

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบตัวควบคุม พีไอดี สำหรับกระบวนการเตาอบโดยใช้ LabVIEW
DESIGN OF PID CONTROLLER FOR OVEN PROCESS USING
LabVIEW



นายธีรภัทร เทียนทอง
นายนุรินทร์ ไบเคย
นางสาวพัชรี สีนา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**62325**
วัน,เดือน,ปี...1.6...ส.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF PID CONTROLLER FOR OVEN PROCESS USING

LabVIEW



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การออกแบบตัวควบคุม พีไอดี สำหรับกระบวนการเตาอบ โดยใช้
LabVIEW

DESIGN OF PID CONTROLLER FOR OVEN PROCESS USING
LabVIEW

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธีรภัทร เทียนทอง รหัสประจำตัว 46015441
นายบุรินทร์ ไบเคย รหัสประจำตัว 46015445
นางสาวพัชรี ตีนา รหัสประจำตัว 46015448

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ.อาจันต์ น่วมสำราญ	

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับกระบวนการเตาอบโดยใช้ LabVIEW		
	DESIGN OF PID CONTROLLER FOR OVEN PROCESS USING LabVIEW		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธีรภัทร	เทียนทอง	รหัสประจำตัว 46015441
	นายบูรินทร์	ใบเคย	รหัสประจำตัว 46015445
	นางสาวพัชรี	ลิณา	รหัสประจำตัว 46015448
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจินต์ น่วมสำราญ		
ปีการศึกษา	2548		

บทคัดย่อ

ตัวควบคุมพีไอดีเป็นตัวควบคุมที่ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมโดยวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมนั้นสามารถหาได้จากวิธีของ Ziegler-Nichols ซึ่งเป็นที่แพร่หลายมาก แต่การออกแบบตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธีหาทางเดินของรากในโปรแกรม LabVIEW ยังเป็นที่ไม่แพร่หลายมากนัก ซึ่งตัวควบคุมแบบพีไอดี นั้นการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ยังคงใช้วิธีการลองผิดลองถูกซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเวลาและต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ควบคุมในการปรับแต่งเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับระบบ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและออกแบบตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่เป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว และสามารถลดขนาดการแกว่งของอุณหภูมิของกระบวนการทางความร้อน วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีสำหรับกระบวนการเตาอบ เพื่อสามารถนำไปใช้ทำงานในการควบคุมกระบวนการต่างๆในอุตสาหกรรม

Thesis Title Design of PID Controller for Oven Process Using LabVIEW
Authors Mr. Teerapat Thianthong
Mr. Burin Baitoci
Miss. Patcharee Leena
Thesis Advisor Asst.Prof. Ajin numsomran
Year 2005

ABSTRACT

The PID controller is formed control that applied in the industrial. The parameter of PID controller can be obtained Ziegler-Nichols Method which very popular. But the design of PID Controller parameter is obtained root locus method in LabVIEW which it does not popular. So, the parameter of PID controller can be adjusted by trial and error method. This method is very consumptions time and requires more experience in order to fine optimum parameter for system. In this thesis is study and design PID controller using LabVIEW. It can be control temperature fast response to set point and decrease oscillate of temperature for oven process. The objective of thesis is present the design of PID controller for oven process in order to application in process of industry.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณา จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจินต์ น่วมสำราญ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งคำแนะนำในด้านเทคนิคการควบคุม และให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และ ประสบการณ์มากมายหลายด้านในการศึกษาในระดับปริญญาตรีแก่คณะผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้งยัง เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือต่างๆ ทั้งหมดในการทำปริญญาานิพนธ์นี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็น ประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดขึ้นจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้กับ บิดามารดา ผู้ซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง อีกทั้งยังเป็นผู้ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนในการศึกษา ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ คณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์นิพนธ์	1
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา	1
บทที่ 2 กระบวนการทางความร้อนในอุตสาหกรรม	2
2.1 กล่าวนำ	2
2.2 หลักการทำงานของเตาไฟฟ้า	2
2.2.1 เตาความต้านทาน	2
2.2.1.1 เตาความต้านทานแบบโดยตรง	3
2.2.1.2 เตาความต้านทานแบบโดยอ้อม	4
2.2.2 เตาอาร์ค	4
2.2.3 เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	7
บทที่ 3 ทฤษฎีทางความร้อน	8
3.1 กล่าวนำ	8
3.2 ทฤษฎีทางความร้อนที่ประยุกต์ใช้ในการออกแบบ	8
3.2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	8
3.2.1.1 การนำความร้อน	9
3.2.1.2 การพาความร้อน	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน	13
3.2.2 ทฤษฎีการอนุรักษ์พลังงาน	13
บทที่ 4 การควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน	16
4.1 กล่าวนำ	16
4.2 การแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับในการควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน	16
4.2.1 การใช้เอสซีอาร์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	16
4.2.2 การจุกชนวนเกดเอสซีอาร์	17
4.2.3 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	19
4.2.3.1 การควบคุมแบบเปิด-ปิด (On-Off Control)	19
4.2.3.2 การควบคุมมุมเฟส (Phase-Angle Control)	22
บทที่ 5 ทฤษฎีตัวควบคุม PID	27
5.1 กล่าวนำ	27
5.2 การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมพีไอดี	27
5.3 กริยาการควบคุมของการควบคุมแบบป้อนกลับ	29
5.3.1 กริยาการควบคุมแบบ ON-OFF	29
5.3.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P)	30
5.3.3 กริยาการควบคุมแบบ Integral (I)	31
5.3.4 กริยาการควบคุมแบบ Derivative (D)	32
5.3.5 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI)	33
5.3.6 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD)	34
5.3.7 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID)	34
5.4 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ ตัวควบคุม PID จากผลตอบสนอง ของ ระบบวนการ	35
5.4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols	35
5.4.1.1 วิธี Process Reaction Curve	36
5.4.1.2 วิธี Ultimate Method	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา เว้นแต่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธี Damped Oscillation	39
5.5 ข้อกำหนด (Specifications) ของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบ	39
5.6 วิธีการหาแบบจำลองของกระบวนการ โดยใช้วิธีการหาค่าสะสมของผลตอบสนอง	41
5.7 การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมพีไอดีด้วยวิธีหาทางเดินของราก	45
5.7.1 คุณสมบัติพื้นฐานของ ROOT LOCI	46
5.7.2 คุณสมบัติและการสร้าง ROOT LOCI	49
บทที่ 6 ทิวาและฟังก์ชันการทำงานบน LabVIEW	58
6.1 กล่าวนำ	58
6.2 หลักการทำงานของโปรแกรม Lab VIEW	58
6.2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ใน LabVIEW (LabVIEW Environment)	59
6.2.2 การใช้งานโปรแกรมที่สร้างขึ้นจาก LabVIEW	60
6.2.3 เครื่องมือในการออกแบบ VI	60
6.2.3.1 เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ Front Panel	60
6.2.3.2 Tools Palette สำหรับการออกแบบ Front Panel	61
6.2.3.3 Tool อื่น ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel	63
6.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมบน Block Diagram	64
6.2.4.1 Tools Palette สำหรับ Block Diagram	65
6.2.5 Front Panel Toolbar	66
6.2.6 Block Diagram Toolbar	67
6.2.7 การพัฒนาโปรแกรม	67
6.2.7.1 หลักการทำงานของ Dataflow Programming	67
6.2.7.2 Data Type (ประเภทของข้อมูล)	68
6.2.8 Numeric Data type	70
6.2.8.1 Numeric Control และ Indicator	70
6.2.8.2 Numeric Functions	72
6.2.9 Formula Node	72
6.2.10 Boolean Data type	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แะ VI ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.11 Sub VI.....	73
6.2.11.1 การสร้างและการเลือกใช้ SubVI.....	73
6.2.11.2 การเรียกใช้SubVI.....	73
6.2.12 DEBUG.....	74
6.2.13 While Loop.....	74
6.2.14 Wait (ms) และ Wait until Next ms Multiple.....	75
6.2.15 Shift Register.....	76
6.2.16 Feedback Node.....	76
6.2.17 For Loop.....	76
6.2.18 Stacked Sequence และ Flat Sequence Structure.....	77
6.2.19 Case Structure.....	79
6.2.20 String Data Type.....	80
6.2.21 Array.....	81
6.2.22 Cluster.....	82
6.2.23 Waveform Data Type (WDT).....	83
6.2.24 Waveform Chat.....	84
6.2.25 Waveform Graph.....	86
6.2.26 X-Y Graph.....	87
6.2.27 Other Graphs (กราฟรูปแบบอื่น ๆ).....	88
6.3 ขั้นตอนการออกแบบ โปรแกรม.....	89
6.3.1 การออกแบบโปรแกรม ตัวควบคุม PID ด้วยโปรแกรม Lab VIEW.....	89
บทที่ 7 โครงสร้างส่วนประกอบของกระบวนการ และการออกแบบกระบวนการ.....	98
7.1 กล่าวนำ.....	98
7.2. โครงสร้างส่วนประกอบของกระบวนการ.....	98
7.2.1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์เชื่อมต่อของกระบวนการ.....	98
7.2.1.1 เตาอบ.....	98
7.2.1.2 Termocouple Transmitter TT95.....	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VII อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.2.1.3 Signal converter SC 95	100
7.2.1.4 การ์ดCONTEC AD12-16(PCI)E	100
7.2.2 LabVIEW	102
7.3 การออกแบบกระบวนการ	102
7.3.1 Plant	102
บทที่ 8 ผลการทดลอง	104
8.1 กล่าวนำ	104
8.2 การทดลองตัวควบคุม PID โดยวิธี Process Reaction Curve ของ (Ziegler - Nichols) ด้วยโปรแกรม LabVIEW	104
8.3 การทดลองตัวควบคุม PID โดยวิธีหาทางเดินของราก (Root Locus) ด้วยโปรแกรม LabVIEW	107
บทที่ 9 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	114
9.1 สรุปผลการทดลอง	114
9.2 ปัญหาที่พบในการออกแบบโปรแกรม	114
9.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	115
บรรณานุกรม	116

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในช่วงใช้งาน.....	13
5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆ ตามวิธี Process Reaction Curve.....	37
5.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆ ตามวิธี Ultimate Method	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา แIXต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะของเตาความต้านทานแบบ โดยตรง	3
2.2 แสดงลักษณะของเตาความต้านทานแบบ โดยอ้อม	4
2.3 แสดงการแบ่งบริเวณของลำแสงอาร์ค	5
2.4 แสดงวงจรไฟฟ้าพื้นฐานของเตาอาร์ค	6
3.1 แสดงลักษณะการกระจายความเร็ว และอุณหภูมิของของไหล และขณะเกิดการพาความร้อนบริเวณใกล้ผิวให้ความร้อน	10
3.2 แสดงลักษณะการพาความร้อนแบบบังคับ	11
3.3 แสดงลักษณะการพาความร้อนในชั้นขีดผิวความร้อนและชั้นขีดผิวความเร็ว	11
3.4 แสดงลักษณะการพาความร้อนตามธรรมชาติ	12
3.5 แสดงหลักการพลังงานสมดุลในสภาวะคงตัว	15
4.1 แสดงการใช้งานเอสซีอาร์ควบคุมอุณหภูมิอุณหภูมิในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	17
4.7 แสดงแผนภาพการออกแบบวงจรสร้างสัญญาณจุดชนวนเกิดเบื้องต้น	18
4.3 แสดงคุณลักษณะการควบคุมอุณหภูมิอุณหภูมิ	19
4.4 แสดงวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเปิด-ปิดในการควบคุมอุณหภูมิอุณหภูมิ	20
4.5 แสดงคุณลักษณะการควบคุมแรงดันเอาต์พุต และค่าตัวประกอบกำลัง แบบเปิด-ปิด	22
4.6 แสดงการควบคุมอุณหภูมิแบบเต็มคลื่น กับโหลดตัวต้านทาน	23
4.7 แสดงการควบคุมอุณหภูมิแบบเต็มคลื่นในการควบคุมอุณหภูมิอุณหภูมิ	25
4.8 แสดงคุณลักษณะการควบคุมแรงดันเอาต์พุต และค่าตัวประกอบกำลังแบบเต็มคลื่นกับโหลดตัวต้านทาน	26
5.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป	28
5.2 แสดงกริยาการควบคุมแบบ ON-OFF	29
5.3 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional	31
5.4 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Integral	32
5.5 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Derivative	33
5.6 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct action)	33
5.7 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD	34
5.8 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct action)	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.9 แสดงค่าพ่วงเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธี Ziegler – Nichols.....	36
5.10 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อปรับโดยใช้วิธี Process Reaction Curve	37
5.11 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างค่อเนื่อง เมื่อปรับโดยใช้วิธี Ultimate method	38
5.12 แสดงค่าอัตราการเสื่อม 1/4 เมื่อปรับโดยวิธี Damped Oscillation.....	39
5.13 แสดงข้อกำหนดของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบ	40
5.14 ผลตอบสนองของกระบวนการ	42
6.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ใน LabVIEW	59
6.2 Control Palette.....	61
6.3 Tool palette	61
6.4 วิธีเรียกใช้ Tool palette	62
6.5 Operate Value Tool	62
6.6 Position/Size/Select Tool	62
6.7 Edit Text Tool	63
6.8 Set Color Tool.....	63
6.9 Object Shortcut Menu Tool	63
6.10 Scroil Window Tool	63
6.11 Get Color	64
6.12 Functions Palette	64
6.13 แสดงวิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 1	65
6.14 แสดงวิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 2	65
6.15 แสดงวิธีการเปิด Tools Palette	65
6.16 แสดง Tool ที่ใช้ใน Block Diagram	66
6.17 แสดง Front Panel Toolbar	66
6.18 แสดงหลักการทำงานของ Dataflow Programming	68
6.19 แสดง Data Type (ประเภทของข้อมูล)	69
6.20 การ Wiring ที่ผิด	69
6.21 Error List	70
6.22 Numeric Control และ Indicator	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.23 การเปลี่ยน Change to Indicator	71
6.24 Visible Item	71
6.25 Formula Node	72
6.26 Boolean Data type	73
6.27 วิธีเลือก SubVI	74
6.28 Set/Clear Breakpoint	74
6.29 While Loop	75
6.30 Wait (ms)	75
6.31 Wait Until ms Multiple	75
6.32 Shift Register	76
6.33 Feedback Node	76
6.34 For Loop	76
6.35 Structures Palette	77
6.36 Stacked Sequence	77
6.37 Flat Sequence	77
6.38 Add Frame	78
6.39 Show Frame	78
6.40 Add Sequence Local	79
6.41 Case Structure	79
6.42 String Palette	80
6.43 String Properties	80
6.44 Text Settings	81
6.45 Array	81
6.46 Add Dimension	82
6.47 Array Function	82
6.48 Cluster	82
6.49 Waveform	83
6.50 Waveform Measurements	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XII อย่างอึ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.51 Waveform Chart.....	84
6.52 การใช้งาน Waveform Chart.....	85
6.53 การแสดงผลข้อมูล Chart.....	85
6.54 แสดงการล้างข้อมูลที่ Chart.....	86
6.55 Waveform Graph.....	86
6.56 การใช้งาน Waveform Graph.....	86
6.57 Visible Items.....	87
6.58 Express XY Graph.....	87
6.59 การใช้งาน XY Graph.....	87
6.60 แสดงกราฟลักษณะอื่นๆ.....	88
6.61 วิธีใช้ Help.....	88
6.62 NI Example Finders.....	89
6.63 LabVIEW 7.1.....	89
6.64 Functions.....	90
6.65 All Functions.....	90
6.66 PID Advance.vi.....	90
6.67 แสดงลักษณะส่วนของ Font Panel ของ PID Advance.vi.....	91
6.68 การเลือก Constant.....	92
6.69 ลักษณะการต่อ PID Advance.vi.....	92
6.70 ลักษณะการต่อ PID Advance.vi และ Auto/Manual.....	92
6.71 Block Diagram.....	93
6.72 All Functions.....	93
6.73 User Libraries.....	93
6.74 VI-DAQ AIO.....	94
6.75 AO_singleUpdate.....	94
6.76 AO_Range.....	94
6.77 AIO Config.....	95
6.78 AI_Range.....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XIII ต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.79 AI_InputMode	95
6.80 AI_SingleScan	96
6.81 AIO_Close	96
6.82 แสดงลักษณะส่วนของ Block diagram ของ PID Advance.vi	96
6.83 แสดงโปรแกรมตัวควบคุม PID ในหน้าต่าง Front Panel	97
6.84 แสดงโปรแกรมตัวควบคุม PID ในหน้าต่าง Block diagram	97
7.1 แสดงภาพเตาอบไฟฟ้า	98
7.2 แสดงลักษณะโครงสร้างเตาอบไฟฟ้า	99
7.3 แสดงลักษณะของวงจรภายใน TT 95	99
7.4 แสดงลักษณะของวงจรภายใน SC 95	100
7.5 แสดง Block Diagram โครงสร้างภายในของการ์ด AD12-16(PCI)E	101
7.6 แสดงรายละเอียดขาของ CN1 ของการ์ด AD12-16(PCI)E	101
7.7 แสดงลักษณะโครงสร้างของตัวควบคุมโดยใช้ LabVIEW	102
7.8 แสดงลักษณะการออกแบบกระบวนการ	102
8.1 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve	104
8.2 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S จากการทดลองที่เปิดที่ Mv 25%	105
8.3 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Ziegler - Nichols) SetPoint ที่ 40%	106
8.4 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Ziegler - Nichols) SetPoint ที่ 60%	106
8.5 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Ziegler - Nichols) SetPoint จาก 40% ถึง 60%	107
8.6 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ k_0	108
8.7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ k_1	108
8.8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ k_2	109
8.9 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Root Luci) SetPoint ที่ 40%	112
8.10 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Root Luci) SetPoint ที่ 60%	112
8.11 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Root Luci) SetPoint จาก 40% ถึง 60%	113

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

กระบวนการเดอบในงานอุตสาหกรรมมีอยู่อย่างแพร่หลายในปัจจุบันการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเดอบนั้นก็ถือเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการการผลิต การควบคุมอุณหภูมิให้มีความแม่นยำและสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้อย่างรวดเร็ว จึงเป็นสิ่งจำเป็น อีกทั้งยังเป็นการประหยัดพลังงานอีกด้านหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริิญญานิพนธ์

ปริิญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและออกแบบตัวควบคุม PID สำหรับกระบวนการเดอบโดยใช้ LabVIEW (Design of PID Controller for Oven Process Using LabVIEW) เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมกับกระบวนการเดอบที่มีขนาดใหญ่ และมีค่าเวลาหน่วงที่มากให้เข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว และลดขนาดของการเกิดค่าพุ่งเกิน และการแกว่งของอุณหภูมิ และเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการการผลิตทางอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

1.3 ขอบเขตของปริิญญานิพนธ์

ปริิญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษา และพัฒนาออกแบบโปรแกรมสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID และผลการทดลองของกระบวนการเดอบ ซึ่งควบคุมด้วย ตัวควบคุม PID โดยวิธี Process Reaction Curve ของ (Ziegler-Nichols) เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองของกระบวนการเดอบที่ใช้ตัวควบคุม PID โดยวิธีหาทางเดินของราก (Root Locus) ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรม โดยการออกแบบตัวควบคุมทั้งสองนี้ ได้ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการเขียน โปรแกรม

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาถึงปริิญญานิพนธ์เล่มนี้ เริ่มจากการศึกษาถึงการทำงานของกระบวนการ โดยศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว จากนั้นก็ศึกษาถึงทฤษฎีของตัวควบคุม PID และในการออกแบบตัวควบคุมนั้นได้ใช้ โปรแกรม LabVIEW ในการสร้างการควบคุม PID ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับค่าได้ด้วยตัวเอง และสามารถควบคุมกระบวนการจริงให้มีการทำงานและแสดงค่าได้ตามต้องการ โดยวิธีการควบคุมทั้งแบบ Ziegler-Nichols และแบบ Root Locus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

กระบวนการทางความร้อนในอุตสาหกรรม

2.1 กล่าวนำ

กระบวนการทางความร้อนเป็นกระบวนการหนึ่ง ที่พบเห็นกันบ่อยมากในอุตสาหกรรมต่างๆ และโดยส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางความร้อนแบบเตาไฟฟ้าอุตสาหกรรม ในปัจจุบันการใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิที่มีความแม่นยำสูงกับเตาไฟฟ้า จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างมาก ถ้าหากว่าทำการควบคุมอุณหภูมิเตาไฟฟ้าโดยใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ หรือเครื่องตรวจเทียบอุณหภูมิ ควบคุมให้ชิ้นงานหรือโลหะเหลวให้เป็นไปตามที่กำหนดได้ ทั้งนี้เพราะว่าถ้าควบคุมอุณหภูมิได้ต่ำกว่าที่กำหนดชิ้นงานอาจเสีย หรือถ้าได้อุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดไว้จะต้องสูญเสียเปลืองค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนที่สมนัยกับค่าที่เกินกว่าค่าอุณหภูมิที่กำหนด หรือในบางกรณีอาจทำให้ชิ้นงานเสียได้ เป็นการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่ง ซูกิโมโต เคอิ (Sugimoto Kei) วิศวกรชาวญี่ปุ่นได้ให้ความหมายของการประหยัดพลังงานไว้ดังนี้ “การประหยัดพลังงาน คือ การลดปริมาณหรือราคาพลังงานต่อหน่วยผลผลิตให้น้อยที่สุด” ดังนั้นการควบคุมกระบวนการทางความร้อนในอุตสาหกรรมให้ได้อุณหภูมิที่กำหนด จึงเป็นเรื่องที่สำคัญต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน

2.2 หลักการทำงานของเตาอบไฟฟ้า

หน้าที่หลักของเตาไฟฟ้า คือการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน เพื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิให้กับวัสดุที่ต้องการ พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบเตาไฟฟ้าทั้งหมดนี้ ได้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน แต่มีบางส่วนสูญเสียไปในระบบเตาไฟฟ้า ส่วนที่เหลือจะเป็นความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัสดุ ค่าการสูญเสียในเตาไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของเตาไฟฟ้า สภาพการใช้งาน และบำรุงรักษา วัสดุ ฉนวนความร้อนที่บุผนังเตา การเข้าใจถึงสัดส่วนของพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ในส่วนต่างๆ จะช่วยในการพิจารณาเรื่องการประหยัดพลังงานที่ทำได้ง่ายขึ้น เตาไฟฟ้าอุตสาหกรรมแบ่งแยกได้เป็น 3 แบบ คือ เตาความต้านทาน เตาอาร์ค และเตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แต่ละแบบมีหลักการทำงานแตกต่างกันดังนี้

2.2.1 เตาความต้านทาน

เตาความต้านทานอาศัยหลักการทางไฟฟ้า คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดความต้านทาน จะมีกำลังไฟฟ้าเกิดขึ้น ดังสมการที่ (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (2.1)$$

- เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
 I คือ กระแสไฟฟ้าผ่านความต้านทาน มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)
 R คือ ความต้านทานของตัวนำ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)
 V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ความต้านทาน มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปเป็นค่าความร้อน โดยคำนวณได้ ดังสมการที่ (2.2)

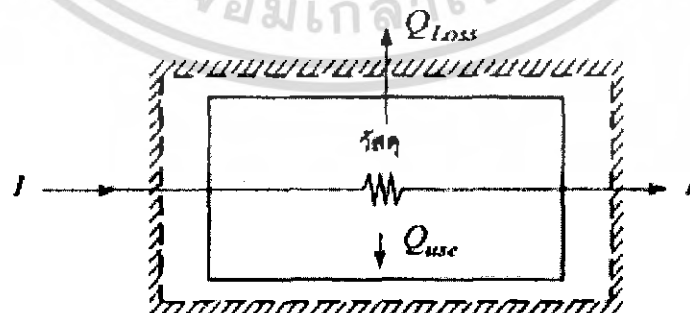
$$Q = 0.24 Pt \quad (2.2)$$

- เมื่อ Q คือ ค่าความร้อนที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็นแคลอรี (Cal)
 P คือ กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
 T คือ เวลาที่ใช้งาน มีหน่วยเป็นวินาที (Sec)

