	62
บทที่ 5 การออกแบบตัวควบคุมและนำไปใช้กับ DCS.....	64
5.1 โมเดลของกระบวนการอันดับสาม.....	64
5.2 วิธีการออกแบบ.....	65
5.3 การประยุกต์ใช้งาน DCS Function Block.....	71
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	78
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	78
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	78
เอกสารอ้างอิง.....	79

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก. Function Code Specification.....	81
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	95



สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

5.1 การตรวจสอบสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะ..... 73



VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพบล็อก	
(ก) แผนภาพบล็อกของระบบอันดับหนึ่ง.....	4
(ข) แสดงการลดรูปแผนภาพบล็อก.....	4
2.2 การตอบสนองต่ออินพุตขั้นบันไดหนึ่งหน่วยของระบบอันดับหนึ่ง.....	6
2.3 การตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่อสัญญาณลาดเอียงความชันหนึ่งหน่วย.....	7
2.4 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ของระบบอันดับหนึ่ง.....	8
2.5 แสดงวงจรทางไฟฟ้า.....	8
2.6 การตอบสนองของระบบอันดับสองเมื่ออินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย.....	12
2.7 การตอบสนองต่ออินพุตแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วยของระบบควบคุม.....	14
2.8 แสดงการหาค่ามุม β	16
2.9 เส้นโค้งเอนVELOPEของการตอบสนองชั่วคราวที่ใช้หาค่า t_r	18
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง t_r กับ ζ	19
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M_p กับ ζ	20
2.12 แสดงแผนภาพบล็อกของระบบอันดับสอง.....	20
2.13 พิจารณาการหาผลตอบสนองของระบบ.....	23
(ก) แสดงฟังก์ชันถ่ายโอน.....	23
(ข) ตำแหน่งโพลและซีโรบนระนาบ-เอส.....	23
2.14 แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งโพลและซีโรบนระนาบ-เอส กับการตอบสนอง.....	24
2.15 แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งโพลกับการตอบสนองของระบบอันดับสอง.....	25
2.16 ผลตอบสนองของระบบที่มีโพลสามตัว.....	27
(ก) ตำแหน่งโพล.....	27
(ข) การตอบสนองที่แสดงอิทธิพลของโพลตัวที่สามกับคูโพลเด่น.....	27
2.17 แสดงผลของการเพิ่มซีโรในระบบที่มีโพลสองตัว.....	29
3.1 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ.....	31
3.2 แสดงค่าต่างๆของระบบต่อการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบ Unit Step.....	33
3.3 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional.....	35
3.4 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Integral.....	36
3.5 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Derivative.....	37
3.6 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative.....	38
3.7 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบ PID \times (n-2) stage PD.....	40
4.1 ห่วงควบคุมแบบติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์.....	45
4.2 โครงสร้างของดีซีเอสอาร์แรก.....	46

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.3 อุปกรณ์และเครื่องมือบนแผงควบคุมของโรงงานอุตสาหกรรม.....	48
4.4 เครื่องบันทึกสัญญาณ.....	50
4.5 การติดตั้งดีซีเอสควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม.....	51
4.6 การติดตั้งสายสัญญาณของระบบควบคุมแบบต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม.....	55
4.7 เครื่องมือภายในของดีซีเอส.....	56
4.8 การขยายระบบควบคุมของดีซีเอส.....	57
4.9 เครื่องมือเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการของดีซีเอส.....	60
4.10 เครื่องมือเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการผลิต.....	61
4.11 DCS Architecture.....	62
5.1 Three Tanks System	64
5.2 แผนผังของ Pole และ Zero.....	67
5.3 การกำหนดมุมของ PD's zero.....	68
5.4 การกำหนดตำแหน่งของ PD's zero.....	69
5.5 Root loci ใน s-Plane.....	70
5.6 Function Code 3 – Lead/Lag.....	71
5.7 Logic Diagram for PID Only or PID and PD Cascade by selector switch.....	74
5.8 CAD Program for PID Only or PID and PD Cascade by selector switch.....	75
5.9 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID อย่างเดียวที่ Setpoint 50%.....	76
5.10 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID × (n-2) Stage PD ที่ Setpoint 50%.....	76
5.11 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID อย่างเดียวที่ Setpoint 80%.....	77
5.12 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID × (n-2) Stage PD ที่ Setpoint 80%.....	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตัวควบคุม PID ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1939 [1] ถึงแม้ว่าในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทำให้เกิดหลักการและทฤษฎีการควบคุมแบบใหม่ๆ ที่สามารถใช้ควบคุมกระบวนการที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การควบคุมกระบวนการแบบ PID (Proportional-Integral-Derivative) ก็ยังคงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย ทั้งนี้ก็เพราะตัวควบคุมมีโครงสร้างการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการออกแบบและนำมาใช้งาน รวมถึงการบำรุงรักษา และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับตัวควบคุมก็ทำได้โดยง่าย เช่น วิธีการของ *Ziegler-Nichols* [2], วิธีของ G.H. Cohen และ G.A. Coon [3], วิธี Damped Oscillation ของ Harriott [4] และอีกวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยม คือการออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีทางเดินของราก [5] แต่เป็นที่แน่ชัดแล้วว่า PID controller นั้นเหมาะสำหรับ second order plant ทั่วไป แต่เป็นเรื่องยากที่จะใช้เพียงแค่ PID controller กับ third or higher order plant เพราะว่าลำดับของ Plant นั้นมากกว่าจำนวนของ Zero ของ PID controller [6] นั่นเอง ปัจจุบันในการออกแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้เหมาะสมและได้ผลตอบสนองของกระบวนการที่ดีที่สุดนั้นมีหลายวิธี แต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมสำหรับแต่ละระบบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและรูปแบบของระบบที่ต้องการควบคุม [7] ซึ่งท่าน รศ.ดร.กิตติ ตีระเศรษฐ์ ก็เป็นผู้หนึ่งที่ได้นำเสนอวิธีการง่ายๆ ในการหาค่าตำแหน่งของ Zero ทั้งหมดจากเพิ่มตัวควบคุมแบบ PD (Proportional-Derivative) จำนวน $n-2$ ภาค เพื่อนำไปอนุกรมกับตัวควบคุมแบบ PID สำหรับการออกแบบตัวควบคุมสำหรับกระบวนการอันดับ n ที่เรียกว่า “*Kittis' s Method*” โดยตัวควบคุมแบบนี้จะถูกเรียกว่า “*ตัวควบคุมแบบพีโอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาค*” โดยมีความมุ่งหวังเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบโดยรวม ทั้งช่วยลดช่วงเวลาการตอบสนองของระบบ ลดค่าพุงเกิน รวมทั้งทำให้ระบบสามารถเข้าสู่สถานะอยู่ตัวได้เร็วขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความมุ่งหวังเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบโดยรวมของกระบวนการอันดับสามให้ระบบสามารถเข้าสู่สถานะอยู่ตัวได้เร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ PID

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลตอบสนองที่ได้ทั้งจากตัวควบคุมแบบ PID และ ตัวควบคุมแบบ $PID \times (n-2)$ Stage PD

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เนื่องจากกระบวนการอันดับสามนั้นมีโพลของกระบวนการอยู่สามตัว แต่ซีโรที่ได้จากตัวควบคุมแบบ PID นั้นมีเพียงสองตัว ซึ่งทำให้ยากต่อการควบคุมกระบวนการให้มีผลตอบสนองที่ดีและมี

เสถียรภาพเพียงพอ ดังนั้นการนำวิธีการของตัวควบคุมแบบพีโอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาคมาช่วยในการออกแบบตัวควบคุมจะช่วยเพิ่มจำนวนซีโรเท่ากับ $n-1$ ซึ่งจะช่วยให้ระบบมีผลตอบสนองและเสถียรภาพที่ดีขึ้นนั่นเอง

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การนำวิธีการของตัวควบคุมแบบพีโอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาคมาช่วยในการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินรานั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบตัวควบคุมที่แน่นอนก่อน เพื่อจะสามารถออกแบบได้โดยการใช้ความสัมพันธ์ของปริมาณเชิงซ้อน ซึ่งสามารถแยกออกเป็นสองสมการเงื่อนไข ได้แก่ เงื่อนไขของมุม (Angle Condition) และ เงื่อนไขของขนาด (Magnitude Condition)

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาตัวควบคุมแบบ PID ในตอนต้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาวิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีโอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาคด้วยหลักการของทางเดินราก แล้วจึงนำไปประยุกต์ใช้งานบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) และเปรียบเทียบผลตอบสนองที่ได้ระหว่างตัวควบคุมแบบ PID กับตัวควบคุมแบบพีโอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาค

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนในการศึกษา โดยเริ่มจากการศึกษาหลักการและคุณลักษณะของตัวควบคุมแบบ PID รวมทั้งหลักในการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID ในกระบวนการอันดับหนึ่งและสองด้วยวิธีทางเดินราก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาวิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีโอดีคาสเคดกับตัวควบคุมแบบพีดีจำนวน $n-2$ ภาค รวมทั้งศึกษาวิธีการนำไปประยุกต์ใช้งานบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) โดยมีเนื้อหาในแต่ละบทของวิทยานิพนธ์ ดังนี้

- บทที่ 1 กล่าวถึงแนวคิด วัตถุประสงค์ในการศึกษา ขอบเขตและขั้นตอนในการศึกษาสำหรับงานวิจัย
- บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการ คุณสมบัติและผลตอบสนองต่อเงื่อนไขในการออกแบบที่สภาวะต่างๆ ของกระบวนการอันดับหนึ่งและสอง
- บทที่ 3 กล่าวถึงโครงสร้างของตัวควบคุมแบบ PID และตัวควบคุมแบบ PIDA เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาตัวควบคุมแบบ PID \times ($n-2$) stage PD โดยใช้หลักการทางเดินรากในการออกแบบ
- บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID \times ($n-2$) stage PD จากเงื่อนไขที่ต้องการ และการนำไปประยุกต์ใช้งานบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS)
- บทที่ 5 กล่าวถึงผลสรุปของการวิจัยและข้อเสนอแนะเพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาการออกแบบระบบควบคุมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตอบสนองทางพลวัตของระบบ (System Dynamic and Response)

ในการออกแบบระบบพลวัต เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ เมื่อได้แบบจำลองมาแล้วจะสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบออกมาได้โดยใช้ทฤษฎีต่างๆ ซึ่งมีอยู่หลากหลายวิธี ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมจะอาศัยการเปรียบเทียบคุณลักษณะของระบบควบคุมแบบต่างๆ โดยการกำหนดคุณสมบัติของสัญญาณอินพุตที่จะใช้ทดสอบ และเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบกับสัญญาณอินพุตเหล่านั้น

ชนิดของสัญญาณอินพุตที่ใช้ทดสอบ สัญญาณอินพุตที่นิยมใช้ทดสอบโดยทั่วไปประกอบด้วย สัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย (unit-step) สัญญาณลาดเอียงความชันหนึ่งหน่วย (unit-ramp) สัญญาณอิมพัลส์ (impulse) เป็นต้น ด้วยสัญญาณที่ใช้ทดสอบเหล่านี้ การวิเคราะห์ระบบควบคุมโดยอาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์และจากผลการทดลองสามารถทำได้โดยง่าย เนื่องจากสัญญาณที่ใช้มีรูปแบบไม่ยุ่งยาก การเลือกสัญญาณอินพุตที่จะใช้ในการทดสอบระบบอาจกำหนดได้จากรูปแบบอินพุตของระบบภายใต้สภาวะการทำงานปกติ เช่น ถ้าอินพุตของระบบควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงค่าเพิ่มหรือลดลงในอัตราสม่ำเสมอเป็นฟังก์ชันของเวลา อาจใช้สัญญาณอินพุตแบบลาดเอียงทดสอบระบบ ทำนองเดียวกันถ้ามีการรบกวนหรือมีการเปลี่ยนแปลงอินพุตทันทีทันใด อาจจะใช้สัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วยในการทดสอบ ถ้าต้องการทราบว่าระบบตอบสนองอย่างไรต่อการกระแทก จะใช้สัญญาณอินพุตแบบอิมพัลส์ โดยที่พัลส์ดังกล่าวต้องมีขนาดที่สูงมาก และมีความกว้างน้อยมาก

การตอบสนองชั่วคราว (Transient Response) และการตอบสนองในสถานะอยู่ตัว (Steady State Response) การตอบสนองทางเวลาของระบบควบคุมประกอบด้วยสองส่วนคือ การตอบสนองชั่วคราว และการตอบสนองในสถานะอยู่ตัว โดยที่การตอบสนองชั่วคราว หมายถึงการตอบสนองที่สถานะเริ่มต้น (Initial State) ไปยังสถานะสุดท้าย (Final State) เมื่อเวลาผ่านไปเนิ่นนาน ($t \rightarrow \infty$) จะสลายตัวไป ส่วนการตอบสนองในสถานะอยู่ตัว หมายถึงการตอบสนองที่ค่าเวลามีค่ามากหรือเข้าใกล้ค่าอนันต์ โดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับอินพุตแต่ขึ้นอยู่กับระบบว่ามีธรรมชาติอย่างไร มีแบบจำลองเช่นใด ในการออกแบบระบบควบคุมต้องสามารถทำนายคุณลักษณะของระบบพลวัต (Dynamic behavior) โดยอาศัยส่วนประกอบต่างๆ ของระบบคุณลักษณะที่สำคัญของระบบควบคุม คือ เสถียรภาพสัมบูรณ์ (Absolute Stability) ซึ่งสามารถที่จะบอกได้ว่าระบบมีเสถียรภาพ (Stable) หรือขาดเสถียรภาพ (Unstable) เช่น ถ้ามีการรบกวนจากภายนอกมาทำให้เอาต์พุตของระบบมีการเปลี่ยนแปลง ถ้าการรบกวนนั้นหยุดเข้ามาบรรจบภายในระบบในระยะเวลาหนึ่งแล้วเอาต์พุตของระบบกลับมามา งานได้อีกครั้ง แสดงว่าระบบนั้นมีเสถียรภาพ แต่ถ้าการรบกวนจากภายนอก ทำให้ระบบมีการสั่นไหว (Oscillation) คงที่ หรือ เอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไม่เข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่งแสดงว่าระบบขาดเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

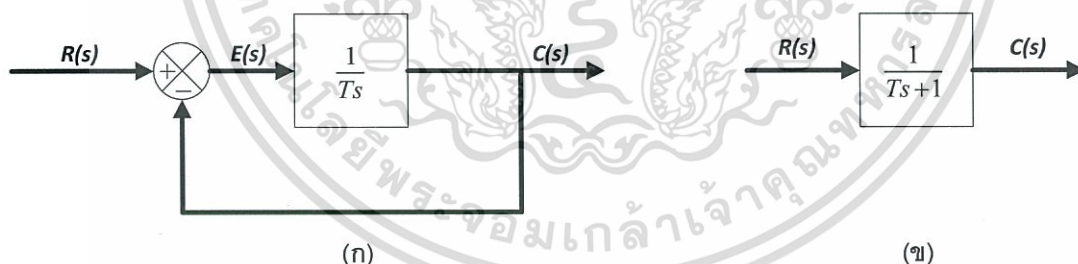
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตอบสนองของระบบควบคุมเชิงเส้นที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยพิจารณาสัญญาณอินพุตแบบต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.2 ระบบอันดับหนึ่ง

พิจารณาระบบอันดับหนึ่ง (first-order system) ในรูปที่ 2.1(ก) ระบบนี้อาจแสดงถึงวงจรรอนุกรมตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุ หรือระบบอื่นที่แสดงในรูปของสมการอันดับหนึ่ง รูปที่ 2.1 (ข) แสดงการลดรูปแผนภาพบล็อก จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของระบบคือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts + 1} \quad (2.1)$$

เมื่อพิจารณาการตอบสนองของระบบต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย อินพุตแบบลาดเอียงและสัญญาณอิมพัลส์ โดยกำหนดให้เงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของเอาต์พุตกับอินพุตแบบต่างๆ ดังที่จะกล่าวต่อไปโดยมีข้อสังเกต คือ ทุกระบบไม่ว่าจะเป็นระบบใดก็ตาม ถ้าหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วพบว่า มีฟังก์ชันถ่ายโอนเหมือนกันจะแสดงการสนองที่เหมือนกัน เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตแบบเดียวกัน



รูปที่ 2.1 (ก) แผนภาพบล็อกของระบบอันดับหนึ่ง

(ข) แสดงการลดรูปแผนภาพบล็อก

2.2.1 การตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

ผลการแปลงลาปลาซของฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย คือ $\frac{1}{s}$ ดังนั้นแทนค่า $R(s) = \frac{1}{s}$ ลงในสมการ (2.1) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C(s) = \frac{1}{Ts+1} \times \frac{1}{s} \quad (2.2)$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของการกระจายเศษส่วนย่อยได้คือ

$$C(s) = \frac{1}{s} - \frac{T}{Ts+1}$$

$$C(s) = \frac{1}{s} - \frac{T}{s + (\frac{1}{T})} \quad (2.3)$$

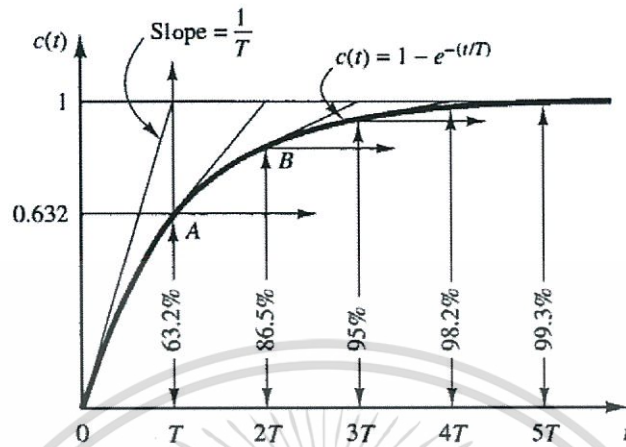
จากสมการ (2.3) อาศัยการแปลงกลับลาปลาซ หาค่าเอาต์พุต $c(t)$ ได้ดังนี้

$$c(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} ; t \geq 0 \quad (2.4)$$

จากสมการ (2.4) จะเห็นว่าที่สถานะเริ่มต้น ($t = 0$) เอาต์พุต $c(t)$ มีค่าเป็นศูนย์ และที่การตอบสนองท้ายสุด ($t \rightarrow \infty$) มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง คุณลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ การตอบสนองของเอาต์พุตที่เวลา $t = T$ จะแสดงค่าเอาต์พุต $c(t) = 0.632$ หรือการตอบสนองจะมีค่า 63.2% ของค่าท้ายสุด เมื่อแทน $t = T$ จะได้

$$c(T) = 1 - e^{-1} = 0.632 \quad (2.5)$$

สังเกตว่าถ้าค่าคงตัวทางเวลา (Time constant หรือ T) มีค่าน้อย การตอบสนองของระบบจะเร็วขึ้น การตอบสนองในสมการ (2.4) แสดงดังรูปที่ 2.2 ที่ค่าเวลา T การตอบสนองจะมีค่าจาก 0 ถึง 63.2% ของค่าท้ายสุด ที่ค่าเวลา $2T$ การตอบสนองจะมีค่า 86.5% ของค่าท้ายสุด ที่ค่าเวลา $t = 3T, 4T$ และ $5T$ การตอบสนองจะมีค่า 95%, 98.2% และ 99.3% ของค่าท้ายสุดตามลำดับ



รูปที่ 2.2 การตอบสนองต่ออินพุตขั้นบันไดหนึ่งหน่วยของระบบอันดับหนึ่ง (K. Ogata, 1997 : 137)

โดยที่เมื่อ $t \geq 4T$ การตอบสนองจะอยู่ในช่วง 2% ของค่าสุดท้าย และค่าความชันของกราฟ ที่ค่าเวลา $t = 0$ คือ

$$\left. \frac{dc}{dt} = \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}} \right|_{t=0} = \frac{1}{T} \quad (2.6)$$

2.2.2 การตอบสนองต่อสัญญาณลาดเอียงความชันหนึ่งหน่วย

ผลการแปลงลาปลาซของฟังก์ชันลาดเอียงหนึ่งหน่วย คือ $\frac{1}{s^2}$ ดังนั้นแทนสัญญาณอินพุต $R(s) = \frac{1}{s^2}$ จากระบบในรูปที่ 2.1 (ก) จะได้เอาต์พุตของระบบคือ

$$C(s) = \frac{1}{Ts+1} \times \frac{1}{s^2} \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.8) อาศัยการแปลงกลับลาปลาซ

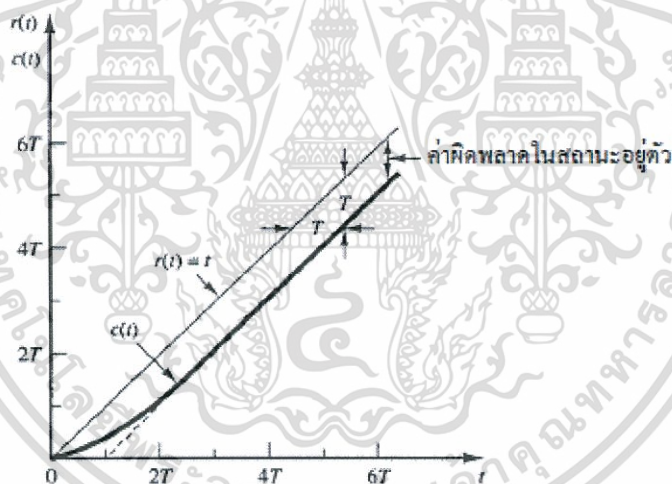
$$c(t) = t - Te^{-\frac{t}{T}} ; t \geq 0 \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณผิดพลาด (Error signal หรือ $e(t)$) คือ ผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุต สามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} e(t) &= r(t) - c(t) \\ &= T(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \end{aligned} \quad (2.10)$$

เมื่อเวลาผ่านไปเนิ่นนาน ($t \rightarrow \infty$) เทอม $e^{-\frac{t}{T}}$ จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และค่าผิดพลาดจะเข้าใกล้ค่าคงตัวทางเวลา หรือ $e(\infty) = T$ การตอบสนองแสดงดังรูปที่ 2.3 จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตของระบบจะติดตามสัญญาณอินพุต โดยมีค่าผิดพลาดคงที่เท่ากับ T เมื่อ t มีค่ามาก ดังนั้นถ้าค่า T มีค่าน้อยจะทำให้ค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าน้อย



รูปที่ 2.3 การตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่อสัญญาณลาดเอียงความชันหนึ่งหน่วย

(K. Ogata, 1997 : 139)

2.2.3 การตอบสนองต่อสัญญาณอิมพัลส์หนึ่งหน่วย

เมื่ออินพุตเป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย นั่นคือ $R(s) = 1$ จะได้เอาต์พุตของระบบในรูป ที่ 2.1 คือ

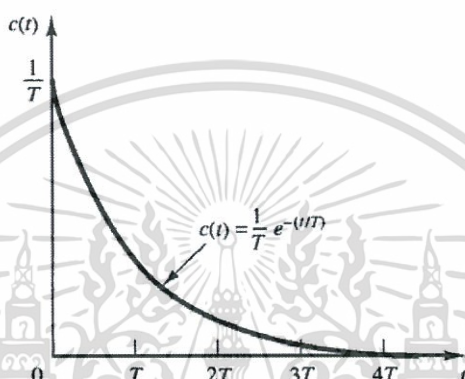
$$C(s) = \frac{1}{Ts + 1} \quad (2.11)$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c(t) = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} ; t \geq 0 \quad (2.12)$$

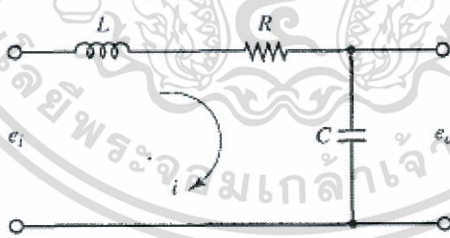
จะได้การตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ของระบบอันดับหนึ่ง (K. Ogata, 1997 :

139)

2.3 ระบบอันดับสอง



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรทางไฟฟ้า

ระบบอันดับสอง (Second-order system) คือ ระบบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตได้โดยสมการอนุพันธ์อันดับสอง และเป็นระบบที่พบค่อนข้างบ่อยในระบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นระบบทางไฟฟ้า ระบบทางกล หรือ ระบบอื่นๆ แม้แต่ในระบบอันดับสูงๆ บางครั้งยังใช้การประมาณค่าให้เป็นระบบอันดับสองในการวิเคราะห์ ดังนั้นสามารถศึกษาการตอบสนองของระบบอันดับสองต่อสัญญาณอินพุตที่มีรูปแบบต่างๆ เช่นเดียวกับกับระบบอันดับหนึ่ง พิจารณาวงจรทางไฟฟ้าในรูปที่ 2.5 ซึ่งสามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = G(s) = \frac{1}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}} \quad (2.13)$$

จากสมการ (2.13) เมื่อเขียนแสดงฟังก์ชันถ่ายโอนในรูปแบบมาตรฐาน (standard form) ที่อยู่ในรูปอัตราส่วนการหน่วง (damping ratio หรือ ζ) และค่าความถี่ธรรมชาติ (natural frequency หรือ ω_n) บอกถึงคุณลักษณะการตอบสนองของระบบอันดับสอง โดยที่รูปแบบมาตรฐานของระบบอันดับสองสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{C(s)}{R(s)} = G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.14)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการ (2.13) กับสมการ (2.14) จะได้ว่า

$$\omega_n^2 = \frac{1}{LC}$$

และ

$$2\zeta\omega_n = \frac{R}{L}$$

นั่นคือ

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\zeta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2.15)$$

การตอบสนองทางพลวัตของระบบอันดับสองสามารถอธิบายได้ในรูปของค่า ζ และ ω_n จากสมการ (2.14) ถ้า $0 < \zeta < 1$ รากของสมการหรือโพล (pole) ของระบบป้อนกลับจะเป็นค่าเชิงซ้อนอยู่ทางฝั่งซ้ายของระนาบ-เอส จะเรียกระบบนี้ว่า ระบบที่มีการตอบสนองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤต (Underdamped response) การตอบสนองชั่วครู่จะเกิดการสั่นไหว ถ้า $\zeta = 1$ โพลของระบบเป็นค่าจริงซ้ำกัน จะเรียกระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบนี้ว่าระบบที่มีการตอบสนองแบบหน่วงวิกฤต (critically damped response) และจะเรียกว่าเป็นระบบที่มีการตอบสนองแบบหน่วงเกิน (overdamped response) กรณีที่ค่า $\zeta > 1$ หรือโพลของระบบเป็นค่าจริงไม่ซ้ำกัน โดยที่สองกรณีหลัง การตอบสนองชั่วคราวของระบบจะไม่มีแกว่ง และในกรณีที่ $\zeta = 0$ โพลของระบบเป็นค่าจินตภาพ จะเรียกระบบแบบนี้ว่าเป็นระบบที่มีการตอบสนองแบบสั่นไกวคงตัว (undamped oscillatory response) ทา ให้การตอบสนองของระบบสั่นไกวคงที่อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการพิจารณาการตอบสนองของระบบอันดับสองต่อสัญญาณอินพุตขั้นบันไดหนึ่งหน่วย สามารถแบ่งเป็น 3 กรณีคือ

2.3.1 การตอบสนองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤต เมื่อ $0 < \zeta < 1$

จากรูปแบบมาตรฐานของระบบอันดับสองในสมการ (2.14) สามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ดังนี้

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{(s + \zeta\omega_n + j\omega_d)(s + \zeta\omega_n - j\omega_d)} \quad (2.16)$$

โดยที่ $\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$ เมื่อ ω_d มีชื่อเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติแบบหน่วง (damped natural frequency) เมื่อกำหนดให้ $R(s)$ เป็นสัญญาณอินพุตขั้นบันไดหนึ่งหน่วยจะได้

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \times \frac{1}{s} \quad (2.17)$$

อาศัยการกระจายเศษส่วนย่อย สามารถเขียนสมการใหม่ได้ คือ

$$C(s) = \frac{1}{s} - \frac{s + 2\zeta\omega_n}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.18)$$

$$C(s) = \frac{1}{s} - \frac{s + \zeta\omega_n}{(s + \zeta\omega_n)^2 + \omega_d^2} - \frac{\zeta\omega_n}{(s + \zeta\omega_n)^2 + \omega_d^2}$$

ดังนั้นการตอบสนอง $c(t)$ สามารถหาได้จากการแปลงกลับลาปลาซสมการ (2.18) คือ

$$L^{-1}[C(s)] = c(t) = 1 - e^{-\zeta\omega_n t} \left(\cos \omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \omega_d t \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\left(\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right) ; t \geq 0 \quad (2.19)$$

จากสมการ (2.19) จะเห็นว่า การสั่นไกวของผลตอบสนองชั่วคราวจะเปลี่ยนแปลงตามค่า ζ สัญญาณผิดพลาดของระบบหรือผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต เขียนได้ดังนี้

$$e(t) = r(t) - c(t) \\ = e^{-\zeta\omega_n t} \left(\cos \omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \omega_d t \right) ; t \geq 0 \quad (2.20)$$