จากการที่เตาแบบนี้ใช้ความต้านทานเป็นตัวกำหนดความร้อน ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) มีค่าเป็นหนึ่ง (Unity) อย่างไรก็ตามเตาความต้านทานยังแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

2.2.1.1 เตาความต้านทานแบบโดยตรง

เตาแบบนี้ใช้หลักการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวัสดุ ซึ่งเป็นตัวนำที่ต้องการให้ความร้อน โดยตรง ความร้อนที่เกิดขึ้นถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิโดยตรง และมีส่วนหนึ่งซึ่งต้องสูญเสียไป ดังแสดงในภาพที่ 2.1

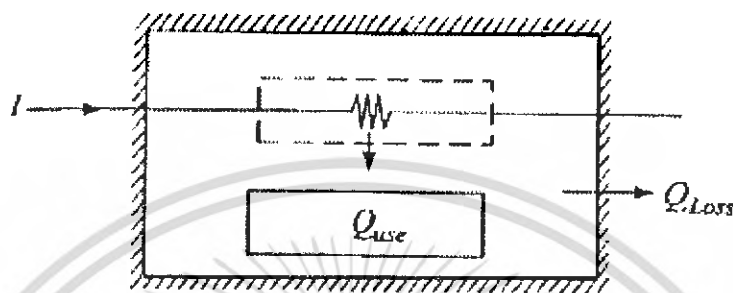


ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของเตาความต้านทานแบบ โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 เตาความต้านทานแบบโดยอ้อม

เตาแบบนี้ใช้หลักการผ่านการเสไฟฟ้าเข้าไปในตัวกำเนิดความร้อน ซึ่งเป็นตัวความต้านทานความร้อนที่เกิดขึ้น ถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวกำเนิดความร้อนเองแล้วถ่ายเทคให้กับวัสดุที่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิโดยการพา การนำ และการแผ่รังสี มีความร้อนส่วนหนึ่งสูญเสียไปโดยมิได้ประโยชน์ ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะของเตาความต้านทานแบบ โดยอ้อม

2.2.2 เตาอาร์ค

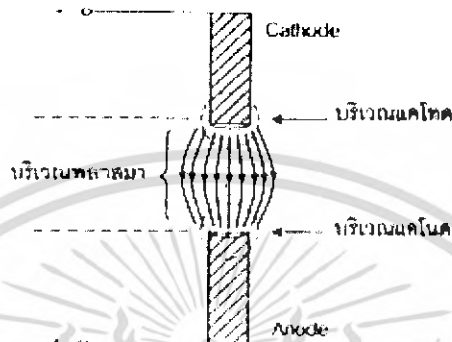
เตาอาร์คใช้หลักการทำงานทางไฟฟ้าที่วู การนำไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นได้ใน Ionized gas ความต้านทานของลำแสงอาร์ค (Arc Beam) และการปลดปล่อยพลังงานของอิเล็กตรอน (Electron) ที่ป้อนเข้าขานแอโนด (Anode) ทำให้เกิดความร้อนขึ้นแล้วถูกถ่ายให้กับวัสดุที่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิ พร้อมกับมีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้น พฤติกรรมของการอาร์คเป็นดังนี้คือ

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับแท่งอิเล็กโทรด 2 แท่งซึ่งสัมผัสกัน (ในตอนแรก) แท่งที่ต่อกับแรงดันไฟฟ้าบวกเรียกว่าแอโนด (Anode) แท่งที่ต่อกับไฟฟ้านลบเรียกว่าแคโทด (Cathode) จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ความต้านทานของจุดสัมผัสทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าและถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อน ซึ่งปริมาณความร้อนขึ้นอยู่กับค่ากระแสลัดวงจรและความต้านทานของจุดสัมผัส เมื่ออุณหภูมิของจุดสัมผัสมากพอที่จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ถ้าตั้งแท่งอิเล็กโทรดให้แยกห่างจากกัน อิเล็กตรอนที่แท่งแคโทดถูกสนามไฟฟ้าบังคับให้วิ่งเข้าหาแท่งแอโนด ทำให้เกิดกระแสอาร์คขึ้น กระแสอาร์คในอากาศบริเวณใกล้ๆ กับแท่งแคโทดมีความหนาแน่นของกระแสสูงสุดทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้บริเวณของอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น การอาร์คสามารถบังคับให้เกิดขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอ โดยการควบคุมระยะระหว่างแท่งอิเล็กโทรดและการเพิ่มอุณหภูมิต่อควบคุมกระแสอาร์ค นอกเหนือไปจากกระแสอาร์คที่ไหลผ่านแท่งแอโนดซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นแล้ว การที่อิเล็กตรอนจากแท่งแคโทดชนกับแท่งแอโนดแล้วถ่ายพลังงานให้กับแท่งแอโนด จะทำให้แอโนดมีอุณหภูมิสูงกว่าแคโทด อิเล็กตรอนบางตัวจากแคโทด เมื่อชนกับอะตอมของก๊าซในบริเวณเตาอาร์ค ไม่สามารถทำให้อะตอมของก๊าซเกิดการแตกตัวได้ แต่จะทำให้อะตอมของก๊าซอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาวะ Excite State กล่าวคือ อิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรที่ต่ำกว่ากระโดดสู่ชั้นวงโคจรที่มีพลังงานสูงกว่าเนื่องจากได้รับพลังงานเพิ่ม หลังจากนั้นอิเล็กตรอนตกกลับเข้าสู่วงโคจรเดิม ในกรณีนี้อิเล็กตรอนจะคายพลังงานออกมาในรูปแสงและความร้อน

กระแสอาร์คทำให้เกิดลำแสงอาร์ค ซึ่งแบ่งแยกได้เป็น 3 บริเวณด้วยกัน คือ บริเวณแคโทด บริเวณพลาสมา และบริเวณแอโนด ดังแสดงในภาพที่ 2.3



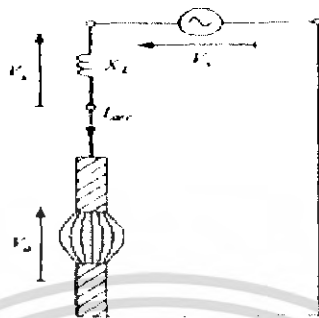
ภาพที่ 2.3 แสดงการแบ่งบริเวณของลำแสงอาร์ค

1. **บริเวณแคโทด (Cathode Zone)** ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าบริเวณนี้สูง จึงทำให้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง ความร้อนจึงสูง ในกรณีของเตาอาร์คแท่งแคโทดเป็นแท่งคาร์บอนซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูง จึงไม่สามารถหลอมแท่งแคโทดได้ เป็นแต่เพียงทำให้มันเกิดการผุกร่อน (ไหม้หลุดเป็นขี้เถ้า) ความยาวของบริเวณนี้จะสั้นเป็นบริเวณจ่ายอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าได้ ปริมาณอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับชนิดของแท่งแคโทด อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าอาร์ค และความดันของบรรยากาศในการอาร์ค

2. **บริเวณแอโนด (Anode Zone)** ความร้อนที่เกิดขึ้นที่จุดซึ่งเกิดการอาร์ค จะถ่ายเทความร้อนให้กับวัสดุรอบด้าน แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าอัตราการเพิ่มความร้อน อุณหภูมิที่จุดอาร์คจึงเพิ่มขึ้นจนถึงขั้นหลอมเหลว (แอโนดทำด้วยวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ) แล้วบริเวณที่หลอมละลายจะค่อยๆ แผ่กระจายเป็นวงกว้างออกไปจนหมดทั่วทั้งบ่อ

3. **บริเวณพลาสมา (Plasma Zone)** เป็นบริเวณในลำแสงอาร์คระหว่างบริเวณแคโทด กับแอโนด บริเวณนี้ความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานของพลาสมา ความร้อนที่เกิดขึ้นจะแผ่รังสีให้กับบริเวณรอบด้าน

ในกรณีของเตาอาร์คที่ใช้ในอุตสาหกรรมการถลุงหรือการหลอม แรงดันไฟฟ้าที่ให้กับ แอโนดและแคโทดเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ แท่งอิเล็กโทรดจึงสลับกันเป็นแอโนดและแคโทด ทุกๆ ครึ่งรอบของความถี่ของแหล่งจ่ายแรงดัน ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงวงจรไฟฟ้าพื้นฐานของเตาอาร์ค

ในวงจรไฟฟ้าพื้นฐานของเตาอาร์ค ดังแสดงในภาพที่ 2.4 และ ดังสมการที่ (2.3) แรงดัน บังคับของเคอร์ชอร์ฟ (Kirchhoff's Voltage Law) คือ

$$V_s = V_x + V_a$$

หรือ

$$= XI + V_a \quad (2.3)$$

- เมื่อ
- V_s คือ แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
 - V_x คือ แรงดันไฟฟ้าที่รีแอกเตอร์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
 - V_a คือ แรงดันรวมของลำแสงอาร์ค มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
 - I คือ กระแสอาร์ค มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)
 - X คือ รีแอกแตนซ์ใส่เข้าไปเพื่อควบคุมกระแสอาร์ค มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

เมื่อมีการอาร์คเกิดขึ้น แล้วแยกแท่งอิเล็กโทรดทำให้ระยะอาร์คยาวขึ้น ความต้านทานของ ลำอาร์คเพิ่มขึ้น กระแสอาร์คจะลดต่ำลง ทำให้แรงดัน V_x ลดน้อยลง แต่เนื่องจากแรงดันของ แหล่งจ่าย V_s คงที่ แรงดัน V_a ($V_a = V_s - V_x$) ก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสอาร์คเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ความต้านทานของลำอาร์คลดน้อยลง กระแสอาร์คก็จะกลับเพิ่มขึ้นใหม่ แรงดัน V_x ก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันอาร์ค V_a ลดน้อยลง กระแสอาร์คลดน้อยลง จะเกิดปรากฏการณ์ในลักษณะนี้ซ้ำซ้อน ต่อเนื่องกัน โดยการออกแบบค่า X และใช้ค่าแรงดัน V_s ที่เหมาะสม จะทำให้สภาพการอาร์คอยู่ใน

ลักษณะคงตัวได้อย่างสม่ำเสมอ อันที่จริงแล้วอาจใช้ความต้านทานแทนรีแอกแตนซ์ได้ แต่ในกรณีเมื่อใช้ความต้านทานจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียอย่างมาก และความต้านทานจะต้องมีขนาดโตมากไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ

การเพิ่มรีแอกแตนซ์เข้าไปในวงจรไฟฟ้าของเตาอาร์ค จะทำให้ตัวประกอบกำลังของวงจรล้าหลังน้อยกว่าหนึ่งเสมอ และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานของเตาอาร์ค

2.2.3 เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้หลักการทางไฟฟ้า ที่ว่าจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ภายในสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current) ในตัวนำ กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวนำจะเปลี่ยนไปเป็นความร้อน ทำให้อุณหภูมิของตัวนำเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าในตัวนำก็คือ ความหนาแน่นความร้อนในตัวนำซึ่งขึ้นอยู่กับค่า Skin Depth ซึ่งกำหนด ดังสมการที่ (2.4)

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu_0 \mu_r \omega}} \quad (2.4)$$

เมื่อ δ	คือ ค่า Skin Depth มีหน่วยเป็นเมตร (m)
ρ	คือ ความต้านทานจำเพาะของตัวนำ มีหน่วยเป็น โอห์ม เมตร ($\Omega \cdot m$)
μ_0	คือ ความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ เท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ มีหน่วยเป็นเฮนรีต่อเมตร (H/m)
μ_r	คือ ความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของตัวนำ (ค่าคงตัว)
ω	คือ ความถี่เชิงมุมของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hz)

ความถี่เชิงมุมของสนามแม่เหล็กสามารถบังคับให้เปลี่ยนได้โดยง่าย โดยการเปลี่ยนค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดเหนี่ยวนำของเตาเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้สามารถควบคุมความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าได้โดยง่าย จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ขีดจำกัดของเตาแบบนี้อยู่ที่อุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุที่ใช้บุผนังเตา

บทที่ 3

ทฤษฎีทางความร้อน

3.1 กล่าวนำ

การออกแบบการควบคุมกระบวนการทางความร้อนในอุตสาหกรรม จำเป็นต้องทราบธรรมชาติ และคุณลักษณะ หรือคุณสมบัติของกระบวนการ และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการทางความร้อน ซึ่งหลักการและทฤษฎีทางความร้อนที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมนั้น ในที่นี้เราได้ทำการศึกษาถึงทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน โดยใช้หลักการพลังงานสมดุล เพื่อคำนวณหาค่าพลังงานของสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมกับกระบวนการทางความร้อน ซึ่งจากที่ทราบแล้วว่ากระบวนการทางความร้อนโดยส่วนใหญ่เป็นแบบเตาไฟฟ้าอุตสาหกรรม

3.2 ทฤษฎีทางความร้อนที่ประยุกต์ใช้ในการออกแบบ

ในการออกแบบกระบวนการทางความร้อนต่าง ๆ นั้น ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนเป็นเรื่องจำเป็นในการศึกษาคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงสภาพของกระบวนการทางความร้อน

3.2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

เมื่อใดก็ตามที่จุดสองจุดมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ก็จะมีพลังงานถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันนี้เรียกว่าความร้อน ถึงแม้ว่าในทางเทอร์โมไดนามิกส์จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทของพลังงานก็ตาม แต่ก็เป็นการศึกษาเฉพาะในกรณีที่ระบบความร้อนนั้นอยู่ในสภาวะที่สมดุลแล้วเท่านั้น ดังนั้นกฎเกณฑ์ต่างๆ ในทางเทอร์โมไดนามิกส์จึงใช้ได้เพียงแต่ทำนายจำนวนพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบความร้อนที่อยู่ในสภาวะสมดุลจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถที่จะบอกให้ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงใด จากกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ด้วยการวิเคราะห์ที่สามารถนำมาใช้หาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้

รายละเอียดที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ และการถ่ายเทความร้อนนั้น พิจารณาได้จากแหล่งที่ก่อกำเนิดร้อนขึ้น เมื่อนำไปแช่ทิ้งไว้ในน้ำร้อน จากกฎของเทอร์โมไดนามิกส์จะทำให้สามารถหาอุณหภูมิของแหล่งที่ก่อกำเนิด และน้ำร้อนได้เมื่อแหล่งที่ก่อกำเนิดและน้ำร้อนอยู่ในสภาวะสมดุลแล้ว แต่ก็ไม่สามารถบอกให้ทราบว่า จะต้องใช้เวลานานเท่าไร แหล่งที่ก่อกำเนิดและน้ำร้อนจึงจะมีอุณหภูมิตามต้องการ ส่วนการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนนั้นจะสามารถทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนไปยังแหล่งที่ก่อกำเนิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic) พลังงานไม่สามารถที่จะสร้างขึ้นมาใหม่หรือทำลายได้ แต่พลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งได้ ดังนั้นการถ่ายเทพลังงานความร้อนนั้นไม่สามารถที่จะวัดโดยตรงได้ แต่สามารถพิจารณาได้จากวิธีทางฟิสิกส์ เพราะว่าความร้อนเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่วัดได้ โดยการสังเกตพบว่าเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเตาเกิดขึ้นในระบบความร้อน ก็จะมีการถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่ได้นั้น จะต้องทราบถึงกลไกของการถ่ายเทความร้อนแบบต่างๆซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ หรือการนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)
2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา หรือการพาความร้อน (Convection Heat Transfer)
3. การถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสี หรือการแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer)

ในการออกแบบระบบความร้อน และการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น จะต้องเข้าใจกลไกของการถ่ายเทความร้อนแต่ละแบบ และต้องทราบถึงความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนแบบนี้ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1.1 การนำความร้อน

การนำความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกัน ในการนำความร้อน ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่าน โมเลกุลของสาร โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพาเกิดขึ้นในของเหลว และก๊าซ แต่มันจะแยกไม่ออกจากการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพา ความร้อนเคลื่อนที่โดยการนำได้ โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ความร้อนยังเคลื่อนที่ไปได้โดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลภายในของแข็งในลักษณะของพลังงานของความสั่นสะเทือน (Vibrational energy) อีกด้วย

หลักการคำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อนถูกตั้งขึ้นโดย โจเซฟ โฟริเออร์ (Joseph Fourier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้เสนอสมการที่ใช้สำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำ ในปี ค.ศ. 1822 โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลอง ไว้ดังสมการที่ (3.1) คือ

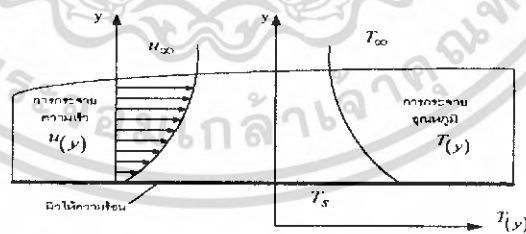
$$Q_x = -kA\left(\frac{dT}{dX}\right) \quad (3.1)$$

- เมื่อ Q_x คือ อัตราการนำความร้อนผ่านพื้นที่ A ในทิศทางบวก X
มีหน่วยเป็น (W)
- k คือ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) มีหน่วยเป็น
($W/m \cdot K$)
- A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน มีหน่วย
เป็น (m^2)
- $\frac{dT}{dX}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง

สมการนี้เรียกว่า Fourier rate equation ซึ่งเป็นสมการที่ได้มา โดยอาศัยผลของการทดลอง จากสมการนี้เราสามารถหาสมการอื่นๆ เพื่อใช้ให้เป็นประโยชน์ในการคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำได้

3.2.1.2 การพาความร้อน

การพาความร้อน คือ วิธีการถ่ายเทความร้อน ระหว่างผิวของของแข็งกับของไหล ผลของการเคลื่อนไหวของของไหลส่งผลให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนที่ผิวของแข็งนั้น ($h, W/m^2 \cdot K$) พลังงานความร้อนที่ถูกโอนถ่ายเป็นผลมาจากการแพร่ (Diffusion) ของโมเลกุล และจากการเคลื่อนไหวไปทั้งปริมาตรของของไหล ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อนการสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของของไหล ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะการกระจายความเร็วและอุณหภูมิของของไหล และขณะเกิดการพาความร้อนบริเวณใกล้ผิวให้ความร้อน

การพาความร้อนยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การพาโดยการบังคับ (Forced convection) และ การพาตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free convection) โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การพาความร้อนโดยบังคับ (Force Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอกเช่น เครื่องสูบลม เครื่องเป่าลม (Blower) เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงลักษณะการพาความร้อนแบบบังคับ

ลักษณะการพาความร้อนในชั้นขีดผิวความร้อนและชั้นขีดผิวความเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แสดงลักษณะการพาความร้อนในชั้นขีดผิวความร้อนและชั้นขีดผิวความเร็ว

ในภาพที่ 3.3 พิจารณาการพาความร้อนจากผิวของแข็งพื้นที่ A_s อุณหภูมิ T_s ขณะของไหลไหลผ่านด้วยความเร็ว u_∞ และอุณหภูมิ T_∞ คงที่ ฟลักซ์ความร้อนเฉพาะที่เป็นไปตามกฎการทำให้เป็นตัวลงของนิวตัน (Newton's law of cooling) ดังสมการที่ 3.2

$$q''_{conv} = h(T_s - T_\infty) \quad (3.2)$$

เมื่อ q''_{conv} คือ ค่าฟลักซ์ความร้อนเฉพาะ ที่มีหน่วยเป็น (W/m^2)
 h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่มีหน่วยเป็น ($W/m^2.K$)

ดังนั้นจะคำนวณอัตราการพาความร้อนทั้งหมด ($Q''_{convection}$) บนพื้นผิว A_s จากสมการที่ (3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q''_{convection} = \int_{A_s} q''_{conv} dA_s = (T_s - T_\infty) \int h dA_s \quad (3.3)$$

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการพา นั้นเป็นสิ่งที่ยู่ยาก เมื่อพิจารณาแล้วมีหลายสิ่งหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพานี้ เป็นต้นว่า คุณสมบัติของของไหล ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของของแข็งและของไหล เป็นต้น นิวตัน (Newton) ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้ โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา ดังสมการที่ (3.4)

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad (3.4)$$

เมื่อ Q_{conv} คือ อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการพามีหน่วยเป็น $(W/m^2 \cdot K)$

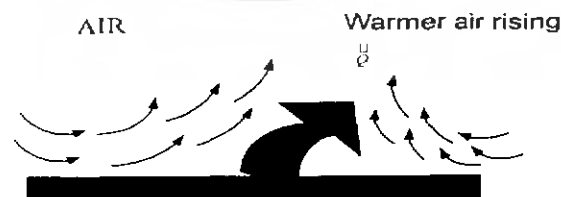
h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน มีหน่วยเป็น $(W/m^2 \cdot K)$

A คือ พื้นที่หน้าตัดมีหน่วยเป็น (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิที่ร้อน มีหน่วยเป็น (K) หรือ (c°)

T_∞ คือ อุณหภูมิที่เย็น มีหน่วยเป็น (K) หรือ (c°)

2. การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใดๆ ที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งก็อาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น เช่น ปล่อยแผ่นวัตถุร้อนที่วางในบรรยากาศให้เย็น ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงลักษณะการพาความร้อนตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในช่วงใช้งาน

ชนิดของการพาความร้อน	ค่าสัมประสิทธิ์ (W/m ² K)
การพาความร้อนตามธรรมชาติ	5~25
การพาความร้อน โดยบังคับ	
ก๊าซ	25~250
ของเหลว	50~20000
การพาความร้อนขณะเปลี่ยนแปลงเฟส (เดือดตัวและควบแน่น)	2500~100000

3.2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนของผิวดังกล่าวหนึ่งไปสู่ผิวดังกล่าวอีกตัวกลางหนึ่ง ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ โฟตอน โดยไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางเลย เช่น ในบริเวณที่เป็นสุญญากาศ เป็นต้น พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีนั้นจะเคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง ซึ่งมีความเร็วเท่ากับ 3×10^{10} cm/s พลังงานที่เคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น รังสีเอ็กซ์ รังสีอินฟราเรด แต่สำหรับในที่นี้จะพิจารณาแต่เพียงพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีเท่านั้น

3.2.2 ทฤษฎีการอนุรักษ์พลังงาน

จากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน เพื่อเปลี่ยนค่าอุณหภูมิให้กับวัตถุที่ต้องการ โดยอุณหภูมิของตัวของวัตถุเกิดขึ้นเมื่ออัตราพลังงานความร้อนให้กับระบบมีค่าเท่ากับอัตราสูญเสียรวมทั้งหมด ถ้าอัตราพลังงานความร้อนจ่ายเข้ามามากกว่าพลังงานความร้อนสูญเสีย วัตถุจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าอัตราพลังงานความร้อนจ่ายเข้าน้อยกว่าพลังงานความร้อนสูญเสีย วัตถุจะมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation Of Energy Principle) หรือ หลักพลังงานสมดุล (Energy Balance) ในกฎข้อที่หนึ่งของหลักการถ่ายเทความร้อน (Thermodynamic) ที่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงพลังงานรวมทั้งหมดของระบบในกระบวนการเท่ากับ ความแตกต่างระหว่างพลังงานรวมทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ และพลังงานรวมทั้งหมดที่ออกจากระบบ ในกระบวนการดังสมการที่ 3.5

$$\left(\begin{array}{c} \text{Total energy} \\ \text{entering the} \\ \text{system} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Total energy} \\ \text{leaving the} \\ \text{system} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Change in the} \\ \text{total energy of} \\ \text{the system} \end{array} \right) \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่เข้าและออกจากระบบสามารถถ่ายเทในรูปแบบของความร้อน (Heat) งาน (Work) และปริมาณการไหล (Mass Flow) และพลังงานรวมทั้งหมดที่ได้ภายในของระบบ ประกอบด้วยพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) พลังงานศักย์ (Potential Energy) ซึ่งหลักการพลังงานสมดุลสำหรับทุกๆ ระบบในทุกๆ กระบวนการ สามารถเขียนได้ ดังสมการที่ (3.6)

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system} \quad (3.6)$$

เมื่อ E_{in}, E_{out} คือ พลังงานรวมสุทธิที่ถ่ายเทในลักษณะรูปแบบความร้อน งาน และ ปริมาณการไหล

ΔE_{system} คือ การเปลี่ยนแปลงภายในรูปแบบพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ ฯลฯ

หรือ คิดเป็นอัตรา ดังสมการที่ (3.7)

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{system}}{dt} \quad (3.7)$$

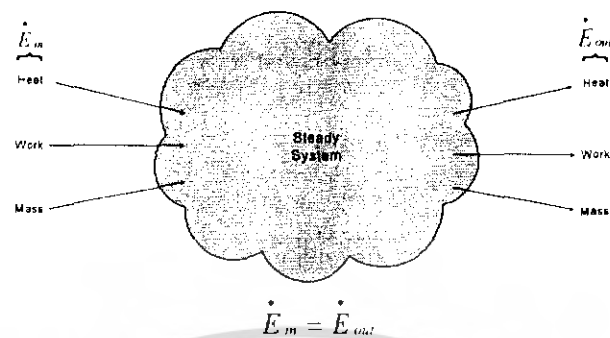
เมื่อ $\dot{E}_{in}, \dot{E}_{out}$ คือ อัตราพลังงานรวมที่ถ่ายเทในลักษณะรูปแบบความร้อน งาน และ ปริมาณการไหล

$\frac{dE_{system}}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงภายในรูปแบบพลังงานจลน์ พลังงาน ศักย์ ฯลฯ

การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในระบบจะเป็นศูนย์ ($\Delta E_{system} = 0$) ถ้าสภาพของระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายในกระบวนการ นั่นคือกระบวนการอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady) หลักการพลังงานสมดุลในกรณีนี้สามารถเขียนได้ ดังสมการที่ (3.8)

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad (3.8)$$

ลักษณะการถ่ายเทพลังงานสู่ระบบเท่ากับอัตราการถ่ายเทพลังงานออกจากระบบในสภาวะคงตัว ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แสดงหลักการพลังงานสมดุลในสภาวะคงตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน

4.1 กล่าวนำ

การควบคุมกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดบางอย่าง ที่ไม่จำเป็นต้องใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เช่น การควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน การควบคุมความสว่างหลอดไฟ การเปลี่ยนจุดต่อของหม้อแปลง การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ งานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เป็นต้น

4.2 การแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับในการควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน

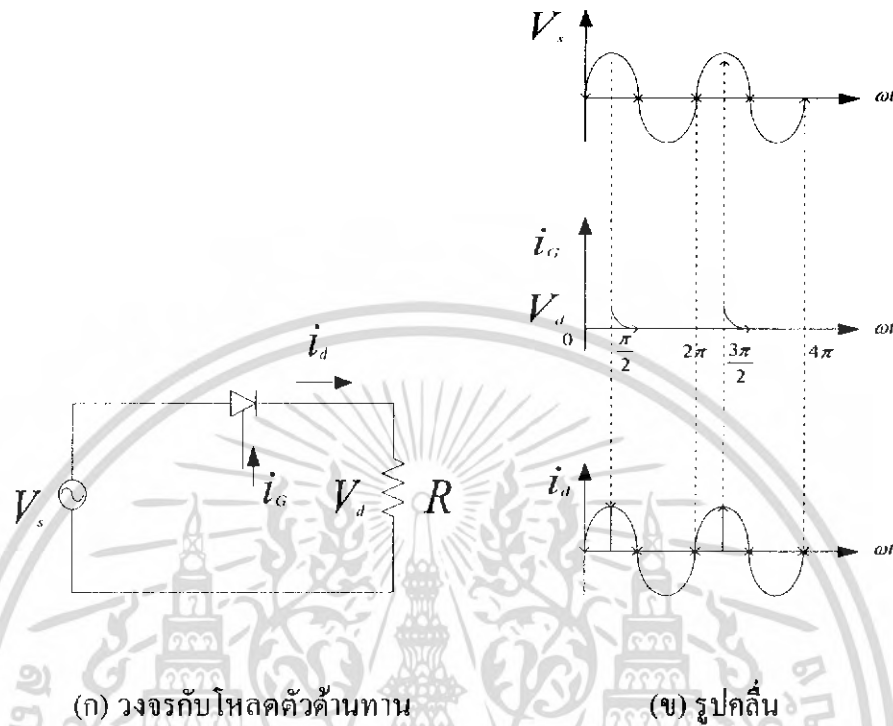
การควบคุมกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดต่างๆเหล่านี้ สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าได้โดยการควบคุมอาร์เอ็มเอส (Root Mean Square:RMS) ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่จ่ายให้แก่โหลด จากที่ทราบแล้วว่ากระบวนการทางความร้อน โดยส่วนใหญ่เป็นแบบเตาไฟฟ้าอุตสาหกรรม ซึ่งเตาไฟฟ้าอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องในปฏิญานิพนธ์เล่มนี้ เป็นแบบเตาความต้านทาน จากที่เตาไฟฟ้าแบบนี้ใช้ความต้านทานเป็นตัวกำเนิดความร้อน และมีอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายเป็นขดลวดความร้อน การศึกษาถึงหลักการควบคุมอุณหภูมิของขดลวดความร้อน โดยใช้การแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับ ในการควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน จึงเป็นประโยชน์ต่อความเข้าใจในการออกแบบตัวควบคุม ที่นำเสนอซึ่งใช้สัญญาณควบคุมในการแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของขดลวดความร้อน

การแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับในการควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อนนั้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มักเป็นที่นิยมใช้คือ เอสซีอาร์ (Silicon Controlled Rectifiers) และไทรสเตอร์ (Thyristers) เพราะอุปกรณ์เหล่านี้มีความสามารถปิดกั้นแรงดันได้ (Block Voltage) และกระแสไหลได้ทิศทางเดียว (Unidirectional Current) เพื่อให้เข้าใจหลักการพื้นฐานการแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับ ในการควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน ในปฏิญานิพนธ์เล่มนี้จึงขอกกล่าวถึงเฉพาะ เอสซีอาร์มาเป็นตัวอย่างการใช้งาน

4.2.1 การใช้เอสซีอาร์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การใช้งานเอสซีอาร์ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ มีลักษณะการต่อวงจรเช่นเดียวกับไดโอดกำลัง เอสซีอาร์จะนำกระแสผ่านไม่เพียงพอดแต่ต้องได้รับแรงดันไปหน้า (Forward Bias) ตกคร่อมระหว่างขั้วแอโนดกับแคโทดเท่านั้น เอสซีอาร์จะต้องได้รับกระแสจุกฉนวนเกต (Gate) ด้วย ดังนั้น

การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจึงสามารถควบคุมได้ โดยหน่วงเวลาจุดชนวนเกตหรือ ควบคุมมุมจุดชนวนเกต (Trigger Delay Angle: α) นั่นเอง ดังแสดงในภาพที่ 4.1



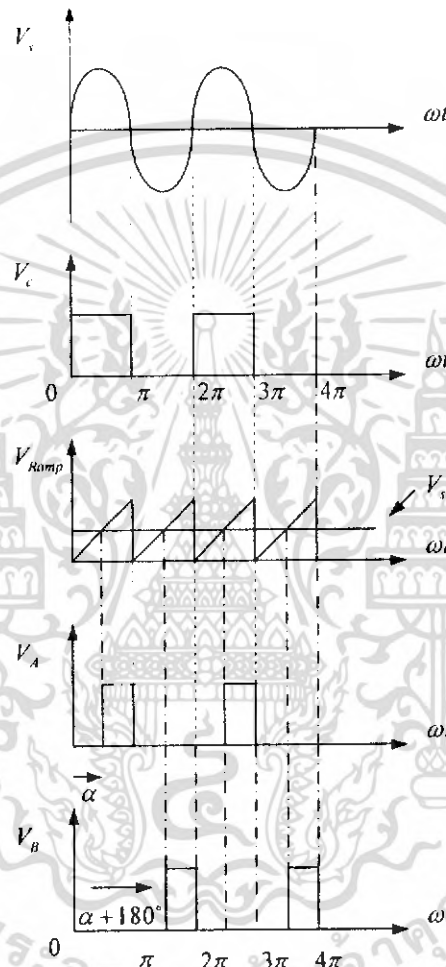
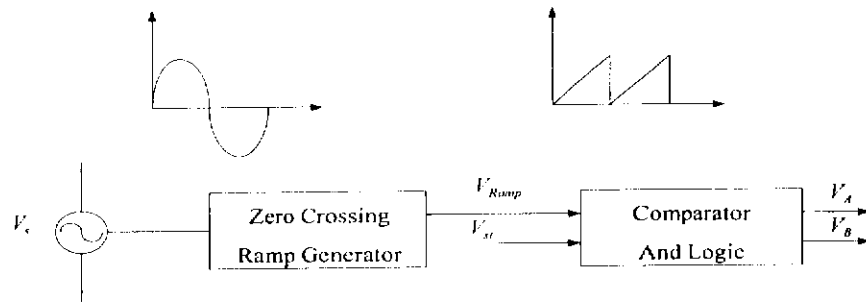
ภาพที่ 4.1 แสดงการใช้งานเอสซีอาร์ควบคุมมุมจุดชนวนเกตในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากภาพที่ 4.1 (ก) ขั้วแอโนดของเอสซีอาร์ต่อกับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ V_s (แรงดันอินพุท) ขั้วแคโทดต่อกับตัวต้านทานช่วงเวลาที่มีแรงดันอินพุทเป็นบวกเอสซีอาร์จะได้รับแรงดันไปหน้า $0 < \omega t < 180^\circ$ เมื่อจุดชนวนเกตจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสยึด (Holding Current) เอสซีอาร์จึงหยุดนำกระแส แรงดันอินพุทซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับจะตกคู่ศูนย์ทุกๆครึ่งรอบหรือทุกๆ 180 องศา ทำให้กระแสเป็นศูนย์ ดังนั้นเอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสทุกครึ่งรอบเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ในรอบต่อไปต้องจุดชนวนเกตอีกครั้งเพื่อให้เอสซีอาร์เริ่มนำกระแสในรอบต่อไป

4.2.2 การจุดชนวนเกตเอสซีอาร์

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับเอสซีอาร์ต้องการสัญญาณจุดชนวนเกตทุกๆรอบ ดังนั้น หลักการเบื้องต้นที่จะสร้างสัญญาณจุดชนวนเกต ต้องตรวจวัดมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับก่อน เพื่อนำมาอ้างอิงและหน่วงเวลาจุดชนวนเกตเอสซีอาร์ มุมจุดชนวนเกตจะต้องสัมพันธ์กับแรงดันอินพุททุกๆรอบซึ่งเรียกว่า การซิงโครไนซ์ (Synchronizing) การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณจุดชนวนเกตเบื้องต้น ดังแสดงในภาพที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 แสดงแผนภาพการออกแบบวงจรสร้างสัญญาณจุดชนวนเกดเบื้องต้น

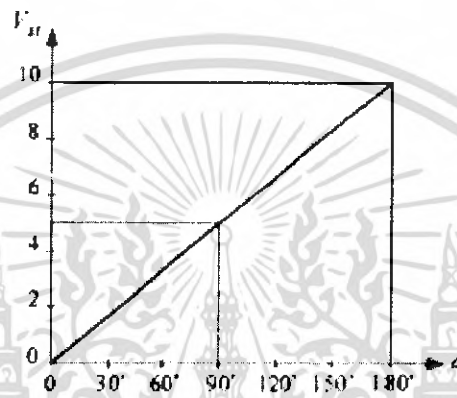
จากภาพที่ 4.2 แสดงแผนภาพการสร้างสัญญาณจุดชนวนเกด โดยเริ่มจากการตรวจวัดแรงดันอินพุตรูปคลื่นไซน์ และแปลงเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (V_c) โดยวิธี Zero Crossing และแปลงเป็นสัญญาณแรงดันลาดเอียง (Ramp Voltage: V_{ramp}) ที่มีมุมเฟสตรงกับแรงดันอินพุต สัญญาณลาดเอียงจะนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันควบคุม (Control Voltage: V_{π}) ถ้าแรงดันควบคุมสูงกว่าแรงดันลาดเอียงจะได้ลอคจิสันย์ แต่ถ้าแรงดันควบคุมต่ำกว่าแรงดันลาดเอียงจะได้ลอคจิกหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นมุมของสัญญาณลอจิกที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับแรงดันควบคุม ดังสมการที่ (4.1)

$$\text{Angle } (\alpha) = 180^\circ \times V_{st} / V_{ramp(peak)} \quad (4.1)$$

สัญญาณลอจิกที่ได้จะนำไปขยายสัญญาณให้สูงขึ้น เพื่อให้กระแสมอเตอร์ที่จะจุดชนวนเกตให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ จากสมการที่ (4.1) มุมจุดชนวนเกตมีคุณลักษณะการควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แสดงคุณลักษณะการควบคุมมุมจุดชนวนเกต

4.2.3 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในการควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน ปกติอินพุทจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ และขนาดค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสคงที่ (220/380 V 50Hz.) การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ขดลวดความร้อน มีการควบคุม 2 วิธี คือ

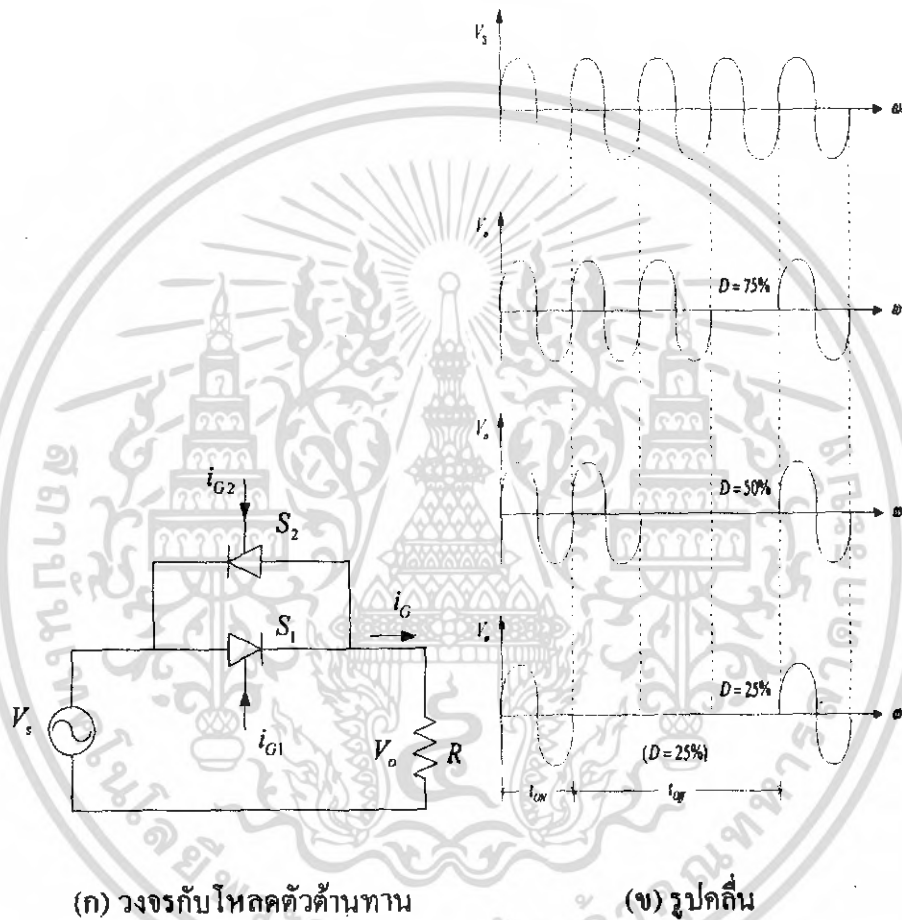
1. การควบคุมแบบเปิด-ปิด (On-off Control)
2. การควบคุมเฟส (Phase-Angle Control)

4.2.3.1 การควบคุมแบบเปิด-ปิด (On-Off Control)

การควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อนแบบเปิด-ปิด เป็นวิธีที่ออกแบบง่าย โดยใช้เอสซีอาร์หรือไทรแอก (Triac) เป็นสวิตช์กำลังต่อระหว่างโหลดกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันที่ ตกร่อม โหลดจะมีลักษณะเต็มรูปคลื่น และเป็นสัดส่วนกับเวลา เอสซีอาร์หรือไทรแอกจะถูก จุดชนวนเกตเป็นช่วงๆ ที่มุม $\alpha = 0^\circ$ หรือจุดชนวนเกตที่แรงดันอินพุทเป็นศูนย์ (Zero-Voltage Crossing) ลักษณะการทำงานคล้ายกับสวิตช์ทางกล เช่น คอนแทคเตอร์ (Contactor) ที่ทำงาน ด้วยความถี่สวิตช์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การควบคุมอุณหภูมิในงานอุตสาหกรรม โดยใช้ขดลวดความร้อนการควบคุมอาจจะใช้วิธีธรรมดาที่ง่าย ๆ คือควบคุมในช่วงค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดที่ตั้งอุณหภูมิไว้ ซึ่งอุณหภูมิที่ได้จะไม่คงที่ ส่วนการควบคุมแบบ Time Proportional Control จะควบคุมโดยประมวลผลจากการเปรียบเทียบค่าที่ตั้งไว้ (Set point) กับค่าผิดพลาด (Error) ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่มากยิ่งขึ้น วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเปิด-ปิดในการควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเปิด-ปิดในการควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน

ค่ารอบทำงาน (D) มีค่าเท่ากับ ดังสมการที่ (4.2)

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ D คือ ค่ารอบทำงาน (Duty Cycle)
 t_{on} คือ ช่วงเวลาสวิตช์กำลังนำกระแส (เปิด)
 t_{off} คือ ช่วงเวลาสวิตช์กำลังไม่นำกระแส (ปิด)

ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสที่ตกคร่อมโหลด หรือแรงดันเอาท์พุท คำนวณได้จากสมการ
 ที่ (4.3)

$$V_0 = \left(\frac{t_{on}}{2\pi(t_{on} + t_{off})} \int_0^{2\pi} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right)^{\frac{1}{2}}$$

หรือ

$$V_0 = V_s \sqrt{D} \quad (4.3)$$

- เมื่อ V_0 คือ ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสที่ตกคร่อมโหลด
 V_s คือ ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ ($I_{T(AV)}$) แต่ละตัว คำนวณได้จากสมการ
 ที่ (4.4)

$$I_{T(AV)} = \frac{t_{on}}{2\pi(t_{on} + t_{off})} \int_0^{\pi} \frac{1}{R} V_s \sin \omega t d\omega t$$

หรือ

$$I_{T(AV)} = \frac{\sqrt{2}V_s D}{R\pi} \quad (4.4)$$

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสที่ไหลผ่านเอสซีอาร์ ($I_{T(RMS)}$) แต่ละตัว คำนวณได้
 จากสมการที่ (4.5)

$$I_{T(RMS)} = \left(\frac{t_{on}}{2\pi(t_{on} + t_{off})} \int_0^{\pi} \frac{2}{R^2} V_s^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right)^{\frac{1}{2}}$$

หรือ

$$I_{T(RMS)} = \frac{\sqrt{2}V_s \sqrt{D}}{R\pi} \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสที่ไหลผ่านโหลด (I_o) สามารถได้จากสมการที่ (4.6)

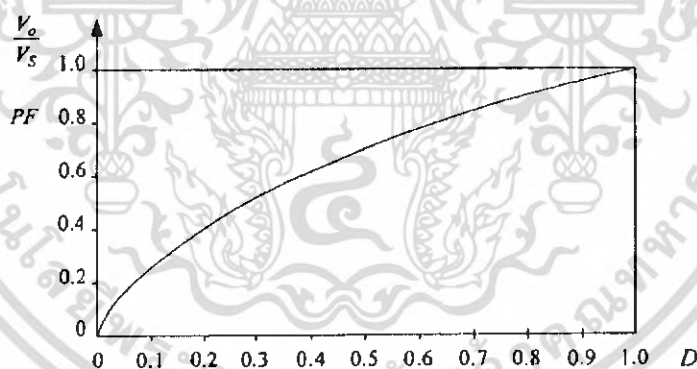
$$I_o = \frac{V_o}{R}; I_o = I_s \quad (4.6)$$

ค่าตัวประกอบกำลัง (PF) สามารถได้จากสมการที่ (4.7)

$$PF = \frac{P_o}{VA} = \frac{V_o I_o}{V_s I_s} = \sqrt{D} \quad (4.7)$$

การควบคุมแบบเปิด-ปิด ช่วงเวลาการควบคุมหนึ่งรอบทำงาน (T_s) ปกติจะน้อยกว่า 1 วินาที ซึ่งมักจะนำไปใช้กับงานที่มีค่าคงที่ทางความร้อนสูง เช่น การควบคุมอุณหภูมิของขดลวดความร้อนในงานอุตสาหกรรม หรืองานที่โหลดทางกลมีความเฉื่อยสูง เช่น การควบคุมความเร็วมอเตอร์ เป็นต้น

คุณลักษณะการควบคุมแบบ เปิด-ปิด ตัวประกอบกำลัง และแรงดันเอาต์พุตจะแปรผันตามรากที่สองของค่ารอบทำงาน ดังสมการที่ (4.3) และ (4.7) ดังนั้นตัวประกอบกำลังและแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าต่ำเมื่อค่ารอบทำงานต่ำ เส้นโค้งคุณลักษณะการควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แสดงคุณลักษณะการควบคุมแรงดันเอาต์พุต และค่าตัวประกอบกำลัง แบบเปิด-ปิด

4.2.3.2 การควบคุมมุมเฟส (Phase-Angle Control)

การควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อนแบบมุมเฟส สามารถควบคุมค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ได้โดยช่วงเวลาจุดชนวนเกิดในแต่ละครึ่งรอบของรูปคลื่นแรงดัน ดังแสดงในภาพที่ 4.1 แรงดันตกคร่อมโหลดจะไม่ครบรูปคลื่นเนื่องจากถูกปิดกั้นด้วยสวิตช์กำลังในแต่ละครึ่งรอบ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมอาร์เอ็มเอสของแรงดันได้ จากหลักการนี้สามารถนำไปใช้ได้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียวและสามเฟส

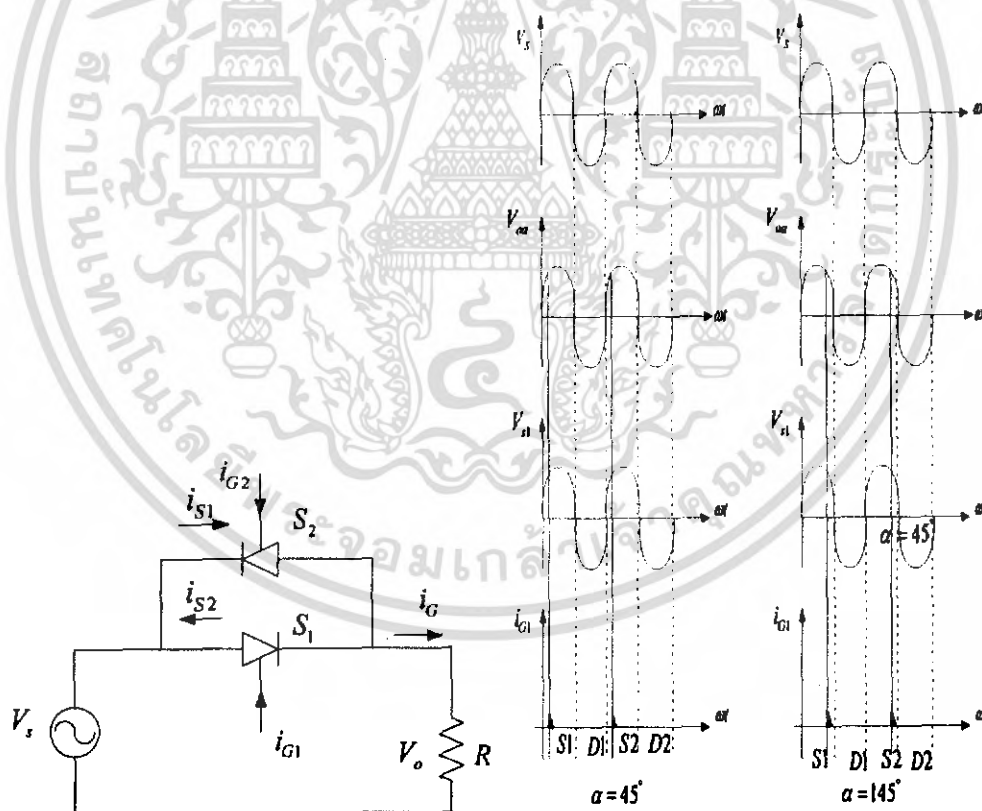
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การควบคุมอุณหภูมิในงานอุตสาหกรรม โดยใช้ ควบคุมความร้อน เช่น การควบคุม PI และการควบคุมแบบ PID ซึ่งอุณหภูมิที่ได้จะคงที่ โดยจะ ควบคุมโดยประมวลผลจากการเปรียบเทียบค่าที่ตั้งไว้ (Set point) กับค่าผิดพลาด (Error) ทำให้ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่มากยิ่งขึ้นกว่าการควบคุมแบบ On-Off และแบบ Time Proportional Control การควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อนแบบมูเฟสแบ่งได้ 2 แบบคือ

1. การควบคุมแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Control)
2. การควบคุมแบบเต็มคลื่น (Full Wave Control)

1. การควบคุมแบบครึ่งคลื่น

การควบคุมแบบครึ่งคลื่นเป็นการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบทางเดียว (Unidirectional) คือควบคุมเฉพาะช่วงบวกหรือช่วงลบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น กรณี นี้กระแสที่ไหลในวงจรจะมีองค์ประกอบของกระแสตรงจึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้า ต่ำๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.6



(ก) วงจรกับ โหลดตัวต้านทาน

(ข) รูปคลื่น

ภาพที่ 4.6 แสดงการควบคุมมูเฟสแบบครึ่งคลื่นกับ โหลดตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันเอาต์พุตกับโหลดตัวต้านทานคำนวณได้ จากสมการ
ที่ (4.8)

$$\begin{aligned} V_0 &= \left(\frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right] \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \left(\frac{2}{4\pi} V_s^2 \left[\int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} (1 - \cos 2\omega t) d\omega t \right] \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.8) \\ &= V_s \left(\frac{1}{2\pi} (2\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}) \right)^{\frac{1}{2}}; 0 < \alpha < 180^\circ \end{aligned}$$

ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตกับโหลดตัวต้านทาน คำนวณได้ จากสมการที่ (4.9)

$$\begin{aligned} V_0 &= \left(\frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}V_s \sin \omega t d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} \sqrt{2}V_s \sin \omega t d\omega t \right] \right) \quad (4.9) \\ &= \frac{\sqrt{2}V_s}{2\pi} (\cos \alpha - 1); 0 < \alpha < 180^\circ \end{aligned}$$

ค่าตัวประกอบกำลังกับโหลดตัวต้านทาน คำนวณได้ จากสมการที่ (4.10)

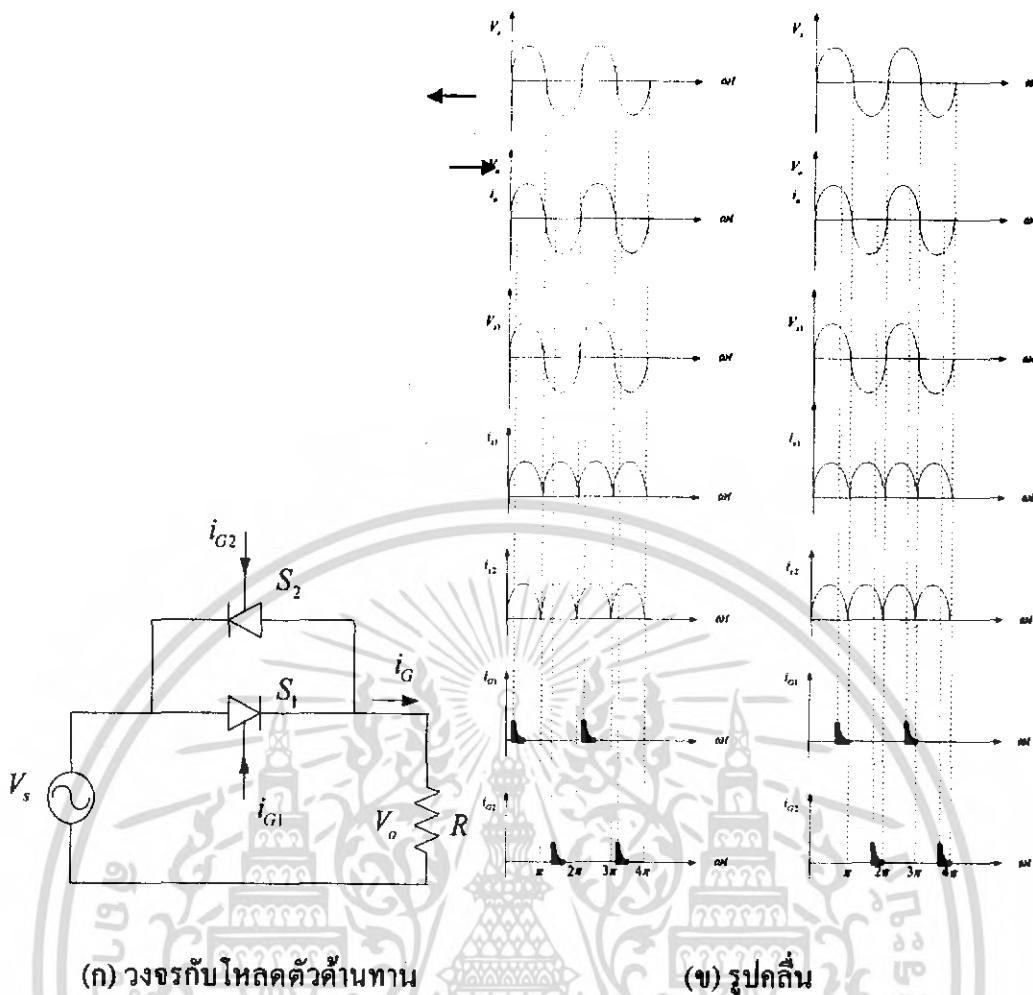
$$\begin{aligned} PF &= \frac{P_0}{VA} = \frac{V_0 I_0}{V_s I_s} \quad (4.10) \\ &= \left(\frac{1}{2\pi} (2\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}) \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

จากสมการแรงดันที่ (4.9) และ (4.10) จะเห็นว่าการควบคุมมุมจุดชนวนกรณีค่า
ระหว่าง $0 < \alpha < 180^\circ$ แรงดันอาร์เอ็มเอสควบคุมได้ระหว่าง 0 ถึง $V_s / \sqrt{2}$ แรงดันเฉลี่ยควบคุมได้
ระหว่าง 0 ถึง $\sqrt{2}V_s / \pi$

2. การควบคุมมุมเฟสแบบเต็มคลื่น

การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยการควบคุมแบบเต็มคลื่น เป็นการ
ควบคุมมุมเฟสแบบสองทาง (Bi-directional) คือควบคุมทางช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟฟ้า
กระแสสลับ ซึ่งจะทำให้หึ่งค์ประกอบของไฟฟ้ากระแสตรงหมดไป ดังแสดงในภาพที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 แสดงการควบคุมมุมเฟสแบบเต็มคลื่นในการควบคุมอุณหภูมิขดลวดความร้อน

ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันเอาต์พุตกับโหนดตัวต้านทาน คำนวณได้ จากสมการ

ที่ (4.11)

$$V_0 = \left(\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d\omega t \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{4}{4\pi} V_s^2 \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d\omega t \right)^{\frac{1}{2}}$$

หรือ

$$V_0 = V_s \left(\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right)^{\frac{1}{2}} ; 0 < \alpha < 180^\circ \tag{4.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

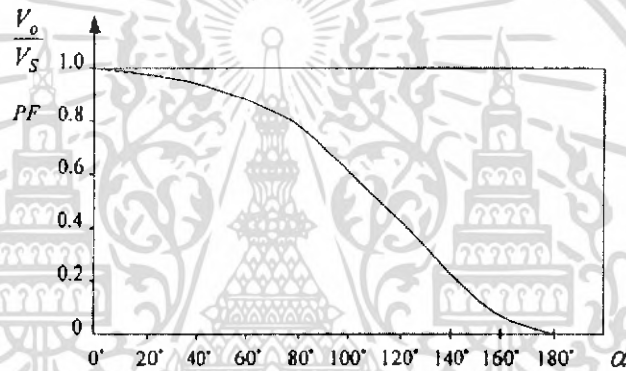
ค่าตัวประกอบกำลังกับโพลต์ตัวด้านทาน คำนวณได้ จากสมการที่ (4.12)

$$PF = \frac{P_0}{VA} = \frac{V_0 I_0}{V_s I_s}$$

หรือ

$$PF = \left(\frac{1}{\pi} (2\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.12)$$

คุณลักษณะการควบคุมแบบเต็มคลื่นกับโพลต์ตัวด้านทาน ตัวประกอบกำลัง และแรงดันเอาต์พุตจะเป็นฟังก์ชันของมุมจุดชนวนเกต ดังสมการที่ (4.11) และ (4.12) เส้นโค้งคุณลักษณะการควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แสดงคุณลักษณะการควบคุมแรงดันเอาต์พุต และค่าตัวประกอบกำลังแบบเต็มคลื่นกับโพลต์ตัวด้านทาน

ทฤษฎีตัวควบคุม PID

5.1 กล่าวนำ

เครื่องควบคุมหรือตัวควบคุม เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยมีการทำหน้าที่ในการสั่งการด้วยการสร้างสัญญาณสำหรับควบคุมกระบวนการต่างๆ ให้มีผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎ และรูปแบบของการควบคุมที่ผู้ควบคุมได้เลือก และกำหนดไว้ล่วงหน้า โดยสัญญาณควบคุมจะขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนของการควบคุม (คือ ค่าแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมาย และตัวแปรกระบวนการนั่นเอง)

ปัจจุบันเครื่องควบคุมสามารถแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ 3 ชนิด คือ เครื่องควบคุมแบบนิวเมติกส์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณลม เครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear Circuit) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่ทำงานโดยใช้วงจรตรรกะ (Logic Circuit) หรือไมโครโปรเซสเซอร์สร้างสัญญาณควบคุม โดยเครื่องควบคุมที่ถูกนำมาใช้และเป็นที่ยึดกันดีมากที่สุดในการอุตสาหกรรมการผลิตก็คือ ตัวควบคุมแบบ PID

5.2 การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมพีไอดี

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ หมายถึง ระบบควบคุมที่ต้องการควบคุมให้เอาต์พุต หรือผลตอบสนองของระบบมีค่าตามที่ต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต ซึ่งการป้อนกลับนี้จะต้องเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) จากนั้นนำค่าความแตกต่างระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต ส่งต่อไปยังส่วนสร้างสัญญาณควบคุม ซึ่งจะทำการสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม ตามกฎเกณฑ์การควบคุมที่เลือกไว้ และส่งสัญญาณออกไปควบคุมระบบ เพื่อให้เอาต์พุตของกระบวนการที่ถูกควบคุมมีค่าตามต้องการ ระบบควบคุมป้อนกลับนี้อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมแบบลูปปิด หรือระบบควบคุมอัตโนมัติก็ได้

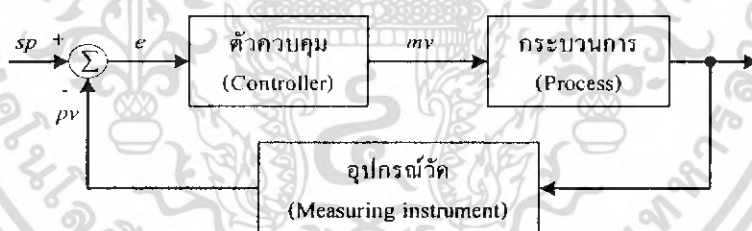
ระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วน คือ

1. ตัวควบคุม (Controller)
2. กระบวนการ (Plant or Process)
3. อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)

1. **ตัวควบคุม (Controller)** หมายถึง เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบ หรือกระบวนการที่ต้องการควบคุม มีเอาต์พุตหรือผลตอบสนองตามความต้องการ ตัวควบคุมจะมีหลายแบบ เช่น ตัวควบคุมแบบ ON-OFF ตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) ตัวควบคุมแบบ Derivative (D) หรือการใช้ตัวควบคุมหลายๆ แบบรวมกัน เช่น ตัวควบคุมแบบ PI ตัวควบคุมแบบ PD และตัวควบคุมแบบ PID เป็นต้น ซึ่งสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมจะเรียกว่า ตัวแปรการปรับกระบวนการ (Manipulated Variable: mv)

2. **กระบวนการ (Plant or Process)** หมายถึง ระบบ หรือกระบวนการที่ถูกควบคุม หรืออาจจะเป็นวัตถุทางกายภาพที่ถูกควบคุมก็ได้ เช่น กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมความดัน เป็นต้น กระบวนการนี้รวมถึงอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) ซึ่งสถานะของกระบวนการเรียกว่าตัวแปรกระบวนการ (Process Variable: pv)

3. **อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)** หมายถึง อุปกรณ์ที่อาจจะได้แก่ เซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) อุปกรณ์แปลง (Transmitter) หรือวัดสัญญาณอื่นๆ ที่ทำหน้าที่วัดค่าของเอาต์พุตของระบบที่ถูกควบคุมแล้วป้อนกลับ ไปเพื่อทำการเปรียบเทียบกับอินพุตของระบบ โดยสัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม ได้แก่ สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง 4-20 มิลลิแอมป์แปร์ (4-20 mA DC) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1-5 โวลต์ (1-5 VDC) หรือสัญญาณลมขนาด 3-15 ปอนด์/ตารางนิ้ว (3-15 PSI) ดังแสดงในภาพที่ 5.1 เป็นต้น



ภาพที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

การควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) เพราะรูปแบบของตัวควบคุมเป็นตัวควบคุมที่สามารถควบคุมกระบวนการต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีโครงสร้างการทำงานที่ไม่ซับซ้อน สามารถเข้าใจได้ง่าย การใช้งานตัวควบคุมพีไอดีนี้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของกระบวนการตามความต้องการ

ตัวควบคุมแบบ PID ประกอบด้วยตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) ตัวควบคุมแบบ Derivative (D) ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (5.1)$$

โดยที่ K_p = ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ P (Proportional Gain)

T_i = ค่าเวลา Integral (Integral Time)

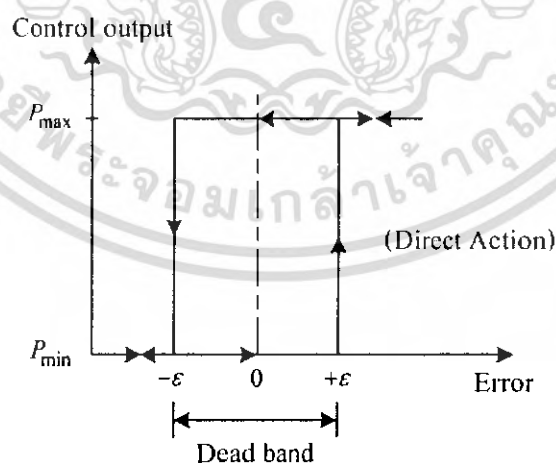
T_d = ค่าเวลา Derivative (Derivative Time)

จากภาพที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าสัญญาณควบคุม หรือตัวแปรปรับกระบวนการ (mv) ที่ได้จากตัวควบคุม PID จะถูกกำหนดด้วยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้าตัวควบคุมกับตัวแปรกระบวนการ (pv) กับสัญญาณอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (sp) โดยที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์การควบคุมที่ผู้ควบคุมปรับแต่งไว้ล่วงหน้า (ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID) ซึ่งสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมจะเป็นไปตามกิริยาการควบคุมแบบต่างๆ ดังที่จะกล่าวต่อไป

5.3 กิริยาการควบคุมของการควบคุมแบบป้อนกลับ

5.3.1 กิริยาการควบคุมแบบ ON-OFF

การควบคุมแบบ ON-OFF เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุด และนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยการควบคุมจะทำงานเพียง 2 สถานะ คือ เปิด (100%) กับปิด (0%) กิริยาการควบคุมแบบ ON-OFF ดังแสดงในภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 แสดงกิริยาการควบคุมแบบ ON-OFF

จากภาพที่ 5.2 จะเห็นว่าถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าวิกฤต ($+\varepsilon$) ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 0% เป็น 100% เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าค่าวิกฤต ($-\varepsilon$) ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 100% เป็น 0% ค่าเอาต์พุทที่อยู่ในช่วงเดธแบนด์ (Dead Band) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใดซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเสียดทานที่ไม่ได้คาดไว้ก่อน หรือบางครั้งก็จำเป็นต้องทำให้เกิดช่วงเดธแบนด์ขึ้น เพื่อป้องกันการ ON-OFF บ่อยเกินไปอันจะทำให้อุปกรณ์ควบคุม หรือกระบวนการได้รับความเสียหาย แต่ช่วงเดธแบนด์นี้ต้องไม่กว้างนัก เพราะจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงของการควบคุมลดลง ฏริยการควบคุมแบบ ON-OFF สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m(t) = \begin{cases} 0\% & , e < -\varepsilon \\ 100\% & , e > +\varepsilon \end{cases} \quad (5.2)$$

เมื่อ $m(t)$ = สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุทของตัวควบคุม
 $e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อน
 $\varepsilon = \frac{1}{2}$ ของค่าเดธแบนด์

5.3.2 ฏริยการควบคุมแบบ Proportional (P)

ฏริยการควบคุมแบบ P นั้น ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมจะแปรผันตรงกับค่าความคลาดเคลื่อน กล่าวคือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลง ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม ฏริยการควบคุมแบบ P สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

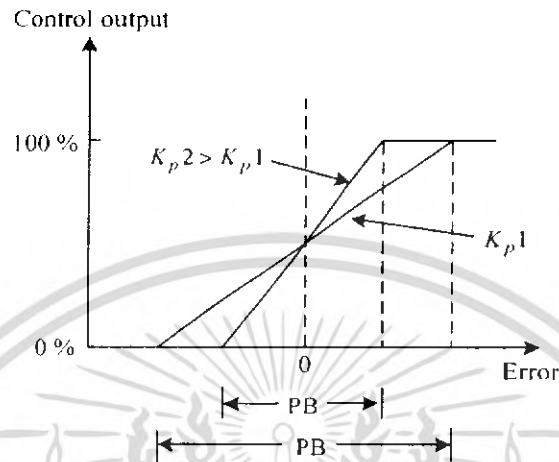
$$m_p(t) = K_p e(t) + \bar{m} \quad (5.3)$$

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

ตัวควบคุมแบบ P บางตัวอาจจะใช้ค่า Proportional Band (PB) แทนการใช้ค่า K_p ซึ่ง PB คือ ช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างที่เอาต์พุทของตัวควบคุมมีค่า 0-100 % ดังสมการที่ (5.4)

$$PB = \frac{100\%}{K_p} \quad (5.4)$$

ข้อเสียของกริยาการควบคุมแบบ Proportional คือ ไม่สามารถกำจัดค่าออฟเซตได้



ภาพที่ 5.3 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional

5.3.3 กริยาการควบคุมแบบ Integral (I)

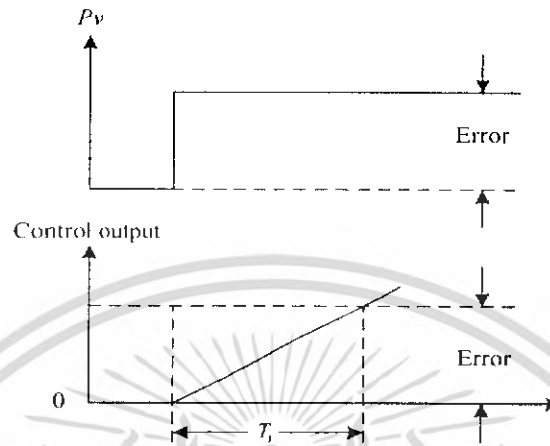
กริยาการควบคุมแบบ I หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การควบคุมแบบรีเซ็ต (Reset Control) โดยค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม หาได้จากค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลาคูณกับค่าคงที่ ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral Gain) ดังสมการต่อไปนี้

$$m_I(t) = K_I \int_0^t e(t) dt + \bar{m}_I(0) \quad (5.5)$$

เมื่อ	$m_I(t)$	=	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Integral
	K_I	=	อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Integral
	$\int_0^t e(t) dt$	=	พื้นที่ทั้งหมดของค่าความคลาดเคลื่อน
	$\bar{m}_I(0)$	=	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่เวลา t เท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของกริยาการควบคุมแบบ I นี้จะทำให้ไม่เกิดออฟเซตขึ้นในระบบ และลดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ของระบบลงได้ แต่ถ้ากริยาการควบคุมมีค่าสูงเกินไป จะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการช้าลง ผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ I ดังแสดงในภาพที่ 5.4



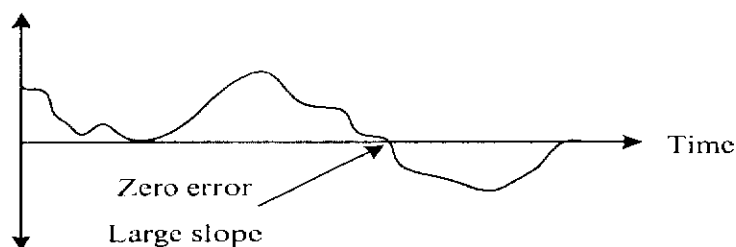
ภาพที่ 5.4 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Integral

5.3.4 กริยาการควบคุมแบบ Derivative (D)

กริยาการควบคุมแบบ D เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อน ต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้ มีค่าสูงขึ้น เมื่อความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ดังสมการต่อไปนี้

$$m_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5.6)$$

เมื่อ $m_D(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative
 K_D = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative
 $\frac{de(t)}{dt}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t



ภาพที่ 5.5 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Derivative

5.3.5 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI)

ตามที่กล่าวมาแล้วว่ากริยาการควบคุมแบบ P นั้น จะมีโอฟเซ็ทเกิดขึ้น ซึ่งการกำจัดค่าโอฟเซ็ทนี้ สามารถทำได้โดยการเพิ่มกริยาการควบคุมแบบ I เข้าไป ดังสมการต่อไปนี้