จากสมการ (2.20) ที่สถานะอยู่ตัวหรือที่ค่าเวลา $t = \infty$ จะไม่มีค่าผิดพลาด และถ้า $\zeta = 0$ การตอบสนองจะเป็นแบบสั่นไกวคงตัว สามารถหาได้โดยการแทนค่า $\zeta = 0$ ลงในสมการ (2.19) คือ

$$c(t) = 1 - \cos \omega_n t ; t \geq 0 \quad (2.20)$$

2.3.2 การตอบสนองแบบหน่วงวิกฤต เมื่อ $\zeta = 1$

จากสมการ (2.14) เมื่อค่า $\zeta = 1$ ค่าโพลของระบบจะเป็นค่าจริงซ้ำกัน การตอบสนองของระบบอันดับสองเมื่ออินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วยจะแสดงได้คือ

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \omega_n)^2} \times \frac{1}{s} \quad (2.22)$$

อาศัยการแปลงกลับลาปลาซจะได้

$$c(t) = 1 - e^{-\omega_n t} (1 + \omega_n t) ; t \geq 0 \quad (2.23)$$

2.3.3 การตอบสนองแบบหน่วงเกิน เมื่อ $\zeta > 1$

ในกรณีที่ค่าโพลทั้งสองของระบบเป็นค่าจริงไม่ซ้ำกัน จะได้การตอบสนองของระบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \zeta\omega_n + \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1})(s + \zeta\omega_n - \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1})} \times \frac{1}{s} \quad (2.24)$$

จากสมการ (2.24) อาศัยการแปลงกลับลาปลาซจะได้

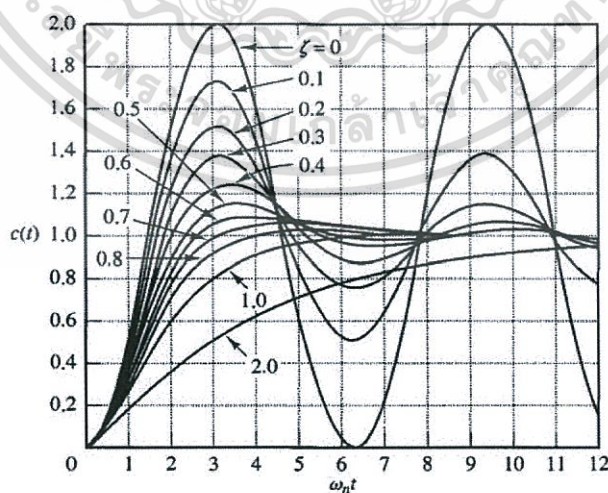
$$c(t) = 1 + \frac{1}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})} e^{-(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} - \frac{1}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})} e^{-(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} \quad (2.25)$$

หรือ

$$c(t) = 1 + \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}} \left(\frac{e^{-s_1 t}}{s_1} - \frac{e^{-s_2 t}}{s_2} \right) ; t \geq 0 \quad (2.26)$$

โดยที่ $s_1 = (\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n$ และ $s_2 = (\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n$ นั่นคือการตอบสนองของระบบ จะประกอบด้วยเทอมของเอกซ์โพเนนเชียลสองเทอมที่มีค่าลดลงตามเวลา

จากสมการ (2.19), (2.23) และ (2.26) จะได้การตอบสนองของระบบอันดับสองเมื่อ ζ มีค่าต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยที่ระบบอันดับสองมีค่า ζ เท่ากัน แต่ค่า ω_n ต่างกันจะแสดงค่าพุ่งเกิน (overshoot) และการสั่นไหวที่เหมือนกัน ซึ่งกล่าวได้ว่าระบบมีเสถียรภาพที่สัมพันธ์กัน



รูปที่ 2.6 การตอบสนองของระบบอันดับสองเมื่ออินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

(K. Ogata, 1997 : 149)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าระบบเป็นแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤต เมื่อค่า ζ อยู่ระหว่าง 0.5-0.8 การตอบสนองจะเข้าสู่ค่าท้ายสุดได้เร็วกว่าระบบแบบหน่วงวิกฤต หรือแบบหน่วงเกิน การตอบสนองของระบบในกรณีที่ไม่มี การสั่นไหว การตอบสนองแบบหน่วงวิกฤตจะแสดงการตอบสนองเร็วที่สุด และระบบที่มีการตอบสนองแบบหน่วงเกินจะแสดงการตอบสนองที่ช้า

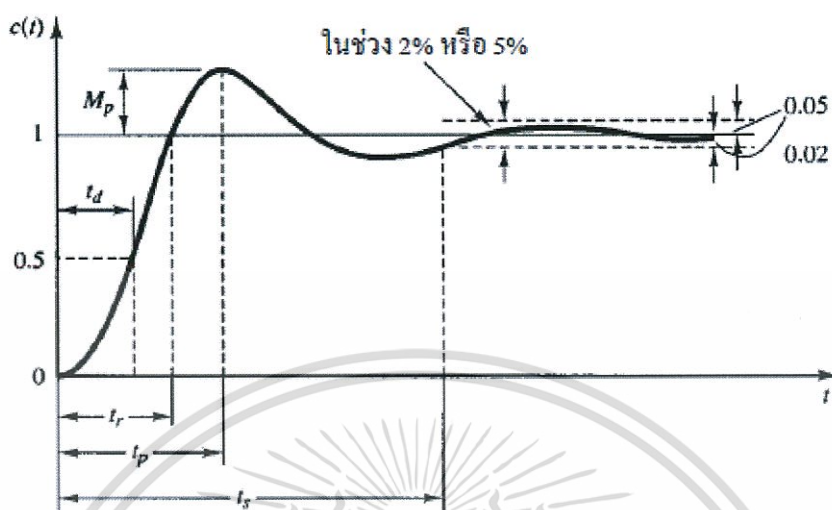
2.4 ข้อกำหนดของการตอบสนองชั่วคราว

การออกแบบระบบควบคุมให้มีสมรรถนะตามต้องการจะกำหนดตามข้อกำหนดของการตอบสนอง (response specification) โดยทั่วไประบบไม่สามารถตอบสนองได้อย่างทันทีไม่ว่าจะเป็น การตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต หรือการรบกวน โดยจะแสดงการตอบสนองชั่วคราว ซึ่งอาจมีการสั่นไหวหรือมีการหน่วงในช่วงแรก ก่อนที่จะเข้าสู่การตอบสนองในสถานะอยู่ตัวเมื่อเวลาผ่านไปชั่วเวลาหนึ่ง การกำหนดคุณลักษณะของระบบควบคุมจะอยู่ในรูปของการตอบสนองชั่วคราวต่ออินพุตแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

1. เวลาประวิง (delay time หรือ t_d) คือช่วงเวลาที่การตอบสนองมีค่าครึ่งหนึ่งของค่าท้ายสุด
2. ช่วงเวลาขึ้น (rise time หรือ t_r) คือช่วงเวลาที่การตอบสนองได้ระดับจาก 10% ถึง 90% หรือ 5% ถึง 95% หรือ 0 % ถึง 100 % ของค่าสุดท้ายสำหรับระบบอันดับสอง กรณีการตอบสนองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤตจะใช้ช่วงเวลาขึ้นจาก 0% ถึง 100% ของค่าสุดท้าย และ สำหรับกรณีหน่วงเกินจะใช้ 10% ถึง 90% ของค่าสุดท้าย
3. ช่วงเวลาขนาดสูงสุด (peak time หรือ t_p) คือช่วงเวลาที่การตอบสนองมีค่าขนาดสูงสุด
4. ค่าพุ่งเกินสูงสุด (maximum overshoot หรือ M_p) คือค่าสูงสุดของการตอบสนองที่วัดจากค่าสุดท้าย หรือค่าสูงสุดของการตอบสนองที่วัดจากหนึ่งถ้าการตอบสนองในสถานะอยู่ตัวของระบบมีค่าเป็น 1 หรือสามารถหาค่าพุ่งเกินสูงสุดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้คือ

$$\text{Maximum Overshoot (\%)} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.27)$$

5. ช่วงเวลาเข้าที่ (settling time หรือ t_s) คือช่วงเวลาที่การตอบสนองเริ่มเข้าสู่ค่าสุดท้ายภายในช่วงที่กำหนด ปกติจะกำหนดที่ 2% หรือ 5% ของค่าสุดท้าย



รูปที่ 2.7 การตอบสนองต่ออินพุตแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วยของระบบควบคุม

(K. Ogata, 1997 : 151)

ข้อกำหนดของการตอบสนองชั่วคราวของระบบควบคุม ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานระบบควบคุมเป็นหลัก โดยทั่วไประบบควรมีการตอบสนองที่รวดเร็ว นั่นคือ ผลตอบสนองต้องเร็วเพียงพอ และมีอัตราการหน่วงที่เหมาะสม ดังนั้นการตอบสนองชั่วคราวของระบบอันดับสอง ค่า ζ ควรจะอยู่ ระหว่าง 0.4 ถึง 0.8 ถ้าค่า ζ มีค่าน้อย ($\zeta < 0.4$) การตอบสนองจะมีค่าพุ่งเกินสูงเกินไป และถ้า ζ ระบบมีค่ามาก ($\zeta > 0.8$) ระบบจะตอบสนองต่ออินพุตได้ช้า พิจารณารูปที่ 2.6 จะเห็นว่าไม่สามารถทำให้ทั้งค่าพุ่งเกินและช่วงเวลาขึ้นมีค่าน้อยได้ทั้งคู่ ถ้าค่าใดค่าหนึ่งมีค่าน้อยอีกค่าจะมีค่ามาก นั่นคือถ้าต้องการให้ระบบมีการตอบสนองที่เร็วหรือช่วงเวลาขึ้นน้อย ค่าพุ่งเกินของระบบจะมีค่ามาก เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของระบบเพื่อลดค่าพุ่งเกินให้มีค่าน้อยลงจะมีผลทำให้การตอบสนองของระบบช้าลง หรือช่วงเวลาขึ้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อกำหนดคุณลักษณะของการตอบสนองชั่วคราวของระบบควบคุมอันดับสองต่อสัญญาณอินพุตขั้นบันไดหนึ่ง หน่วย อาศัยสมการของระบบอันดับสองในรูปแบบมาตรฐาน สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ ในรูปของค่า ζ และ ω_n โดยกำหนดให้ระบบมีการตอบสนองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤต

2.4.1 ช่วงเวลาขึ้น (t_r)

อาศัยสมการ (2.19) เลือกใช้ช่วงเวลาที่การตอบสนองได้ระดับจาก 0% ถึง 100% ของการตอบสนองในสถานะอยู่ตัว จะหาค่า t_r ได้โดยการแทนค่า $c(t_r) = 1$ นั่นคือ

$$c(t_r) = 1 = 1 - e^{-\zeta\omega_n t_r} \left(\cos \omega_d t_r + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \omega_d t_r \right) \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $e^{-\zeta\omega_n t_r} \neq 0$ ดังนั้นเทอมในวงเล็บของสมการ (2.28) มีค่าเป็นศูนย์ จะได้

$$\cos \omega_d t_r + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \omega_d t_r = 0 \quad (2.29)$$

สามารถเขียนใหม่ได้คือ

$$\tan \omega_d t_r = -\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} = -\frac{\omega_d}{\sigma} \quad (2.30)$$

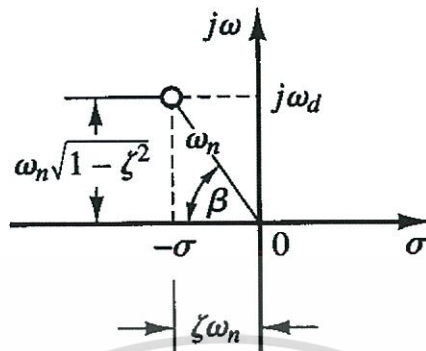
เมื่อ

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2} \text{ และ } \sigma = \zeta \omega_n$$

ดังนั้น

$$t_r = \frac{1}{\omega_d} \tan^{-1} \left(-\frac{\omega_d}{\sigma} \right) = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \quad (2.31)$$

โดยที่ค่า β กำหนดได้ดังรูปที่ 2.8 ถ้าต้องการให้ t_r มีค่าน้อย ω_d จะต้องมิตามาก



รูปที่ 2.8 แสดงการหาค่ามุม β (K. Ogata, 1997 : 152)

2.4.2 ช่วงเวลาขนาดสูงสุด (t_p)

ทำนองเดียวกัน อาศัยสมการ (2.19) หาค่า t_p ได้ โดยหาค่าอนุพันธ์ของ $c(t) = 0$ จะได้

$$\frac{dc}{dt} = \zeta\omega_n e^{-\zeta\omega_n t} \left(\cos\omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\omega_d t \right) + e^{-\zeta\omega_n t} \left(\omega_d \sin\omega_d t - \frac{\zeta\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cos\omega_d t \right) \quad (2.32)$$

เทอม \cos ในสมการ (2.32) สามารถหักล้างกันได้ ช่วงเวลาที่ทำให้ค่าอนุพันธ์ $\frac{dc}{dt} = 0$ คือค่าเวลา $t = t_p$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการใหม่ได้ คือ

$$\left. \frac{dc}{dt} \right|_{t=t_p} = (\sin\omega_d t_p) \frac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t_p} = 0 \quad (2.33)$$

จะได้ $\sin\omega_d t_p = 0$ หรือ $\omega_d t_p = 0, \pi, 2\pi, 3\pi$ เนื่องจากช่วงเวลาที่มีการตอบสนองมีขนาดสูงสุดเกิดขึ้นที่ $\omega_d t_p = \pi$ ดังนั้น

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} \quad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ค่าพุงเกินสูงสุด (M_p)

ค่าพุงเกินสูงสุดเกิดขึ้นที่ช่วงเวลา $t = t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$ ดังนั้นจากสมการ (2.19) หาค่า M_p ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 M_p &= c(t_p) - 1 \\
 &= -e^{-\zeta\omega_n\left(\frac{\pi}{\omega_d}\right)} \left(\cos \pi + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \pi \right) \\
 &= -e^{-\sigma\left(\frac{\pi}{\omega_d}\right)} \\
 &= -e^{-\left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)\pi}
 \end{aligned} \tag{2.35}$$

คำนวณเปอร์เซ็นต์การพุงเกินได้คือ

$$\%M_p = -e^{-\sigma\left(\frac{\pi}{\omega_d}\right)} \times 100$$

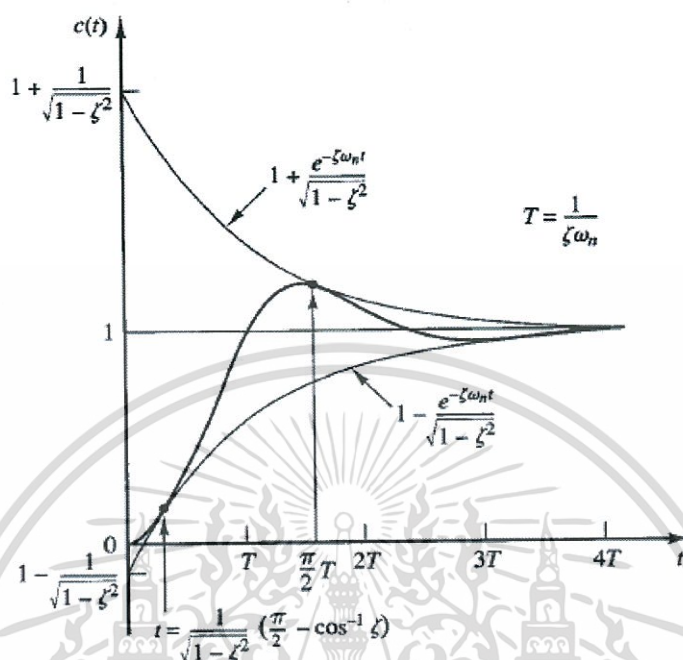
2.4.4 ช่วงเวลาเข้าที่ (t_s)

การหาช่วงเวลาเข้าที่สำหรับระบบอันดับสองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤต พิจารณาได้จากการตอบสนองชั่วครู่ในสมการ (2.19) คือ

$$c(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{\zeta^2 - 1}} \sin\left(\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{\zeta^2 - 1}}{\zeta}\right) \quad ; t \geq 0$$

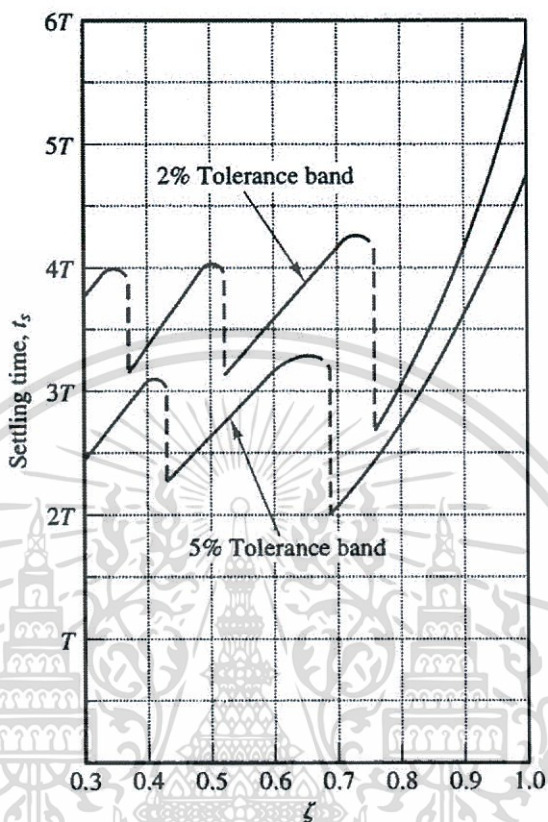
การหาค่า (t_s) จะพิจารณาจากเส้นโค้งเอนVELOPE (envelope curve) ของการตอบสนองชั่วครู่สำหรับ สัญญาณอินพุตขั้นบันไดหนึ่งหน่วยที่มีค่าคงตัวทางเวลาเท่ากับ $\frac{1}{\zeta\omega_n}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 เส้นโค้งเอนVELOPEของการตอบสนองชั่วคราวที่ใช้หาค่า t_s (K. Ogata, 1997 : 154)

ค่า t_s ที่กำหนดอยู่ในช่วง $\pm 2\%$ หรือ $\pm 5\%$ ของค่าสุดท้าย สามารถหาได้จาก $T = \frac{1}{\zeta\omega_n}$ ในรูปที่ 2.6 ตามการเปลี่ยนแปลงของค่า ζ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลา t_s กับค่า ζ แสดงดังรูปที่ 2.10 สำหรับค่า ζ ที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.9 ถ้าเลือกค่า t_s ในช่วง 2% จะประมาณค่า t_s ได้ประมาณ 4 เท่าของค่าคงตัวทางเวลา หรือ $t_s = 4T$ หรือ ถ้าเลือกพิจารณาช่วง 5% ค่า t_s จะประมาณ 3 เท่าของค่าคงตัวทางเวลา หรือ $t_s = 3T$ โดยค่า t_s จะมีค่าน้อยเมื่อค่า $\zeta = 0.76$ (เมื่อกำหนดในช่วง 2% ของค่าสุดท้าย) หรือ $\zeta = 0.68$ (เมื่อกำหนดในช่วง 5% ของค่าสุดท้าย)



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง t_s กับ ζ (K. Ogata, 1997 : 155)

ดังนั้นกำหนดค่า t_s ได้คือ

$$t_s = 4T = \frac{4}{\sigma} = \frac{4}{\zeta\omega_n} \text{ (กำหนดในช่วง 2\% ของค่าสุดท้าย)} \tag{2.36}$$

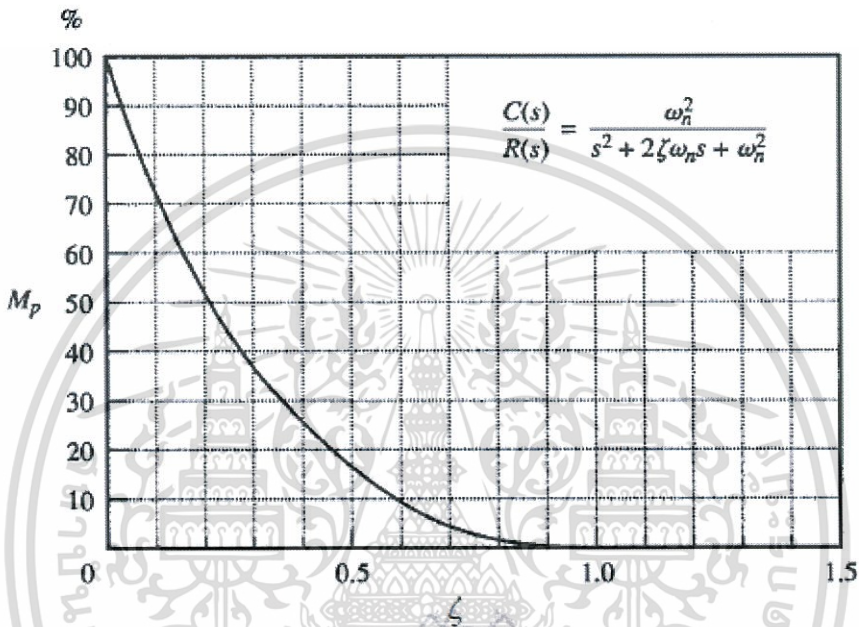
หรือ

$$t_s = 3T = \frac{3}{\sigma} = \frac{3}{\zeta\omega_n} \text{ (กำหนดในช่วง 5\% ของค่าสุดท้าย)} \tag{2.37}$$

จากข้อกำหนดการตอบสนองชั่วคราวที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าถ้าต้องการให้การตอบสนองมีความไว (t_s มีค่าน้อย) ค่า ω_n จะต้องมีค่ามาก ในขณะที่เดียวกันถ้าต้องการให้ t_s มีค่าน้อยและไม่ให้ค่าพุ่งเกินของระบบ

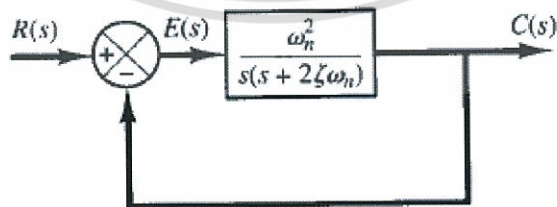
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่ามากขึ้นไป ค่า ζ ไม่ควรจะมีค่าน้อยจนเกินไป ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพุ่งเกินสูงสุด กับ ζ แสดงดังรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าค่า ζ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.8 จะทำให้ค่าพุ่งเกินของระบบต่ออินพุตขั้นบันไดหนึ่งหน่วยมีค่าอยู่ระหว่าง 25% และ 2.5%



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M_p กับ ζ (K. Ogata, 1997 : 155)

ตัวอย่าง 2.1 กำหนดระบบดังรูปที่ 2.12 เมื่อค่า $\zeta = 0.6$ และ $\omega_n = 5 \text{ rad/sec}$. ให้คำนวณหาค่า t_s , t_p , M_p และ t_s เมื่อ $R(s)$ เป็นสัญญาณอินพุตขั้นบันไดหนึ่งหน่วย



รูปที่ 2.12 แสดงแผนภาพบล็อกของระบบอันดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ จากค่า ζ และ ω_n ที่กำหนดให้ จะได้ $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} = 4$ และ $\sigma = \zeta \omega_n = 3$ จากสมการ (2.31) จะได้ค่า t_r

$$t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} = \frac{3.14 - \beta}{4}$$

ค่า β หาได้จาก

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\omega_d}{\sigma} = \tan^{-1} \frac{4}{3} = 0.93 \text{ rad}$$

$$t_r = \frac{3.14 - 0.93}{4} = 0.55 \text{ sec.}$$

อาศัยสมการ (2.34) สามารถหาค่า t_p ได้ดังนี้

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{3.14}{4} = 0.875 \text{ sec.}$$

ค่าพ่วงเกินสูงสุดคือ

$$M_p = -e^{-\left(\frac{\pi}{\omega_d}\right)} = -e^{-3\left(\frac{3.14}{4}\right)} = 0.095$$

หรือ

$$\%M_p = M_p \times 100 = 0.095 \times 100 = 9.5\%$$

และสามารถหาค่า t_s ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_s = \frac{4}{\sigma} = \frac{4}{3} = 1.33 \text{ sec. (ในช่วงไม่เกิน } \pm 2\%)$$

หรือ

$$t_s = \frac{3}{\sigma} = \frac{3}{3} = 1 \text{ sec. (ในช่วงไม่เกิน } \pm 5\%)$$

2.5 การหาค่าโพลและซีโร่

ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบแสดงในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีลักษณะเป็นพหุนามสองชุดหารกันซึ่งอยู่ในรูป $\frac{B(s)}{A(s)}$ เช่น

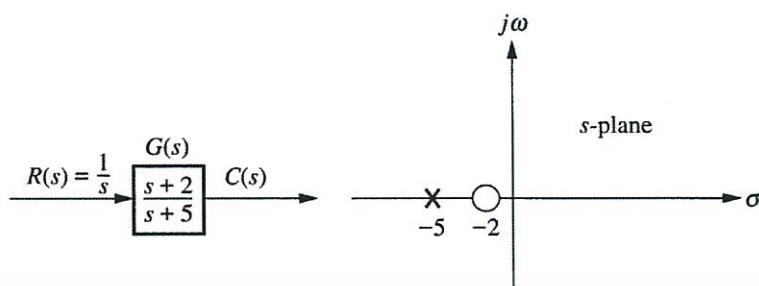
$$G(s) = \frac{s+3}{s^2+7s+10} = \frac{(s+3)}{(s+2)(s+5)}$$

นั่นคือ

$$B(s) = (s+3)$$

$$A(s) = (s+2)(s+5)$$

พหุนาม $A(s)$ ถูกเรียกว่า พหุนามลักษณะเฉพาะ (characteristic polynomial) เมื่อแยกตัวประกอบ $A(s)$ ค่าต่างๆ ของตัวแปร s ที่ได้เรียกว่าโพล (poles) ของระบบป้อนกลับ ซึ่งค่าโพลของ $G(s)$ คือ $s = -2$ และ $s = -5$ ทำนองเดียวกันหากทำการแยกตัวประกอบพหุนาม $B(s)$ ค่าต่างๆ ของตัวแปร s ที่ได้คือซีโร่ (zeros) ของระบบ ซึ่งมีค่าคือ $s = -3$ การตอบสนองของระบบสามารถหาได้จากฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบโดยตรง ค่าโพลและซีโร่จะมีผลโดยตรงกับการตอบสนองของระบบพิจารณาการหาผลตอบสนองของระบบที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนดังรูปที่ 2.13 (ก) มีโพล คือ $s = -5$ และซีโร่คือ $s = -2$ ตำแหน่งของโพลและซีโร่สามารถแสดงบนระนาบ-เอส (s-plane) ได้ดังรูปที่ 2.13 (ข) โดยจะใช้เครื่องหมายกากบาท (x) แทนตำแหน่งโพลและเครื่องหมายวงกลม (o) แทนตำแหน่งของซีโร่



รูปที่ 2.13

(ก) แสดงฟังก์ชันถ่ายโอน

(ข) ตำแหน่งโพลและซีโรบนระนาบ-เอส

ผลของโพลและซีโรที่มีต่อการตอบสนองของระบบเมื่อกำหนดสัญญาณอินพุตขั้นบันไดหนึ่ง หน่วยคือ

$$C(s) = \frac{(s+2)}{(s+5)} \times \frac{1}{s} \quad (2.40)$$

หาค่า $c(t)$ โดยอาศัยการกระจายเศษส่วนย่อยได้ดังนี้

$$C(s) = \frac{a_1}{s} + \frac{a_2}{s+5} = \frac{2/5}{s} + \frac{3/5}{s+5} \quad (2.41)$$

เมื่อ

$$a_1 = \frac{(s+2)}{(s+5)} \Big|_{s \rightarrow 0} = \frac{2}{5}$$

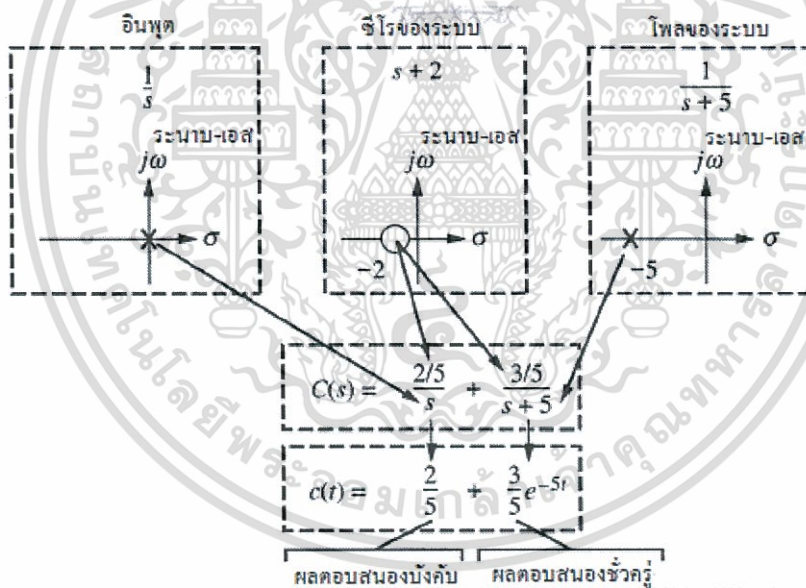
$$a_2 = \frac{(s+2)}{s} \Big|_{s \rightarrow -5} = \frac{3}{5}$$