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt \quad (5.7)$$

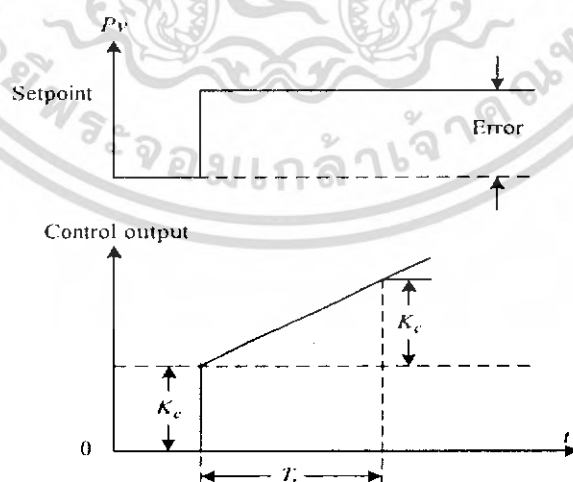
หรือ

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (5.8)$$

เมื่อ

$$K_c = K_p \quad \text{และ} \quad K_I = 1/T_i$$

T_i = ค่าเวลา Integral



ภาพที่ 5.6 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct action)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.6 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD)

การประยุกต์ใช้กริยาการควบคุมแบบ P ร่วมกับกริยาการควบคุมแบบ D เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบรวดเร็วขึ้น แต่จะไม่มีผลโดยตรงต่อผลตอบสนองของระบบที่สภาวะคงที่ ซึ่งสมการเอาท์พุทของกริยาการควบคุมแบบ PD แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5.9)$$

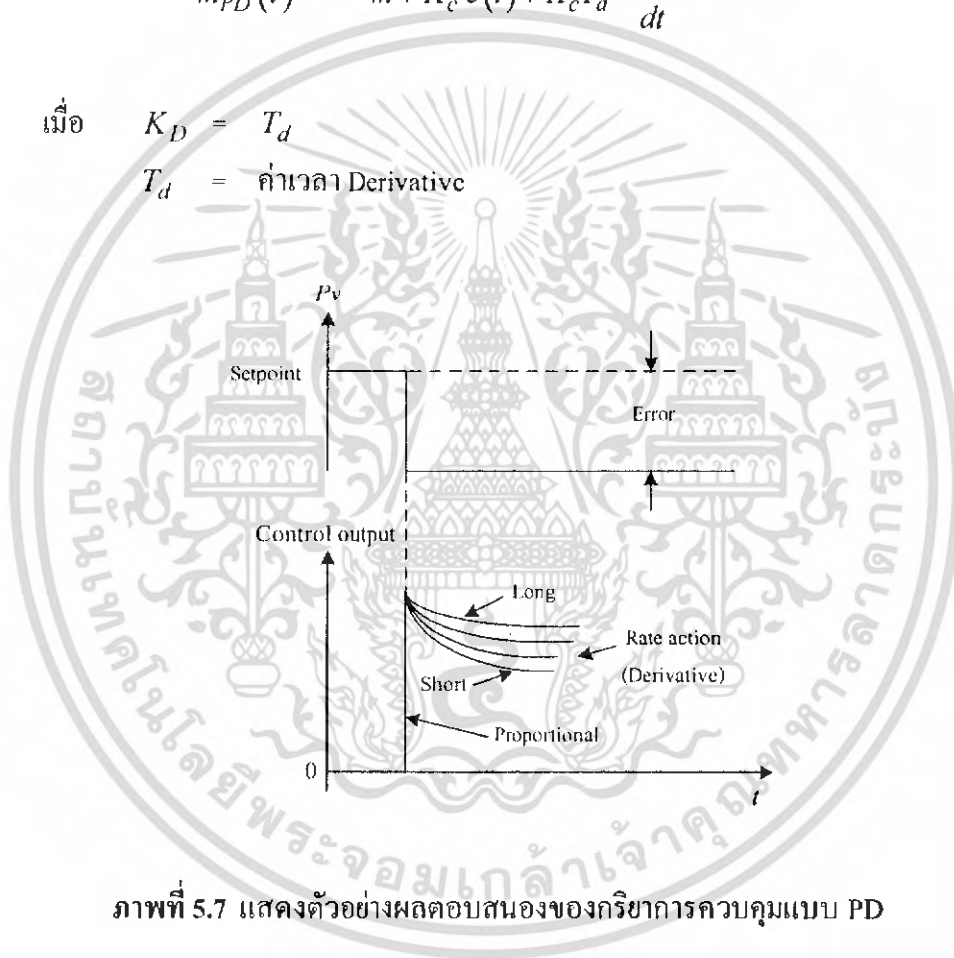
หรือ

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5.10)$$

เมื่อ

$$K_D = T_d$$

T_d = ค่าเวลา Derivative



ภาพที่ 5.7 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD

5.3.7 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID)

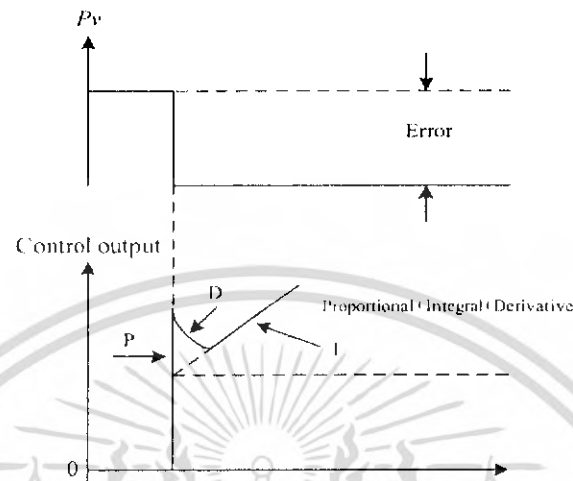
เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมมีสมรรถนะเป็นไปตามต้องการ จึงใช้กริยาการควบคุมทั้ง 3 แบบร่วมกัน ซึ่งจะทำให้ได้กริยาการควบคุมแบบ PID ที่มีสมการดังต่อไปนี้

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5.12)$$



ภาพที่ 5.8 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct action)

5.4 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองของกระบวนการ

การนำตัวควบคุม PID ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆ จำเป็นต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามความต้องการ ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID นี้สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งบางวิธีอาจพิจารณาได้จากผลตอบสนองของกระบวนการ จากการทดสอบกระบวนการ หรืออาศัยประสบการณ์จากตัวผู้ควบคุม บางวิธีอาจจะอาศัยทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ และส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไขในรูปแบบของโดเมนเวลามากกว่าในโดเมนความถี่ ซึ่งวิธีของ Ziegler-Nichols นี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในทางปฏิบัติ

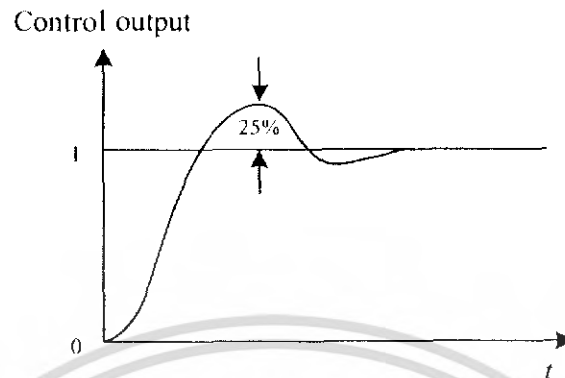
5.4.1 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols

การหาค่า K_p , T_i และ T_d จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วครู่ของกระบวนการที่ถูกควบคุม ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี คือ

- 1 วิธี Process Reaction Curve
- 2 วิธี Ultimate Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ผลตอบสนองต่อเวลาของกระบวนการต่ออินพุทแบบ
ขั้นบันได มีค่าพุ่งเกินสูงสุดไม่เกิน 25% ดังแสดงในภาพที่ 5.9



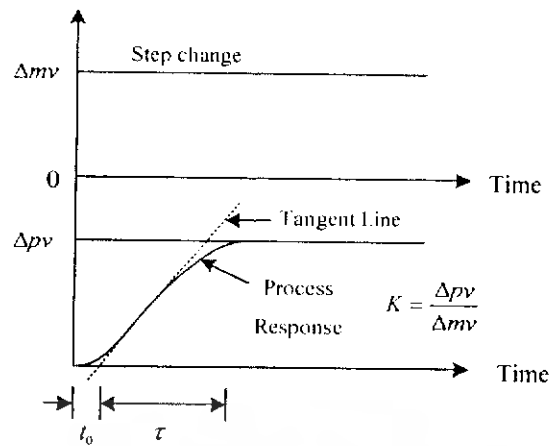
ภาพที่ 5.9 แสดงค่าพุ่งเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธี Ziegler - Nichols

5.4.1.1 วิธี Process Reaction Curve

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองของกระบวนการแบบรูปเปิดที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณอินพุทแบบขั้นบันได โดยที่กระบวนการในกรณีนี้จะไม่มี Pole ที่จุด Origin หรือไม่มี Dominant complex-conjugate poles ดังนั้นผลตอบสนองของเวลาจะได้ในลักษณะเป็นรูปตัว S (ถ้าผลตอบสนองของเวลาไม่มีลักษณะเป็นรูปตัว S วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) จากผลตอบสนองต่อเวลาสามารถแยกพิจารณาเป็นค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ (Delay time : t_0) และเวลาคงที่ของกระบวนการ (Time constant : τ) โดยลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด เส้นนี้จะตัดกับแกนเวลา และเส้นตรงของเอาท์พุท $c(t)$ ที่ $c(t) = K$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่ง แบบมีการหน่วงเวลา (FOPDT) ดังสมการที่ (5.13)

$$G(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (5.13)$$



ภาพที่ 5.10 แสดงผลตอบสนองของรูปตัว S เมื่อปรับโดยใช้วิธี Process Reaction Curve

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p, T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ

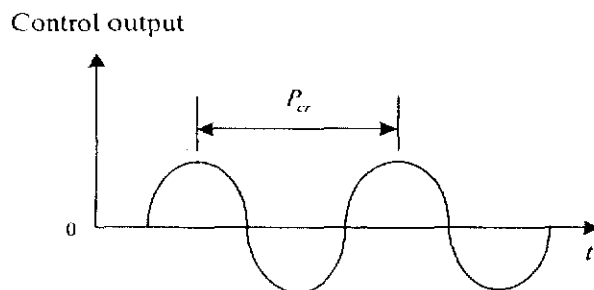
ดังตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆ ตามวิธี Process Reaction Curve

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

5.4.1.2 วิธี Ultimate Method

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองของกระบวนการแบบลูปิดที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ P ต่อสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได โดยปรับค่า K_p ไปเรื่อยๆ จนผลตอบสนองของกระบวนการเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีการนี้จะใช้ไม่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 5.11



ภาพที่ 5.11 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับโดยใช้วิธี Ultimate method

จากนั้นหาค่าของ K_{cr} (Critical Gain) คือ อัตราการขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง P_{cr} (Oscillation Period) คือ คาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p, T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆ ตามวิธี Ultimate Method

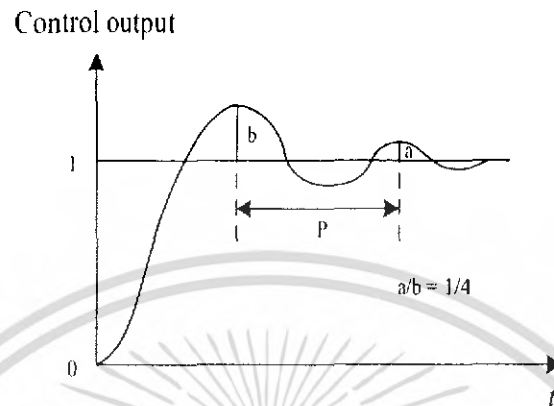
Controller Type		Proportional Gain K_c	Integral Time T_i	Derivative time T_d
Proportional only	P	$K_{cr} / 2$	—	—
Proportional-Integral	PI	$K_{cr} / 2.2$	$T_{cr} / 1.2$	—
Proportional-Integral-Derivative	PID	$K_{cr} / 1.7$	$T_{cr} / 2$	$T_{cr} / 8$

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols นั้น ไม่ใช่เป็นค่าที่เที่ยงตรงที่จะนำไปใช้งานได้ทันที และมีค่าพุ่งเกินสูงสุดไม่เกิน 25% ตามที่กล่าวไว้ แต่ค่าที่ได้อาจจะเพียงแค่ออกใกล้เคียงเท่านั้น หรือไม่ใกล้เคียงก็ตาม ผู้ควบคุมจะต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แบบละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธี Damped Oscillation

วิธีนี้ปรับปรุงมาจากวิธี Ultimate Method โดย Harriott เพื่อใช้ในกรณีที่การปรับค่าของ K_p ไปอย่างไรก็ตาม แต่ผลตอบสนองต่อเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 5.12



ภาพที่ 5.12 แสดงค่าอัตราส่วน 1/4 เมื่อปรับโดยวิธี Damped Oscillation

วิธี Damped Oscillation นี้จะปรับค่าของ K_p ไปจนผลตอบสนองต่อเวลาของระบบควบคุมแบบลูบปิดมีอัตราส่วน $1/4$ ดังภาพที่ 5.12 จากนั้นวัดค่าของ P และใช้ค่าของ $K_p(1/4)$ เพื่อคำนวณหาค่า K_p, T_i และ T_d ดังนี้

$$K_p = K_p(1/4)$$

$$T_i = P/1.5$$

$$T_d = P/6$$

(5.14)

5.5 ข้อกำหนด (Specifications) ของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบ

สมรรถนะของระบบควบคุม จะแสดงในเทอมของปริมาณต่างๆ ในโดเมนเวลา โดยจะวิเคราะห์สมรรถนะจากผลตอบสนองชั่วคราวของระบบต่ออินพุตที่เป็น Unit step สำหรับข้อกำหนดต่างๆ จะประกอบด้วย

1. **Maximum Overshoot: M_p** ซึ่งบางครั้งจะแสดงในเทอมของ Percent Maximum Overshoot เป็นค่าแตกต่างระหว่างเอาต์พุตที่มีค่าสูงสุดของระบบกับเอาต์พุตที่มีค่าคงที่ นั่นคือ ถ้า

C_{max} คือ ค่าของเอาต์พุตที่มีค่าสูงสุด

C_{ss} คือ ค่าเอาต์พุตที่มีค่าคงที่

จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

และ Percent Maximum Overshoot: $\% M_p = [M_p / C_{ss}] * 100$

Maximum Overshoot จะใช้แสดงถึงเสถียรภาพสัมพัทธ์ของระบบ โดยทั่วไประบบที่มี Overshoot มากนั้นจะไม่เป็นที่ต้องการ นอกจากนี้แล้ว Maximum Overshoot ยังเป็นข้อกำหนดสำหรับการออกแบบระบบควบคุมด้วย

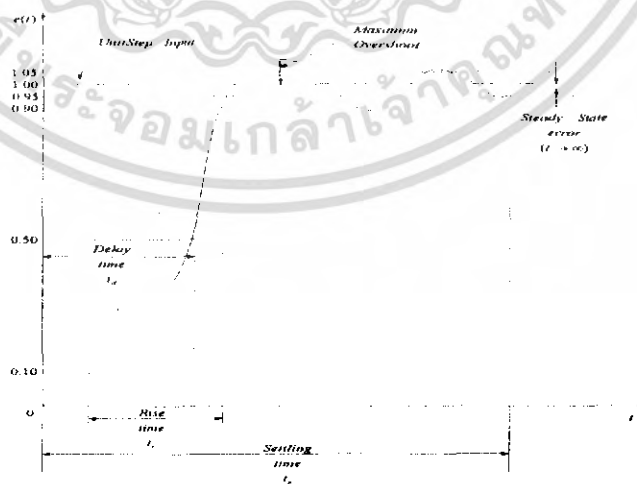
2. **Delay Time: t_d** เป็นช่วงเวลาที่ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบมีค่าเข้าสู่ 50% ของค่าที่ภาวะคงที่

3. **Rise Time: t_r** เป็นช่วงเวลาที่ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 90% ของค่าที่ภาวะคงที่ ในบางครั้งอาจจะถือว่า Rise Time เป็นช่วงเวลาที่ผลตอบสนอง 10% ถึง 90%, 5% ถึง 95%, 0% ถึง 100% ของค่าที่ภาวะคงที่ก็ได้

4. **Settling Time: t_s** เป็นช่วงเวลาที่ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบมีค่าเข้าสู่ช่วง $\pm 2\%$ หรือ $\pm 5\%$ ของค่าที่ภาวะคงที่และมีค่าอยู่ในช่วงนี้ตลอด หรือหมายถึง ค่าเวลาที่ผลตอบสนองต่อเวลาเปลี่ยนสภาพจากผลตอบสนองชั่วคราวไปเป็นผลตอบสนองที่ภาวะคงที่

5. **Peak Time: t_p หรือ t_{max}** เป็นช่วงเวลาที่ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบเกิด Maximum Overshoot

ข้อกำหนดต่างๆเหล่านี้จะใช้วัดคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วคราวต่ออินพุตแบบ Unit step เท่านั้น แต่จะไม่สามารถนำไปใช้ในทุกระบบได้ เช่น ระบบที่เป็นแบบ Critical Damped และ Overdamped นั้น จะไม่มีค่าของ t_p และ M_p นอกจากนี้ ข้อกำหนดเหล่านี้จะใช้กับระบบที่มีเสถียรภาพเท่านั้น เพราะระบบที่ไม่มีเสถียรภาพนั้น ผลตอบสนองของระบบจะมีขนาดใหญ่มากขึ้นเรื่อยๆและควบคุมไม่ได้



ภาพที่ 5.13 แสดงข้อกำหนดของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 วิธีการหาแบบจำลองของกระบวนการโดยใช้วิธีการหาค่าสะสมของผลตอบสนอง

(Integral Step Response : ISR)

วิธีการหาแบบจำลองของกระบวนการ โดยใช้วิธีการหาค่าสะสมของผลตอบสนอง (Integral Step Response : ISR) เป็นวิธีใหม่ซึ่ง ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการที่อยู่ในรูปทั่วไป ดังสมการที่ (5.15)

$$G(S) = \frac{K_0 \prod_{i=1}^2 (1 + \gamma_i s)}{\prod_{i=1}^3 (1 + \tau_i s)} \quad (5.15)$$

$$= \frac{K_0 (1 + (\gamma_1 + \gamma_2)s + \gamma_1 \gamma_2 s^2)}{1 + (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)s + (\tau_1 \tau_2 + \tau_1 \tau_3 + \tau_2 \tau_3)s^2 + (\tau_1 \tau_2 \tau_3)s^3}$$

$$= \frac{K_0 + b_1 s + b_2 s^2}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3}$$

เมื่อ

$$b_1 = (k_0 \gamma_1 + \gamma_2)$$

$$b_2 = k_0 \gamma_1 \gamma_2$$

$$a_1 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

$$a_2 = \tau_1 \tau_2 + \tau_1 \tau_3 + \tau_2 \tau_3$$

$$a_3 = \tau_1 \tau_2 \tau_3$$

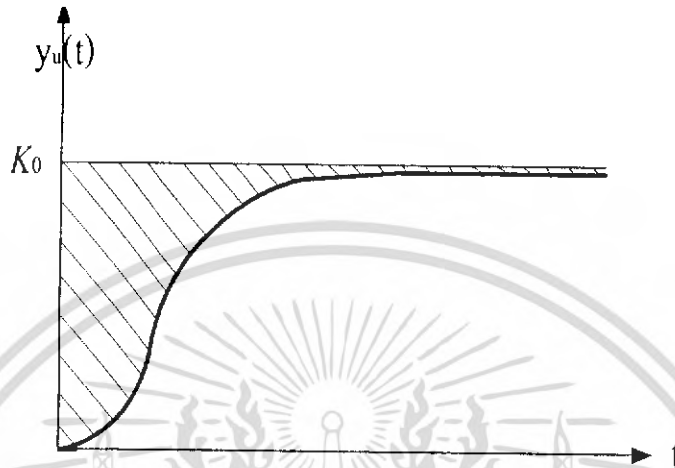
ผลตอบสนองของระบบ ที่มีอินพุตแบบ Unit step คือ

$$y_u(t) = \int_0^{\infty} g(t-\tau)l(\tau) d\tau$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_u(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{G(s)}{s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= \lim_{s \rightarrow 0} G(s) \\
 &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K_0 + b_1 s + b_2 s}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3} \\
 &= K_0
 \end{aligned}$$



ภาพที่ 5.14 ผลตอบสนองของกระบวนการ

$$\begin{aligned}
 y_1(t) &= \int_0^t [K_0 - y_u(\tau)] d\tau \\
 Y_1(s) &= \frac{1}{s} \left[\frac{K_0}{s} - Y_u(s) \right] \\
 &= \frac{1}{s} \left[\frac{K_0}{s} - \frac{G(s)}{s} \right] \\
 &= \frac{1}{s^2} [K_0 - G(s)] \\
 \lim_{x \rightarrow \infty} y_1(f) &= K_1 \\
 &= \lim_{s \rightarrow 0} s Y_1(s) \\
 &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} [K_0 - G(s)]
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_0 - G(s) = K_0 - \frac{K_0 + b_1s + b_2s^2}{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

$$= \frac{a_1K_0 + a_1K_0s + a_2K_0s^2 + a_3K_0s^3 - K_0 - b_1s - b_2s^2}{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

$$= \frac{(a_1K_0 - b_1s) + (a_2K_0 - b_2)s^2 + a_3K_0s^3}{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} [K_0 - G(s)] = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \frac{(K_0 - b_1s) + (a_2K_0 - b_2)s^2 + a_3K_0s^3}{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

$$K_0 = \lim_{s \rightarrow 0} G(s)$$

$$K_1 = K_0a_1 - b_1$$

ถ้า $b_1 = 0$

$$G(s) = \frac{K_0}{1 + \tau s}$$

$$K_0 - G(s) = \frac{(K_0 - b_1s) + (a_2K_0 - b_2)s^2 + a_3K_0s^3}{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

$$= \frac{K_1s + (a_2K_0 - b_2)s^2 + a_3K_0s^3}{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

$$= G_1(s)$$

$$y_2(t) = \int_0^t [K_1 - y_1(\tau)] d\tau$$

เมื่อ

$$Y_2(t) = \frac{1}{s} \left[\frac{K_1}{s} - Y_1(s) \right]$$

$$= \frac{1}{s} \left[\frac{K_1}{s} - \frac{G_1(s)}{s^2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1}{s^2} \left[K_1 - \frac{G_1(s)}{s} \right]$$

$$K_1 - \frac{G_1(s)}{s} = K_1 - \frac{K_1 s + (a_2 k_0 - b_2) s^2 + a_3 K_0 s^3}{s(1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3)}$$

$$= K_1 - \frac{K_1 + (a_2 k_0 - b_2) s + a_3 K_0 s^2}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3}$$

$$\frac{K_1 + a_1 K_1 s + a_2 K_1 s^2 + a_3 K_1 s^3 - K_1 - (a_2 k_0 - b_2) s + a_3 K_0 s^2}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3}$$

$$= \frac{(a_1 K_1 - a_2 K_0 + b_2) s + (a_2 K_1 - a_3 K_0) s^2 - a_3 K_1 s^3}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} y_2(f) = K_2$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} s \left[\frac{1}{s^2} \frac{(a_1 K_1 - a_2 K_0 + b_2) s + (a_2 K_1 - a_3 K_0) s^2 - a_3 K_1 s^3}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3} \right]$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} \left[\frac{1}{s} \frac{(a_1 K_1 - a_2 K_0 + b_2) s + (a_2 K_1 - a_3 K_0) s^2 - a_3 K_1 s^3}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3} \right]$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} \left[\frac{(a_1 K_1 - a_2 K_0 + b_2) + (a_2 K_1 - a_3 K_0) s - a_3 K_1 s^2}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3} \right]$$

$$= a_1 K_1 - a_2 K_0 + b_2$$

$$K_0 = \lim_{s \rightarrow 0} G(s)$$

$$K_1 = K_0 a_1 - b_1$$

$$K_2 = a_1 K_1 - a_2 K_0 + b_2$$

$$\text{เมื่อ } b_1 = b_2 = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้ค่าพารามิเตอร์ K_0, K_1, K_2 ดังสมการที่(5.16)

$$\left. \begin{aligned} K_0 &= \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = a_0 \\ K_1 &= K_0 a_1 \\ K_2 &= a_1 K_1 - a_2 K_0 \end{aligned} \right\} \quad (5.16)$$

$$G(s) = \frac{K_0}{(1 + \tau_1 s)(1 + \tau_2 s)}$$

$$y_1(t_n) \approx \sum_{i=1}^n [K_0 - y_u(t_i) \Delta t]$$

5.7 การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยวิธีหาทางเดินของราก

ดังที่กล่าวกันมาแล้วว่า Poles และ Zero ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปิดของระบบควบคุมเชิงเส้น มีผลต่อพฤติกรรมและสมรรถนะทางพลศาสตร์เป็นอย่างมาก นอกจากนั้น Poles ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปิดก็คือรากของสมการคุณลักษณะ ซึ่งจะใช้ในการตรวจสอบเสถียรภาพของระบบด้วย ดังนั้นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของรากของสมการคุณลักษณะ จะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของผลตอบสนองชั่วคราว อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งของ Poles และ Zero ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปิด และทำให้ทราบถึงเสถียรภาพสัมบูรณ์และเสถียรภาพสัมพัทธ์ (Absolute and Relative Stability)