จากสมการ (2.41) อาศัยการแปลงกลับลาปลาซจะได้

$$c(t) = \frac{2}{5} + \frac{3}{5}e^{-5t} \quad (2.42)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งโพลและซีโรบนระนาบ-เอสกับการตอบสนองของระบบแสดงดังรูปที่ 2.14 ค่าโพลของอินพุตจะแสดงผลตอบสนองแบบบังคับ (forced response) ในกรณีที่ อินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วยจะมีโพลที่จุดกำเนิด (origin) หรือมีค่าโพล $s = 0$ โพลของระบบจะแสดงการตอบสนองชั่วคราว โพลของระบบคือ $s = -5$ ทำให้เกิดเทอม e^{-5t} นั่นคือเมื่อเวลาผ่านไปเทอมนี้จะมีค่าเป็นศูนย์ แสดงถึงการตอบสนองชั่วคราว จะเรียกโพลหรือรากของสมการนี้ว่าสมการลักษณะเฉพาะ (characteristic equation) ของระบบ ถ้าโพลของสมการลักษณะเฉพาะเป็นค่าจริงและมีค่าเป็นลบ (อยู่ฝั่งซ้ายของระนาบ-เอส) จะทำให้การตอบสนองลู่เข้าหาระดับอินพุต แต่ถ้าค่าโพลของระบบเป็นค่าจริงและมีค่าเป็นบวก (อยู่ฝั่งขวาของระนาบ-เอส) จะทำให้การตอบสนองมีแอมพลิจูด (amplitude) ขยายตัวอย่างไม่จำกัด หรือระบบไม่เสถียร บางครั้งโพลของระบบอาจมีส่วนจินตภาพหรือเป็นค่าเชิงซ้อน ที่มีทั้งค่าจริงและค่าจินตภาพหรืออาจมีแต่ค่าจินตภาพ การตอบสนองชั่วคราวจะสั่นไกวและลู่เข้าหาระดับของอินพุตในกรณีที่ส่วนจริงมีค่าลบ ถ้า ส่วนจริงมีค่าบวก การตอบสนองจะมีแอมพลิจูดขยายตัวอย่างไม่จำกัดทำให้ระบบไม่เสถียร เมื่อปรากฏโพลอยู่บนแกน $j\omega$ มีผลทำให้การตอบสนองสั่นไกวไม่สิ้นสุดด้วยแอมพลิจูดและความถี่คงตัวสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งโพลและซีโรบนระนาบ-เอสกับการตอบสนอง (N.S. Nise, 2004 : 177)

จากสมการในรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นสมการมาตรฐานของระบบอันดับสองจะได้สมการลักษณะเฉพาะคือ

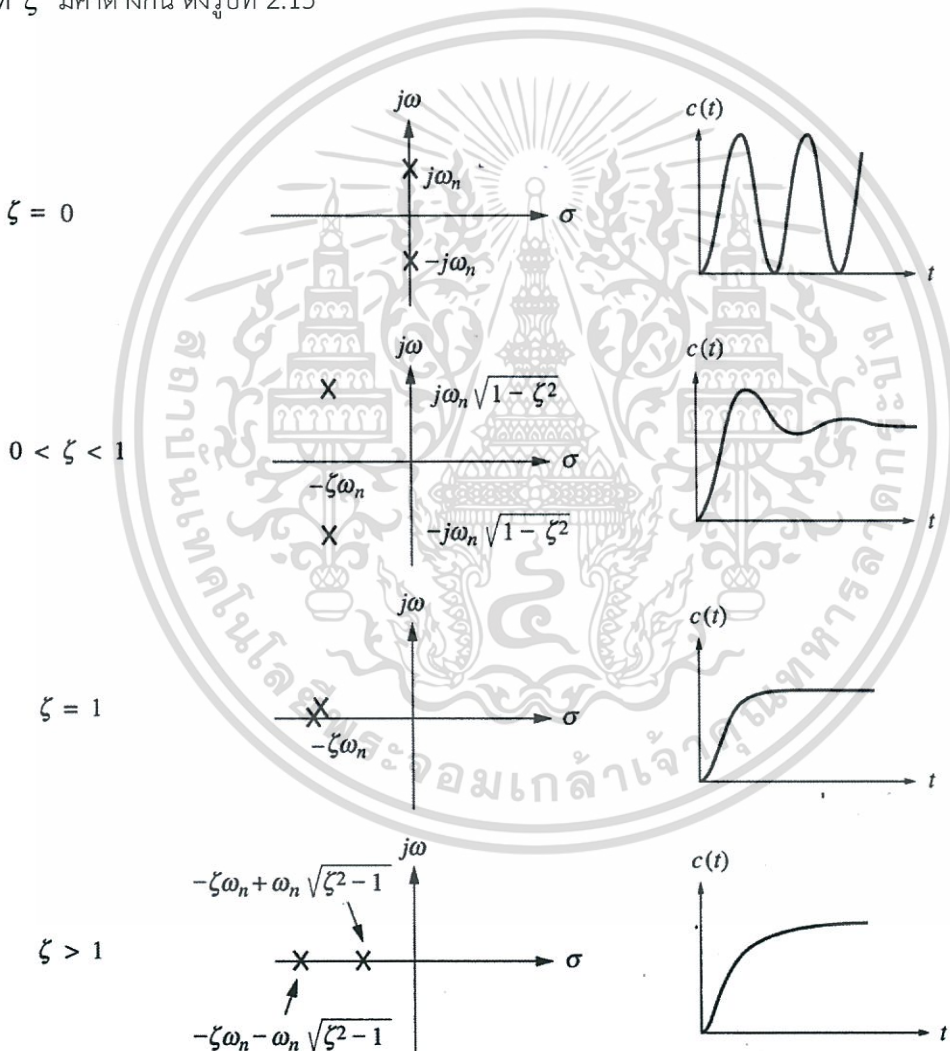
$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (2.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาโพลของระบบที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปร ζ และ ω_n ได้ดังนี้

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\zeta^2 + 1} \quad (2.44)$$

จากสมการ (2.44) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งโพลของระบบบนระนาบ-เอสกับการตอบสนองในกรณีที่มีค่าต่างกัน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งโพลกับการตอบสนองของระบบอันดับสอง

(N.S. Nise, 2004 : 190)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 สรุปได้ดังนี้คือ

1. กรณีหน่วงเกิน ค่าโพลของระบบเป็นค่าจริงอยู่ที่ตำแหน่ง $-\sigma_1$ และ $-\sigma_2$ บนระนาบ-เอส การตอบสนองมีค่าดังนี้

$$c(t) = k_1 e^{-\sigma_1 t} + k_2 e^{-\sigma_2 t} \quad (2.45)$$

2. กรณีหน่วงต่ำกว่าวิกฤต ค่าโพลของระบบเป็นค่าเชิงซ้อนอยู่ที่ตำแหน่ง $-\sigma_d \pm j\omega_d$ บนระนาบ-เอส การตอบสนองมีค่าดังนี้

$$c(t) = A e^{-\sigma_d t} \cos(\omega_d t - \phi) \quad (2.46)$$

3. กรณีหน่วงวิกฤต ค่าโพลของระบบเป็นค่าจริงซ้ำกันอยู่ที่ตำแหน่ง $-\sigma_1$ ทั้งสองค่าการตอบสนองมีค่าดังนี้

$$c(t) = k_1 e^{-\sigma_1 t} + k_2 t e^{-\sigma_1 t} \quad (2.47)$$

4. กรณีสั้นไกวคงตัว ค่าโพลของระบบจะมีเฉพาะค่าจินตภาพอยู่ที่ตำแหน่ง $\pm j\omega_1$ การตอบสนองมีค่าดังนี้

$$c(t) = A \cos(\omega_1 t - \phi) \quad (2.48)$$

เมื่อ k_1 , k_2 และ A เป็นค่าคงที่

2.6 การตอบสนองของระบบเมื่อเพิ่มโพล

การตอบสนองของระบบอันดับสองอธิบายได้ในรูปของค่าพุ่งเกินสูงสุด ช่วงเวลาเข้าที่และช่วงเวลาขนาดสูงสุด จากระบบที่ประกอบด้วยโพลคู่เชิงซ้อนและไม่มีซีโร ดังนั้นถ้าระบบมีโพลมากกว่าสองตัวหรือมีซีโร จะไม่สามารถใช้คุณลักษณะการตอบสนองดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตาม สามารถใช้การลดอันดับแบบจำ ลงซึ่งเป็นการประมาณระบบพลวัตอันดับสูงๆ โดยพิจารณาจาก ค่าโพลเด่น (dominant poles) ของระบบ อาศัยการประมาณค่านี้ทำให้สามารถกำหนดค่าพุ่งเกิน ช่วงเวลาเข้าที่ และช่วงเวลาขนาดสูงสุดสำหรับระบบอันดับสูงได้จากตำแหน่งของโพลเด่น เมื่อพิจารณาการลดอันดับการตอบสนองของระบบที่มีโพล สามตัวให้เป็นระบบอันดับสอง จากคู่โพล เชิงซ้อนและโพลค่าจริง โดยกำหนดตำแหน่งโพลเชิงซ้อนที่

$-\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$ และโพลค่าจริงที่ $-\alpha_r$ จะได้การตอบสนองของระบบต่อสัญญาณอินพุตขั้นบันไดหนึ่งหน่วยในรูปของการกระจายเป็นเศษส่วนย่อยคือ

$$C(s) = \frac{A}{s} + \frac{B(s + \zeta\omega_n) + C\omega_d}{(s + \zeta\omega_n)^2 + \omega_d^2} + \frac{D}{s + \alpha_r}$$

หรือ

$$c(t) = Au(t) + e^{-\zeta\omega_n t} (B \cos \omega_d t + C \sin \omega_d t) + De^{-\alpha_r t}$$

จะได้เอาต์พุต $c(t)$ แสดงดังรูปที่ 2.16 โดยแบ่งเป็น 3 กรณี กรณีแรก $\alpha_r = \alpha_{r1}$ มีค่าใกล้เคียงกับ $\zeta\omega_n$ กรณีที่สอง $\alpha_r = \alpha_{r2}$ มีค่ามากกว่า $\zeta\omega_n$ และกรณีที่สาม $\alpha_r = \infty$



รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองของระบบที่มีโพลสามตัว (N.S. Nise, 2004 : 204)

(ก) ตำแหน่งโพล

(ข) การตอบสนองที่แสดงอิทธิพลของโพลตัวที่สามกับคู่โพลเด่น (กรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าถ้า $\alpha \geq \zeta\omega_n$ (กรณีที่ 2) การตอบสนองจะมีค่าลดลงเร็วกว่าระบบอันดับสองที่มีผลตอบสนองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤต ถ้าการตอบสนองมีค่าลดลง ทำให้ค่าพุ่งเกินสูงสุด ช่วงเวลาเข้าที่และช่วงเวลาดำเนินการสูงสุด ใกล้เคียงกับระบบอันดับสองที่มีการตอบสนองเป็นแบบ หน่วงต่ำกว่าวิกฤต การตอบสนองจะมีลักษณะใกล้เคียงกับระบบอันดับสอง (กรณีที่ 3) ถ้า α_r มีค่าใกล้เคียงกับ $\zeta\omega_n$ (กรณีที่ 1) การตอบสนองของโพลค่าจริงจะมีค่าลดลง โดยที่ช่วงเวลาดำเนินการสูงสุดและช่วงเวลาเข้าที่ต่างจากระบบอันดับสอง ดังนั้นในกรณีนี้ระบบไม่สามารถใช้การประมาณเป็นระบบอันดับสองได้ อาจกล่าวได้ว่าการประมาณเป็นระบบอันดับสอง สามารถทำได้ถ้าโพลตัวที่สามอยู่ห่างจากตำแหน่งของโพลเด่นเท่ากับ 5 เท่าของค่าคงตัวทางเวลา โดยพิจารณาผลของเทอมเอกซ์โพเนนเชียลที่เกิดจากโพลตัวที่สามว่ามีผลกับการตอบสนองของระบบน้อยจนสามารถละเลยได้ และสามารถใช้การประมาณเป็นระบบอันดับสองโดยพิจารณาเฉพาะตำแหน่งของโพลเด่น เมื่อพิจารณาค่าเรซิดิว (residue) ของโพลตัวที่สามจากการตอบสนองของระบบต่อสัญญาณอินพุตขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

$$C(s) = \frac{bc}{s(s^2 + as + b)(s + c)} = \frac{A}{s} + \frac{Bs + C}{s^2 + as + b} + \frac{D}{s + c}$$

เมื่อกำหนดตำแหน่งโพลตัวที่สามที่ $-c$ บนแกนจริง และการตอบสนองในสถานะอยู่ตัวมีค่าเข้าใกล้หนึ่งจะได้ค่าคงที่ดังนี้

$$A = 1$$

$$B = \frac{ca - c^2}{c^2 + b - ca}$$

$$C = \frac{ca^2 - c^2a - bc}{c^2 + b - ca}$$

และ

$$D = \frac{-b}{c^2 + b - ca}$$

เมื่อพิจารณา $c \rightarrow \infty$ จะได้

$$A = 1$$

$$B = -1$$

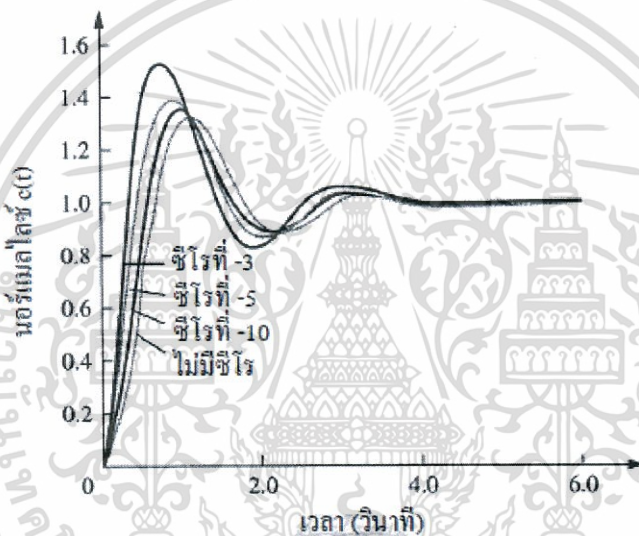
$$C = -a$$

$$D = 0$$

จะเห็นว่าค่าเรซิดิวของโพลตัวที่สาม (D) ทำให้การตอบสนองมีค่าเป็นศูนย์เมื่อตำแหน่งโพลเข้าใกล้ค่าอนันต์

2.7 การตอบสนองของระบบเมื่อเพิ่มซีโร

พิจารณาผลการเพิ่มซีโรบนแกนจริงในระบบที่มีโพลสองตัว โดยเพิ่มซีโรทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของระนาบ-เอส กำหนดโพลที่ตำแหน่ง $-1 \pm j2.828$ และซีโรที่ -3 , -5 และ -10 จะได้การตอบสนองในสถานะอยู่ตัวดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงผลของการเพิ่มซีโรในระบบที่มีโพลสองตัว (N.S. Nise, 2004 : 207)

จากรูปจะเห็นว่าซีโรที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าโพลเด่นจะมีอิทธิพลกับการตอบสนองของระบบมากกว่าซีโรที่อยู่ไกลจากตำแหน่งโพลเด่น เมื่อซีโรเคลื่อนที่ไกลจากตำแหน่งโพลเด่น การตอบสนองจะมีค่าใกล้เคียงกับระบบที่มีโพลสองตัวมากขึ้น เมื่อพิจารณาการกระจายเป็นเศษส่วนย่อยโดยกำหนดโพลและซีโร คือ

$$\begin{aligned} T(s) &= \frac{(s+a)}{(s+b)(s+c)} \\ &= \frac{A}{s+b} + \frac{B}{s+c} \\ &= \frac{(-b+a)/(-b+c)}{s+b} + \frac{(-c+a)/(-c+b)}{s+c} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าตำแหน่งของซีโรอยู่ห่างจากตำแหน่งของโพล นั่นคือ a มีค่ามากเมื่อเทียบกับ b และ c จะได้

$$\begin{aligned} T(s) &\approx a \left[\frac{1/(-b+c)}{s+b} + \frac{1/(-c+b)}{s+c} \right] \\ &= \frac{a}{(s+b)(s+c)} \end{aligned}$$

ดังนั้นซีโรจะมีลักษณะเหมือนค่าอัตราขยายและไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการตอบสนอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

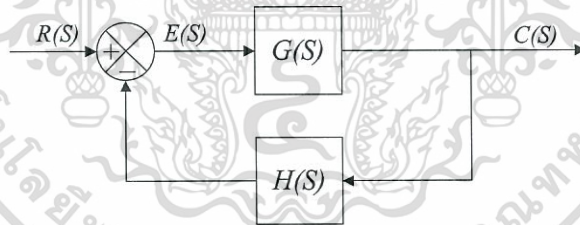
หลักการของตัวควบคุม PID \times (n-2) stage PD

การนำตัวควบคุมไปใช้ในการควบคุมระบบนั้นจำเป็นต้องทราบถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆของตัวควบคุม เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงาน ตลอดจนการออกแบบตัวควบคุม ซึ่งมีความสำคัญในเชิงทฤษฎีด้วยระบบจำลอง โดยตัวควบคุมที่ถูกนำมาศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ได้แก่ ตัวควบคุมแบบ PID และตัวควบคุมแบบ PIDA เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาตัวควบคุมแบบ PID \times (n-2) stage PD โดยใช้หลักการทางเดินรอกในการออกแบบ

3.1 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

3.1.1 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับแสดงดังรูปที่ 3.1 การทำงานของระบบจะนำสัญญาณจากเอาต์พุต ($C(s)$) ของกระบวนการมาเปรียบเทียบกับสัญญาณปรับตั้งค่าที่กำหนด ($R(s)$) จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบ ($E(s)$) มาคำนวณตามกฎเกณฑ์ของการควบคุมเพื่อให้ได้สัญญาณที่นำไปควบคุมกระบวนการ



รูปที่ 3.1 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

- โดยที่ $G(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ (Plant)
 $H(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนในส่วนป้อนกลับ
 $R(s)$ คือ สัญญาณปรับตั้ง (Set Point)
 $C(s)$ คือ สัญญาณเอาต์พุตของระบบ
 $E(s)$ คือ สัญญาณผิดพลาดที่เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่าง $C(s)$ และ $R(s)$

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของระบบควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 3.1 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (3.1)$$

จากสมการ (3.1) สมการคุณลักษณะ (Characteristic Equation) คือ

$$F(s) = 1+G(s)H(s) = 0 \quad (3.2)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอน $G(s)H(s) = 0$ คือ

$$G(s)H(s) = \frac{K(T_a s + 1)(T_b + 1) \dots (T_m s + 1)}{s^N (T_1 s + 1)(T_2 + 1) \dots (T_p s + 1)} \quad (3.3)$$

เทอมของ s^N นั้นหมายถึงจำนวนของโพลที่จุดกำเนิด ใช้เรียกว่าชนิด (Type) ของระบบ เช่น $N = 0$ แสดงว่าระบบนั้นเป็นระบบชนิด 0 หรือถ้า $N = 1$ เราจะเรียกว่าเป็นระบบชนิด 1 เป็นต้น

3.1.2 ข้อกำหนดของระบบ

ข้อกำหนด คือ ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องทราบในการออกแบบตัวควบคุม ค่าเหล่านี้แสดงให้เห็นทราบถึงการตอบสนองในสภาวะชั่วคราวของระบบควบคุมต่ออินพุทที่เป็นสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย (Unit Step) ข้อกำหนดที่สำคัญประกอบด้วย

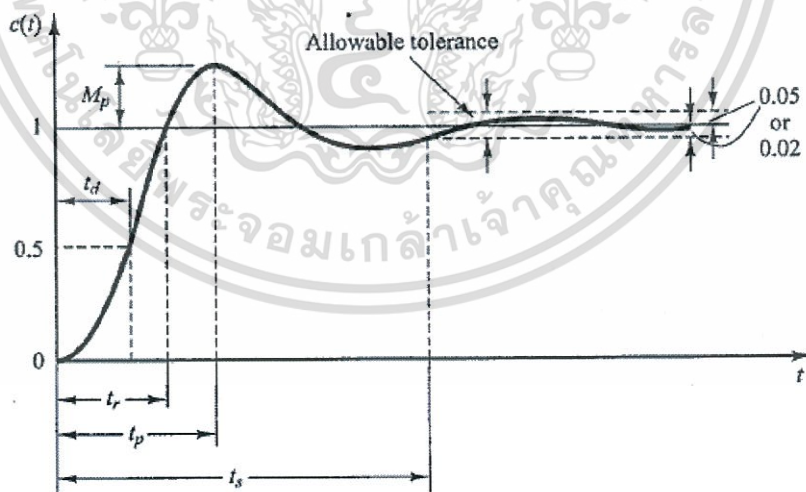
1. ค่าพุ่งเกินสูงสุด (M_p) เป็นค่าความแตกต่างระหว่างเอาต์พุทที่มีค่าสูงสุดกับเอาต์พุทที่สถานะอยู่ตัวของระบบ ในบางครั้งอาจแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินสูงสุด ($\%M_p$)

$$M_p = C_{max} - C_{ss}$$

โดยที่ C_{max} คือ ค่าสูงสุดของเอาต์พุท
 C_{ss} คือ ค่าสูงสุดของเอาต์พุทที่สถานะอยู่ตัว

หรือ
$$\%M_p = \left| \frac{M_p}{C_{ss}} \right| \times 100\%$$

2. ค่าเวลาประวิง (Delay Time $-t_d$) คือ ช่วงเวลาที่ผลของการตอบสนองในสภาวะชั่วคราวของระบบมีค่าเข้าสู่ 50% ของค่าที่สถานะอยู่ตัว
3. ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise Time $-t_r$) คือ ช่วงเวลาที่ผลการตอบสนองในสภาวะชั่วคราวของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10% ไปเป็น 90% ของค่าที่สถานะอยู่ตัว ในบางกรณีค่าช่วงเวลาขึ้นหมายถึงช่วงเวลาที่ผลการตอบสนองมีค่าจาก 5% ไปเป็น 95% หรือ 0% ไปเป็น 100% ของค่าที่สถานะอยู่ตัวก็ได้ ถ้าค่าช่วงเวลาขึ้นมีค่าน้อย หมายถึงระบบนั้นมีการตอบสนองเร็ว นอกจากนี้ อาจหมายถึงค่าของเวลาที่ใช้ไปสำหรับให้ผลการตอบสนองมีค่าเท่ากับค่าสุดท้ายของการตอบสนองในสภาวะอยู่ตัวเป็นครั้งแรก
4. ค่าช่วงเวลาเข้าที่ (Settling Time $-t_s$) คือ ช่วงเวลาที่ผลตอบสนองของระบบมีค่าเข้าสู่ช่วง $\pm 2\%$ หรือ $\pm 5\%$ ของค่าที่สถานะอยู่ตัวและมีค่าอยู่ในช่วงนี้ตลอดไป หรือหมายถึงค่าของเวลาที่ผลการตอบสนองในสภาวะชั่วคราวเปลี่ยนไปเป็นการตอบสนองในสถานะอยู่ตัว
5. ค่าเวลายอด (Peak Time $-t_p$ หรือ t_{max}) เป็นค่าเวลาของเวลาที่ผลตอบสนองในสภาวะชั่วคราวของระบบเกิดค่าพุ่งเกินสูงสุด
6. ค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัว (Steady State Error $-e_{ss}$) เป็นค่าความแตกต่างของเอาต์พุตของระบบกับค่าปรับตั้งในขณะที่ระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัว ระบบที่ดีจะต้องมีความคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัวน้อยที่สุด



รูปที่ 3.2 แสดงค่าต่างๆของระบบต่อการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบ Unit Step

3.2 ตัวควบคุมแบบ PID

ตัวควบคุมแบบ PID ประกอบด้วย ตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) และ ตัวควบคุมแบบ Derivative (D) โดยทั่วไปตัวควบคุมแบบ PID มีฟังก์ชันถ่ายโอน ดังนี้

$$G_{PID}(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (3.4)$$

โดยที่ K_p คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ P (Proportional gain)
 K_I คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral gain)
 K_D คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ D (Derivative gain)

นอกจากนี้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบ PID ยังนิยมเขียนอยู่ในรูปของ

$$G_{PID}(s) = K_{pid} \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3.5)$$

โดยที่ K_{pid} คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ PID
 T_i คือ เวลาปริพันธ์หรือ Reset time
 T_d คือ เวลาอนุพันธ์หรือเวลาอัตรา Rate time

จากสมการ (3.4) และสมการ (3.5) จะเห็นว่า $K_D = K_{pid} T_d$ และ $K_I = \frac{K_{pid}}{T_i}$ โดยค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID ทั้งสามค่านี้จะใช้สำหรับปรับแต่งค่าให้กับตัวควบคุมเพื่อควบคุมกระบวนการที่ต้องการ

3.2.1 กริยาของการควบคุม

การออกแบบระบบควบคุมนั้นต้องพิจารณาถึงคุณของกระบวนการที่ต้องการควบคุมเสียก่อน ซึ่งบางครั้งอาจพิจารณาในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะได้เลือกชนิดของการควบคุมให้เหมาะสมกับระบบ เพื่อให้การควบคุมมีเสถียรภาพ (Stability) มีประสิทธิภาพ

สูงสุด โดยสัญญาณที่ใช้ ในการควบคุมจะเป็นไปตามลักษณะของการสร้างสัญญาณที่เรียกว่า ฏการการควบคุม (Control Action)

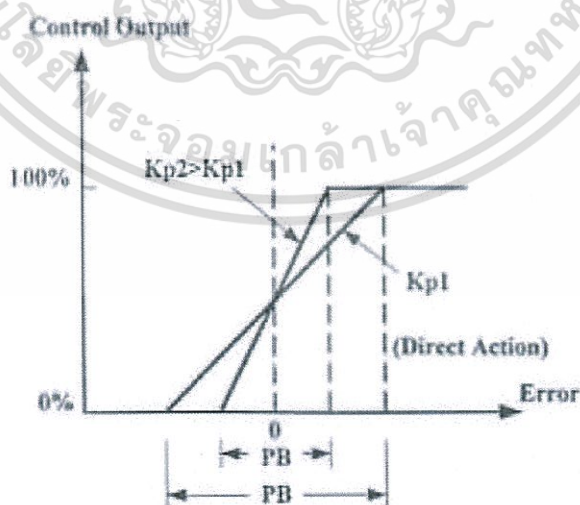
1. ฏการการควบคุมแบบ Proportional (P)

สำหรับการควบคุมที่มีฏการการควบคุมแบบ P ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลง อย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความคลาดเคลื่อน คือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากกว่าค่า เอาต์พุทของตัวควบคุมก็จะมากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยกว่าค่าเอาต์พุท ของตัวควบคุมค่าที่ได้ก็จะลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวนี้ เรียกว่า อัตราขยายของตัว ควบคุมแบบ P (Proportional Gain) ฏการการควบคุมแบบ P สามารถเขียนเป็นสมการทาง คณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m_p(t) = \bar{m} + K_p e(t) \quad (3.6)$$

เมื่อ $m_p(t)$ = ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบ Proportional
 K_p = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional
 \bar{m} = ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมเมื่อความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์

คุณสมบัติของฏการการควบคุมแบบ P แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของฏการการควบคุมแบบ Proportional

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

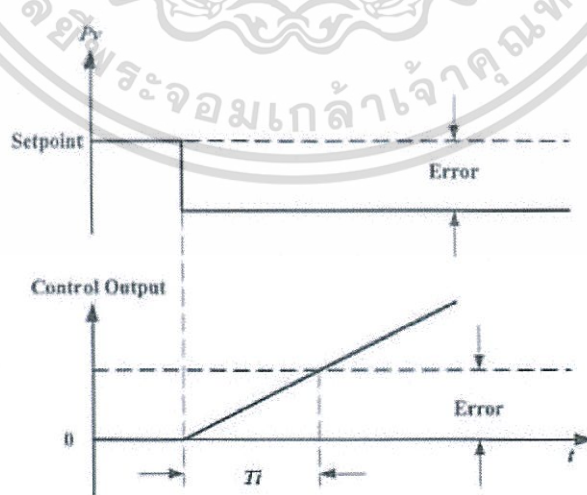
2. กิริยาการควบคุมแบบ Integral (I)

สำหรับการควบคุมที่มีกิริยาการควบคุมแบบ I มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การควบคุมแบบรีเซ็ต (Reset Control) โดยการควบคุมจะพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งการหาค่าความคลาดเคลื่อนในกิริยาการควบคุมแบบ I นั้นจะต้องหาค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จากนั้นนำไปคูณกับค่าคงที่ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral Gain) เพื่อหาค่าเอาต์พุต ดังสมการ (3.7)

$$m_I(t) = K_I \int_0^t e(t) dt + \overline{m}_I(0) \quad (3.7)$$

เมื่อ $m_I(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Integral
 K_I = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Integral
 $\int_0^t e(t) dt$ = พื้นที่ทั้งหมดของความคลาดเคลื่อน
 \overline{m}_I = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่ $t=0$

ผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ I แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ Integral

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กิริยาการควบคุมแบบ Derivative (D)

สำหรับการควบคุมที่มีกิริยาการควบคุมแบบ D สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา (Time Rate of Change of Error) จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวนี้ว่า อัตราการกระทำ (Rate Action)

$$m_D(t) = K_D \frac{[e(t) - e(t_0)]}{(t - t_0)} \quad (3.8)$$

หรือ

$$m_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.9)$$

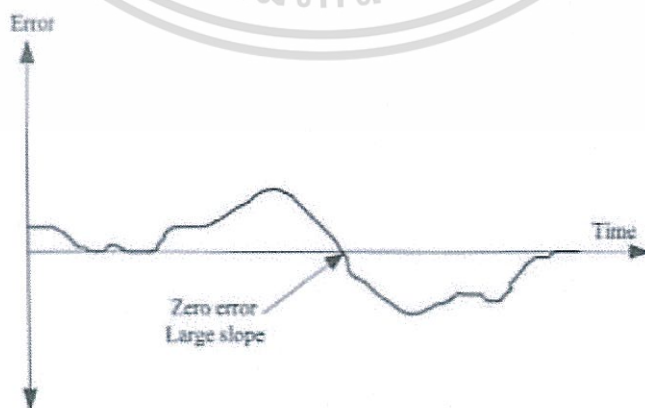
เมื่อ $m_D(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative

K_D = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative

$e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t

$e(t_0)$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา $t=0$

คุณสมบัติของกิริยาการควบคุมแบบ D แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติของกิริยาการควบคุมแบบ Derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กิริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID)

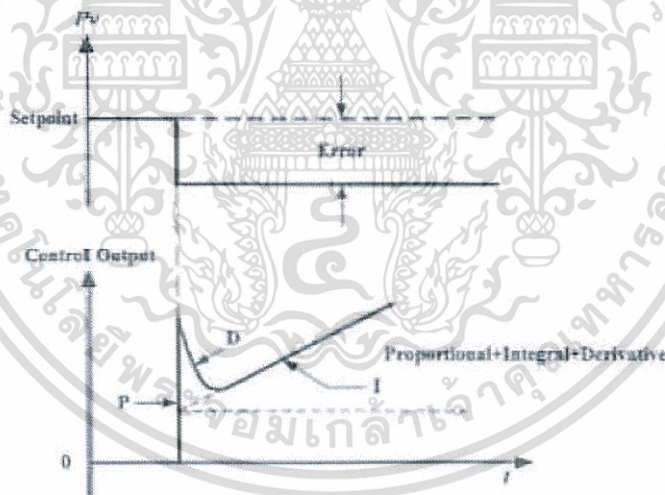
สำหรับการควบคุมแบบ PID ช่วยให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมมีสมรรถนะที่ดีเมื่อได้รับการปรับค่าที่เหมาะสม ซึ่งมีสมการสัญญาณเอาต์พุต ดังสมการที่ (3.10) และ (3.11)

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_i \int_0^t e(t) dt + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.10)$$

หรือ

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.11)$$

ผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ PID แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative

3.2.2 ข้อจำกัดของตัวควบคุมแบบ PID

พิจารณาสมการ (3.5) เมื่อนำมาจัดรูปแบบใหม่จะได้

$$G_{PID}(s) = K_{pid} \left(\frac{T_i T_d s^2 + T_i s + 1}{T_i s} \right) \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าตำแหน่งของซีโรบนระนาบ s (s -Plane) ขึ้นอยู่กับค่า T_i และ T_d ดังนี้

$$T_i T_d s^2 + T_i s + 1 = 0$$

$$s_{1,2} = \frac{-T_i \pm \sqrt{(T_i)^2 - 4T_i T_d}}{2T_i T_d} \quad 3.13$$

เมื่อพิจารณาค่ารากของสมการ

ถ้า $T_i \geq 4T_d$ ตำแหน่งของซีโรทั้งสองตัวจะอยู่บนแกนจริงในระนาบ s ซึ่งเป็นค่าเหมาะสมที่สุด (Optimum)

ถ้า $T_i < 4T_d$ ตำแหน่งของซีโรทั้งสองตัวจะเป็นตัวเลขเชิงซ้อนสังยุค (Complex Quantity) ซึ่งไม่ใช่ค่าเหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงกำหนดให้

$$T_i = 4T_d$$

เมื่อ z_1, z_2 คือ ซีโรของตัวควบคุม

$$z_1 = z_2 = \frac{1}{2T_d}$$

ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PID จัดรูปแบบใหม่เป็น

$$G_{PID}(s) \equiv K_{pid} \frac{(s + z_1)(s + z_2)}{s} \quad (3.14)$$

จากฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PID ในสมการ (3.14) พบว่าตัวควบคุมประกอบไปด้วยซีโรสองตัว และโพลหนึ่งตัวอยู่ที่จุดกำเนิดบนระนาบ s ดังนั้นกระบวนการที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID จะทำให้ระบบควบคุมเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

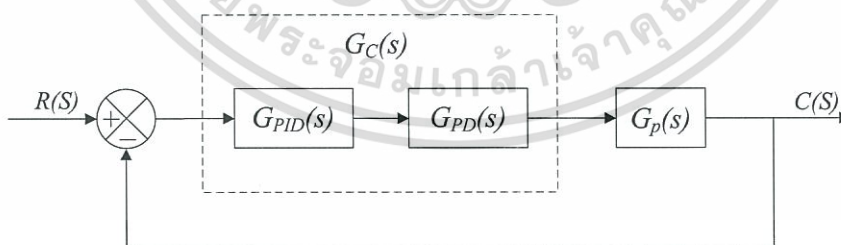
1. อันดับของระบบเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งอันดับ

2. ชนิดของระบบเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่ง

การที่อันดับของระบบเพิ่มขึ้น จะทำให้ระบบช้าลงและมีการล่าช้าทางเวลา (Time Lag) เกิดขึ้น อาจทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ ส่วนการเพิ่มขึ้นของชนิดของระบบเป็นผลดีต่อระบบ เนื่องจากทำให้ไม่มีความคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัวต่อสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย อย่างไรก็ตามผลจากการที่ตัวควบคุม PID ประกอบไปด้วยซีโรสองตัว ทำให้ตัวควบคุมดังกล่าวเหมาะสมสำหรับกระบวนการอันดับสอง เมื่อนำไปควบคุมกระบวนการที่มีอันดับมากกว่าสองจะมีความยุ่งยากและระบบที่ควบคุมอาจจะไม่มีเสถียรภาพ เนื่องจากจำนวนซีโรของตัวควบคุมมีจำนวนน้อยกว่าโพลของกระบวนการ

3.3 ตัวควบคุมแบบ PID × (n-2) stage PD

ตัวควบคุม PID × (n-2) stage PD จะประกอบไปด้วยตัวควบคุมแบบ PID และตัวควบคุมแบบ PD จำนวน (n-2) ตัว การเพิ่มจำนวนตัวควบคุม PD หรือซีโรที่เหมาะสมเข้าไปในระบบนั้นต้องเลือกวางตำแหน่งของซีโรที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากตำแหน่งของโพลของกระบวนการที่ต้องการควบคุม โดยเลือกวางซีโรจำนวน (n-1) ตัวใกล้กับโพลของกระบวนการให้มากที่สุด และเหลือซีโรอีกตัวหนึ่งเพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางเดินรากให้ผ่านจุดของโพลวงปิดเด่นชัด แต่ในบางกรณีอาจไม่สามารถทำได้ เนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งโพลของกระบวนการได้อย่างแน่นอน เช่น ในระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่ต้องใช้การประมาณค่าให้เป็นอันดับ n โดยในกรณีนี้ให้วางตำแหน่งของซีโรใกล้ตำแหน่งทางด้านซ้ายของโพลที่ต้องการมากที่สุด โครงสร้างของระบบควบคุมแบบ PID × (n-2) stage PD แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PID × (n-2) stage PD

จากรูปฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PD คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} G_{PD}(s) &= K_p(1+T_d s) \\ G_{PD}(s) &\equiv K_{pd}(s+z_{pd}) \end{aligned} \quad (3.15)$$

พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PID จากสมการ (3.14) และฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PD จากสมการ (3.15) จะได้ว่ารูปของฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PID \times (n-2) stage PD คือ

$$K_{(n-2)}(s) = K_{pid} \frac{(s+z_1)(s+z_2)}{s} \times K_{pd}(s+z_{pd}) \quad (3.16)$$

โดย K_{pid} คือ อัตราขยายของตัวควบคุม PID
 K_{pd} คือ อัตราขยายของตัวควบคุม PD
 $z_{1,2}$ คือ ซีโรของตัวควบคุม PID
 z_{pd} คือ ซีโรของตัวควบคุม PD

สามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนวงเปิดของระบบได้คือ

$$K_{(n-2)}(s) = K_{pid} K_{pd} \dots K_n \frac{(s+z_1)(s+z_2) \times (s+z_{pd}) \dots}{s \times (s+p_1)(s+p_2) \dots (s+p_p)} \quad (3.17)$$

เมื่อให้อัตราการขยายรวม $K = K_{pid} K_{pd} \dots K_n$ ดังนั้น

$$K_{(n-2)}(s) = K \frac{(s+z_1)(s+z_2) \times (s+z_{pd}) \dots}{s \times (s+p_1)(s+p_2) \dots (s+p_p)} \quad (3.18)$$

จากสมการ (3.18) ในกรณีที่กระบวนการเป็นแบบชนิด “0” พบว่ามีโพลหนึ่งตัวที่จุดกำเนิดและโพลที่เหลือจะกระจายออกไปจากจุดกำเนิด โดยให้โพลของกระบวนการที่อยู่ใกล้แกนจำนวนจินตภาพที่สุดเป็นโพลเด่นชัด สำหรับกระบวนการที่เป็นชนิดอื่น ๆ จะมีโพลอยู่ที่จุดกำเนิดมากขึ้นตามชนิดของกระบวนการ และถือว่าโพลที่อยู่จุดกำเนิดเป็นโพลเด่นชัด เนื่องจากมีอิทธิพลต่อการตอบสนองของระบบมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุม

การออกแบบระบบควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่สภาวะชั่วคราวและสภาวะคงตัวตามที่ต้องการ จะใช้วิธีการทางเดินรากวิเคราะห์และออกแบบระบบตามขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 หาอัตราหน่วง (ζ), ความถี่ธรรมชาติ (ω), ตำแหน่งของ (S_d) จากการกำหนด P.O. และเวลาสู่สมมูล (t_s)
- ขั้นตอนที่ 2 วางตำแหน่งของ (S_d), โพลและซีโรของสมการคุณลักษณะ $K_{(n-2)}(s)G_n(s)$ ลงบนระนาบ s
- ขั้นตอนที่ 3 หาผลรวมของมุมที่จุด S_d ของระบบแบบวงเปิด $K_{(n-2)}(s)G_n(s)$ ด้วยวิธีทางกราฟหรือการคำนวณ พิจารณามุมที่จำเป็นของ $\angle(s+z_{pd})$ เพื่อที่จะทำให้ผลรวมของมุมเป็นไปตามเงื่อนไขของราก
- ขั้นตอนที่ 4 หาอัตราขยาย K ของตัวควบคุมจากเงื่อนไขตามวิธีทางเดินราก
- ขั้นตอนที่ 5 แทนค่าพารามิเตอร์ทุกตัวลงในสมการคุณลักษณะ
- ขั้นตอนที่ 6 วาดทางเดินรากของ $K_{(n-2)}(s)G_n(s)$ เพื่อให้แน่ใจว่าทางเดินรากผ่านจุด S_d ที่กำหนด

ตัวควบคุมแบบ PID \times $(n-2)$ stage PD สามารถควบคุมกระบวนการที่มีอันดับตั้งแต่สองขึ้นไปได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถทำให้ระบบมีผลตอบสนองในภาวะชั่วคราวมีเสถียรภาพมากขึ้นโดยการเพิ่มค่าของอัตราขยายของตัวควบคุม ทำให้ระบบมีผลการตอบสนองในภาวะชั่วคราวและในสถานะอยู่ตัวได้ตามข้อกำหนด

บทที่ 4

ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน DCS

4.1 ประวัติของดีซีเอส

ดีซีเอส (DCS) ย่อมาจาก (Distributed Control System) เป็นเครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ดีซีเอสได้รับการปรับปรุงและพัฒนาจนเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมและสถานการณ์ปัจจุบัน จากผลของความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสาขาอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ และโทรคมนาคม สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมที่สัญญาณวัดและสัญญาณควบคุมส่วนใหญ่เป็นสัญญาณชนิดต่อเนื่อง

การใช้ดีซีเอสให้ได้ประโยชน์สูงสุดและสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพจำเป็นจะต้องทราบประวัติของการพัฒนาและการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ระยะเริ่มต้นจนถึงปัจจุบัน โดยเริ่มจากการแนะนำคำศัพท์และนิยามต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

กระบวนการ (process) หมายถึง ขั้นตอนการปรับปรุงสภาพของวัตถุดิบหรือพลังงานให้มีคุณค่าสูงขึ้น ตัวอย่างกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการกลั่นเพื่อแยกผลิตภัณฑ์ออกจากกันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงมากขึ้น กระบวนการกลั่นน้ำมันเพื่อแยกสารประกอบต่างๆ ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจออกจากน้ำมันดิบ กระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากขึ้น โรงงานอุตสาหกรรมแต่ละแห่ง อาจประกอบด้วยกระบวนการผลิตหลายกระบวนการต่อเนื่องกันเพื่อปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบหรือพลังงานหลายขั้นตอนจนได้ผลผลิตตามความต้องการ เช่น กระบวนการผลิตไฟฟ้า ประกอบด้วย กระบวนการเผาไหม้ในเตาเผา (furnace) เพื่อเปลี่ยนพลังงานที่สะสมในเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานความร้อน กระบวนการต้มน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ (boiler) เพื่อนำความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอน้ำหรือกระบวนการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นแรงดันไอน้ำ กระบวนการเปลี่ยนแปลงแรงดันไอน้ำเป็นพลังงานกลของกังหันไอน้ำ และกระบวนการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้วัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้า คือน้ำและเชื้อเพลิง

เมื่อ พ.ศ. 2522 ตัวควบคุมชนิดดิจิทัล (digital controller) สำหรับใช้แทนเครื่องควบคุมชนิดนิวมेटิกส์หรืออิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกสร้างขึ้น

ดีซีเอสเป็นเครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งได้รับการปรับปรุงและพัฒนาให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมและสถานการณ์ในปัจจุบัน เดิมระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งเครื่องควบคุมชนิดนิวมेटิกส์ทั้งหมดรวมไว้ในห้องควบคุมกลาง (central control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

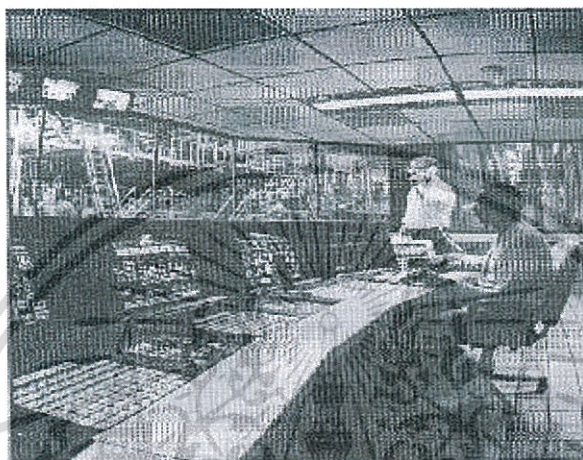
room) ของโรงงานอุตสาหกรรม โดยเชื่อมโยงสายสัญญาณมาตรฐาน 3-15 ปอนด์ / ตร.นิ้ว ระหว่างเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณทั้งหมดในบริเวณกระบวนการผลิตกับเครื่องควบคุมในห้องควบคุม ทำให้พนักงานสามารถตรวจสอบสภาพของกระบวนการผลิตและดูแลระบบควบคุมทั้งหมดจากภายในห้องควบคุมโดยไม่ต้องออกไปตรวจสอบในบริเวณพื้นที่การผลิตนอกห้องควบคุม การตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตจึงสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมเดิมก่อนหน้านั้น ในขณะที่ยังใช้อุปกรณ์ควบคุมชนิดนิวเมติกส์ ยังไม่มีเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณชนิดนิวเมติกส์ไม่มีการกำหนดสัญญาณมาตรฐานและไม่มีเครื่องควบคุมชนิดนิวเมติกส์ทำให้จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมไว้ในบริเวณใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตเป็นจุดๆ ทั่วโรงงานอุตสาหกรรม การควบคุมกระบวนการผลิตทั้งหมดของโรงงานอุตสาหกรรมจากเครื่องควบคุมภายในห้องควบคุมกลางเพียงแห่งเดียว เรียกว่า การควบคุมแบบศูนย์กลาง (centrized control) และการควบคุมกระบวนการผลิตโดยติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมใกล้กับกระบวนการผลิตเป็นจุดๆ ทั่วโรงงานอุตสาหกรรม เรียกว่า การควบคุมแบบกระจาย (distributed control) แม้ว่าต่อมากจะมีการใช้เครื่องควบคุมและเครื่องมือวัดส่งสัญญาณชนิดอิเล็กทรอนิกส์แทนอุปกรณ์ชนิดนิวเมติกส์ ซึ่งทำให้ระยะทางในการส่งสัญญาณของกระบวนการผลิตระหว่างเครื่องมือวัดกับเครื่องควบคุมในห้องสามารถไกลกันได้มากขึ้น โดยที่ระบบควบคุมยังคงรักษาโครงสร้างของการควบคุมแบบศูนย์กลางไว้เช่นเดิม เพียงแต่ใช้อุปกรณ์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์และใช้สัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมแปร์ แทนสัญญาณลมเดิมทำให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับความต้องการในการขยายกำลังการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความต้องการจะขยายกำลังการผลิตของตนตลอดเวลา ทำให้ห้องควบคุมกลางของโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีขนาดใหญ่มากจึงจะมีพื้นที่เพียงพอสำหรับติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมด ซึ่งเป็นอุปสรรคสำหรับการปฏิบัติงานของพนักงานในสมัยนั้นที่ต้องคอยเดินตรวจสอบเครื่องมือจำนวนมากบนแผงควบคุมตลอดเวลา จึงมีความพยายามในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการกระจายหน้าที่ของเครื่องมือสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตออกเป็นส่วนๆ แต่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิตทั้งหมดแสดงให้พนักงานควบคุมทราบและตรวจสอบได้ตลอดเวลา เพื่อให้การควบคุมกระบวนการผลิตดำเนินไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในขณะนั้นยังไม่เพียงพอสำหรับการแก้ปัญหาทางการเก็บรวบรวมข้อมูลและการสื่อสารระหว่างเครื่องมือควบคุมกระบวนการผลิตแต่ละส่วนทั่วทั้งโรงงานอุตสาหกรรม จึงยังไม่มีมีการพัฒนาระบบควบคุมแบบกระจายอย่างจริงจังในขณะนั้น

การติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับตรวจสอบกระบวนการผลิตทำให้สามารถกำหนดโครงสร้างและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของระบบควบคุมโดยวิธีเขียนและแก้ไขโปรแกรมในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ แทนวิธีเดินสายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์และเครื่องมือควบคุมต่างๆ ความสามารถของระบบควบคุมในการควบคุมกระบวนการผลิตจึงไม่ถูกจำกัดด้วยคุณสมบัติของอุปกรณ์และเครื่องควบคุมชนิดนิวเมติกส์และอิเล็กทรอนิกส์เช่นเดียวกับระบบควบคุมแบบเดิม แต่พนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมยังคงต้องปฏิบัติหน้าที่อยู่รวมกันอยู่ภายในห้องควบคุมกลางเช่นเดียวกับระบบควบคุมที่ติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องควบคุมชนิดนิวเมติกส์และอิเล็กทรอนิกส์ โรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงปรากฏจอภาพและแป้นพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นภายในห้องควบคุมของระบบควบคุมแบบเดิม โดยโครงสร้างของระบบควบคุมยังคงมีลักษณะเป็นการควบคุมแบบศูนย์กลางเช่นเดิม



รูปที่ 4.1 ห้องควบคุมแบบติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์

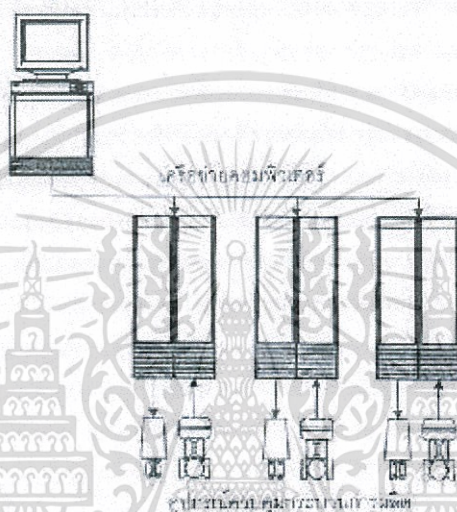
แนวความคิดเรื่องกระจายเครื่องมือควบคุมภายในโรงงานอุตสาหกรรมและแบ่งหน้าที่ของเครื่องมือควบคุมกระบวนการผลิตเป็นส่วนๆ เริ่มประสบผลสำเร็จหลังการประดิษฐ์วงจรรวม (integrated circuit) เมื่อ พ.ศ. 2503 และการผลิตไมโครโปรเซสเซอร์ตัวแรกสำหรับใช้กับเครื่องคำนวณเลข เมื่อ พ.ศ. 2512 จากนั้นได้มีผู้ผลิตไมโครโปรเซสเซอร์แบบต่างๆ ออกจำหน่ายในท้องตลาดมากมายและเป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องคำนวณเลข และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ผู้ผลิตเครื่องมือวัดและเครื่องควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมจึงเริ่มออกแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของดีซีเอสในปัจจุบันนี้

ดีซีเอสรุ่นแรกเป็นเครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตแทนเครื่องควบคุมชนิดนิวเมติกส์และอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย อุปกรณ์สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตติดตั้งในบริเวณพื้นที่การผลิต ทำหน้าที่รับสัญญาณวัดของกระบวนการผลิตจากเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณควบคุมสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตไปยังวาล์วควบคุม อุปกรณ์สำหรับติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานติดตั้งในบริเวณห้องควบคุมสำหรับพนักงานใช้ตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตโดยระหว่างอุปกรณ์ควบคุมกระบวนการผลิตกับอุปกรณ์ติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานเชื่อมโยงติดต่อกันโดยเครือข่ายคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตจะติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณกระบวนการผลิตทั่วโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการกระจายหน้าที่การควบคุมกระบวนการผลิตให้กับเครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตและติดตั้งอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานในบริเวณห้องควบคุมกลาง ทำให้พนักงานสามารถตรวจสอบข้อมูลจากกระบวนการผลิตและควบคุมกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมดจากภายในห้องควบคุมเพียงแห่งเดียว

อุปกรณ์คิดและปฏิบัติงานของพนักงาน



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของดีซีเอสรุ่นแรก

แนวความคิดเกี่ยวกับการจัดโครงสร้างของระบบควบคุมแบบกระจายหรือดีซีเอส เกิดขึ้นเพราะความจำเป็นในการแก้ปัญหาของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อชดเชยจุดบกพร่องของระบบควบคุมเดิมแบบต่างๆ ระบบควบคุมแบบติดตั้งเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณในบริเวณกระบวนการผลิตที่ติดตั้งเครื่องควบคุมรวมกันในห้องควบคุมกลาง โรงงานอุตสาหกรรมจะแบ่งความรับผิดชอบในการควบคุมกระบวนการผลิตให้กับอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในห้องควบคุม ทำให้ระบบควบคุมมีความน่าเชื่อถือสูงเนื่องจากความเสียหายของอุปกรณ์หรือเครื่องควบคุมจะทำให้กระบวนการผลิตเฉพาะส่วนที่มีปัญหาได้รับความเสียหายเท่านั้น แต่กระบวนการผลิตส่วนอื่นยังคงสามารถดำเนินการผลิตได้ตามปกติ แต่ไม่เหมาะสมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากอุปกรณ์และเครื่องควบคุมชนิดนิวเมติกส์และอิเล็กทรอนิกส์มีความสามารถในการควบคุมจำกัด อุปกรณ์ต้องใช้เนื้อที่ในการติดตั้งมาก ทำให้ห้องควบคุมมีขนาดใหญ่และไม่สะดวกแก่การปฏิบัติงานของพนักงานเพราะต้องดูแลเครื่องมือต่างๆ บนแผงควบคุมเป็นจำนวนมากทั่วห้องควบคุมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตหรือบริหารระบบควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต เนื่องจากระบบควบคุมใช้วิธีการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดโครงสร้างและคุณสมบัติของระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมมีความสามารถสูงกว่าระบบควบคุมแบบเดิมมาก แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมค่อนข้างต่ำ เนื่องจากความเสียหายเพียงเล็กน้อยของเครื่องคอมพิวเตอร์อาจทำให้กระบวนการผลิตทั้งหมดได้รับความเสียหายและต้องหยุดการผลิตทันที ดีซีเอสสามารถชดเชยจุดบกพร่องของระบบควบคุมแบบเดิมทั้ง 2 ระบบโดยแบ่งหน้าที่การควบคุมกระบวนการผลิตให้กับอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ของดีซีเอสรับผิดชอบเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบควบคุม และใช้การเขียนโปรแกรมเช่นเดียวกับเครื่องคอมพิวเตอร์กำหนดคุณสมบัติของระบบควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมกระบวนการผลิตให้สูงขึ้น

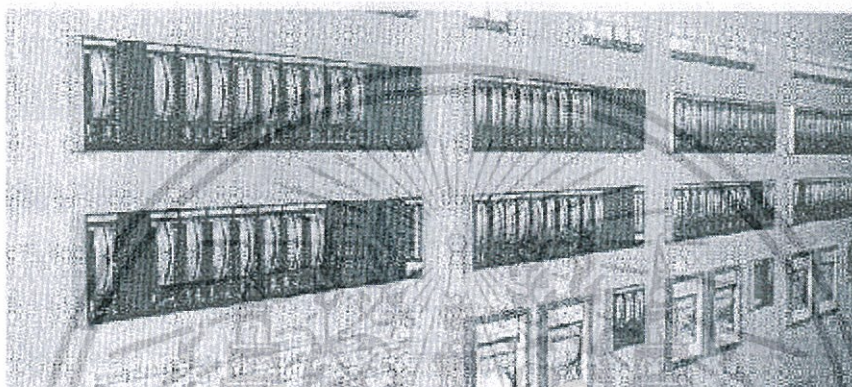
ดีซีเอสนอกจากสามารถชดเชยจุดบกพร่องของระบบควบคุมอื่นๆแล้วยังสามารถเปลี่ยนวิธีการปฏิบัติของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยนำจอภาพและแป้นพิมพ์เช่นเดียวกับเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานในระบบควบคุม ร่วมกับการใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก (computer graphic) แสดงภาพจำลองของแผงหน้าปัดเครื่องมือต่างๆ และภาพจำลองของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตบนจอภาพ เพื่อเพิ่มความสะดวกแก่พนักงานในการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิต

4.1.1 เครื่องมือติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานของดีซีเอส

การติดตั้งเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณชนิดอิเล็กทรอนิกส์ในบริเวณกระบวนการผลิตและติดตั้งเครื่องควบคุมชนิดอิเล็กทรอนิกส์ในห้องควบคุมแทนอุปกรณ์และเครื่องมือชนิดนิวมेटริกส์ทำให้เครื่องมือต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมมีขนาดเล็กลงและโรงงานอุตสาหกรรมสามารถขยายขนาดใหญ่กว่าโรงงานอุตสาหกรรมที่ติดตั้งเครื่องมือวัดและควบคุมชนิดนิวมेटริกส์มาก ห้องควบคุมของโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องมีขนาดใหญ่และติดตั้งเครื่องมือบนแผงควบคุมจำนวนมาก พนักงานต้องตรวจสอบและดูแลกระบวนการผลิตทั้งหมดของโรงงานอุตสาหกรรมจากภายในบริเวณห้องควบคุมเพียงแห่งเดียว แผงควบคุมต้องใช้เนื้อที่ทุกส่วนสำหรับติดตั้งเครื่องบันทึกสัญญาณ (recorder) มาตรวัดและเครื่องควบคุม พนักงานต้องดูแลความเรียบร้อยของกระบวนการผลิตโดยคอยสังเกตอ่านค่าบนกระดาดขยับที่กและเข็มของมาตรวัดและปรับค่าบนเครื่องควบคุมให้ถูกต้องตลอดเวลา ต่อมาเครื่องมือต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมได้รับการออกแบบให้มีความสามารถมากขึ้นและใช้งานได้หลายหน้าที่พร้อมกัน เช่นเครื่องควบคุมสามารถติดตั้งมาตรวัดและเครื่องบันทึกสัญญาณบนเครื่องเดียวกัน ทำให้วิธีการใช้เครื่องมือยุ่งยากและสลับซับซ้อนขึ้นขณะเดียวกันกระบวนการผลิตได้รับการขยายให้ขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้จำเป็นต้องปรับวิธีการควบคุมกระบวนการผลิตให้ซับซ้อนขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมให้สูงขึ้น

บริษัทผู้ผลิตเครื่องมือวัดและควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมได้ทำการวิจัยสำหรับการออกแบบและติดตั้งเครื่องมือในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้ความสะดวกแก่การปฏิบัติงานของพนักงานมากที่สุด เพราะการตัดสินใจที่ถูกต้องรวดเร็วของพนักงานสามารถส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพและคุณภาพการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม บริษัทผู้ผลิตเครื่องสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องหาวิธีที่ดีและ

เหมาะสมที่สุดสำหรับพนักงานในการใช้เครื่องมือของตน โดยวิธีสำรวจความคิดเห็นและติดตามการปฏิบัติงานของพนักงานภายในห้องควบคุมของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆขณะปฏิบัติหน้าที่ตามปกติ และเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้น ผลการสำรวจทำให้ทราบถึงจำนวนเครื่องมือสำหรับให้พนักงานแต่ละคนดูแลและจัดการดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งแนวทางการแก้ปัญหาต่างๆที่เป็นอุปสรรคสำหรับการปฏิบัติหน้าที่ของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้