วิธีของ Root Locus (บางครั้งเรียก Root Loci) เป็นวิธีการที่ใช้ในการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลง หรือทางเดินของรากของสมการคุณลักษณะ เมื่อมีพารามิเตอร์ของระบบแปรค่าไป เช่น เมื่ออัตราขยายของระบบเปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น วิธีของ Root Locus นี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งในการศึกษาระบบควบคุม เพราะจะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของระบบควบคุมนั้น ใน Time Domain ได้โดยตรง และยังใช้วิธีนี้ในการออกแบบระบบควบคุมด้วย

พิจารณาสมการที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันของ s โดยมี K เป็นพารามิเตอร์ที่แปรค่าได้ดังสมการที่ (5.17)

$$F(s) = P(s) + KQ(s) = 0 \quad (5.17)$$

โดยที่

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

$$Q(s) = s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$P(s)$	เป็น Polynomial ของ s อันดับที่ n
$Q(s)$	เป็น Polynomial ของ s อันดับที่ m
n, m	เป็น เลขจำนวนเต็มบวก
K	เป็น พารามิเตอร์ที่แปรค่าได้จาก $-\infty$ ถึง $+\infty$ (0 ถึง ∞)
$a_1, a_2 \dots a_n$	เป็น ค่าจริงและคงที่
$b_1, b_2 \dots b_m$	เป็น ค่าจริงและคงที่

นอกจากนี้ Root Contours จะเป็นการศึกษาถึงตำแหน่งหรือการเปลี่ยนแปลงของรากในกรณีที่พารามิเตอร์ที่แปรค่าได้หลายตัวจะอยู่ในระบบ

5.7.1 คุณสมบัติพื้นฐานของ ROOT LOCI

จากฟังก์ชันพื้นฐานของระบบควบคุมแบบลูปปิด ดังสมการที่ (5.18)

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (5.18)$$

สมการคุณลักษณะ ดังสมการที่ (5.19)

$$1+G(s)H(s) = 0 \quad (5.19)$$

สมการคุณลักษณะที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่แปรค่าได้ อาจจัดให้อยู่ในรูปดังสมการที่ (5.20)

$$G(s)H(s) = \frac{KQ(s)}{P(s)} \quad (5.20)$$

นั่นคือ ดังสมการที่ (5.21)

$$1 + \frac{KQ(s)}{P(s)} = \frac{P(s) + KQ(s)}{P(s)} = 0 \quad (5.21)$$

อย่างไรก็ตาม บางครั้ง K อาจจะไม่อยู่ในรูปของตัวคูณของฟังก์ชัน $G(s)H(s)$ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงมีความจำเป็นต้องจัดรูปของสมการใหม่ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$1 + \frac{s^2 + (3 + 2K)s + 5}{s(s+1)(s+2)}$$

สมการคุณลักษณะของระบบปิดคือ

$$s(s+1)(s+2) + s^2 + (3+2K)s + 5 = 0$$

โดยที่

$$Q(s) = 2s$$

$$P(s) = s^3 + 4s^2 + 5s + 5$$

จะเห็นว่าฟังก์ชันถ่ายโอนของลูป $G(s)H(s)$ ถูกจัดให้อยู่ในรูปที่มี K เป็นพารามิเตอร์ที่แปรค่า

ได้กำหนดให้

$$G(s)H(s) = KG_1(s)H_1(s)$$

เขียนใหม่ได้ว่า

$$G(s)H(s) = -\frac{1}{K}$$

เงื่อนไขของขนาด(Condition of Magnitude) คือ ดังสมการที่ (5.22)

$$\left| G(s)H(s) = \frac{1}{K} \right| \quad (5.22)$$

และเงื่อนไขของมุม(Condition of Angles) คือ ดังสมการที่ (5.23) และ (5.24)

$$\begin{aligned} \angle G(s)H(s) &= (2k+1)\pi \quad K \geq 0 \\ &= \text{odd multiples of } \pi \text{ radians or } 180^\circ \end{aligned} \quad (5.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\angle G(s)H(s) &= 2k\pi & K \leq 0 & \quad (5.24) \\ &= \text{even multiples of } \pi \text{ radians or } 180^\circ\end{aligned}$$

ถ้าจัดให้อยู่ในรูปของสมการ Poles และ Zeros ดังสมการที่ (5.25)

$$G(s)H(s) = KG_1(s)H_1(s) = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)\dots(s+z_m)}{(s+p_1)(s+p_2)\dots(s+p_n)} \quad (5.25)$$

โดยที่ Poles และ Zeros ของ $G(s)H(s)$ อาจเป็นค่าจริงหรือ Complex-Conjugate ก็ได้ ดังนั้น จะได้ ดังสมการที่ (5.26) และ (5.27)

$$G(s)H(s) = \frac{\prod_{i=1}^m |s+z_i|}{\prod_{j=1}^n |s+p_j|} = \frac{i}{|K|} \quad -\infty < K < \infty \quad (5.26)$$

และ

$$\angle G(s)H(s) = \sum_{i=1}^m \angle(s+z_i) - \sum_{j=1}^n \angle(s+p_j) = (2k+1)\pi \quad (5.27)$$

โดยที่จะพิจารณาเฉพาะกรณีที่ K แปรค่าในช่วง 0 ถึง ∞ เท่านั้น

จากสมการข้างต้นอธิบายได้ว่า สำหรับค่าใดค่าหนึ่งของ K ที่เป็นบวก จุด s ในระนาบ s จะเป็นจุดที่อยู่บนทางเดินของราก (หรือเป็นรากของสมการคุณลักษณะ) ได้ เมื่อความแตกต่างระหว่างผลรวมของมุมของเวกเตอร์ที่ลากจาก Zeros และ Poles ทั้งหมดของ $G(s)H(s)$ ไปยังจุด s ที่มีค่าเท่ากับ 180 องศา (หรือ 180 องศา คูณเลขจำนวนเต็ม)

สำหรับอัตราขยาย K ที่จุดใดๆบนทางเดินของรากสามารถคำนวณได้ จากสมการที่ (5.28)

$$|K| = \frac{\prod_{i=1}^m |s+P_i|}{\prod_{j=1}^n |s+Z_j|} \quad (5.28)$$

ค่าอัตราขยาย K ที่จุด s ที่อยู่บนทางเดินของรากจะคำนวณได้โดยการแทนค่าของ s ลงในสมการข้างต้น หรืออาจจะหาได้จากกราฟที่มีการกำหนดระยะที่แน่นอนนั่นคือ ค่าอัตราขยาย K จะมีค่าเท่ากับผลคูณของความยาวของเวกเตอร์ที่ลากจาก Zeros ทั้งหมดของ $G(s)H(s)$ ไปยังจุด s ,

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าเมื่อทราบตำแหน่งของ Poles และ Zeros ของฟังก์ชันถ่ายโอนของรูป $G(s)H(s)$ แล้ว ก็จะสามารถสร้างทางเดินของรากได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. หาจุด s_1 ทุกๆจุดในระนาบ s ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขของมุม 180 องศา
2. ค่าต่างๆของอัตราขยาย K ที่จุด s_1 ใดๆในระนาบ s จะคำนวณได้จากวิธีที่กล่าวมาข้างต้น

วิธีสร้างทางเดินของราก ได้คิดค้นโดย W.R. Evans ในปี ค.ศ. 1948 และถูกพัฒนาเพื่อการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมอย่างกว้างขวาง

พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนต่อไปนี้ ดังสมการที่ (5.29)

$$G(s)H(s) = \frac{K(s+z_1)}{s(s+p_2)(s+p_3)} \quad (5.29)$$

ถ้าจุด s_1 เป็นรากสมการของคุณลักษณะ และอยู่บนทางเดินของราก โดยที่อัตราขยาย K แปรค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง ∞ นั่นคือ มุมของเวกเตอร์ทั้งหมดจะต้องสอดคล้อง ดังสมการที่ (5.30)

$$\begin{aligned} \angle(s_1+z_1) - \angle s_1 - \angle(s_1+p_2) - \angle(s_1+p_3) \\ = \theta_{z_1} - \theta_{p_1} - \theta_{p_2} - \theta_{p_3} = (2k+1)\pi \end{aligned} \quad (5.30)$$

และอัตราขยาย K มีค่าดังสมการที่ (5.31)

$$|K| = \frac{|s_1||s_1+p_2||s_1+p_3|}{|s_1+z_1|} = \frac{BCD}{A} \quad (5.31)$$

โดยที่ $K = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

5.7.2 คุณสมบัติและการสร้าง Root Loci

ทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อที่จะใช้สร้างทางเดินของราก จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง Poles และ Zeros ของ $G(s)H(s)$ และ Zeros ของ $1+G(s)H(s)$ (ซึ่งก็คือรากของสมการคุณลักษณะนั่นเอง)

ทฤษฎีที่ 1 เมื่อ $K = 0$

จุดที่ $K = 0$ บนทางเดินรากจะอยู่ที่ Poles ของ $G(s)H(s)$ ดังสมการที่ (5.32)

$$|G_1(s)H_1(s)| = \frac{1}{|K|} \quad (5.32)$$

เมื่อ K เข้าใกล้ 0 สมการข้างต้นจะมีค่าเข้าใกล้ ∞ ด้วย ซึ่งจะสอดคล้องกับการที่ s จะมีค่าเข้าใกล้ Poles ของ $G_1(s)H_1(s)$ หรือ $G(s)H(s)$

ทฤษฎีที่ 2 เมื่อ $K = \infty$

จุดที่ $K = \infty$ บนทางเดินรากจะอยู่ที่ Zeros ของ $G(s)H(s)$ ดังสมการที่ (5.33)

$$|G_1(s)H_1(s)| = \frac{1}{|K|} \quad (5.33)$$

เมื่อ K เข้าใกล้ ∞ สมการข้างต้นจะมีค่าเข้าใกล้ 0 ด้วย ซึ่งจะสอดคล้องกับการที่ s จะมีค่าเข้าใกล้ Zeros ของ $G_1(s)H_1(s)$ หรือ $G(s)H(s)$

พิจารณาตัวอย่างของสมการคุณลักษณะต่อไปนี้

$$s(s+2)(s+3) + K(s+1) = 0$$

จะเห็นว่าเมื่อ $K = 0$ รากสมการของคุณลักษณะอยู่ที่ $s = 0, -2, -3$ ตามลำดับจัดรูปสมการข้างต้นใหม่ได้เป็น

$$1 + G(s)H(s) = 1 + \frac{K(s+1)}{s(s+2)(s+3)} = 0$$

นั่นก็คือเมื่อ $K = 0$ รากสมการของคุณลักษณะจะเป็นค่าของ Poles ของ $G(s)H(s)$ ทำนองเดียวกัน เมื่อ K เข้าใกล้ ∞ สมการของคุณลักษณะข้างต้นจะเขียนใหม่เป็น

$$K(s+1) = 0$$

นั่นคือ รากสมการของคุณลักษณะจะอยู่ที่ $s = -1$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ Zeros ของ $G(s)H(s)$ นั่นเอง

อนึ่ง เนื่องจาก Poles และ Zeros ของ $G(s)H(s)$ อีก 2 ตัว อยู่ที่ $s = \infty$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่ 3 จำนวนของ Branch ของทางเดินของรากจะเท่ากับอันดับสูงสุดของ Polynomial พิจารณาสมการคุณลักษณะ

$$s(s+2)(s+3) + K(s+1) = 0$$

จำนวนของ Branch ของทางเดินรากคือ 3 ทั้งนี้เพราะเป็นสมการอันดับ 3 จึงมีรากอยู่ 3 ราก และมีทางเดินของราก 3 ทางเดินเช่นกัน

ทฤษฎีที่ 4 การสมมาตรกัน (Symmetry) ของทางเดินของราก

ทางเดินของรากจะสมมาตรกัน เมื่อเทียบกับแกน Real ในระนาบ s และโดยทั่วไป ทางเดินของรากสมมาตรกัน เมื่อเทียบกับแกนที่ Poles และ Zeros ของ $G(s)H(s)$ สมมาตรกัน พิจารณาดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$s(s+1)(s+2) + K = 0$$

จัดรูปของ $G(s)H(s)$ ได้เป็น

$$G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+2)}$$

ดังนั้น ทางเดินของรากจะสมมาตรกัน เมื่อเทียบกับแกน Real และ แกนที่ $s = -1$ ในระนาบ s

ทฤษฎีที่ 5 Asymptotes ของทางเดินของราก (พฤติกรรมของทางเดินของรากเมื่อ $s = \infty$) คุณสมบัติของราก เมื่อทางเดินเข้าใกล้ ∞ ในระนาบ s จะมีส่วนสำคัญในการสร้างทางเดินของราก ทั้งนี้อันดับของ n จะมากกว่า m ดังนั้นจะมีทางเดินของรากเท่ากับ $2(n-m)$ ที่จะเข้าใกล้ ∞ ในระนาบ s

พฤติกรรมของทางเดินของราก เมื่อ s มีค่ามาก ๆ (หรือ $K \geq 0$) จะกำหนดได้จากมุมของเส้น Asymptotes ดังสมการที่ (5.34)

$$\theta_k = \frac{(2k+1)\pi}{|n-m|} \quad (5.34)$$

โดยที่ $n \neq m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่ 6 จุดตัดเส้น Asymptotes(Centroid)

1. จุดตัดของเส้น Asymptotes จำนวน $2(n-m)$ ของทางเดินของรากจะอยู่บนแกน Real ในระนาบ s

2. จุดตัดนี้จะสามารถหาได้จากสมการที่ (5.35)

$$\sigma_1 = \frac{\sum \text{finite poles of } G(s)H(s) - \sum \text{finite zeros of } G(s)H(s)}{n - m} \quad (5.35)$$

โดยที่ n คือ จำนวนของ Finite Poles ของ $G(s)H(s)$

m คือ จำนวนของ Finite Zeros ของ $G(s)H(s)$

เนื่องจาก Poles และ Zeros ของ $G(s)H(s)$ เป็นได้ทั้งค่าจริง และปริมาณเชิงซ้อน ซึ่งส่วนของ Imaginary จะหักล้างกันเองเสมอ ดังนั้นผลรวมในสมการข้างต้น จึงสามารถคิดเฉพาะส่วนที่เป็นค่าจริงของ Poles และ Zeros ของ $G(s)H(s)$ เท่านั้นก็พอ ซึ่งจะทำให้ค่าของ σ_1 จะเป็นค่าจริงที่อยู่บนแกน Real เสมอ

พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนของรูป

$$G(s)H(s) = \frac{K(s+1)}{s(s+4)(s^2+2s+2)}$$

สมการคุณลักษณะคือ

$$s(s+4)(s^2+2s+2)+K(s+1)=0$$

1. เมื่อ $K = 0$ รากจะอยู่ที่ Poles ของ $G(s)H(s)$ ที่ $s = 0, -4, -1+j1$ และ $-1-j1$
2. เมื่อ $K = \infty$ รากจะอยู่ที่ Zeros ของ $G(s)H(s)$ ที่ $s = -1$ และที่ ∞ อีก 3 ตัว
3. จำนวนทางเดินของราก จะมีทั้งหมด 4 Branches
4. ทางเดินของรากจะสมมาตรกันเมื่อเทียบกับแกน Real ในระนาบ s
5. เนื่องจากจำนวนของ Finite Poles ของ $G(s)H(s)$ เท่ากับ 4 และจำนวนของ Finite Zeros ของ $G(s)H(s)$ เท่ากับ 1 ดังนั้น $n-m$ จึงเท่ากับ 3 ซึ่งหมายถึงว่า เมื่อ K มีค่าเข้าสู่ ∞ และมุมของเส้น Asymptotes จะคำนวณได้ดังสมการที่ (5.36)

$$\left. \begin{aligned} k = 0 \dots \theta_0 &= \frac{180^\circ}{3} = 60^\circ \\ k = 1 \dots \theta_1 &= \frac{540^\circ}{3} = 180^\circ \\ k = 2 \dots \theta_2 &= \frac{900^\circ}{3} = 300^\circ \end{aligned} \right\} \quad (5.36)$$

6. จุดตัดเส้น Asymptotes กับแกน Real คือ ดังสมการที่ (5.37)

$$\sigma_1 = \frac{\sum \text{finite poles of } G(s)H(s) - \sum \text{finite zeros of } G(s)H(s)}{n - m} \quad (5.37)$$

$$= \frac{(0 - 4 - 1 + j - 1 - j) - (-1)}{4 - 1} = -\frac{5}{3}$$

ทฤษฎีที่ 7 ทางเดินของรากบนแกน Real

ทุก ๆ จุดบนแกน Real ในระนาบ s จะเป็นราก หรือทางเดินของรากได้ เมื่อ poles และ zeros ของ $G(s)H(s)$ ที่อยู่บนแกน Real $G(s)H(s)$ และอยู่ทางขวามือของจุดนั้น มีจำนวนรวมกันเป็นเลขคี่

สำหรับ Complex poles และ Complex zeros ของ $G(s)H(s)$ นั้นจะไม่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาทางเดินของรากบนแกน Real แต่อย่างใด

ทฤษฎีที่ 8 มุมที่ออกจาก poles (Angle of Departure) และมุมที่เข้าหา zeros (Angle of Arrival)

มุมที่ออกจาก poles (Angle of Departure) หรือมุมที่เข้าหา zeros (Angle of Arrival) ของทางเดินราก $G(s)H(s)$ จะแสดงถึงพฤติกรรมของรากที่อยู่ใกล้ๆ กับ poles หรือ zeros นั้น โดยที่การหาค่ามุมที่ออกจาก poles (Angle of Departure) หรือมุมที่เข้าหา zeros (Angle of Arrival) จะหาได้จากสมการของเงื่อนไขของมุม (Condition of Angles) ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

พิจารณาสมการคุณลักษณะต่อไปนี้

$$s(s+3)(s^2+2s+2)+K=0$$

ในที่นี้จะหามุมที่ออกจาก Poles ที่อยู่จุด $-1+j1$ โดยจะสมมติให้จุด s_1 เป็นจุดที่อยู่บนทางเดินของรากที่อยู่ใกล้ และออกจาก Poles ที่จุด $-1+j1$ นั่นก็คือ จุด s_1 จะต้องสอดคล้องดังสมการที่ (5.38)

$$\angle G(s_1)H(s_1) = -(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4) = (2k+1)180^\circ \quad (5.38)$$

เนื่องจากจุด s_1 เป็นจุดที่อยู่บนทางเดินของราก และอยู่ใกล้ Poles ที่จุด $-1+j1$ ดังนั้นที่มุมของเวกเตอร์ที่ลากจาก Poles จะหาได้จากสมการเงื่อนไขของมุม นั่นคือ

$$-(135^\circ + \theta_2 + 90^\circ + 26.6^\circ) = (2k+1)180^\circ$$

เมื่อ $K = 0$

$$\theta_2 = -431.6 \text{ องศา}$$

$$\theta_2 = -71.6 \text{ องศา}$$

ยังสามารถหามุมนี้ได้โดยการคำนวณ โดยการแทนค่าของ s_1 ใน $G(s)H(s)$ (ในกรณี $G(s)H(s)$ จะเป็น $K / |s(s+3)(s^2+2s+2)|$) ด้วยค่าของ $-1+j1$ จากนั้นใช้สมการเงื่อนไขของมุม และวิธีการหาค่ามุมในกรณีของตัวแปรเชิงซ้อน คำนวณหามุมที่ต้องการออกมา

ทฤษฎีที่ 9 จุดตัดทางเดินของรากกับแกน Imaginary

จุดตัดทางเดินของรากกับแกน Imaginary และค่าของอัตราขยาย K ที่จุดตัดนั้นจะสามารถหาได้จาก Routh-Hurwitz Criterion

จากตัวอย่างที่ผ่านมา สมการคุณลักษณะ คือ

$$s(s+3)(s^2+2s+2) + K = 0$$

โดยใช้ Routh-Hurwitz Criterion ทางเดินรากจะตัดแกน Imaginary บนระนาบ s ที่จุด $\omega_c = \pm 1.095 \text{ rad/sec}$ และค่าของอัตราขยาย K_c ที่จุดตัดนี้มีค่าเท่ากับ 8.16

ทฤษฎีที่ 10 จุด Breakaway (หรือจุด Saddle) บนทางเดินของราก

จุด Breakaway (หรือจุด Saddle) บนทางเดินของรากของสมการใดๆ แสดงว่าสมการนั้นมีรากซ้ำ (Multiple-Order Roots) หรือรากที่มีค่าเท่ากันอย่างน้อย 1 คู่ และจุด Breakaway นี้ไม่จำเป็นต้องอยู่บนแกน Real แต่อาจจะอยู่ที่จุดใด ๆ ก็ได้บนระนาบ s อย่างไรก็ตาม มุมของจุด Breakaway (ซึ่งเป็นรากของสมการ) นั้น จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขของมุม ± 180 องศา ด้วย จากสมการคุณลักษณะ ดังสมการที่ (5.39)

$$1 + KG_1(s)H_1(s) = 0 \quad (5.39)$$

จุด Breakaway บนทางเดินของราก จะหาได้จากสมการที่ (5.40)

$$\frac{dG_1(s)H_1(s)}{ds} = 0 \quad (5.40)$$

และเนื่องจากว่า K มีค่า ดังสมการที่ (5.41)

$$K = -\frac{1}{G_1(s)H_1(s)} \quad (5.41)$$

ดังนั้นจะได้ ดังสมการที่ (5.42)

$$\frac{dK}{ds} = \frac{dG_1(s)H_1(s)/ds}{[G_1(s)H_1(s)]^2} \quad (5.42)$$

นั่นคือ เงื่อนไขของการหาจุด Breakaway สามารถเขียนได้ในรูป

$$\frac{dK}{ds} = 0$$

เงื่อนไขของจุด Breakaway ในกรณีที่ $K \geq 0$ นั้นสามารถกำหนดได้ดังนี้

1. ถ้าจุด Breakaway ที่หาได้จากเงื่อนไข ดังสมการข้างต้นอยู่บนแกน Real จุด Breakaway นั้นจะเป็นจุด Breakaway จริงก็ต่อเมื่อ Poles และ Zeros ของ $G(s)H(s)$ ที่อยู่บนแกน Real และอยู่ห่างขวามือและจุด Breakaway นั้นมีจำนวนรวมกันเป็นเลขคี่