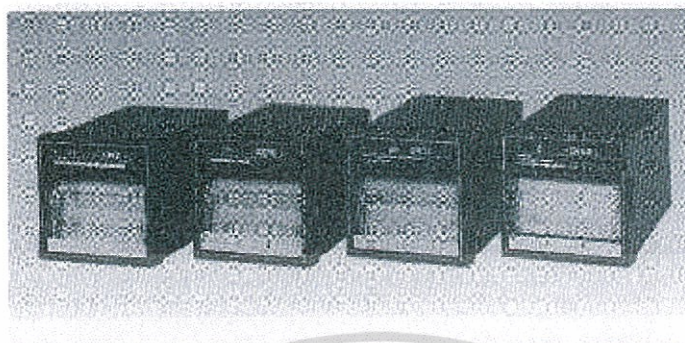
รูปที่ 4.3 อุปกรณ์และเครื่องมือบนแผงควบคุมของโรงงานอุตสาหกรรม

1. พนักงานต้องตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตโดยผ่านเครื่องมือในห้องควบคุมซึ่งมีจำนวนมาก การควบคุมการผลิตให้มีประสิทธิภาพ พนักงานจะต้องสามารถตรวจสอบสภาพและการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของกระบวนการผลิตได้ตลอดเวลา เพื่อให้สามารถค้นพบความผิดปกติในกระบวนการผลิตและดำเนินการแก้ไขได้ทันที
2. พนักงานต้องสามารถออกคำสั่งและควบคุมกระบวนการผลิตให้เริ่มต้นการผลิตหรือหยุดการผลิตได้จากภายในห้องควบคุมเพียงอย่างเดียว โดยไม่ต้องเข้าไปปฏิบัติงานในบริเวณพื้นที่การผลิตจริง การดำเนินการควบคุมการผลิตของพนักงานประกอบด้วย การควบคุมอัตโนมัติและการควบคุมด้วยมือโดยตรง
 - a. การควบคุมอัตโนมัติ หมายถึง การควบคุมให้กระบวนการผลิตทั้งหมดสามารถดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ ทั้งหมดเองโดยอัตโนมัติ พนักงานเพียงทำหน้าที่ตรวจสอบและดูแลให้กระบวนการผลิตทั้งหมดดำเนินการไปอย่างถูกต้อง
 - b. การควบคุมด้วยมือ หมายถึง การควบคุมโดยพนักงานสามารถสอดแทรกการควบคุมอัตโนมัติและแก้ไขกระบวนการผลิตบางขั้นตอนหรือทั้งหมดได้ ในกรณีที่ระบบควบคุมอัตโนมัติขัดข้องบางส่วนหรือทั้งหมด
3. แผงควบคุมส่วนมากจะติดตั้งเครื่องบันทึกสัญญาณและมาตรวัดสำหรับแสดงค่าตัวแปรของกระบวนการผลิตจำนวนมาก ทำให้พนักงานไม่สามารถตรวจสอบหรืออ่านค่าที่แท้จริงของตัวแปรจากเครื่องมือทั้งหมดได้ตลอดเวลา แต่ต้องใช้วิธีการสังเกตเพื่อค้นหาเฉพาะเครื่องมือที่แสดงค่าต่างจากค่าปกติเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องมือบนแผงควบคุมสามารถแสดงค่าตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกันแต่พนักงานสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเครื่องมือต่างๆ เรียงตามลำดับได้เพียงครั้งละหนึ่งตำแหน่งเท่านั้น
5. การจัดตำแหน่งปฏิบัติงานและระยะห่างจากแผงควบคุมของพนักงานสามารถส่งผลโดยตรงกับจำนวนเครื่องมือบนแผงควบคุมที่พนักงานแต่ละคนสามารถดูแลได้อย่างมีประสิทธิภาพหากตำแหน่งของพนักงานห่างจากแผงควบคุมมากช่วยเพิ่มมุมมองของพนักงานให้กว้างขึ้นและสามารถตรวจสอบเครื่องมือบนแผงควบคุมได้พร้อมกันเป็นจำนวนมาก แต่ความสามารถในการตรวจสอบและอ่านค่าที่แท้จริงให้ถูกต้องลดน้อยลง ในทางกลับกันถ้าพนักงานอยู่ใกล้แผงควบคุมจะสามารถเห็นค่าต่างๆ บนเครื่องได้อย่างชัดเจน แต่มุมมองของพนักงานจะถูกบีบให้แคบลง จนบางครั้งอาจไม่สามารถสังเกตพบการเปลี่ยนแปลงของเครื่องมืออื่นที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกันได้
6. ระบบควบคุมที่ดีควรติดตั้งเครื่องมือวัดและควบคุมเพื่อให้ความสะดวกแก่พนักงานในการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตมากที่สุด โดยสามารถสรุปข้อมูลที่สำคัญจากกระบวนการผลิตทั้งหมดให้พนักงานทราบและสามารถตรวจสอบรายละเอียดเพิ่มเติมได้ตลอดเวลา แทนการให้พนักงานต้องคอยเดินตรวจสอบหาข้อมูลจากเครื่องมือที่ติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณห้องควบคุมเอง
7. เครื่องมือที่แสดงข้อมูลเป็นตัวเลขจะให้ความสะดวกแก่พนักงานในการตีความหมายและทำความเข้าใจได้ดีกว่าเครื่องมือที่แสดงข้อมูลโดยวิธีอ่านตำแหน่งเข็มบนหน้าปัด และเครื่องมือที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลโดยใช้เส้นกราฟจะช่วยให้สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่าการใช้ตารางตัวเลข
8. การติดตั้งเครื่องควบคุมเครื่องมือวัดและเครื่องบันทึกสัญญาณของกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกัน ควรติดตั้งโดยจัดวางตำแหน่งบนแผงควบคุมเป็นกลุ่มเดียวกัน เพื่อให้ความสะดวกแก่พนักงานในการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิต สำหรับแผงควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมแบบเดิม บางครั้งอาจไม่สามารถติดตั้งเครื่องมือได้ตรงตามความต้องการทั้งหมดเนื่องจากต้องติดตั้งเครื่องมือจำนวนมากบนพื้นที่จำกัด และเครื่องมือบางเครื่องอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตหลายกระบวนการพร้อมกัน
9. ระบบสัญญาณเตือนภัยควรออกแบบโดยแบ่งกลุ่มและจัดลำดับให้สามารถแสดงตำแหน่งและค้นหาสาเหตุได้ง่ายและรวดเร็ว สัญญาณเตือนภัยต้องสามารถแสดงสาเหตุผิดปกติในกระบวนการผลิตและระบุตำแหน่งของเครื่องมือที่เกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้พนักงานทราบข้อมูลและสามารถตัดสินใจการแก้ไขได้ถูกต้องได้ทันทีซึ่งสัญญาณเตือนภัยของโรงงานอุตสาหกรรมแบบเดิมมักใช้หลอดสัญญาณไฟกระพริบจัดเรียงเป็นตารางตามตำแหน่งกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม
10. เครื่องบันทึกสัญญาณเก็บข้อมูลของตัวแปร เป็นตัวแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตส่วนที่สำคัญย้อนหลังเป็นเวลาประมาณ 8 ถึง 24 ชั่วโมง สามารถใช้ประโยชน์ช่วยอธิบายและค้นหาสาเหตุผิดปกติของกระบวนการผลิต ซึ่งใช้เป็นข้อมูลสำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตในอนาคตได้เป็นอย่างดี แม้ว่าจะเป็นการเก็บรักษากระดาษบันทึกมากก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เครื่องบันทึกสัญญาณ

11. ภาพจำลองของกระบวนการผลิตพร้อมข้อมูลแสดงภาพของกระบวนการผลิต ช่วยให้พนักงานสามารถเข้าใจและตรวจสอบกระบวนการผลิตง่ายกว่าการอ่านกระดาษบันทึกสัญญาณและมาตรวัดต่างๆ

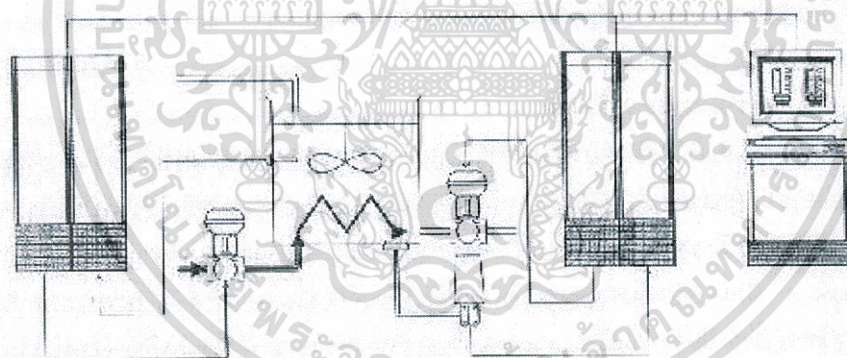
เครื่องมือติดต่อและปฏิบัติงานของดีซีเอสได้รับการพัฒนาโดยปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานในระบบควบคุมแบบเดิม จากข้อมูลที่ได้จากผลการสำรวจและวิจัยของบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือวัดและควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมโดยต้องการให้การตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมได้รับความสะดวกมากที่สุด เครื่องมือติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานดีซีเอสทำหน้าที่จัดหาข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตของพนักงานโดยแสดงบนจอภาพและรับคำสั่งสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตจากพนักงานโดยใช้แป้นพิมพ์ ทำให้พนักงานสามารถปฏิบัติหน้าที่จากเครื่องมือติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงานของดีซีเอสโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่นในห้องควบคุมอีก แม้ว่าบริษัทผู้ผลิตดีซีเอสจะเลือกใช้จอภาพและแป้นพิมพ์คล้ายกับของเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตของพนักงานแทนเครื่องมือในห้องควบคุมแบบเดิมและมีการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อปฏิบัติหน้าที่ต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรมก่อนดีซีเอสก็ตาม แต่การใช้จอภาพและแป้นพิมพ์ของดีซีเอสต่างจากเครื่องคอมพิวเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมเดิมมาก เครื่องคอมพิวเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมใช้จอภาพแสดงได้เฉพาะข้อมูลที่เป็นตัวอักษรและตัวเลขเท่านั้น แป้นพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถรับเพียงคำสั่งและข้อมูลได้เฉพาะตัวอักษรและตัวเลขเท่านั้น แต่จอภาพของดีซีเอสสามารถแสดงภาพจำลองกระบวนการผลิตและเครื่องมือต่างๆในระบบควบคุม เช่น กระดาษของเครื่องบันทึกสัญญาณ หน้าปัดของเครื่องมือวัดและเครื่องควบคุม ทำให้พนักงานสามารถตรวจสอบข้อมูลของกระบวนการผลิตจากอุปกรณ์ต่างๆบนจอภาพของดีซีเอสเช่นเดียวกับการตรวจสอบข้อมูลบนแผงควบคุมของระบบควบคุมแบบเดิม สำหรับการควบคุมระบบการผลิต พนักงานสามารถสั่งงานได้โดยใช้แป้นพิมพ์เลือกจอแสดงภาพกระบวนการผลิตและเครื่องมือที่ต้องการและสั่งงานบนจอภาพแทนการปรับเรื่องควบคุมแบบเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีซีเอสแสดงข้อมูลของกระบวนการผลิตโดยพนักงานสามารถตรวจสอบกระบวนการผลิตและเครื่องมือต่างๆในระบบควบคุมจากจอภาพของดีซีเอสดังนี้

1. กระบวนการผลิตรวม (overview display)
2. กลุ่มกระบวนการ (group display)
3. หน่วยเครื่องมือ (instrument display)
4. แนวโน้มกระบวนการ (trend display)
5. ภาพจำลองกระบวนการ (graphic display)
6. สัญญาณเตือนเหตุการณ์ (alarm display)

ดีซีเอส คือ เครื่องข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับตรวจสอบและควบคุมของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ดีซีเอสประกอบด้วย เครื่องมือต่างๆโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับควบคุมการปฏิบัติงานและติดต่อกับเครือข่ายของดีซีเอสเพื่อตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตร่วมกัน



รูปที่ 4.5 การติดตั้งดีซีเอสควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

ดีซีเอส หมายถึง การติดตั้งเครื่องมือวัดและควบคุมแยกกระจายตามตำแหน่งต่างๆทั่วโรงงานอุตสาหกรรมตามความหมายระบบควบคุมแบบกระจาย ทำให้ดีซีเอสมีวิธีการติดตั้งเครื่องมือและแบ่งหน้าที่ของเครื่องมือในระบบควบคุมต่างจากระบบควบคุมแบบศูนย์กลางเดิม

เครือข่ายของดีซีเอสต่างจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์ท้องถิ่น (LAN หรือ Local Area Network) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทางด้านธุรกิจโดยโปรแกรมควบคุมการปฏิบัติงานของดีซีเอสเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีการประมวลผลตามเวลาจริง (real - time processing) ต่างจากโปรแกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ประมวลผลแบบแบตช์ (batch processing) การประมวลผลแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบซ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป จะประมวลผลตามโปรแกรมครั้งละหนึ่งโปรแกรมจนเสร็จแล้วจึงสามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่นมาประมวลผลต่อไปและข้อมูลสำหรับประมวลผลแบบแบบซ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องจัดเตรียมข้อมูลสำเร็จก่อนเริ่มการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกครั้ง เครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผลจนสำเร็จขั้นตอนสุดท้ายและได้ผลลัพธ์ทั้งหมดหลังจากกาประมวลผลสำเร็จถ้าต้องการเปลี่ยนข้อมูลสำหรับการประมวลผลใหม่จะต้องรอเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลตามข้อมูลเดิมจนสำเร็จจึงสามารถป้อนข้อมูลชุดใหม่ให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลซ้ำอีกครั้งหนึ่ง การประมวลผลตามเวลาจริงของดีซีเอสจะประมวลผลตามโปรแกรมหลายโปรแกรมพร้อมกันตลอดเวลาและข้อมูลสำหรับการประมวลผลตามเวลาจริงของดีซีเอสจะถูกรับจากกระบวนการผลิตที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ผลลัพธ์จากการประมวลผลของดีซีเอสจะถูกใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตตลอดเวลาเช่นเดียวกับการรับข้อมูลของดีซีเอส

โครงสร้างเบื้องต้นของดีซีเอส ประกอบด้วย เครื่องมือสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตติดตั้งในบริเวณพื้นที่การผลิตและเครื่องมือสำหรับติดต่อระหว่างดีซีเอสกับพนักงานติดตั้งในบริเวณห้องควบคุม แทนแผงควบคุมของระบบควบคุมเดิม พนักงานสามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตโดยใช้จอภาพและแป้นพิมพ์ของดีซีเอสติดต่อกับระบบควบคุม ปัจจุบันได้มีบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งได้ผลิตเครื่องมือควบคุมโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการผลิตและดัดแปลงใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำหน้าที่ติดต่อระหว่างระบบควบคุมกับพนักงานโดยเรียกผลิตภัณฑ์ของตนว่าดีซีเอส แต่โครงสร้างของระบบควบคุมไม่แตกต่างจากระบบควบคุมแบบศูนย์กลางเดิม ทำให้บางครั้งมีผู้เข้าใจผิดว่า ดีซีเอส คือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อพิเศษสำหรับรับสัญญาณวัดและส่งสัญญาณควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมแทนเครื่องควบคุมแบบเดิม และดีซีเอสต่างจากระบบควบคุมแบบเดิมเพียงภายในห้องควบคุมต้องติดตั้งจอภาพและแป้นพิมพ์ของดีซีเอสแทนแผงติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือควบคุมและติดตั้งสายสัญญาณวัดและควบคุมเชื่อมโยงระหว่างเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณและวาล์วควบคุมกับอุปกรณ์สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอสในบริเวณกระบวนการผลิต และสายสัญญาณเครือข่ายเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ควบคุมกระบวนการผลิตกับอุปกรณ์ติดต่อระหว่างดีซีเอสกับพนักงานภายในห้องควบคุม แทนการเชื่อมโยงสายสัญญาณวัดและควบคุมระหว่างเครื่องมือในบริเวณกระบวนการผลิตกับเครื่องมือในห้องควบคุมโดยตรง ทำให้ความยาวของสายสัญญาณระหว่างเครื่องมือวัดและเครื่องมือควบคุมมีขนาดสั้นลงแต่สายสัญญาณยังคงมีจำนวนเท่าเดิม ซึ่งไม่ใช่โครงสร้างที่แท้จริงของดีซีเอส

สถาปัตยกรรมดีซีเอสของผู้ผลิตแต่ละบริษัทอาจมีโครงสร้างต่างกันตามการออกแบบของผู้ผลิตแต่ละบริษัท แต่ดีซีเอสของผู้ผลิตทุกบริษัทต้องแบ่งอุปกรณ์ประกอบภายในของดีซีเอสตามหน้าที่การปฏิบัติงานและความรับผิดชอบเป็น หน่วยเครื่องมือ (module) เสมอ แม้ว่าอุปกรณ์ประกอบของดีซีเอสของผู้ผลิตแต่ละรายจะมีชื่อเรียกต่างกัน แต่ดีซีเอสต้องประกอบด้วยหน่วยเครื่องมือลักษณะคล้ายคลึงกันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **หน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ (process interface module)** เป็นอุปกรณ์ติดต่อระหว่างดีซีเอสกับกระบวนการผลิต ทำหน้าที่ รับสัญญาณวัดจากกระบวนการผลิตให้กับดีซีเอส และส่งสัญญาณควบคุมจากดีซีเอสไปยังกระบวนการผลิต หน่วยเชื่อมต่อกระบวนการเบื้องต้นของดีซีเอสประกอบด้วยหน่วยรับสัญญาณอะนาล็อก (analog input module) หน่วยส่งสัญญาณอะนาล็อก (analog output module) หน่วยรับสัญญาณดิจิทัล (digital input module) และหน่วยส่งสัญญาณดิจิทัล (digital output module)
2. **หน่วยควบคุมกระบวนการ (process control module)** เป็นอุปกรณ์หลักของดีซีเอสสำหรับควบคุมกระบวนการผลิต โดยรับข้อมูลของกระบวนการผลิตจากหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการเพื่อคำนวณค่าของสัญญาณควบคุมและส่งกลับไปยังหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการเพื่อควบคุมกระบวนการผลิตอีกทีหนึ่งหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการจะติดต่อกับหน่วยควบคุมกระบวนการโดยเครือข่ายย่อยความเร็วต่ำของดีซีเอสการควบคุมกระบวนการผลิตเบื้องต้นของดีซีเอส ประกอบด้วย การควบคุมแบบดิจิทัลโดยตรงและการควบคุมแบบติดและดับ
3. **หน่วยติดต่อและปฏิบัติงานของพนักงาน (operator interface module)** และหน่วยปฏิบัติการของวิศวกร (engineering workstation) เป็นอุปกรณ์ติดต่อระหว่างดีซีเอสกับผู้ใช้ระดับวิศวกรและพนักงานทั่วไป ดีซีเอสอาจแยกหน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานและวิศวกรเป็นอุปกรณ์ 2 ชุด หรือใช้อุปกรณ์ชุดเดียวร่วมกันทำหน้าที่เป็นหน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานและวิศวกร หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ติดต่อกับพนักงานเพื่อตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิต หน่วยปฏิบัติการของวิศวกรทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ติดต่อระหว่างดีซีเอสกับวิศวกรสำหรับการจัดโครงสร้างของระบบควบคุมและเชื่อมต่อเครื่องมือภายในระบบดีซีเอส การกำหนดรายละเอียดและลำดับการแสดงผลกราฟิกสำหรับพนักงาน การเก็บบันทึกข้อมูลแสดงแนวโน้มประวัติกระบวนการ และข้อมูลเตือนเหตุการณ์ต่างๆของดีซีเอส
4. **หน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย (communication module)** เป็นอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ทุกส่วนของดีซีเอสกับเครือข่ายคมนาคม หน่วยเชื่อมต่อเครือข่ายเบื้องต้นของดีซีเอสจะเชื่อมโยงอุปกรณ์ควบคุมกระบวนการกับอุปกรณ์ติดต่อและปฏิบัติการของพนักงาน
5. **หน่วยเก็บข้อมูลและประวัติกระบวนการ (process data and history module)** เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอสและข้อมูลประวัติของกระบวนการ หน่วยเก็บข้อมูลและประวัติกระบวนการของดีซีเอสมักติดตั้งร่วมกับหน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานและวิศวกร แต่ดีซีเอสอาจแยกหน่วยเก็บข้อมูลและประวัติกระบวนการอุปกรณ์อิสระโดยมีอุปกรณ์เชื่อมต่อกับเครือข่ายคมนาคมของตนเอง อุปกรณ์เก็บข้อมูลเบื้องต้นของดีซีเอสประกอบด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูลชนิดจากแม่เหล็ก (magnetic disk) และเทปแม่เหล็ก (magnetic tape)
6. **หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (computer network interface module)** เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายของดีซีเอสกับเครือข่ายของคอมพิวเตอร์อื่นสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลและบริหารระบบควบคุม ดีซีเอสสามารถติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ภายนอกระบบดีซีเอสโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อของหน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงานและวิศวกร หรือเชื่อมต่อกับเครือข่ายของดีซีเอสโดยตรงโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์

7. หน่วยเชื่อมต่อกับระบบเครื่องมือย่อย (subsystem interface module) เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างดีซีเอสเครื่องมืออื่นในระบบควบคุมภายนอกระบบดีซีเอส เช่น พีแอลซี (PLC) ก๊าซโครมาโตกราฟี (gas chromatograph) อุปกรณ์รับและส่งข้อมูลระยะไกล (remote input/output device) และเครื่องมืออื่น ๆ ในระบบควบคุมที่มีหน่วยประมวลผลของตนเอง ดีซีเอสสามารถติดต่อกับเครื่องมืออื่นในระบบควบคุมโดยผ่านเครือข่ายย่อยของหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการหรือเชื่อมต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ของดีซีเอสโดยตรงโดยให้หน่วยเชื่อมต่อระบบเครื่องมือย่อยเช่นเดียวกับการเชื่อมต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ระบบอื่น
8. หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า (power supply module) เป็นอุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทุกส่วนของดีซีเอส อุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้า ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนและปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ต่างๆของดีซีเอส และเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองสำหรับระบบดีซีเอส

วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาดีซีเอสสำหรับควบคุมการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม คือ การปรับปรุงระบบควบคุมขั้นใหม่โดยนำข้อดีของระบบควบคุมต่างๆเพื่อนำมาชดเชยข้อบกพร่องของระบบควบคุมแบบอื่น ระบบควบคุมแบบติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องควบคุมรวมกันภายในห้องควบคุม แต่ระบบควบคุมดังกล่าวนี้มีจุดบกพร่องไม่เหมาะสมสำหรับโรงงานขนาดใหญ่หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือควบคุมชนิดอิเล็กทรอนิกส์และนิวเมติกส์หลายประการ

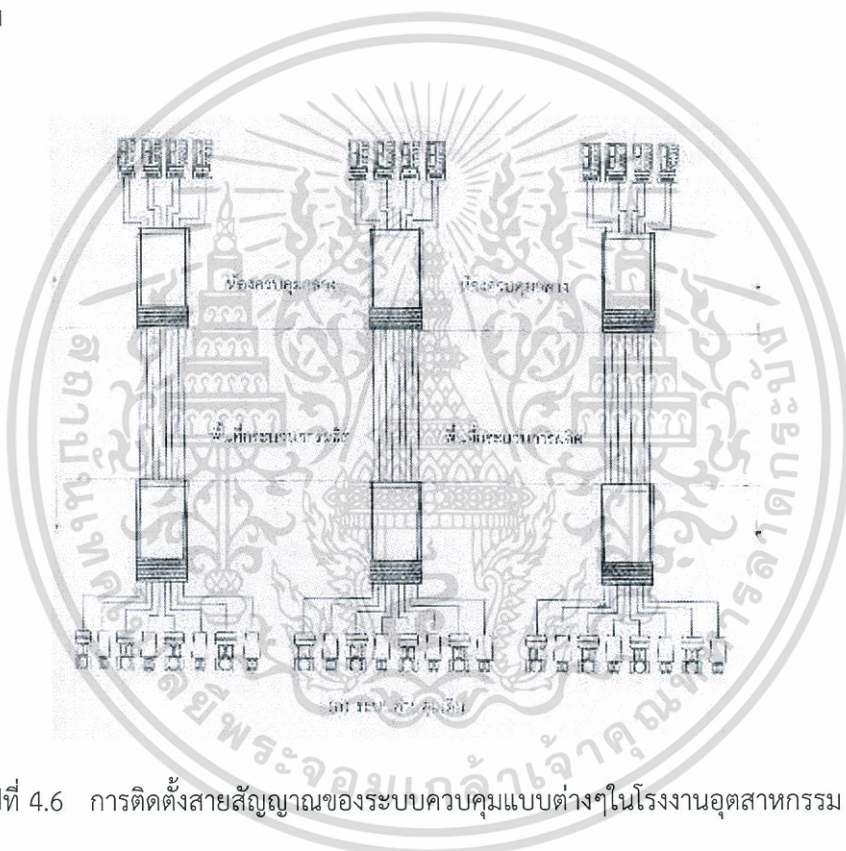
แต่ปัญหาใหม่ในโรงงานอุตสาหกรรมที่พบในเวลาต่อมาหลังจากติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์คือปัญหาด้านความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมมีน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบเดิมทำให้ต้องมีการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าโดยการติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์สำรองหรือเครื่องมือควบคุมสำรอง สำหรับชดเชยจุดบกพร่องของระบบควบคุมทั้งสองระบบ ดีซีเอสเป็นผลการพัฒนาระบบควบคุมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องเพื่อแก้ปัญหาในการควบคุมกระบวนการและตอบสนองต่อความต้องการของพนักงานในโรงงานในอุตสาหกรรมและบุคคลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดีซีเอสจึงเป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรมและสถานการณ์ในปัจจุบันมากที่สุดในทุกๆ ด้าน ดังนี้

1. การออกแบบและติดตั้งระบบควบคุม
2. การขยายโรงงานอุตสาหกรรม
3. การแก้ปัญหากระบวนการผลิต
4. การบำรุงรักษาระบบควบคุม
5. การปฏิบัติงานของพนักงาน
6. การติดตั้งร่วมกับเครื่องมือและระบบควบคุมอื่น
7. ความน่าเชื่อถือของระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

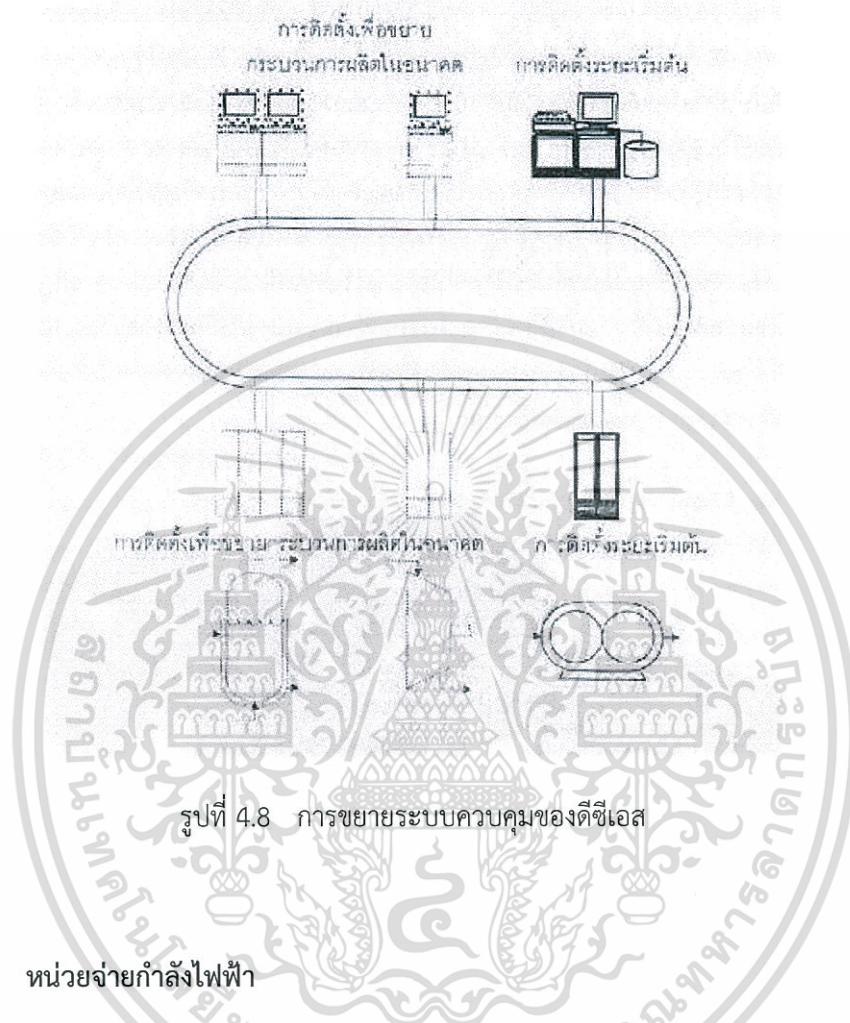
4.1.2 การออกแบบและติดตั้งระบบควบคุม

ดีซีเอสช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในระหว่างการออกแบบระบบควบคุมและการติดตั้งเครื่องมือวัดและควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมได้มาก ผู้ออกแบบสามารถเลือกดีซีเอสให้ตรงกับความต้องการและขนาดของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละแห่ง โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กอาจติดตั้งเพียงอุปกรณ์ควบคุมกระบวนการผลิตและอุปกรณ์ติดตั้งโดยผ่านสายสัญญาณเครือข่ายของระบบควบคุม สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่อาจเลือกติดตั้งอุปกรณ์ประกอบต่างๆ จำนวนเพิ่มมากขึ้นตามความเหมาะสม



รูปที่ 4.6 การติดตั้งสายสัญญาณของระบบควบคุมแบบต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปยังต้องการสายสัญญาณจำนวนมากขึ้นเพื่อเชื่อมต่อระหว่างมาตรวัดแสดงผลในระบบควบคุม ดีซีเอสไม่จำเป็นต้องใช้สายสัญญาณดังกล่าวเนื่องจากดีซีเอสสามารถเลือกติดตั้งมาตรวัดและเครื่องบันทึกสัญญาณเป็นเครื่องมือภายในของดีซีเอสเองสำหรับแสดงบนหน้าจอภาพโดยไม่ต้องติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวจริงเช่นระบบควบคุมแบบเดิม



รูปที่ 4.8 การขยายระบบควบคุมของดีซีเอส

4.1.3 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่องมือสำหรับเชื่อมต่อและควบคุมการผลิตของดีซีเอสในโรงงานอุตสาหกรรม การปฏิบัติงานของเครื่องมือสำหรับเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอสจำเป็นต้องได้รับกำลังไฟฟ้าจากหน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าของดีซีเอส เพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้สม่ำเสมอและเหมาะสมสำหรับการปฏิบัติของเครื่องมือต่างๆตลอดเวลา หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าของดีซีเอสทั่วไปสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้า ชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ โดยใช้อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ทำหน้าที่ปรับและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่สำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เครื่องมือต่างๆของดีซีเอสทุกชุดแยกอิสระกันทั้งหมดเพื่อป้องกันการรบกวนจากการปฏิบัติงานของเครื่องมือใกล้เคียง อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันจะรับกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากอุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าอื่น

ดีซีเอสทั่วไปมักติดตั้งกับหน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าสองชุดปฏิบัติงานร่วมกันเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้า

ให้กับดีซีเอส การปฏิบัติงาน ตรวจสอบ และควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอส อาจผิดพลาดได้ง่ายจากสาเหตุเพราะแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของดีซีเอสขาดคุณภาพดังนี้

1. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไม่สามารถรักษาระดับแรงดันไฟให้คงที่และมีคุณภาพ เช่น แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมขาดเสถียรภาพ ระดับแรงดันไฟฟ้าไม่คงที่ ความถี่แรงดันไฟฟ้าไม่คงที่ หรือกำเนิดสัญญาณความถี่ฮาร์มอนิกภายในสายส่งกำลังไฟฟ้า
2. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของดีซีเอสติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปิดและปิดหน้าสัมผัสบ่อยครั้ง เช่น เครื่องพิมพ์ดีดไฟฟ้า ลิฟต์ และรีเลย์ขนาดใหญ่ ทำให้สัญญาณรบกวนการปฏิบัติงานของดีซีเอส
3. ดีซีเอสติดตั้งบริเวณใกล้เคียงกับเครื่องจักรขนาดใหญ่ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องอัดอากาศ เครื่องสูบน้ำ และเครื่องปรับอากาศ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ารบกวนการปฏิบัติงานของดีซีเอส

การปรับปรุงคุณภาพของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของดีซีเอสในโรงงานอุตสาหกรรมให้เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานของดีซีเอสสามารถปฏิบัติ ดังนี้

1. การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าพิเศษสำหรับป้องกันสัญญาณรบกวน ประกอบด้วยฉากป้องกันรอบขดลวดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิแยกไม่ให้อิทธิพลรบกวนสามารถเหนี่ยวนำข้ามขดของหม้อแปลงไฟฟ้าจากขดลวดขุดใดขุดหนึ่งไปยังอีกขดลวดหนึ่ง
2. การติดตั้งระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าท้องถิ่นของโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองของดีซีเอส เช่น ยูพีเอส หรือ สเต็ปไลงเซอร์
3. การติดตั้งระบบแปลงรูปพลังงานสำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับให้กับดีซีเอส ระบบแปลงรูปพลังงานประกอบด้วยเครื่องจักรไฟฟ้า 2 เครื่อง เครื่องจักรไฟฟ้าเครื่องแรกทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานลมหมุน และเครื่องจักรไฟฟ้าเครื่องที่สองทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารับพลังงานกลจากเครื่องจักรไฟฟ้าเครื่องแรกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับหน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าของดีซีเอส

4.1.4 ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยในกระบวนการผลิตของดีซีเอส

ระบบควบคุมของโรงงานอุตสาหกรรมนอกจากการติดตั้งเฉพาะเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือสูงแล้ว การออกแบบยังต้องพิจารณาด้านความปลอดภัยและการจำกัดความเสียหายของกระบวนการผลิตจากอุบัติเหตุหรือความผิดพลาดต่างๆให้อยู่ภายในขอบเขตจำกัดมากที่สุด

1. ระบบควบคุมต้องจำกัดความเสียหายจากสาเหตุความบกพร่องหรือความผิดพลาดของเครื่องมือให้อยู่ภายในวงจำกัด
2. ระบบควบคุมต้องจัดหาเครื่องมือควบคุมสำรองสำหรับพนักงานควบคุมสามารถปฏิบัติหน้าที่ควบคุมกระบวนการผลิตแทนเครื่องมือควบคุมหลักส่วนที่ได้รับความเสียหายให้สามารถดำเนินการได้ตามปกติทันที
3. ระบบควบคุมต้องจัดเตรียมระบบควบคุมฉุกเฉินสำหรับพนักงานควบคุมสามารถสั่งการเพื่อหยุดและยกเลิกกระบวนการผลิตบางส่วนหรือทั้งหมดได้ทันทีด้วยความปลอดภัยทุกขั้นตอน
4. ระบบควบคุมต้องมีระบบตรวจสอบตนเองสำหรับตรวจสอบความถูกต้องในการปฏิบัติงานต่างๆได้

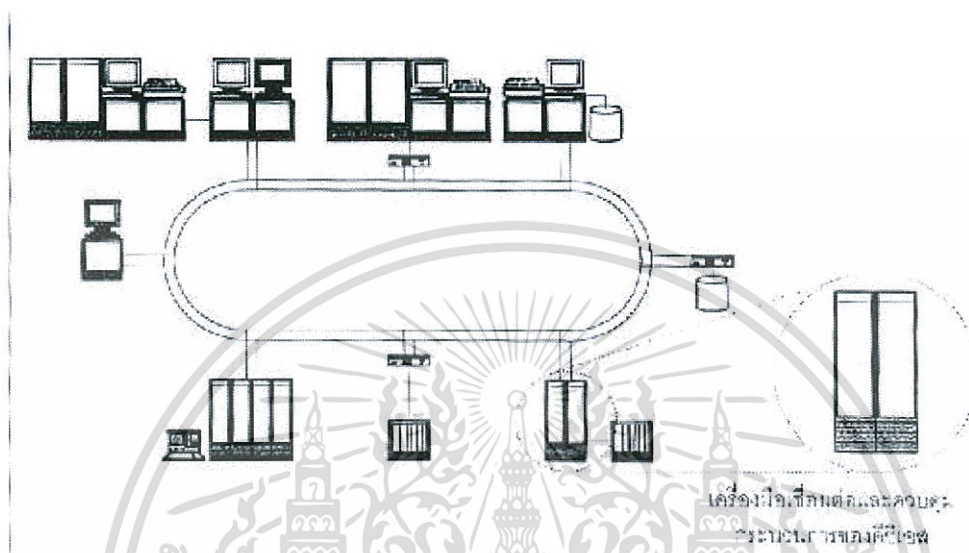
ดีซีเอสสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยในการปฏิบัติงานควบคุมกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

1. การกระจายอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอส เป็นกลุ่มเครื่องมือย่อยแบ่งลำดับหน้าที่ความรับผิดชอบในการตรวจสอบและดูแลกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมร่วมกัน ทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมรวมมีมากขึ้น
2. การเก็บรักษาโปรแกรมและข้อมูลสำรองสำหรับปฏิบัติหน้าที่แทนหน่วยควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอส โดยหน่วยความจำชนิดนอนวอลละไทล์ภายในหน่วยความจำจะทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรม
3. การติดตั้งเครื่องมือควบคุมสำรองสำหรับปฏิบัติหน้าที่แทนหน่วยควบคุมกระบวนการและหน่วยเชื่อมต่อกระบวนการส่วนที่ชำรุดเสียหายไม่สามารถทำงานตามปกติ เครื่องมือควบคุมจะทำหน้าที่แทน
4. ระบบตรวจสอบของดีซีเอสสามารถตรวจสอบการปฏิบัติหน้าที่ของเครื่องมือต่างๆภายในระบบควบคุมและตรวจสอบการติดต่อกับเครื่องมืออื่นที่เชื่อมต่อกับดีซีเอสให้ดำเนินการด้วยความถูกต้องตลอดเวลา ระบบการตรวจสอบตนเองของดีซีเอสยังดูแลและสั่งการให้เครื่องมือควบคุมสำรองของดีซีเอสสามารถปฏิบัติหน้าที่แทนเครื่องมือควบคุมหลักส่วนที่ชำรุดได้ทันทีที่ตรวจสอบพบความผิดปกติของเครื่องมือ ทำให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินไปด้วยความเรียบร้อยต่อเนื่องตลอดเวลา

4.1.5 เครื่องมือเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการของดีซีเอส

เครื่องมือเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการของดีซีเอส คือ อุปกรณ์ของดีซีเอสส่วนที่ติดตั้งในบริเวณกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับรับสัญญาณวัดจากกระบวนการผลิตคำนวณค่าสัญญาณควบคุมและส่งสัญญาณควบคุมกลับไปยังกระบวนการผลิต นอกจากการควบคุม

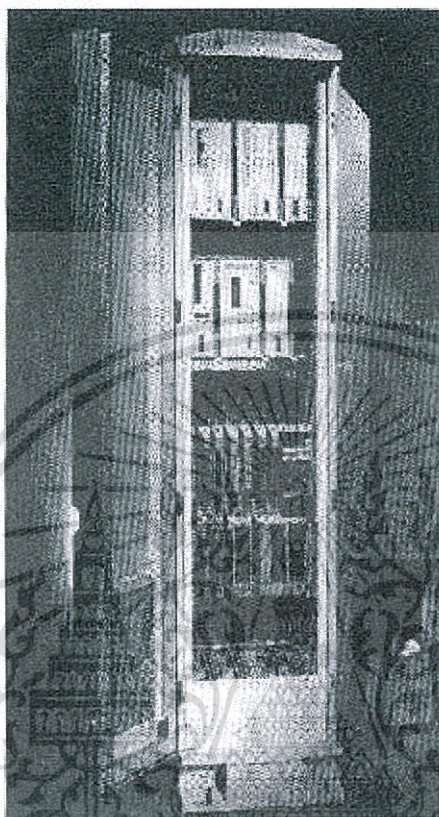
กระบวนการผลิตซึ่งเป็นหน้าที่หลักของเครื่องมือเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการของดีซีเอสแล้ว เครื่องมือเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการของดีซีเอสยังปฏิบัติหน้าที่อื่นอีก ดังนี้



รูปที่ 4.9 เครื่องมือเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการของดีซีเอส

1. การตรวจสอบกระบวนการผลิต คือ การรับสัญญาณวัดจากเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณสถานะตรรกะจากกระบวนการผลิต เพื่อตรวจสอบการปฏิบัติงานของเครื่องมือต่างๆ และสภาพของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม
2. การควบคุมกระบวนการผลิต คือ การรับสัญญาณวัดและสถานะตรรกะแสดงสภาพการปฏิบัติงานของเครื่องจักรและกระบวนการผลิต เพื่อคำนวณสัญญาณควบคุมกลับไปยังกระบวนการผลิต การควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอส ประกอบด้วย การควบคุมแบบดิจิทัลโดยตรงแทนเครื่องควบคุมชนิดนิวเมติกส์หรือเครื่องควบคุมชนิดอิเล็กทรอนิกส์และการควบคุมแบบติดดับแทนวงจรรีเลย์ทรอนิกส์อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์นิวเมติกส์ และพีแอลซีของโรงงานอุตสาหกรรมแบบเดิม
3. การเก็บข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรม คือ การรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการผลิตและระบบควบคุม เพื่อเก็บประวัติและแนวโน้มของสภาพกระบวนการผลิตและผลการปฏิบัติงานของระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับจัดทำสถิติและรายงานต่างๆทั้งหมดของโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

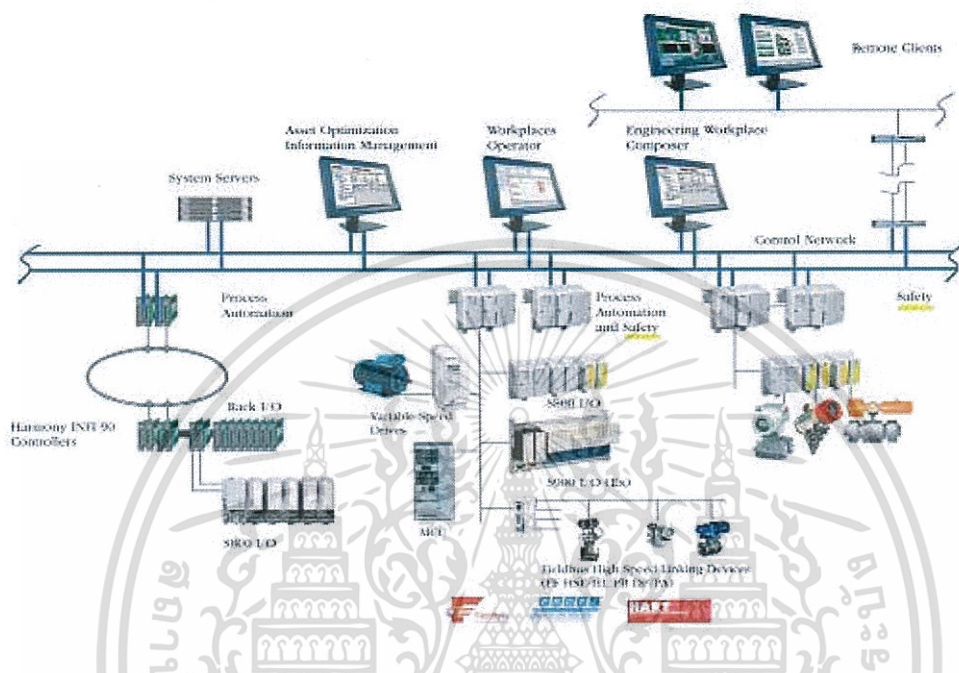


รูปที่ 4.10 เครื่องมือเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการผลิต

4. การตรวจสอบเหตุการณ์ผิดปกติของโรงงานอุตสาหกรรม คือ การตรวจสอบระดับสัญญาณวัดของกระบวนการผลิตและสัญญาณควบคุมของดีซีเอสให้จำกัดค่าอยู่ในขอบเขตของช่วงสัญญาณระดับสูงสุดและต่ำสุดที่กำหนดไว้ และส่งสัญญาณเตือนเมื่อระดับสัญญาณวัดหรือสัญญาณควบคุมบางสัญญาณมีค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปจนนอกขอบเขตที่กำหนดไว้หรือเปลี่ยนแปลงเร็วมากจนต่างจากสภาพปกติของกระบวนการผลิต ตรวจสอบสถานะตรรกะแสดงสภาพการปฏิบัติงานของเครื่องมือต่างๆในกระบวนการผลิตให้ตรงกับสภาพปกติของกระบวนการผลิต และส่งสัญญาณเมื่อสภาพของกระบวนการผลิตต่างจากสภาพปกติเช่นเดียวกัน
5. การติดต่อกับเครือข่ายของดีซีเอส คือ การติดต่อกับเครื่องมืออื่นของดีซีเอสในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อส่งข้อมูลแสดงการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตของดีซีเอสให้ทราบทั่วโรงงานอุตสาหกรรม และรับคำสั่งหรือข้อมูลสำหรับควบคุมกระบวนการผลิตของอุปกรณ์เชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการจากเครื่องมือส่วนอื่นของดีซีเอสในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของ DCS ในปัจจุบัน



รูปที่ 4.11 DCS Architecture

1. หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power supply module) เป็นอุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทุกส่วนของ DCS ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนและปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ต่างๆ และทำหน้าที่เก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองด้วย
2. หน่วยเชื่อมต่อกระบวนการ (Process Interface module) เป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณระหว่าง DCS กับ Process ประกอบด้วย Analog input module, Analog output module, digital input module และ digital output module
3. หน่วยควบคุมกระบวนการ (Process control module) เป็นอุปกรณ์หลังของ DCS สำหรับควบคุม Process โดยรับข้อมูลมาจาก Process interface module เพื่อดำเนินการคำนวณค่าของสัญญาณควบคุมและส่งกลับไปเพื่อควบคุม Process
4. หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของพนักงาน (Operator interface module) เป็นอุปกรณ์ติดต่อระหว่าง DCS กับผู้ใช้งานเพื่อตรวจสอบและควบคุม Process
5. หน่วยเชื่อมต่อเครือข่าย (Communication module) เป็นอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ทุกส่วนของ DCS ให้เป็นเครือข่ายเดียวกัน สามารถติดต่อถึงกันได้ มีหลายแบบ เช่น เครือข่ายแบบเส้นทางเดียว (Bus Network), เครือข่ายแบบวงแหวน (Ring Network) เป็นต้น และเพื่อเป็นการเพิ่มความเสถียรของระบบ Network ของ DCS จึงประกอบไปด้วยเครือข่ายหลัก 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุด (Primary network) และเครือข่ายสำรอง 1 ชุด (Redundant network) อุปกรณ์ทุกตัวจะติดต่อกันผ่านทาง Primary network แต่ ถ้า Primary network มีปัญหา Redundant network จะทำงานแทนทันที ทำให้เครือข่ายของ DCS เป็น เครือข่ายแบบเส้นทางเดียว 2 ชั้น หรือ เครือข่ายแบบวงแหวน 2 ชั้น

6. หน่วยเชื่อมต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer network interface module) เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายของ DCS กับเครือข่ายของคอมพิวเตอร์อื่นๆ

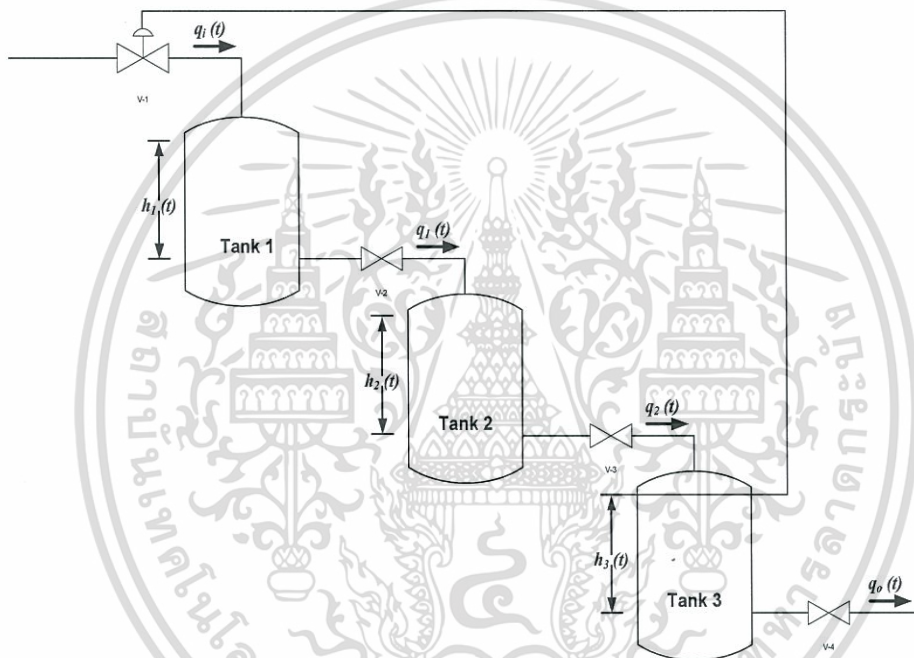


บทที่ 5

การออกแบบตัวควบคุมและนำไปใช้กับ DCS

5.1 โมเดลของกระบวนการอันดับสาม

พิจารณากระบวนการอันดับสามของสามแทงก์ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 Three Tanks System

พิจารณา *Three Tanks System* จะสามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \frac{H_3(s)}{Q_2(s)} \times \frac{H_2(s)}{Q_1(s)} \times \frac{H_1(s)}{Q_i(s)} &= \frac{R_3}{R_3 C_3 s + 1} \times \frac{R_2}{R_2 C_2 s + 1} \times \frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1} \\ \frac{H_3(s)}{Q_2(s)} \times \frac{Q_2(s) R_2(s)}{Q_1(s)} \times \frac{Q_1(s) R_1(s)}{Q_i(s)} &= \frac{R_3}{R_3 C_3 s + 1} \times \frac{R_2}{R_2 C_2 s + 1} \times \frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1} \\ \frac{H_3(s)}{Q_i(s)} R_2(s) R_1(s) &= \frac{R_3}{R_3 C_3 s + 1} \times \frac{R_2}{R_2 C_2 s + 1} \times \frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1} \\ \frac{H_3(s)}{Q_i(s)} &= \frac{R_3}{(R_3 C_3 s + 1)(R_2 C_2 s + 1)(R_1 C_1 s + 1)} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ $G(s)$ คือ

$$G(s) = \frac{R_3}{(R_3 C_3 s + 1)(R_2 C_2 s + 1)(R_1 C_1 s + 1)} \quad (5.1)$$

เมื่อ $\tau = RC$ ดังนั้นสามารถหารูปอย่างง่ายของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบนี้ได้แก่

$$G(s) = \frac{R_3}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)(\tau_3 s + 1)} \quad (5.2)$$

5.2 วิธีการออกแบบ

ในการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID \times (n-2) Stage PD นั้นจะต้องหาตำแหน่งของ Zeros เพื่อให้ได้ตามที่ข้อกำหนดที่ต้องการ

ข้อกำหนดที่ต้องการนั้นโดยปกติจะดูออกแบบในเงื่อนไขของสภาวะ transient และมีผลตอบสนองที่แกว่งอย่างเหมาะสม (steady) ของระบบควบคุมโดยการป้อนสัญญาณขั้นบันได (Unit-step input) โดยสมการที่ใช้ในการหา dominant closed-loop pole ได้แก่

$$\left. \begin{aligned} \text{Percent Overshoot (P.O.)} &= e^{-(\zeta/\sqrt{1-\zeta^2})\pi} \times 100\% \\ \text{Settling Time; } t_s (\pm 2\%) &= \frac{-\ln(0.02\sqrt{1-\zeta^2})}{\omega_n \zeta} \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 ปีที่แล้ว รศ.ดร.กิตติ ตีระเศรษฐ ได้นำเสนอวิธีการง่ายๆ ในการหาตำแหน่งของ Zero ทั้งหมด ที่เรียกว่า “Kitti’s Method (KM)”

วิธีการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับ *type 0, 3rd order plant* ดังนี้

$$G_3(s) = \frac{15}{(s+1)(s+3)(s+5)} \quad (5.4)$$

สำหรับข้อกำหนดที่ต้องการนั้นคือ $P.O. \leq 5\%$, $t_s (\pm 2\%) \leq 1 \text{ sec.}$ และ $e_{ss}(t) = 0$ ดังนั้นจะสามารถหาตำแหน่งของ Zero จากขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 หาค่าอัตราหน่วงของระบบ (damping ratio; ζ) จากเปอร์เซ็นต์การตอบสนองสูงสุดที่กำหนด ($P.O. \leq 5\%$)

$$\zeta = \frac{\ln\left(\frac{P.O.}{100}\right)^2}{\sqrt{\pi^2 + \ln\left(\frac{P.O.}{100}\right)^2}} = 0.69$$

ขั้นที่ 2 หาค่าความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ (undamped natural frequency; ω_n) จากสมการเวลาสู่สมดุล (Settling Time) ที่ $\zeta = 0.69$

$$t_s (\pm 2\%) = \frac{-\ln(0.02\sqrt{1-\zeta^2})}{\zeta\omega_n} \quad ; \text{ at } \zeta = 0.69$$

$$\omega_n = 6.137298 \text{ rad / sec.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

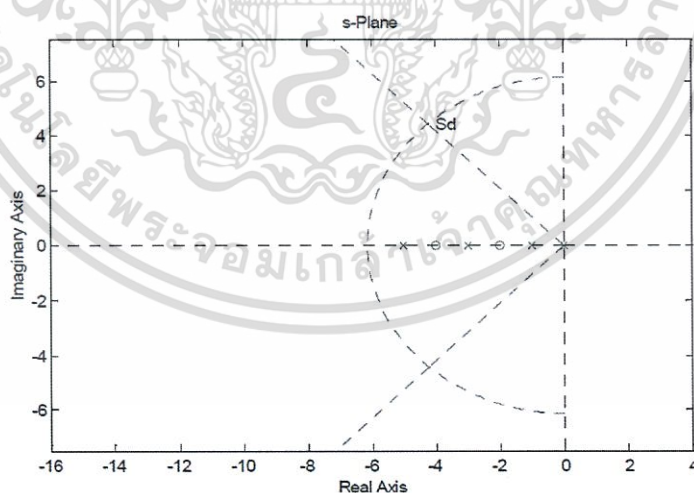
ขั้นที่ 3 หาดำแหน่งของ dominant closed-loop pole

$$S_d = -\zeta\omega_n + j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} = -4.235 + j4.442$$

ที่ซึ่ง Open-Loop Transfer Function ของตัวควบคุมแบบ PID × (n-2) Stage PD คือ

$$K_{(n-2)}(s)G_3(s) = 15K_{pid}K_{pd} \frac{(s+z_1)(s+z_2)\times(s+z_{pd})}{s(s+1)(s+3)(s+5)}$$

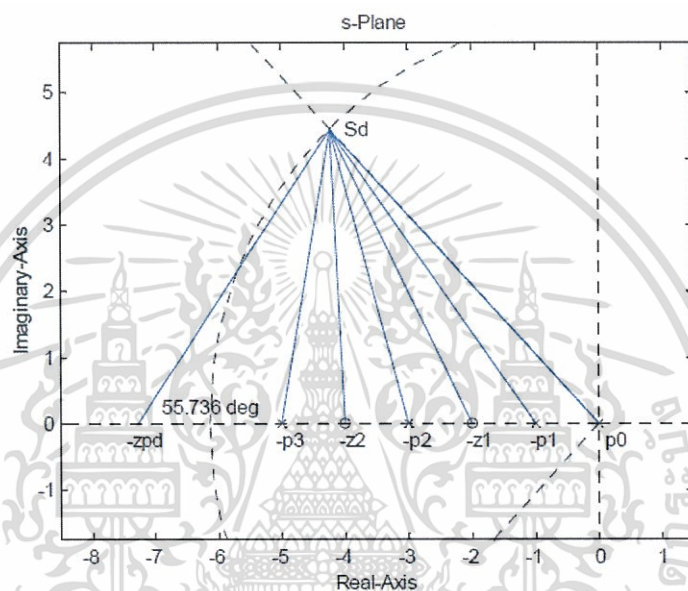
ขั้นที่ 4 กำหนดตำแหน่งของ S_d ก่อน หลังจากนั้นจึงระบุตำแหน่งของ Poles และ (n-1) Zeros ของ $K_{(n-2)}(s)G_n(s)$ บน s-Plane



รูปที่ 5.2 แผนผังของ Pole และ Zero

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 5 ทหาผลรวมของมุมที่ S_d จาก Open-Loop Poles และ $(n-1)$ Zeros ทั้งหมดของ $K_{(n-2)}(s)G_n(s)$ โดยการลากเส้นบน s-Plane หรือคำนวณเชิงจำนวน หลังจากนั้นจึงหามุมที่เหลือ $\angle(s+z_{pd})$ ดังนั้นจะได้ผลรวมของมุมที่ต้องการ