2. ถ้าจุด Breakaway ที่หาได้จากเงื่อนไขดังสมการข้างต้น เป็นค่าของดังแปรเชิงซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุด Breakaway นั้นจะเป็นจุด Breakaway จริงก็ต่อเมื่อมุมของจุด Breakaway นั้น สอดคล้องกับ
เงื่อนไขของมุม ± 180 องศา

พิจารณาตัวอย่างของสมการคุณลักษณะต่อไปนี้

$$s(s+4)(s^2+4s+20)+K=0$$

จัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$1+KG_1(s)H_1(s)=1+\frac{K}{s(s+4)(s^2+4s+20)}=0$$

จุด Breakaway จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไข

$$\frac{dG_1(s)H_1(s)}{ds} = \frac{4s^3+24s^2+72s+80}{[s(s+4)(s^2+4s+20)]^2} = 0$$

นั่นคือ

$$s^3+6s^2+18s+20=0$$

ดังนั้น

$$s = -2, -2+j2.45, -2-j2.45$$

ในกรณีของ $K \geq 0$ จุด Breakaway ที่หาได้ทั้งสามจุดนี้ จุดที่ $s = 2$ จะเป็นจุด Breakaway
จริงตามเงื่อนไขที่ได้ระบุไว้ในข้อ 1. สำหรับจุด Breakaway ที่ $s = -2+j2.45$ และ $-2-j2.45$ ซึ่งเป็น
ปริมาณเชิงซ้อนนั้น เมื่อทำการทดสอบเงื่อนไขของมุมที่จุดทั้งสอง จะพบว่าสอดคล้องกับเงื่อนไข
ของมุม ± 180 องศา ซึ่งแสดงว่าจุด Breakaway ที่เป็นปริมาณเชิงซ้อนทั้งสองจุดนั้นเป็น
จุด Breakaway จริง

ทฤษฎีที่ 11 การคำนวณค่า K ณ จุดใดๆบนทางเดินของราก

ค่า K ณ จุดใดๆบนทางเดินของราก สามารถหาได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีคำนวณ ค่าของ K ที่จุด s , ใดๆ ที่อยู่บนทางเดินของราก จะคำนวณ ได้โดยการแทนค่า
ของ s ด้วย s_1 ลงในสมการที่ (5.43)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|G_1(s)H_1(s)| = \frac{\prod_{i=1}^m |s + z_i|}{\prod_{j=1}^n |s + p_j|} = \frac{1}{|K|} \quad (5.43)$$

หรือ ดังสมการที่ (5.44)

$$|K| = \frac{\prod_{j=1}^n |s + p_j|}{\prod_{i=1}^m |s + z_i|} \quad (5.44)$$

2. วิธีทางกราฟที่มีการกำหนดระยะที่ถูกต้องแน่นอน นั่นคือ ค่าของอัตราขยาย K จะมีค่าเท่ากับผลคูณของความยาวของเวกเตอร์ที่ลากจาก Poles ทั้งหมดของ $G_1(s)H_1(s)$ ไปยังจุด s_1 หารด้วยผลคูณของเวกเตอร์ที่ลากจาก Zero ทั้งหมดของ $G_1(s)H_1(s)$ ไปยังจุด s_1 หรือในรูปของสมการ

$$|K| = \frac{\text{product of lengths of vectors drawn from the poles of } G_1(s)H_1(s) \text{ to } s_1}{\text{product of lengths of vectors drawn from the zeros of } G_1(s)H_1(s) \text{ to } s_1}$$

พิจารณาตัวอย่างของสมการคุณลักษณะ

$$s^2 + 2s + 2 + K(s + 2) = 0$$

ทางเดินของรากจะแสดงดังรูปข้างล่างนี้ และค่าอัตราขยาย K ที่จุด s_1 โดยใช้วิธีทางกราฟคือ

$$K = \frac{A \cdot B}{C} \quad (5.45)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ที่มาและฟังก์ชันการทำงานบน LabVIEW

6.1 กล่าวนำ

LabVIEW คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา Application (โปรแกรมการประยุกต์) ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับ Visual Basic, Visual C++, Delphi แต่จะเป็นการเขียนโปรแกรม โดยการใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-Based Programming) ซึ่งจะแตกต่างจากแนวคิด Text based Programming เช่น Text-based จะทำงานจากบนลงล่าง แต่ LabVIEW จะทำงานแบบ Dataflow

LabVIEW สามารถเขียนเป็นสมการต่างๆที่ซับซ้อนได้เหมือน Text-Based เช่น ภาษา C โดยใช้ Formula Node ของ LabVIEW การทำงานจะเน้นการติดต่อกับเครื่องมือหรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ใช้วัดสัญญาณทางกายภาพ (Physical) ต่างๆ และนอกจากนั้นสามารถนำประโยชน์จาก Computer Technology และ Network Technology มาประยุกต์ใช้งาน เช่น เก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล (Database) หรือส่งข้อมูลผ่านทาง Internet ทำให้หลายอุตสาหกรรมได้นำเอา LabVIEW มาประยุกต์ใช้กับงานวัดคุม (Instrumentation) และออโตเมชัน (Automation)

6.2 หลักการทำงานของโปรแกรม Lab VIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน ดังตัวอย่างจากรูปภาพที่ 6.1 เป็น Oscilloscope ที่ได้ทำการสร้างขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นเองได้อย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่างๆที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป , ปุ่มหมุน (Dial) และสวิตช์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ พื้นที่ที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ

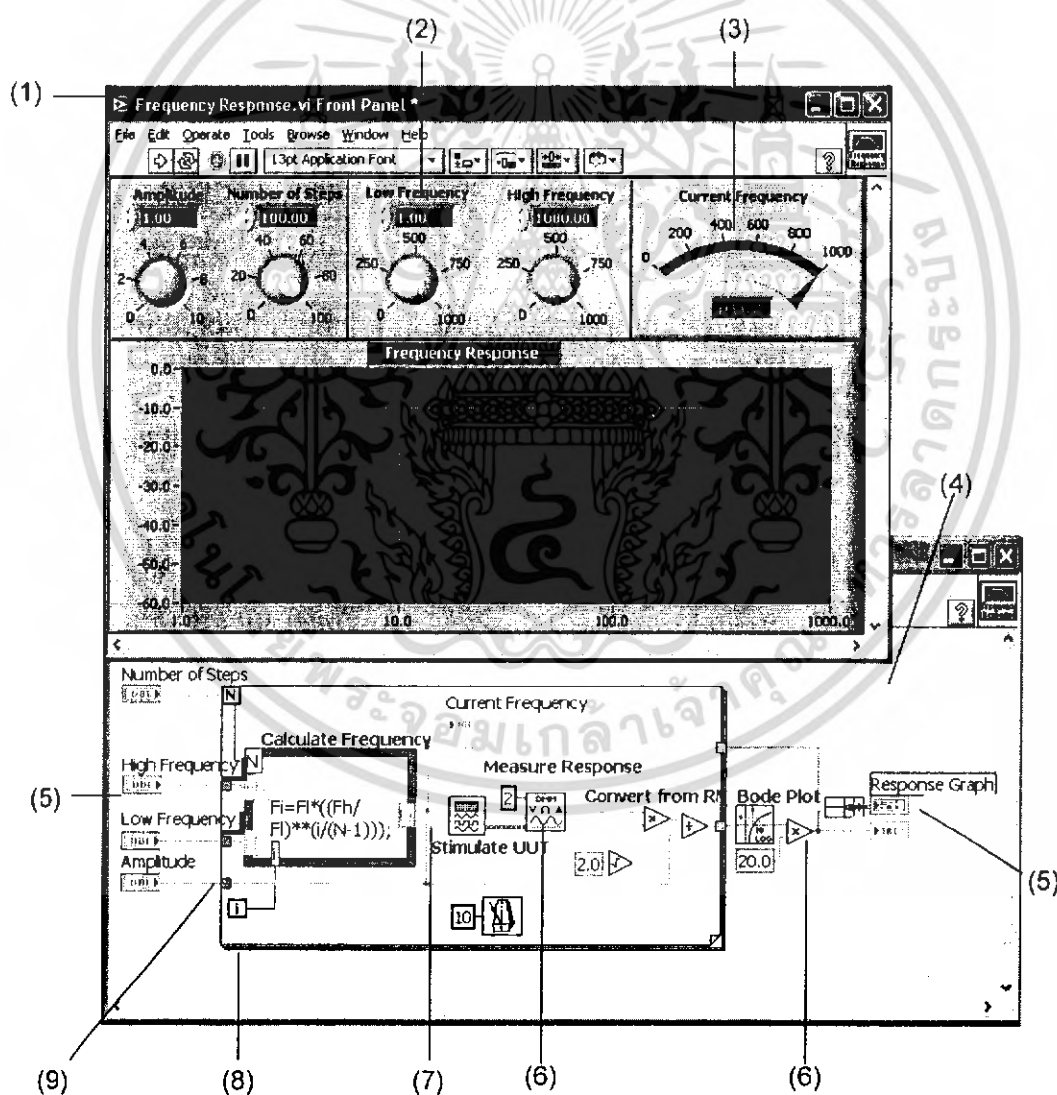
LabVIEW อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุม ทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบ โปรแกรมตามที่ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบ ในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2. **Analysis** หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้ว อาจจะผ่านฟังก์ชันในการทำ Analysis หรือ วิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่ วัดได้และใช้งานได้

3. **Presentation** คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบน หน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่ต้อง จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลาหรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา หรือ Spectrum Analyzer จะแสดงผลสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูล ใน Hard disk

6.2.1 ส่วนประกอบต่างๆใน LabVIEW (LabVIEW Environment)



ภาพที่ 6.1 ส่วนประกอบต่างๆใน LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายรูปตามหมายเลข ดังนี้

1. Front Panel คือ ส่วนที่จะติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ซึ่งส่วนนี้จะประกอบด้วย Control หรือ Input (รับข้อมูลจากผู้ใช้) และ Indicator หรือ Output (แสดงผลให้ผู้ใช้งานเห็น)
2. Control คือ สิ่งที่ผู้ใช้งานจะป้อนค่าหรือเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งก็คือ Input เข้าสู่ระบบในรูปแบบ Numeric control (ตัวรับข้อมูลแบบตัวเลข)
3. Indicator คือ เป็นสิ่งที่โปรแกรมแสดงผลออกมาให้ผู้ใช้งานเห็นซึ่งก็คือ Output ที่ออกมาจากระบบหรือ Application ที่เราพัฒนา ในรูปเป็นตัวอย่างของ Numeric Indicator (ตัวแสดงผลแบบตัวเลข)
4. Block Diagram คือ ส่วนที่ผู้พัฒนาใช้ในการเขียนโปรแกรม หรือส่วนของ Source Code
5. Terminal จะมีสองรูปแบบ คือ จุดกำเนิด (Source) หรือ (Output Terminal) และจุดรับ (Sink) หรือ (Input Terminal)
6. Icons คือ ส่วนที่มีการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง เมื่อโปรแกรมทำงาน เช่น ฟังก์ชันซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่มีอยู่แล้วใน LabVIEW ได้แก่ Add, Subtract หรือ SubVI ซึ่งหมายถึง VI ที่ถูกเรียกอ่านจากอีก VI หนึ่ง
7. Wires คือ เส้นทางของข้อมูลที่ส่งผ่านจุดกำเนิดข้อมูล (Source) ไปจุดรับข้อมูล / จุดสิ้นสุด (Sink)
8. Structures คือ ส่วนที่ควบคุมขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เช่น For loop
9. Nodes คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างข้อมูลกับ SubVI, Function หรือ Structure

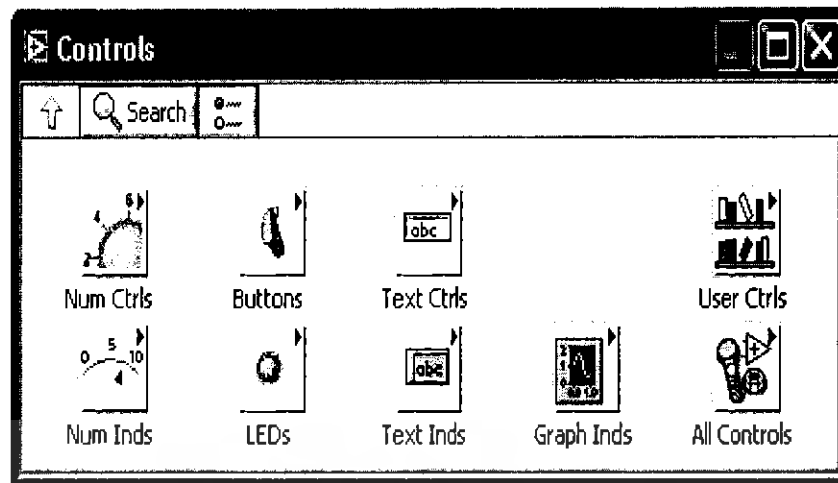
6.2.2 การใช้งานโปรแกรมที่สร้างขึ้นจาก LabVIEW

โปรแกรมที่สร้างขึ้นโดย LabVIEW จะเรียกว่า VI ซึ่งย่อมาจาก Virtual Instrument จะมีส่วนที่ควบคุม (Control) และส่วนแสดงผล (Indicator) คล้ายคลึงกับเครื่องมือวัดโดยทั่วไป เช่น มีปุ่มปรับค่า, ปุ่มเปิดปิด และกราฟแสดงผล เป็นต้น

6.2.3 เครื่องมือในการออกแบบ VI

6.2.3.1 เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ Front Panel

เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel จะใช้ Controls Palette และ Tools Palette LabVIEW มี Controls Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel ดังแสดงในภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 Control Palette

ซึ่งเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) โดยจะจัดเป็นกลุ่มต่าง ๆ เช่น กลุ่มของตัวเลข (Numeric) ซึ่งภายในกลุ่มจะมี Control และ Indicator ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับตัวเลข

6.2.3.2 Tools Palette สำหรับการออกแบบ Front Panel

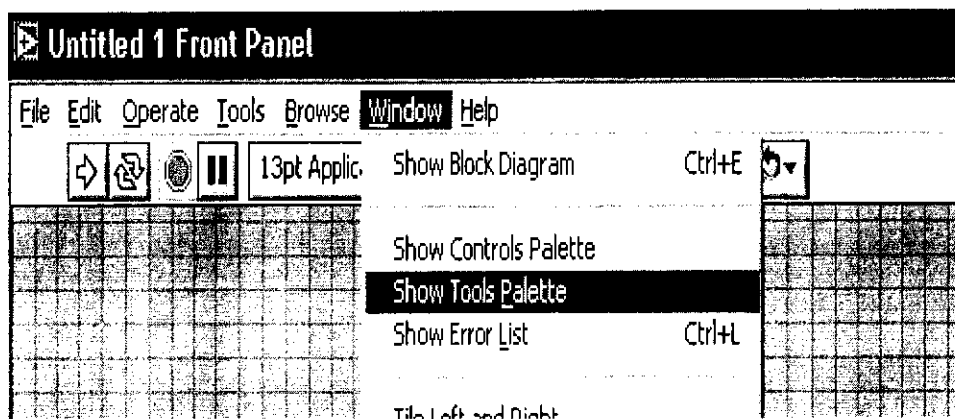
Tools Palette คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมซึ่งจะใช้ทั้งการออกแบบ Front Panel และ Block Diagram ในส่วนนี้จะกล่าวถึง Tools Palette สำหรับออกแบบ Front Panel ดังแสดงในภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 Tool palette

วิธีเปิด Tools Palette มี 2 วิธีคือ เปิดโดย Click ที่ Window >> Show Tools Palette หรือ Shift + Right click ในตำแหน่งที่ว่างของ Front Panel แล้วเลือก Tool โดย Click ที่ Tool ที่ต้องการหนึ่งครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.4 วิธีเรียกใช้ Tool palette

Tool ที่ใช้บ่อย ๆ ในการออกแบบ Front Panel

1. Operate Value Tool ใช้เปลี่ยนแปลงค่าของ Controls หรือ Indicators โดยการ Click Operating Tool แล้วเปลี่ยนไปที่ค่าของ Control หรือ Indicator ที่เราต้องการเปลี่ยนแปลงค่า แล้ว Click เพื่อเปลี่ยนค่า ดังแสดงในภาพที่ 6.5

2. Position/Size/Select Tool ใช้สำหรับ (Select) หรือจัดวางตำแหน่ง (Position) ใหม่ หรือการปรับขนาด (Size) ของ Control หรือ Indicator ดังแสดงในภาพที่ 6.6



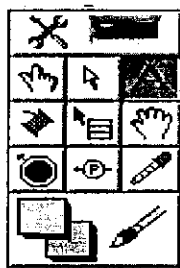
ภาพที่ 6.5 Operate Value Tool



ภาพที่ 6.6 Position/Size/Select Tool

3. Edit Text Tool ใช้สำหรับการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษรหรือเพิ่มข้อความลงบน Front Panel ดังแสดงในภาพที่ 6.7

4. Set Color Tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสีของสิ่งที่เราต้องการเปลี่ยนสี ซึ่งสามารถเปลี่ยนสีทั้งสีด้านบน (Foreground) ของสิ่งใด ๆ และสีพื้น (Background) ถ้าสิ่งนั้นมี Background ดังแสดงในภาพที่ 6.8



ภาพที่ 6.7 Edit Text Tool



ภาพที่ 6.8 Set Color Tool

6.2.3.3 Tool อื่น ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel มีดังต่อไปนี้

1. Object Shortcut Menu Tool ใช้สำหรับแสดงและเลือก Menu ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งต่าง ๆ บน Front Panel และ Block Diagram ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะคลิกขวาแทนการเลือก Tools นี้ ดังแสดงในภาพที่ 6.9



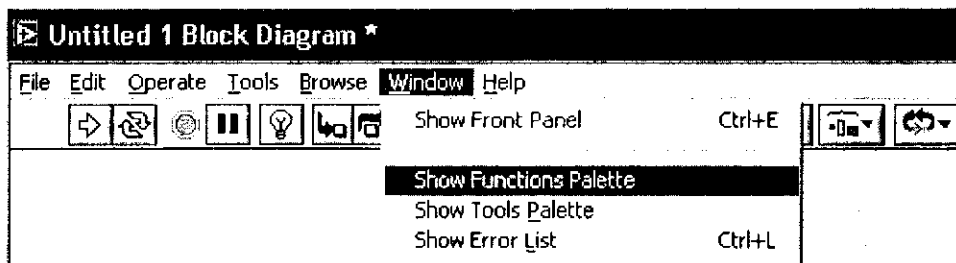
ภาพที่ 6.9 Object Shortcut Menu Tool

2. Scroll Window Tool ใช้สำหรับการเลื่อน (Scroll Window) ทั้ง Front Panel และ Block Diagram ดังแสดงในภาพที่ 6.10



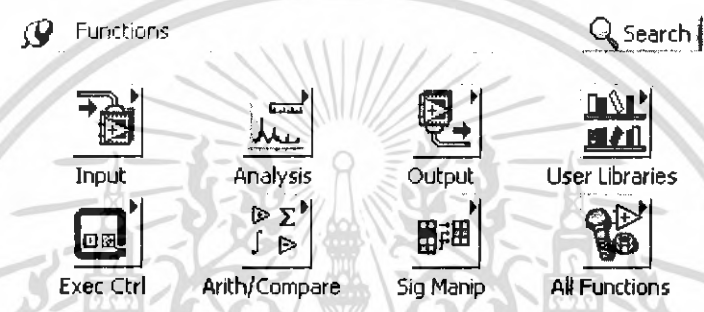
ภาพที่ 6.10 Scroll Window Tool

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.13 แสดงวิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 1

2. Right-Click ที่ตำแหน่งว่างบน Block Diagram และ Click ที่หมวด

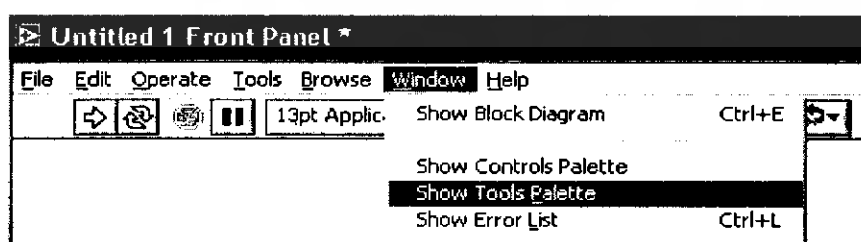


ภาพที่ 6.14 แสดงวิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 2

การเลือก Function มาใช้งาน ใช้วิธีเดียวกันกับการเลือก Control หรือ Indicator จาก Front Panel คือ Click ฟังก์ชันที่ต้องการซึ่ง Cursor จะเปลี่ยนเป็นรูปมือหลังจากนั้นให้เลื่อน Cursor ไปที่ Block Diagram ตำแหน่งที่ต้องการ และ Click อีกครั้งหนึ่ง

6.2.4.1 Tools Palette สำหรับ Block Diagram

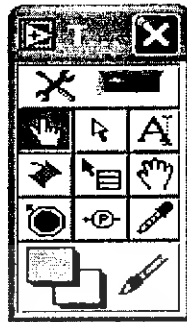
เปิด Tools Palette โดยการ Click ที่ Window>> Show Tools Palette หรือ กด Shift + Right Click แล้ว Click เลือก Tool ที่ต้องการใช้ ดังแสดงในภาพที่ 6.15



ภาพที่ 6.15 แสดงวิธีการเปิด Tools Palette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

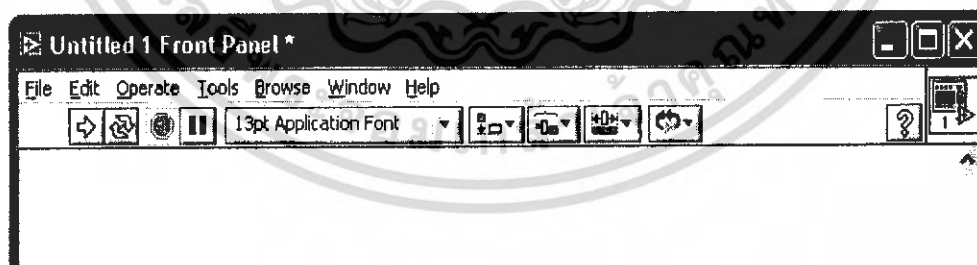
(ถ้า Automatic Tools Selection เปิดอยู่ (LED) เป็นสีเขียว ให้ Click เพื่อปิด Automatic Tools Selection ซึ่งมีเฉพาะใน Version 6.1 ขึ้นไป) Tool ที่ใช้มีดังนี้





ภาพที่ 6.16 แสดง Tool ที่ใช้ใน Block Diagram

- (1) Operating Tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าหรือเลือกค่าคงที่ใน Block Diagram
- (2) Position/Size/Select ใช้ในการเลือก/เคลื่อนย้าย/จัดขนาดของสิ่งที่สร้างขึ้นบน Block Diagram
- (3) Edit Text Tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษร หรือเพิ่มข้อความลงบน Front Panel
- (4) Wiring Tool ใช้ในการโยงสาย (Wiring) ระหว่าง Terminal หรือ Node ซึ่งสายที่โยงนี้จะเส้นทางเดินของข้อมูล

6.2.5 Front Panel Toolbar



ภาพที่ 6.17 แสดง Front Panel Toolbar

-  โปรแกรมสามารถ Run ได้เมื่อ Click ปุ่มนี้บน Toolbar
-  โปรแกรมกำลัง Run อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โปรแกรมกำลัง Run อยู่ SubVI
- ✖ โปรแกรม Error ถ้า Click จะแสดงรายการ Error List
- 🔄 โปรแกรมสามารถ Run แบบต่อเนื่อง (Continuous) เมื่อ Click ปุ่มนี้
- ⏸ กำลัง Run อย่างต่อเนื่องจนกระทั่ง Click ปุ่ม Stop/Pause
- ⏹ เมื่อโปรแกรมกำลัง Run อยู่สามารถหยุดการทำงานโปรแกรมโดยการ Click ปุ่ม Stop
- ⏹ หยุดชั่วคราว เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งสามารถ Run ต่อไปได้เมื่อ Click ปุ่ม หรือกดปุ่ม อีกครั้ง