รูปที่ 5.3 การกำหนดมุมของ PD's zero

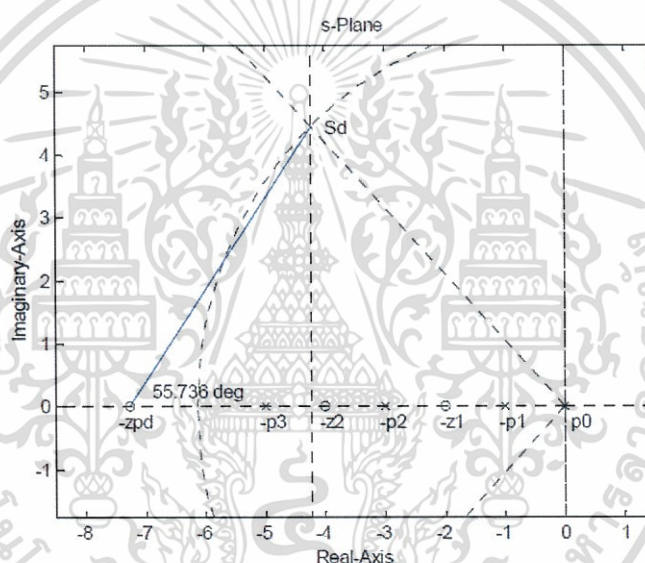
$$\begin{aligned}\theta_{p_0} &= \angle(s_d) = 133.639^\circ \\ \theta_{p_1} &= \angle(s_d + p_1) = \angle(s_d + 1) = 126.071^\circ \\ \theta_{p_2} &= \angle(s_d + p_2) = \angle(s_d + 3) = 105.543^\circ \\ \theta_{p_3} &= \angle(s_d + p_3) = \angle(s_d + 5) = 80.232^\circ \\ \Sigma \theta_p &= \theta_{p_0} + \theta_{p_1} + \theta_{p_2} + \theta_{p_3} = 445.485^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_{z_1} &= \angle(s_d + z_1) = \angle(s_d + 2) = 116.715^\circ \\ \theta_{z_2} &= \angle(s_d + z_2) = \angle(s_d + 4) = 93.034^\circ \\ \theta_{z_{pd}} &= \angle(s_d + z_{pd}) = ?^\circ \\ \Sigma \theta_z &= \theta_{z_1} + \theta_{z_2} + \theta_{z_3} = 445.485^\circ + \theta_{z_{pd}}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\Sigma\theta_z - \Sigma\theta_p &= (209.749^\circ + \theta_{z_{pd}}) - (445.485^\circ) \\ -235.736^\circ + \theta_{z_{pd}} &= \pm 180^\circ(2k+1), \quad k = 0, 1, 2, \dots \\ \therefore \theta_{z_{pd}} &= 55.736^\circ\end{aligned}$$

ขั้นที่ 6 กำหนดตำแหน่งของ Zero ($s + z_{pd}$) ที่มีมุม $\theta_{z_{pd}} = \angle(s_d + z_{pd}) = 55.736^\circ$ ซึ่งได้มาจากขั้นตอนที่ 5



รูปที่ 5.4 การกำหนดตำแหน่งของ PD's zero

กำหนดให้ความยาวของด้านประชิดมุม $\theta_{z_{pd}}$ ในรูปที่ 5.4 คือ x ดังนี้

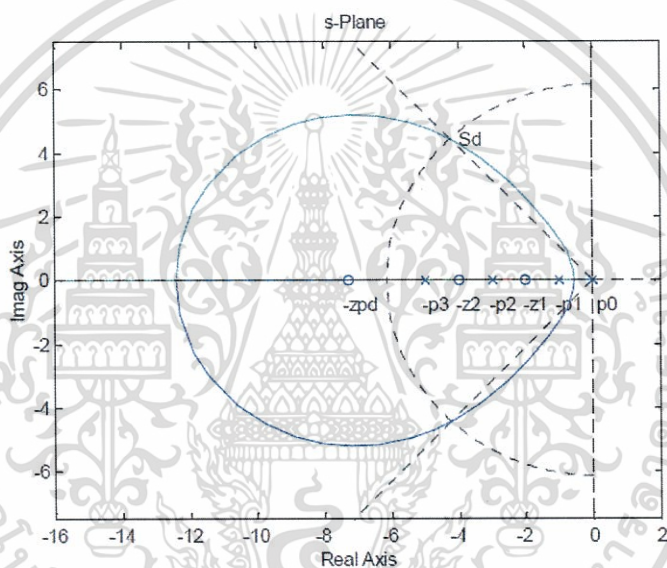
$$\begin{aligned}\tan(\theta_{z_{pd}}) &= \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}} = \frac{|\text{Im}(s_d)|}{x} \\ x &= \frac{|\text{Im}(s_d)|}{\tan(\theta_{z_{pd}})} \\ z_{pd} &= |\text{Re}(s_d)| + x \\ &= |\text{Re}(s_d)| + \frac{|\text{Im}(s_d)|}{\tan(\theta_{z_{pd}})} \\ &= 7.261\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 7 กำหนดอัตราขยาย $K_{pid} K_{pd}$ ที่ S_d

$$\left| 15K_{pid}K_{pd} \frac{(s_d+2)(s_d+4)(s_d+7.261)}{s_d(s_d+1)(s_d+3)(s_d+5)} \right| = 1$$

$$\therefore K = 15K_{pid}K_{pd} = 5.895$$



รูปที่ 5.5 Root loci ใน s-Plane

ดังนั้นจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการและตัวควบคุม คือ

$$G_3(s) = \frac{15}{(s+1)(s+3)(s+5)} \quad (5.5)$$

และ

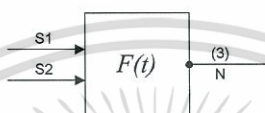
$$K_{(n-2)}(s) = 0.393 \frac{(s+2)(s+4)(s+7.261)}{s} \quad (5.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การประยุกต์ใช้งาน DCS Function Block

1. การจำลองฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ

ในการจำลองฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการนั้นได้มาจาก “Function Code 3- Lead/Lag” ซึ่งจะใช้เพียงเทอม *Lag* ของฟังก์ชันเท่านั้น



รูปที่ 5.6 Function Code 3 - Lead/Lag

ค่าเอาต์พุตของ *lead/lag function code* จะมีค่าเท่ากับผลลัพธ์ของฟังก์ชันเวลา $F(t)$ และค่าของอินพุต โดยค่าของ $(S3)$ จะเป็นตัวกำหนดค่าของฟังก์ชัน *lead* และค่าของ $(S4)$ จะเป็นตัวกำหนดค่าของฟังก์ชัน *lag*

เพื่อที่จะเลือกใช้งานเพียงฟังก์ชัน *lag* ดังนั้นจะต้องกำหนดค่าของ $S3$ ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ “0” และใส่ค่าของ $S4$ ตามค่า τ ที่ต้องการ ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$Y = Y_L + \frac{dt(S1 - Y_L)}{S4 + dt} \quad (5.7)$$

ที่ซึ่ง

$S1$	=	Present input value.
$S3$	=	Value of time constant T1 (lead) in seconds.
$S4$	=	Value of time constant T2 (lag) in seconds.
Y	=	Present output value.
Y_L	=	Value of the output on the previous cycle
dt	=	Module cycle time (seconds)

$S4$ เป็นค่าคงที่ของเวลา (τ) ซึ่งค่าเวลานี้จะมีผลให้ค่าของเอาต์พุตของฟังก์ชันมีค่าเป็น 63.2% ของค่าอินพุต โดยค่าเอาต์พุตจะมีค่าประมาณ 99% ของค่าอินพุตเมื่อเวลาผ่านไป 5 เท่าของค่าคงที่ของเวลา (τ) ซึ่งสามารถคำนวณค่าของเวลาได้ดังสมการ

$$S4 = \tau = \frac{t}{5} \quad (5.8)$$

2 การประยุกต์ใช้งาน Advanced PID Controller Function

Advanced PID Controller Function จะประกอบด้วย ตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) และตัวควบคุมแบบ Derivative (D) ซึ่งจะรับค่าแตกต่างระหว่าง (Process Variable; PV) และ (Set Point; SP) ซึ่งเรียกว่า “สัญญาณผิดพลาด” โดยจะส่งสัญญาณควบคุม (Control Variable; CV) เพื่อรักษาให้ค่าของกระบวนการอยู่ที่ค่าที่ต้องการตลอดเวลา สมการของ PID และ PD เป็นดังนี้

$$K_{pid}(s) = K \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) \quad (5.9)$$

$$K_{pd}(s) = K (K_p + K_d s) \quad (5.10)$$

เพื่อที่จะควบคุมกระบวนการอันดับสามนี้ ตัวควบคุม PID จะต้องใช้ร่วมกับตัวควบคุม PD ซึ่งสามารถหาสมการคุณลักษณะของตัวควบคุมได้ดังนี้

$$\begin{aligned} K_{(n-2)}(s) &= K_{pid} \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) \times K_{pd} (K_p + K_d s) \\ &= K_{pid} K_{pd} \left(K_p^2 + \frac{K_p K_i}{s} + K_p K_d s + K_p K_d s + K_i K_d + K_d^2 s^2 \right) \\ &= K_{pid} K_{pd} \left(\frac{K_p K_i}{s} + K_p^2 + K_i K_d + 2K_p K_d s + K_d^2 s^2 \right) \\ &= K_{pid} K_{pd} \left(\frac{K_p K_i + (K_p^2 + K_i K_d)s + 2K_p K_d s^2 + K_d^2 s^3}{s} \right) \\ &= K \left(\frac{K_d^2 s^3 + 2K_p K_d s^2 + (K_p^2 + K_i K_d)s + K_p K_i}{s} \right) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore K_{(n-2)}(s) = KK_d^2 \left(\frac{s^3 + \frac{2K_p}{K_d}s^2 + \left(\frac{K_p^2 + K_i K_d}{K_d^2}\right)s + \frac{K_p K_i}{K_d^2}}{s} \right) \quad (5.11)$$

- 3 การเปรียบเทียบสมการคุณลักษณะ
จากสมการ 5.6 จะได้

$$K_{(n-2)}(s) = 0.393 \left(\frac{s^3 + 13.261s^2 + 51.566s + 58.088}{s} \right) \quad (5.12)$$

สามารถหาค่าของสมการคุณลักษณะได้จากการเปรียบเทียบสมการคุณลักษณะระหว่างสมการคุณลักษณะที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีทางเดินราก (5.12) กับสมการคุณลักษณะของ *Advanced PID Controller Function* (5.11) ด้วยวิธีการตรวจสอบสัมประสิทธิ์ของสมการ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การตรวจสอบสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะ

Term	Advanced PID Function	Desired PID Function
K	KK_d^2	0.393
s^2	$\frac{2K_p}{K_d}$	13.261
s^1	$\frac{K_p^2 + K_i K_d}{K_d^2}$	51.566
s^0	$\frac{K_p K_i}{K_d^2}$	58.088

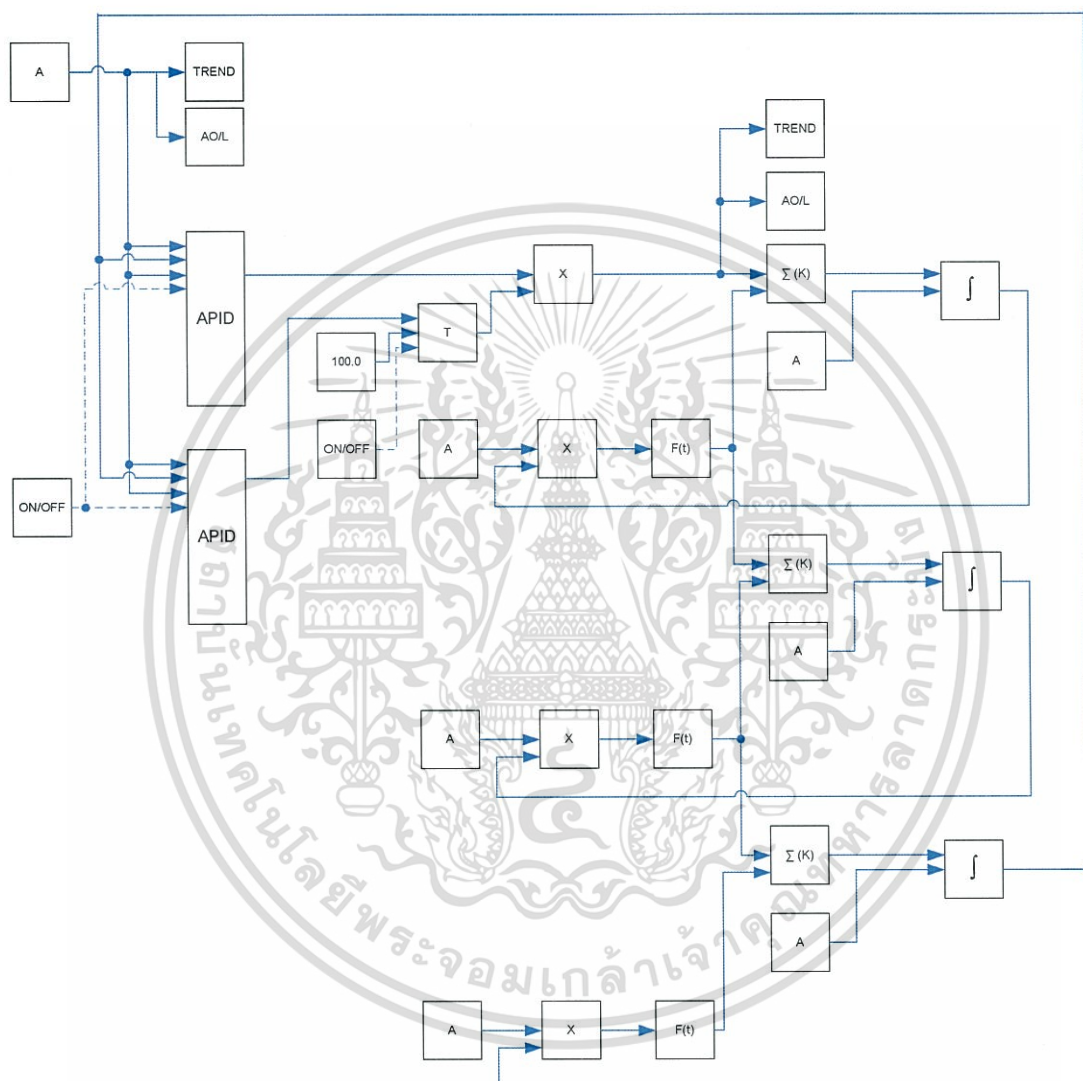
ดังนั้นผลลัพธ์ของ K , K_p , K_i และ K_d คือ

$$\begin{aligned} K &= 13.01047 \\ K_p &= 1.15239 \\ K_i &= 1.52262 \\ K_d &= 0.17380 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

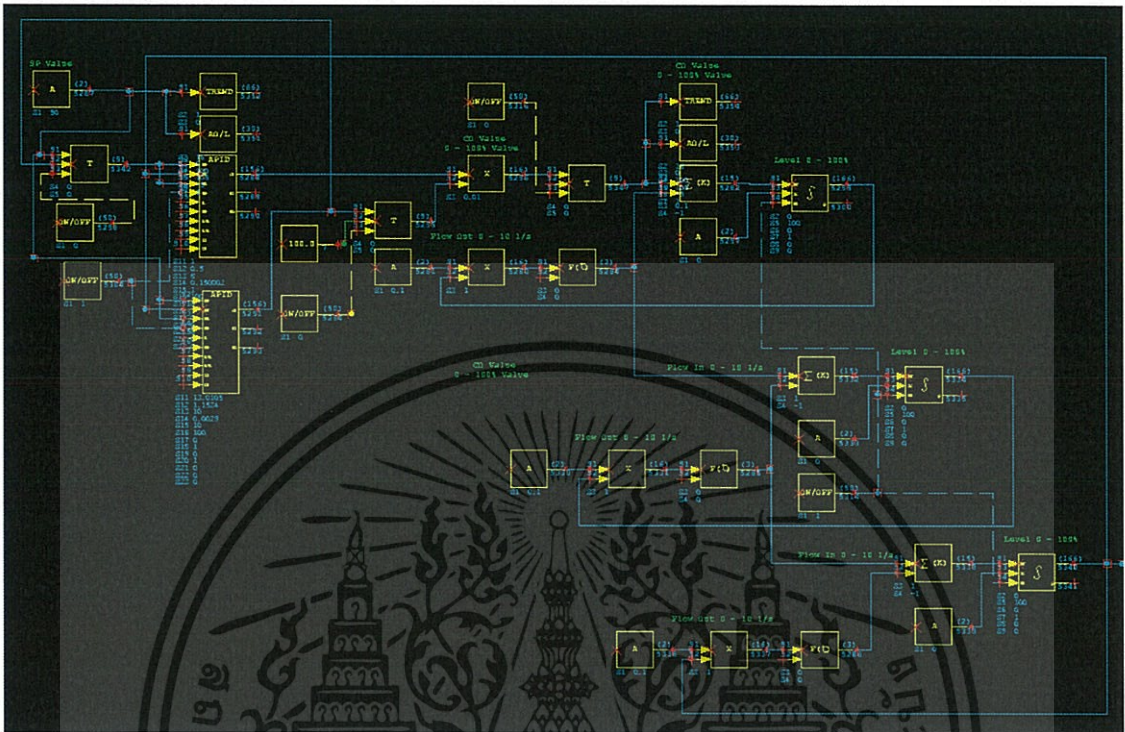
4 การเขียนโปรแกรมและผลการทดลอง

เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนโปรแกรมจะได้



รูปที่ 5.7 Logic Diagram for PID Only or PID and PD Cascade by selector switch

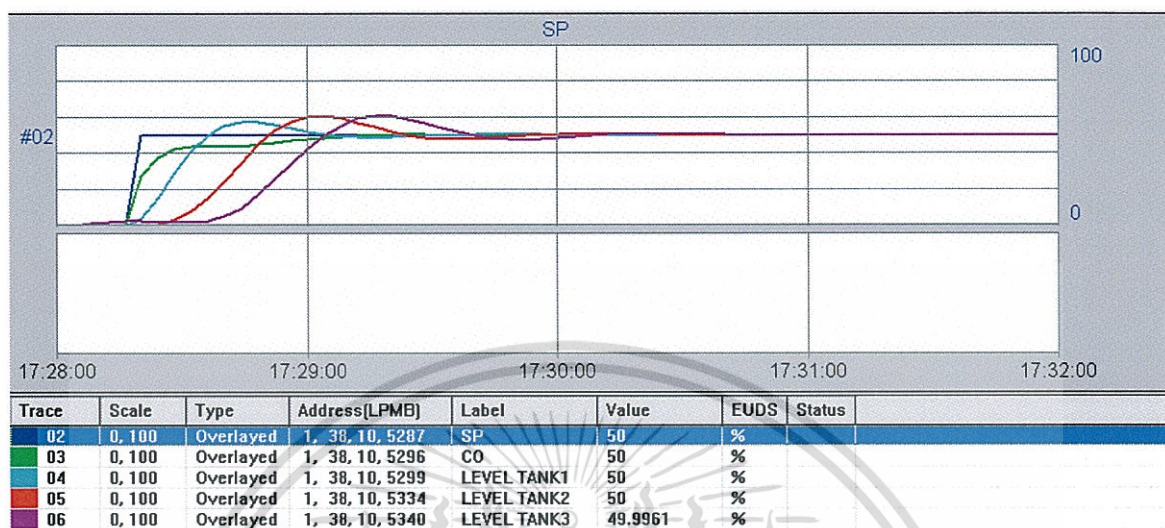
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



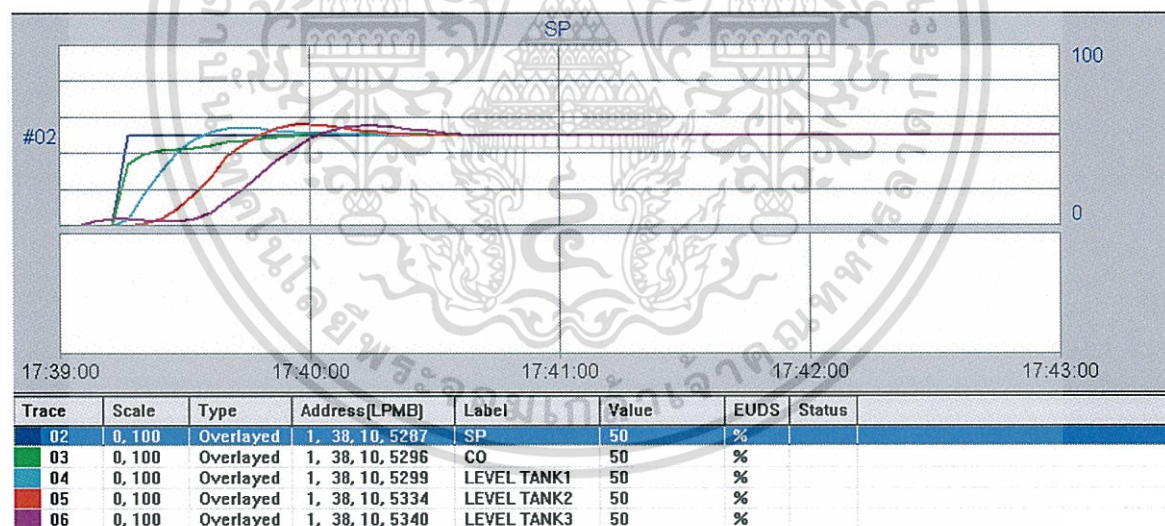
รูปที่ 5.8 CAD Program for PID Only or PID and PD Cascade by selector switch

จากโปรแกรม เมื่อทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างการใช้ตัวควบคุมแบบ PID เพียงอย่างเดียว กับการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ PID \times (n-2) Stage PD ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบ PID \times (n-2) Stage PD นั้นให้ผลตอบสนองที่รวดเร็วและมีเสถียรภาพมากกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบ PID อย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

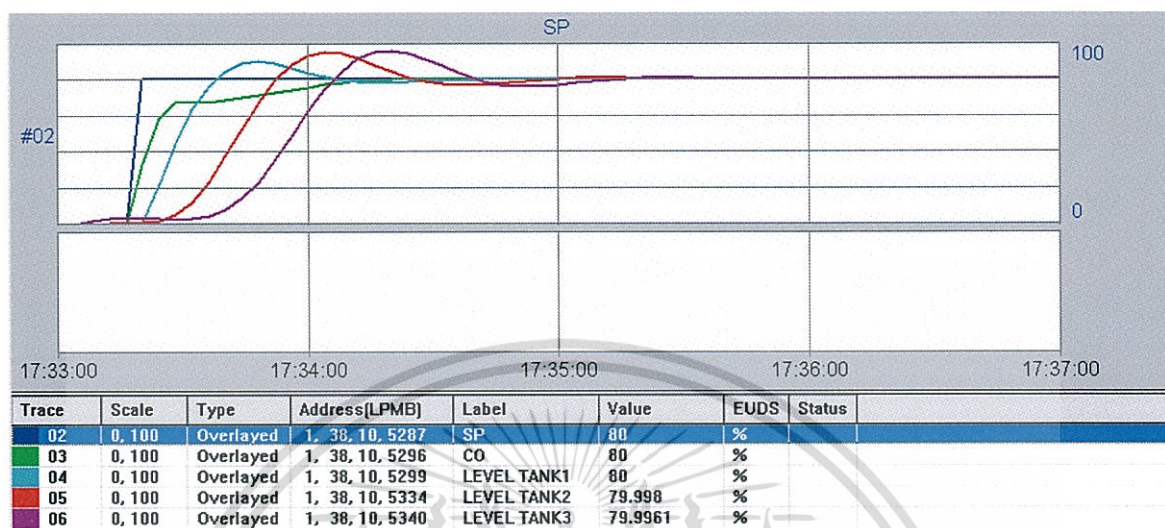


รูปที่ 5.9 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID อย่างเดียวที่ Setpoint 50%

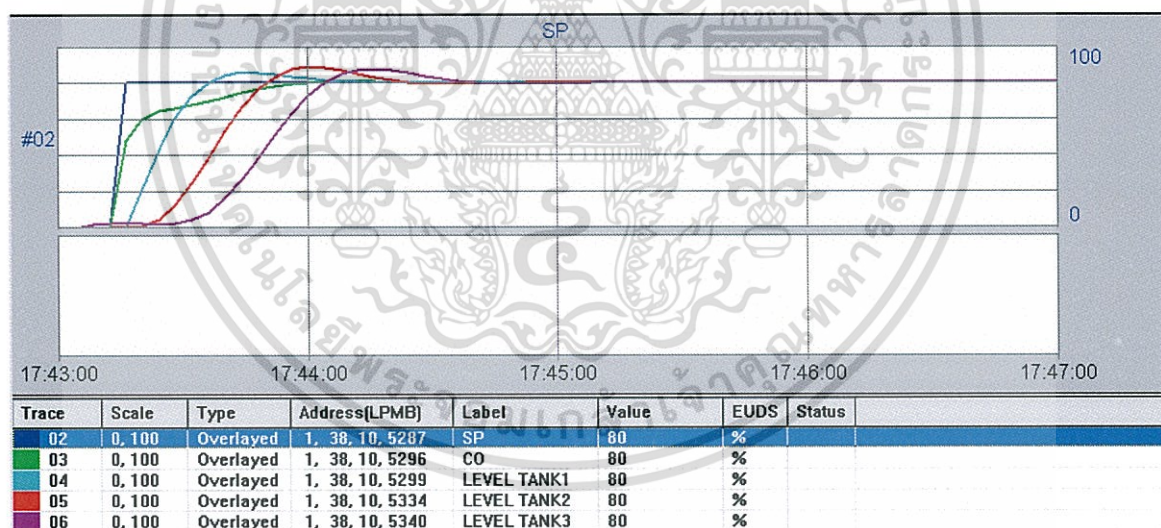


รูปที่ 5.10 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID × (n-2) Stage PD ที่ Setpoint 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID อย่างเดียวที่ Setpoint 80%



รูปที่ 5.12 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID x (n-2) Stage PD ที่ Setpoint 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาและออกแบบตัวควบคุมแบบ PID \times (n-2) Stage PD ด้วยวิธีทางเดินราก สำหรับควบคุมกระบวนการที่มีอันดับมากกว่าสองขึ้นไป เพื่อเพิ่มจำนวนซีโรให้มีค่าเท่ากับจำนวนของโพลจากกระบวนการ ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS)

จากผลการทดสอบการทำงานของตัวควบคุมแบบ PID \times (n-2) Stage PD เปรียบเทียบกับการใช้ตัวควบคุมแบบ PID อย่างเดียว พบว่าตัวควบคุมแบบ PID อย่างเดียวเมื่อนำไปควบคุมกระบวนการที่มีอันดับมากกว่าสองจะทำได้ยากหรืออาจไม่สามารถควบคุมกระบวนการให้มีเสถียรภาพได้ แต่เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PID \times (n-2) Stage PD นั้นจะให้ผลตอบสนองที่รวดเร็วและมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับได้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ผลที่ได้จากการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID \times (n-2) Stage PD ในระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) โดยการใช้งาน Function Code Advance PID จำนวนสองฟังก์ชันมาต่อคาสเคด ซึ่งให้ผลตอบสนองที่ดีในกระบวนการอันดับสาม แต่จะทำได้ยากในกระบวนการที่มีอันดับสูงกว่าสาม เพราะจะก่อให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณเอาต์พุท จึงควรที่ทีมงาน R&D ของ DCS Vender จะมีการนำหลักการของตัวควบคุมแบบ PID \times (n-2) Stage PD นี้ไปพัฒนาเพื่อสร้าง Function Code ใหม่ที่สามารถเพิ่ม PD เทอมของตัวควบคุมเข้าไปในฟังก์ชันถ่ายโอนของ Function Code นั้นได้โดยตรง จะช่วยให้ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณเอาต์พุทนั่นเอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Bennett, "Development of the PID Controller," IEEE Control System Magazine, pp.58-65, December 1993.
- [2] Astrom, K.J. and T. Hagglund (1995), "PID Controllers Theory: Design and Tuning," Instrument Society of America, Research Triangle Park.
- [3] G.H. Cohen and G.A. Coon, "Theoretical consideration of Retarded Control," Transactions of the A.S.M.E., Vol. 75, pp. 827-834, 1964.
- [4] P. Harriott, "Process Control," McGraw-Hill, 1964.
- [5] รศ.ดร.กิตติ ตีระเศรษฐ์, การวิเคราะห์ระบบควบคุมเชิงเส้น เล่มที่ 2, หน้า 279-284
- [6] T. Trisuwannawat, K. Tirasesth, J. Ngamwiwit and M lida; "PID \times (n-2) stage PD cascade controller for SISO systems," SICE'98 Proceeding of the 37th SICE Annual Conference, International session Papers, pp. 965-968, 1998.
- [7] Preitl Zs, "PI and PID Controller Tuning Method for a Class of System," SACCs 2001 7th, International Symposium on Automatic Control and Computer Science, Oct, 2001, Iasi, Romania.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



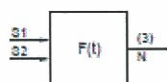
ภาคผนวก ก.

Function Code Specification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function Code 3 – Lead/Lag

GENERAL DESCRIPTION



The output of a lead/lag function code equals the product of the time function and the input value. Specifications S3 and S4 provide lead (S3) or lag (S4) functions. Function code 3 also serves as a lead/lag filter.

UTILIZATION

CBC01	IMCOM03	IMMFP02	INPPT01	NMFC01
CLC01	IMCOM04	IMMFP03	INSEM01	NMFC02
CLC02	IMMFC02	IMMFC01	NAMM02	SLC01
CLC03	IMMFC03	IMQRC01	NCOM02	SLC21
CLC04	IMMFC04	INIIT02	NGCM01	
CSC01	IMMFC05	INIPT01	NGCM02	
IMMM03	IMMFP01	INFT02	NLNM01	

OUTPUTS

Blk	Type	Description
N	R	Output value with lead/lag function applied

SPECIFICATIONS

Spec	Tune	Default	Type	Range	Description
S1	N	5	I	Note 1	Block address of input
S2	N	0	I	Note 1	Block address of track switch signal: 0 = track 1 = release
S3	Y	0.000	R	Full	Time constant T1 (lead) sec
S4	Y	0.000	R	Full	Time constant T2 (lag) sec

NOTE:

- Maximum values are: 254 for COM modules and CLC01/02/03/04
1023 for SLC01/21
2045 for NMFC01/02, IMMFC05 and CBC01
9996 for IMMFC03/04 and IMMFP01/02/03

EXPLANATION

Function code 3 causes the output of the function block to lead or lag changes in the input signal <S1>. The following equation describes the operation:

$$Y = Y_L + \frac{S3((S1) - (S1_L))}{S4 + dt} + \frac{dt((S1) - Y_L)}{S4 + dt}$$

where:

- <S1> = Present input value.
- <S1_L> = Value of the input on the previous cycle.
- S3 = Value of time constant T1 (lead) in seconds.
- S4 = Value of time constant T2 (lag) in seconds.
- Y = Present output value.
- Y_L = Value of the output on the previous cycle.
- dt = Module cycle time (seconds).

The S2 term enables or disables this function. If <S2> is a logic 0, then the output equals the input <S1>. If <S2> is a logic 1, the lead or lag function is implemented.

Lag Function

To select the lag function, leave S3 at its initial value (0) and enter a number for S4. The equation then becomes:

$$Y = Y_L + \frac{dt((S1) - Y_L)}{S4 + dt}$$

S4 is the time constant term. This is the time required for the output of this function to reach 63.2 percent of the input value. The output will not reach approximately 99 percent of the input value until the end of five time constants. In this application, it will be five times S4 before the output reaches the input value. To calculate the S4 term needed for the output to equal the input in a certain number of seconds (t), use the following equation:

$$S4 = \frac{t}{5}$$

where:

S4 = Time constant term for function code 3.

- t = Number of seconds for the output to reach about 99 percent of the input value.
- 5 = Number of time constants required for the output to reach about 99 percent of the input value.

For example, for the output to reach the input level in 30 seconds, the S4 term needed would be:

$$S4 = \frac{30}{5} = 6$$

Lead Function

To select only a lead function, leave S4 at its initial value of zero and enter a number for S3. The equation then becomes:

$$Y = Y_L + \frac{[S3((S1) - (S1_L))] + [dt((S1) - Y_L)]}{dt}$$

where:

- <S1> = Present input value.
- <S1_L> = Value of the input on the previous cycle.
- S3 = Time constant T1 (lead) in seconds.
- S4 = Time constant T2 (lag) in seconds.
- Y = Present output value.
- Y_L = Value of the output on the previous cycle.
- dt = Module cycle time (seconds).

The output is set to the value that the input will be in (S3) seconds if it continues to change at the same rate as it did during the last cycle. The lead function is essentially equal to the derivative function except that the block output eventually equals the input if the input remains constant long enough. The output of a derivative function is zero when the input is not changing.

APPLICATIONS

Figures 3-1 and 3-2 illustrate some general input and output signal shapes for a function code 3 used as a lag filter and as a lead filter respectively. The input signals shown in Figures 3-1 and 3-2 are ideal waveforms for electronic circuits. Actual outputs and inputs vary because INFI 90 function codes are preprogrammed algorithms.

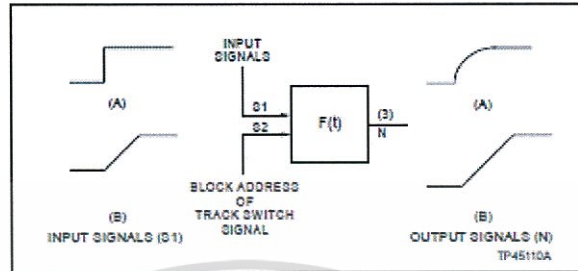


Figure 3-1. Function Code 3 Used as a Lag Filter

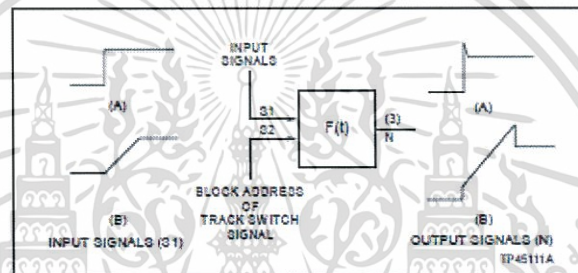


Figure 3-2. Function Code 3 Used as a Lead Filter

Figures 3-3 and 3-4 are simplified examples of using function code 3 in boiler applications. Figure 3-3 shows function code 3 used as a lag to delay decreases in air flow for a load decrease. Figure 3-4 shows function code 3 used as a lead/lag to compensate for drum level shrink and swell due to changes in steam flow.

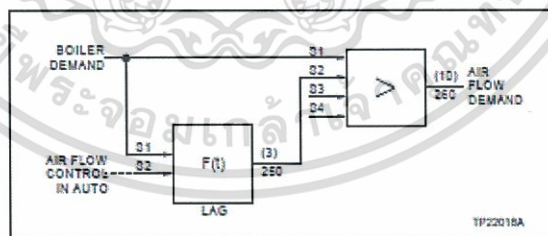


Figure 3-3. Function Code 3 Used as a Lag to Delay Decreases in Air Flow on a Load Decrease

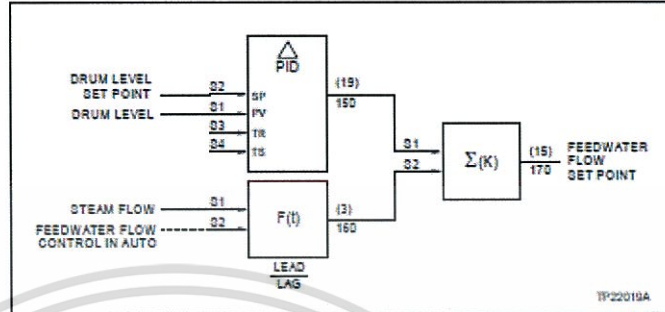


Figure 3-4. Function Code 3 Used as a Lead/Lag to Compensate for Drum Level Shrink and Swell Due to Changes in Steam Flow



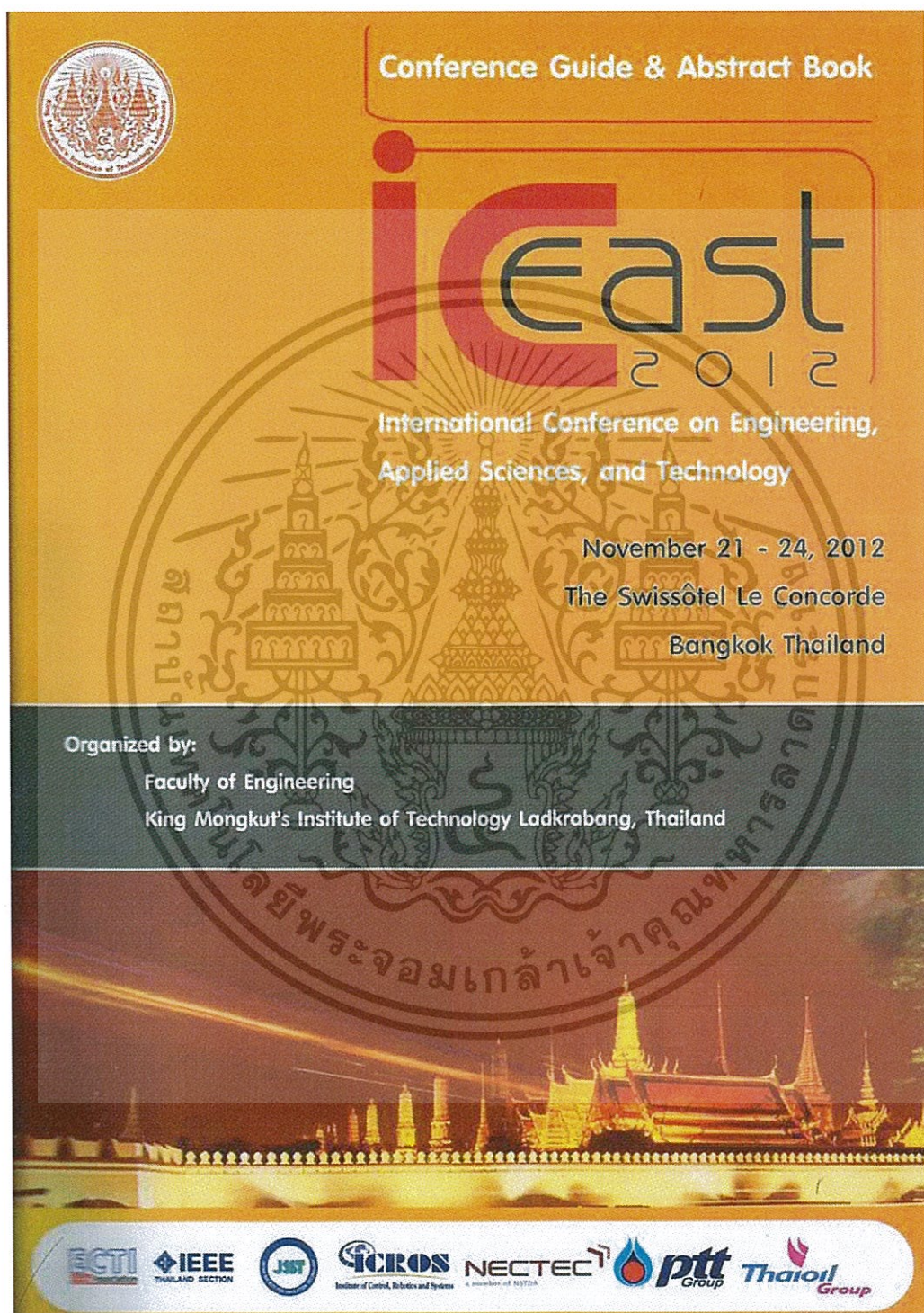
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PID×(n-2) stage PD Cascade Controller on DCS

Charin Pengrungruangwong

Graduate Student, Automation Engineering Division
 Department of Instrumentation and Control Engineering
 Graduate Student, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Inst. of Tech. Ladkrabang (KMITL)
 Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

Pittaya Pannil, Krit Smerpitak,

Prapart Ukakimaparn and Thanit Trisuwannawat
 Automation Engineering Division, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Inst. of Tech. Ladkrabang (KMITL)
 Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand
 e-mail: {kppittay, kskrit, kuprapar, ktthanit}@kmitl.ac.th

Abstract—This paper presents a design method and how to implement the third order plant with PID (Proportional-Integral-derivative)×(n-2) stage PD as a cascade controller on DCS (Distributed Control System). The controller is designed to meet the transient and steady state response specifications via the root locus approach and the result is shown that not only faster with smaller overshoot response but also improve stability of the closed-loop system.

Keywords- PID Controller; PD Controller; three tanks system; DCS

I. INTRODUCTION

Feedback control system in Figure 1 is classified according to their ability to follow step input, ramp input and so on. Consider the following open-loop transfer function $G(s)H(s)$:

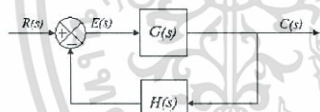


Figure 1. Close-Loop System

$$G(s)H(s) = \frac{K(T_z s + 1)(T_b + 1) \dots (T_m s + 1)}{s^N (T_1 s + 1)(T_2 + 1) \dots (T_p s + 1)} \quad (1)$$

It involves the term s^N in the denominator, representing a pole of multiplicity N at the origin, so this classification is based on the number of integrations indicated by the open-loop transfer function. If $N = 0$, $N = 1$, $N = 2, \dots, N = n$ then the system is called *type 0*, *type 1*, *type 2*, ..., *type n* respectively.

The PID (Proportional-Integral-Derivative) is widely used by applying the well-known Ziegler-Nichols tuning method. It is clear that the PID controller is properly applied in the typical second order plant but it is quite difficult to use only the PID controller for the third or higher order plant because the order of the plant is greater than the number of zeros that provided by the PID controller [1]. To overcome this problem then

proposed by using PID (Proportional-Integral-derivative)×(n-2) stage PD as a cascade controller method [2]

II. MATHEMATICAL MODELING

The physical law governing the behavior of the liquid level system as described here is the principle of conservation of mass, which states that the time rate to change the fluid mass inside the tank is equal to the mass flow rate in $q_i(t)$ minus the mass flow rate out $q_o(t)$ of the tank at time (t) . That is, if we take $V(t) = c \times h(t)$ to be the volume of the tank at time (t) , and the conservation of mass equation becomes

$$q_i(t) - q_o(t) = c \frac{dh(t)}{dt}$$

where c is the capacitance of the tank and $h(t)$ is the fluid level at time (t) . We assume the outflow rate $q_o(t)$ to be a linear function of the fluid level in the tank, i.e., $q_o(t) = \alpha h(t)$ where α is the valve coefficient.

Consider the three tanks liquid level system shown in Figure 2

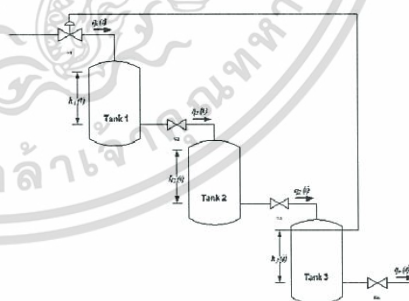


Figure 2. Three Tanks System



Find the plant transfer function; $G(s)$ by

$$\frac{H_3(s)}{Q_2(s)} = \frac{H_2(s)}{Q_1(s)} \cdot \frac{H_1(s)}{Q_0(s)} = \frac{R_3}{R_3C_3s+1} \cdot \frac{R_2}{R_2C_2s+1} \cdot \frac{R_1}{R_1C_1s+1}$$

$$\frac{H_3(s)}{Q_2(s)} = \frac{Q_1(s)R_2(s)}{Q_0(s)} \cdot \frac{R_1}{R_1C_1s+1} = \frac{R_3}{R_3C_3s+1} \cdot \frac{R_2}{R_2C_2s+1} \cdot \frac{R_1}{R_1C_1s+1}$$

$$\frac{H_3(s)}{Q_2(s)} R_2(s)R_1(s) = \frac{R_3}{R_3C_3s+1} \cdot \frac{R_2}{R_2C_2s+1} \cdot \frac{R_1}{R_1C_1s+1}$$

$$\frac{H_3(s)}{Q_2(s)} = \frac{R_3}{(R_3C_3s+1)(R_2C_2s+1)(R_1C_1s+1)}$$

then we can find $G(s)$

$$G(s) = \frac{R_3}{(R_3C_3s+1)(R_2C_2s+1)(R_1C_1s+1)} \quad (2)$$

where $\tau = RC$ then we can simplify (2) by the plant transfer function in simple form is

$$G(s) = \frac{R_3}{(\tau_1s+1)(\tau_2s+1)(\tau_3s+1)} \quad (3)$$

III. CASCADING PID AND PD CONCEPT

The alone PID is cascaded with PD Controller to increase an extra zero term. The $K_{PID}(s)$ shown in (4)

$$K_{PID}(s) = K \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) - K_{pd} \frac{(s+z_1)(s+z_2)}{s} \quad (4)$$

and $K_{PD}(s)$ shown in (5)

$$K_{PD}(s) = K (K_p + K_d s) = K_{pd}(s+z_{pd}) \quad (5)$$

then we can find transfer function of $K_{(n-2)}(s)$

$$K_{(n-2)}(s) = \frac{K_{pd}(s+z_1)(s+z_2) \times K_{pd}(s+z_{pd})}{s} = K \frac{(s+z_1)(s+z_2)(s+z_{pd})}{s} \quad (6)$$

Suppose a type 0, third order plant to be controlled by transfer function that shown in (7)

$$G_1(s) = \frac{K}{s^3(s+p_1)(s+p_2)(s+p_3)} \quad (7)$$

To control this plant by cascading PID and PD, the open-loop transfer function is

$$K_{(n-2)}(s)G_1(s) = \frac{K_{pd}(s+z_1)(s+z_2) \times K_{pd}(s+z_{pd})}{s(s+p_1)(s+p_2)(s+p_3)} \quad (8)$$

where, $K = K_{pid}K_{pd}$ then

$$K_{(n-2)}(s)G_1(s) = K \frac{(s+z_1)(s+z_2)(s+z_{pd})}{s(s+p_1)(s+p_2)(s+p_3)} = G(s)H(s) \quad (9)$$

The characteristic equation of the system in Figure 1 is

$$F(s) = 1 + G(s)H(s) = 0 \quad (10)$$

Since $G(s)H(s)$ is a complex quantity, (10) can be divided into two equations as follows,

Angle Condition:
 $\angle G(s)H(s) = \pm(2k+1)\pi, \quad k=0,1,2,\dots,n$ (11)

Magnitude condition:
 $|G(s)H(s)| = 1$ (12)

The basic idea behind the root locus method is the values of s that make the transfer function around the loop equal $n-1$ must satisfy the characteristic equation of the system.

IV. METHODOLOGY

The statement of PID \times (n-2) Stage PD Cascade Controller design problem is to find the locations of their zeros such that the desired specifications are achieved, so the desired specifications are usually specified in terms of transient and steady state response characteristics of a control system to a unit-step input exhibited by a pair of complex-conjugate dominant closed-loop poles S_d as follows:

$$\left. \begin{aligned} \text{Percent Overshoot (P.O.)} &= e^{-\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \times 100\% \\ \text{Settling Time, } t_s (\pm 2\%) &= \frac{-\ln(0.02\sqrt{1-\zeta^2})}{\omega_n\zeta} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



10 years ago, Associate Professor Dr. Kitti Tirasesth proposed the easy way to determine all locations of these zeros known as “Kitti’s Method (KM)” [3]. This method can be applied to the type 0, 3rd order plant

$$G_s(s) = \frac{15}{(s+1)(s+3)(s+5)}$$

For the desired specification is $P.O. \leq 5\%$, $t_s (\pm 2\%) \leq 1 \text{ sec}$. and $e_{ss}(t) = 0$ then we can calculate the desired parameters as steps below

Step 1 Find the damping ratio ζ from $P.O. \leq 5\%$,

$$\zeta = \frac{\ln\left(\frac{P.O.}{100}\right)^2}{\sqrt{\pi^2 + \ln\left(\frac{P.O.}{100}\right)^2}} = 0.69$$

Step 2 Find the undamped natural frequency ω_n from Settling Time at $\zeta = 0.69$

$$t_s (\pm 2\%) = \frac{-\ln(0.02\sqrt{1-\zeta^2})}{\zeta\omega_n}, \text{ at } \zeta = 0.69$$

$$\omega_n = 6.137298 \text{ rad/sec.}$$

Step 3 Find the location of dominant closed-loop pole

$$s_d = -\zeta\omega_n + j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} = -4.235 + j4.142$$

where open-loop transfer function with (n-2) stage cascaded PD controller is

$$K_{(n-2)}(s)G_s(s) = 15K_{pd}K_{pd} \frac{(s+z_1)(s+z_2)(s+z_{pd})}{s(s+1)(s+3)(s+5)}$$

Step 4 Mark the location of s_d then locate all poles and (n-1) zeros of $K_{(n-2)}(s)G_s(s)$ on s-Plane.

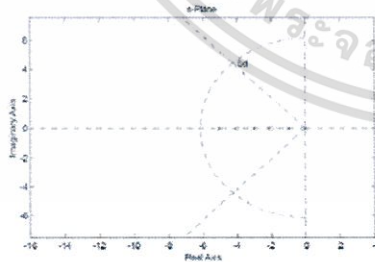


Figure 3. Pole-Zero Map

Step 5 Find the summary of angles at s_d which all poles and (n-1) zeros of the $K_{(n-2)}(s)G_s(s)$ by graphical or numerical computation then determine the necessary angle of $\angle(s+z_{pd})$ to be added, so the total summary of the satisfied angles (11).

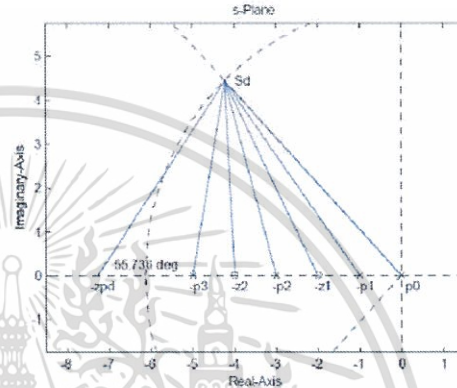


Figure 4. The angle determination of PD's zero

$$\theta_{p0} = \angle(s_d) = 133.639^\circ$$

$$\theta_{p1} = \angle(s_d + p_1) = \angle(s_d + 1) = 126.071^\circ$$

$$\theta_{p2} = \angle(s_d + p_2) = \angle(s_d + 3) = 105.543^\circ$$

$$\theta_{p3} = \angle(s_d + p_3) = \angle(s_d + 5) = 80.232^\circ$$

$$\Sigma\theta_p = \theta_{p0} + \theta_{p1} + \theta_{p2} + \theta_{p3} = 445.485^\circ$$

$$\theta_{z1} = \angle(s_d + z_1) = \angle(s_d + 2) = 116.715^\circ$$

$$\theta_{z2} = \angle(s_d + z_2) = \angle(s_d + 4) = 93.034^\circ$$

$$\theta_{z_{pd}} = \angle(s_d + z_{pd}) = ?^\circ$$

$$\Sigma\theta_z = \theta_{z1} + \theta_{z2} + \theta_{z_{pd}} = 445.485^\circ + \theta_{z_{pd}}$$

$$\Sigma\theta_z - \Sigma\theta_p = (209.749^\circ + \theta_{z_{pd}}) - (445.485^\circ)$$

$$-235.736^\circ + \theta_{z_{pd}} = \pm 180^\circ(2k+1), \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$\therefore \theta_{z_{pd}} = 55.736^\circ$$

Step 6 Determine the location of the zero $(s + z_{pd})$ by using the angle of $\theta_{z_{pd}} = \angle(s_d + z_{pd}) = 55.736^\circ$ that be found in step 5

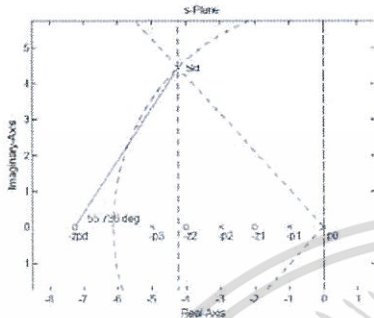


Figure 5. Determination of the PD's zero location

Assign the adjacent side length of the angle θ_{zpd} in Figure 5 is x . then calculate Z_{pd}

$$\begin{aligned} \tan(\theta_{zpd}) &= \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}} = \frac{|\text{Im}(s_d)|}{x} \\ x &= \frac{|\text{Im}(s_d)|}{\tan(\theta_{zpd})} \\ z_{pd} &= |\text{Re}(s_d)| + x \\ &= |\text{Re}(s_d)| + \frac{|\text{Im}(s_d)|}{\tan(\theta_{zpd})} \\ &= 7.261 \end{aligned}$$

Step 7 Determine the gain $K_{pid} K_{pd}$ at s_d from (12)

$$\begin{aligned} \left| 15K_{pid}K_{pd} \frac{(s_d+2)(s_d+4)(s_d+7.261)}{s_d(s_d+1)(s_d+3)(s_d+5)} \right| &= 1 \\ \therefore K &= 15K_{pid}K_{pd} = 5.895 \end{aligned}$$

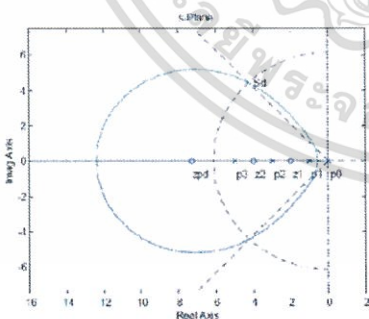


Figure 6. Root loci in s-Plane

The final transfer function of Plant and Controller are

$$G_1(s) = \frac{15}{(s+1)(s+3)(s+5)} \quad (14)$$

and

$$K_{(n-2)}(s) = 0.393 \frac{(s+2)(s+4)(s+7.261)}{s} \quad (15)$$

V. DCS ABB BAILEY IMPLEMENTATION

A. Plant Transfer Function Simulation

For simulating the plant transfer function that will generate by "Function Code 3 – Lead/Lag". In this case will use only Lag Term as information below;



Figure 7. Function Code 3 – Lead/Lag

The output of a lead/lag function code equals the product of the time function and the input value. Specifications $S3$ and $S4$ provide lead ($S3$) or lag ($S4$) functions. Function code 3 also serves as a lead/lag filter.

To select the lag function, leave $S3$ at its initial value (0) and enter a number for $S4$. The equation then becomes:

$$Y = Y_L \frac{dt(S1 - Y_L)}{S4 + dt} \quad (16)$$

where :

- $S1$ = Present input value.
- $S3$ = Value of time constant T1 (lead) in seconds.
- $S4$ = Value of time constant T2 (lag) in seconds.
- Y = Present output value.
- Y_L = Value of the output on the previous cycle
- dt = Module cycle time (seconds)

$S4$ is the time constant term. This is the time required for the output of this function to reach 63.2 percent of the input value. The output will not reach approximately 99 percent of the input value until the end of five time constants. In this application, it will be five times $S4$ before the output reaches the input value. To calculate the $S4$ term needed for the output to equal the input in a certain number of seconds (t), use the following equation:

$$S4 = t = \frac{t}{5}$$

B. Advanced PID Controller Function Implementation

The advanced PID controller function implements a proportional integral and derivative controller to take different value between Process Variable (PV) and Set Point (SP) that be called error signal. It's used to control output signal that be called the Control Variable (CV) for keeping the process are running at the Set Point.

The standard form of a classical PID controller is shown

$$K(s) = K_p + \frac{1}{T_i s} + T_d s$$

This controller works in seconds internally. It is assumed that T_i and T_d are converted to K_i and K_d

$$K_{pid}(s) = K \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right)$$

$$K_{pid}(s) = K (K_p + K_d s)$$

To control third order plant, the PID Controller must be cascaded with PD Controller.

$$\begin{aligned} K_{(n-2)}(s) &= K_{pid} \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) \times K_{pd} (K_p + K_d s) \\ &= K_{pid} K_{pd} \left(K_p^2 + \frac{K_p K_i}{s} + K_p K_d s + K_i K_d s + K_i K_d s + K_d^2 s^2 \right) \\ &= K_{pid} K_{pd} \left(\frac{K_p K_i}{s} + K_p^2 + K_i K_d + 2K_p K_d s + K_d^2 s^2 \right) \\ &= K_{pid} K_{pd} \left(\frac{K_p K_i + (K_p^2 + K_i K_d) s + 2K_p K_d s^2 + K_d^2 s^3}{s} \right) \\ &= K \left(\frac{K_p^2 s^3 + 2K_p K_d s^2 + (K_p^2 + K_i K_d) s + K_i K_d}{s} \right) \\ \therefore K_{(n-2)}(s) &= KK_d^2 \left(\frac{s^3 + \frac{2K_p K_d}{K_d^2} s^2 + \left(\frac{K_p^2 + K_i K_d}{K_d^2} \right) s + \frac{K_i K_d}{K_d^2}}{s} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

C. Compare characteristic equation

From (15) we can find the characteristic equation to compare with the advanced PID controller function (17) by checking coefficients

$$K_{(n-2)}(s) = 0.393 \left(\frac{s^3 + 13.261s^2 + 51.566s + 58.088}{s} \right) \quad (18)$$

TABLE I. COMPARE CHARACTERISTIC EQUATION

Term	Advanced PID Function	Desired PID Function
K	KK_d^2	0.393
s^2	$\frac{2K_p K_d}{K_d^2}$	13.261
s^1	$\frac{K_p^2 + K_i K_d}{K_d^2}$	51.566
s^0	$\frac{K_i K_d}{K_d^2}$	58.088

then the result of K, K_p , K_i and K_d are

K	=	13.01047
K_p	=	1.15239
K_i	=	1.52262
K_d	=	0.17380

VI. THE UNIT STEP RESPONSE

The unit step response of the controlled system is shown in Figure 8

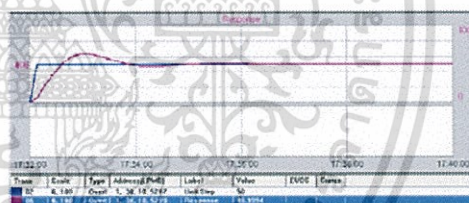


Figure 8. Unit step response of controlled system

The resultant percent overshoot about 12 %, so to reduce the percent overshoot follow *Kitti's Method* by increase the total gain $15K_{pid}K_{pd}$ from 5.895 to 14.7375 then the unit step response shown in Figure 9

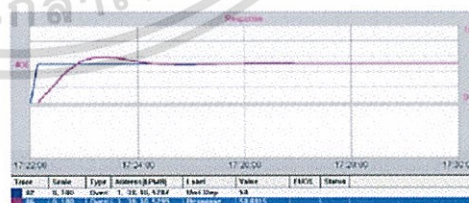


Figure 9. The improved unit step response of controlled system



VII. CONCLUSIONS

The PID (Proportional-Integral-derivative) $\times(n-2)$ stage PD as a cascade controller designed by using the root locus technique and characteristic equation for third order plant that shown smaller overshoot and faster response when compare with only PID Controller. This method can implement to use Discrete PID cascaded with PD Controller on DCS (Distributed Control System) that is remained for the future research.

REFERENCES

- [1] T. Trisuwanawat, K. Tirasesth, J. Ngurnwiwit and M Iida; "PID $\times(n-2)$ stage PD cascade controller for SISO systems," *SICE'95 Proceeding of the 37th SICE Annual Conference, International session Papers*, pp. 965-968, 1998.
- [2] Pittaya Panuil, Suksiri Kanchanasornravig, Prapat Ukakimapan, Thanit Trisuwanawat and Kitti Tirasesth, "Discrete PID $\times(n-2)$ stage PD cascade controller for SISO systems", *SICE Annual Conference 2008*, pp. 1784-1787, The University Electro Communications, Japan, August 20-22, 2008.
- [3] Prapat Ukakimapan, Pittaya Panuil, Peerapongpan Boonchuy and Thanit Trisuwanawat, "PIDA Controller Designed by Kiti's Method", *ICROS-SICE International Joint Conference 2009*, pp. 1547-1550, Fukuoka International Congress Center, Japan, August 18-21, 2009.