13pt Application Font

เลือกหรือแก้ไขรูปแบบอักษรที่ต้องการ

- 📏 จัดแนวของสิ่งต่าง ๆ (Objects)
- 📏 จัดระยะทางระหว่างสิ่งต่าง ๆ (Objects)
- 📏 ปรับขนาดสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่บน Front Panel หลาย ๆ สิ่ง ซ้อนกัน
- 📏 จัดลำดับของ Objects ที่วางซ้อนกัน
- ❓ แสดง Context Help

6.2.6 Block Diagram Toolbar

สิ่งที่เพิ่มเติมจาก Front Panel Toolbar ในส่วนของ Block Diagram มีดังต่อไปนี้

- 💡 Highlight Execution เมื่อ Click แล้ว ในการ Run Program จะทำให้โปรแกรม Run
- 🔍 ข้างลงเพื่อให้เราเห็นถึงการไหลของข้อมูล และทำงานของโปรแกรม เมื่อ Click แล้ว จะออกจากโหมด (Mode) ที่โปรแกรม Run ซ้ำ (Highlight Execution)
- 🏠 เป็นการ Run โปรแกรมแบบทีละคำสั่ง และจะลงไปถึงคำสั่งของ SubVI
- 🏠 เป็นการ Run โปรแกรมแบบทีละคำสั่ง แต่จะไม่ลงไปถึงคำสั่งของ SubVI
- 🏠 ให้ Run จนออกจาก Loop และ SubVI

6.2.7 การพัฒนาโปรแกรม

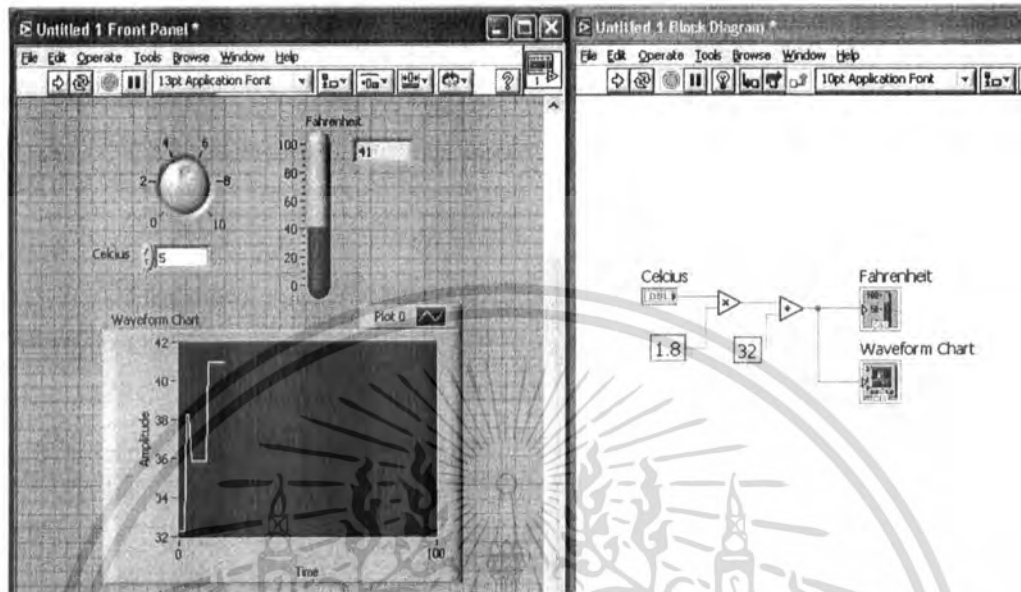
6.2.7.1 หลักการทำงานของ Dataflow Programming

โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย LabVIEW จะทำงานโดยอาศัยหลักการของ Dataflow ซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้ คือ

1. ฟังก์ชันหรือ SubVI จะทำงานเมื่อมีข้อมูล (Input)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อฟังก์ชันหรือ SubVI ทำงานเสร็จจะให้ข้อมูล (Output) ไปยังฟังก์ชันหรือ SubVI อื่นๆที่ต้องการข้อมูล
3. ข้อมูลจะถูกส่งผ่านโดยสาย (Wire)



ภาพที่ 6.18 แสดงหลักการการทำงานของ Dataflow Programming

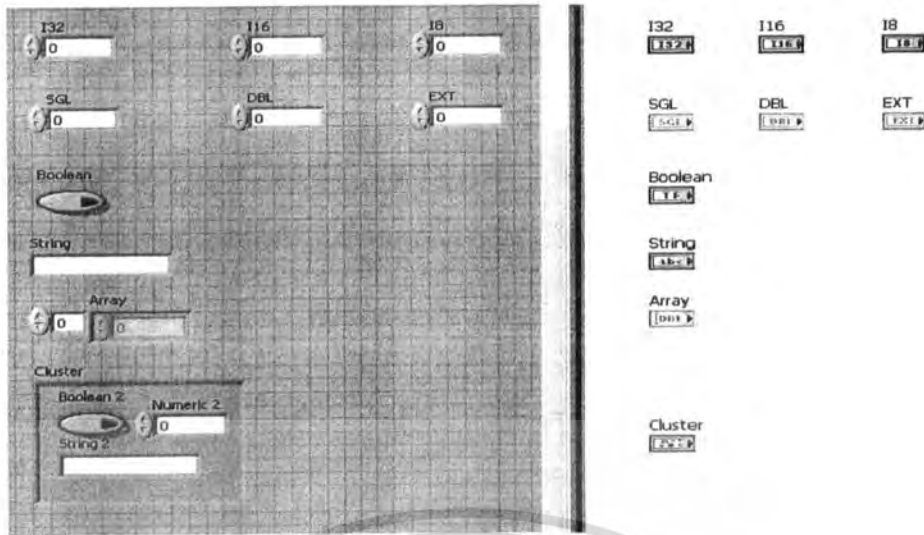
จากภาพ ขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมจะเป็นดังนี้

1. ฟังก์ชันคูณ (Multiply) จะทำงานก่อนฟังก์ชันบวก เพราะฟังก์ชันคูณมีข้อมูล (Input) พร้อม แต่ฟังก์ชันบวกต้องรอ Output จากฟังก์ชันคูณ (หลักการ Dataflow ข้อที่ 1)
2. หลังจากฟังก์ชันคูณทำงานเสร็จ จะส่งผ่านข้อมูลไปยังฟังก์ชันบวก (หลักการ Dataflow ข้อที่ 2 และ 3)
3. ฟังก์ชันบวกทำงาน (หลักการ ข้อที่ 1) เพราะมีข้อมูลพร้อม
4. หลังจากฟังก์ชันบวกทำงานจะส่งผลลัพธ์ไปให้ Terminal ทั้ง 2 คือ Fahrenheit และ Waveform Chart พร้อมกัน (หลักการ ข้อที่ 2 และ 3)

6.2.7.2 Data Type (ประเภทของข้อมูล)

เช่นเดียวกับกับภาษาโปรแกรมอื่นๆ เช่น ภาษา C ที่มีประเภทของข้อมูล ประเภทของข้อมูลใน LabVIEW ที่สำคัญจะประกอบด้วย Numeric, Boolean, String และ Waveform ซึ่งแต่ละรูปแบบของประเภทข้อมูลจะมีการแยกสีให้แตกต่างกัน (Color Code)

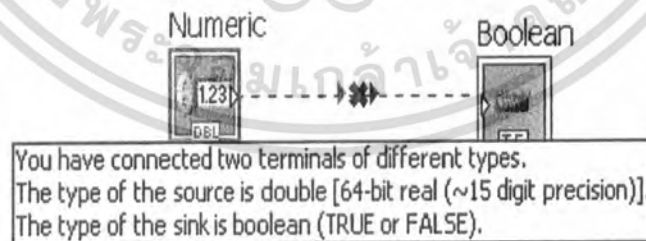
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ -



ภาพที่ 6.19 แสดง Data Type (ประเภทของข้อมูล)

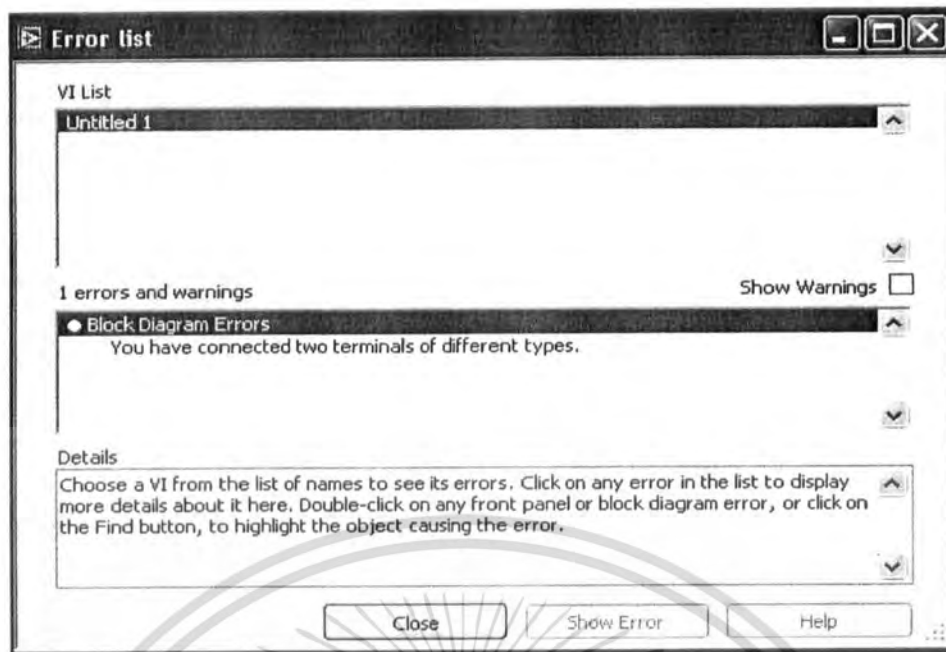
ซึ่งแต่ละประเภทของข้อมูลจะมีฟังก์ชันที่แยกตามประเภทกัน รวมทั้งสี่ของ (Wiring) จะขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 6.19

ประเภทของข้อมูลมีความสำคัญในการเขียนโปรแกรม เพราะฟังก์ชัน หรือ SubVI รับรูปแบบ Input และให้ Output แตกต่างกันไป เช่น ฟังก์ชันคุณรับข้อมูลประเภทตัวเลขหรือ Array ของตัวเลข ซึ่งถ้านำเอาข้อมูลประเภทตัวอักษร (String Data Type) มาป้อนที่ด้าน Input Terminal แล้ว LabVIEW จะแสดงเส้น (Wire) เป็นเส้นประ ซึ่งเราสามารถดูคำอธิบายได้ โดยการเลื่อน Cursor ไปเหนือเส้นประนั้น ดังแสดงในภาพที่ 6.20 หรือ Click ที่ปุ่ม Run เพื่อให้แสดง Error List ดังแสดงในภาพที่ 6.21



ภาพที่ 6.20 การ Wiring ที่ผิด

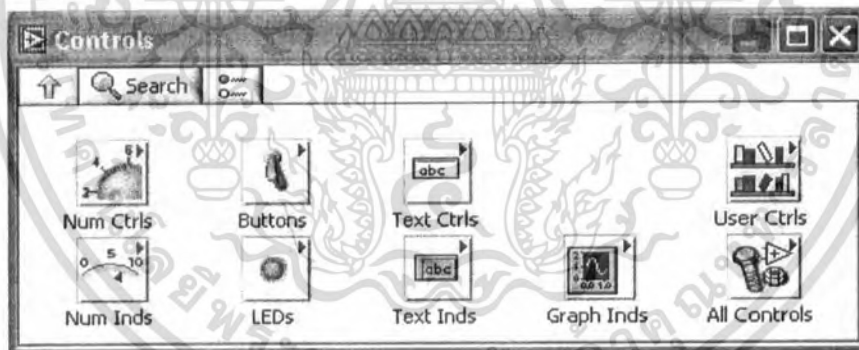
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.21 Error List

6.2.8 Numeric Data type

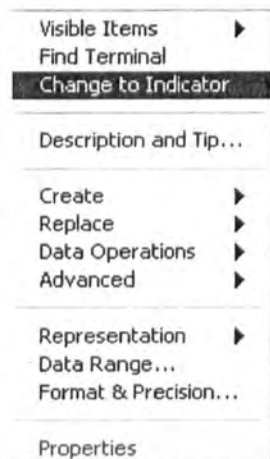
6.2.8.1 Numeric Control และ Indicator



ภาพที่ 6.22 Numeric Control และ Indicator

LabVIEW มีรูปแบบการรับข้อมูลเข้า (Input = Control) และแสดงผล (Output = Indicator) ชนิดแบบตัวเลขหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละตัวถูกกำหนดเป็น Control หรือ Indicator ไว้แล้ว แต่เราสามารถเปลี่ยนจาก Control เป็น Indicator หรือจาก Indicator เป็น Control ได้โดยการ Right Click ที่ Numeric Control หรือ Indicator นั้นแล้วเลือก Change to Control หรือ Change to Indicator ดังแสดงในภาพที่ 6.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.23 การเปลี่ยน Change to Indicator

นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติอื่นๆ อีกที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการ Right Click ที่สิ่งนั้น (Object) แล้วเลือกจาก Short Cut Menu ของ Object นั้นๆ หรือเลือกจากเมนู Properties ซึ่งเริ่มมีใน LabVIEW ตั้งแต่ เวอร์ชัน 7.0 ขึ้นไป คุณสมบัติที่สำคัญคือ

1. Visible Item>>Digital Display เพิ่มการแสดงผลเป็นตัวเลข เช่น แสดงตัวเลขของค่า Meter Indicator



ภาพที่ 6.24 Visible Item

2. Change to Control/Change to Indicator เป็นการเปลี่ยนจาก Control เป็น Indicator เป็น Control Representation เป็นการเลือกรูปแบบความละเอียดของตัวเลขในการใช้งาน ดังต่อไปนี้

2.1. Data Range เป็นการกำหนดช่วงค่าที่จะใช้งาน เช่น สามารถกำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุดที่จะให้ผู้ใช้ป้อนอยู่ระหว่าง 0.00-100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. Scale ปรับรูปแบบสเกลตามความเหมาะสมในการใช้งาน

2.3. Format และ Precision เป็นการกำหนดรูปแบบการแสดงผลแบบและจำนวนตัวเลขทศนิยม ซึ่งสามารถเลือกให้แสดงผลแบบตัวเลขดังต่อไปนี้ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบ (Representation) ของตัวเลขที่ใช้งานด้วย

รูปแบบของตัวเลขมีให้เลือกแสดงผลหลายรูปแบบ

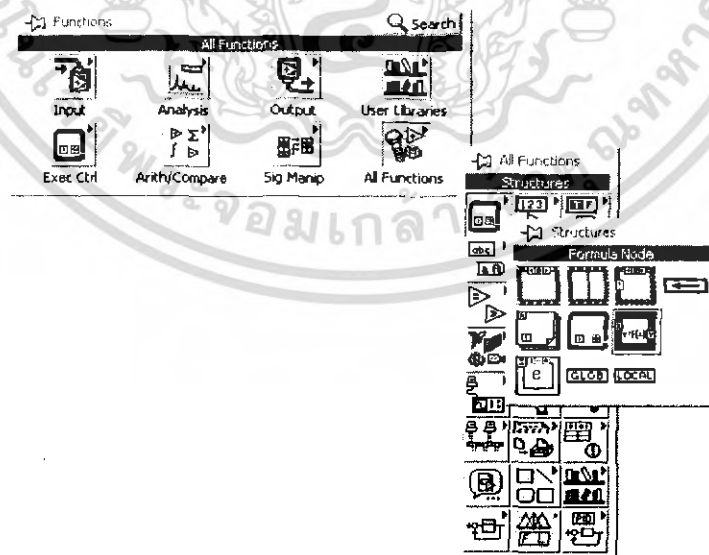
- Decimal: เลขฐานสิบ
- Hexadecimal: เลขฐาน 16
- Octal: เลขฐาน: 8
- Binary: เลขฐาน: 2
- Time and Date: รูปแบบเวลา

6.2.8.2 Numeric Functions

ฟังก์ชัน (Function) หรือ SubVI ที่เกี่ยวกับตัวเลขสามารถเลือกใช้ได้จาก Function Palette>>All Function Palette>>All Functions>>

6.2.9 Formula Node

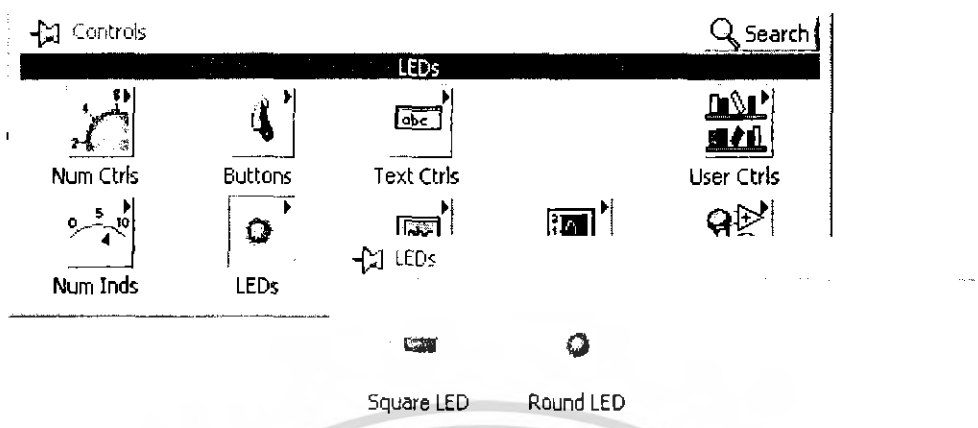
ในกรณีที่สมการคำนวณซับซ้อนมากขึ้น การใช้ฟังก์ชันตัวเลข (Numeric Function) หลายตัวมาต่อกันอาจทำให้การความเข้าใจการทำงานของสมการต่างๆยากขึ้น หรือเขียนโปรแกรมเร็วขึ้น ถ้าเราเขียนเป็นสมการแบบ Text based ใช้ Formula Node ในการเขียนสมการแบบ Text based



ภาพที่ 6.25 Formula Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.10 Boolean Data type



ภาพที่ 6.26 Boolean Data type

Boolean Controls และ Indicators เป็นรูปแบบ Input และ Output ซึ่งมีสองสถานะคือ เปิด กับปิด (On หรือ Off) หรือ จริงกับเท็จ (True/False) นอกเหนือจากค่าจริงกับเท็จหรือเปิดกับปิดแล้ว LabVIEW สามารถกำหนดการทำงาน Switch Control ให้มีการทำงานทางกลศาสตร์คล้ายกับสวิตช์จริง ดังแสดงในภาพที่ 6.26

6.2.11 Sub VI

6.2.11.1 การสร้างและการเลือกใช้ SubVI

การสร้าง SubVI

SubVI คือ VI ที่เราสร้างขึ้นเพื่อที่จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยสามารถเลือกใช้จาก VI อื่นๆ SubVI คล้ายกับ Sub Routine หรือ Function ในภาษา Text based Programs

การสร้าง SubVI จะมี 2 วิธี คือ

1. การสร้างจาก VI ให้เป็น SubVI
2. การสร้าง SubVI จาก VI ที่กำลังพัฒนาอยู่

6.2.11.2 การเรียกใช้ SubVI

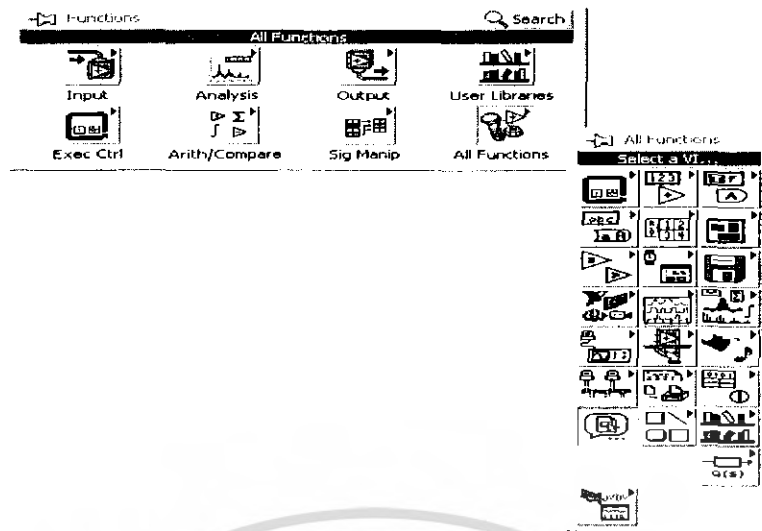
เราสามารถเรียก SubVI มาใช้ได้ 2 วิธี

1. โดยการเปิด SubVI ที่เราต้องการเรียกใช้ตามปกติแล้ว Click ที่ Icon แล้วลากมา

วางบน Block Diagram

2. Click เลือก SubVI จาก Functions Palette >> All Functions >> Select a VI ...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.27 วิธีเลือก SubVI

6.2.12 DEBUG

การ Debug VI คือ การตรวจสอบว่าการทำงานของ VI เป็นไปตามที่เราได้ออกแบบไว้หรือว่ามี ความผิดพลาดของการทำงานที่ใดบ้าง

- Tool ที่ใช้สำหรับการ Debugging VI
- Break Point Tool คือ จุดที่เรากำหนดว่าเมื่อโปรแกรม Run มาถึงจุดนี้ให้หยุดการทำงาน เพื่อที่เราจะทำการตรวจสอบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม
- Probe Tool คือ ข้อมูลที่เราต้องการดู ณ จุดต่างๆ กัน

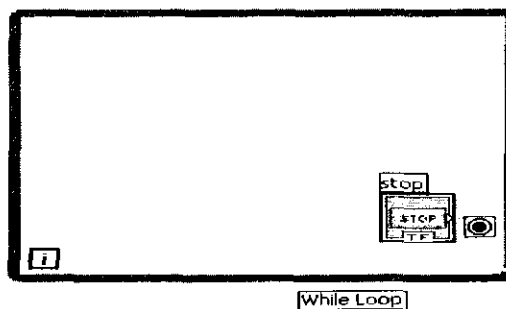


ภาพที่ 6.28 Set/Clear Breakpoint

6.2.13 While Loop

While Loop คือ การกำหนดให้ Code หรือ Program ใน Loop ทำงานซ้ำจนกระทั่ง Condition ของ While Loop เป็นไปตามที่กำหนด ดังแสดงในภาพที่ 6.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.29 While Loop

6.2.14 Wait (ms) และ Wait until Next ms Multiple

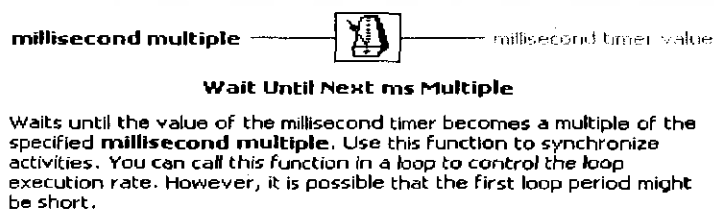
ฟังก์ชันที่ใช้บ่อยใน While Loop หรือ For Loop คือ ฟังก์ชันที่กำหนดเวลาให้วนซ้ำทุกๆ มิลลิวินาที (Milliseconds / ms) คือ Wait (ms) และ Wait until Next ms Multiple ความแตกต่างระหว่างฟังก์ชัน Wait (ms) กับ Wait until Next ms multiple นี้คือ

ฟังก์ชัน Wait (ms) จะรอตามจำนวนมิลลิวินาที (ms) ที่ป้อนเข้าไป เช่น จากรูปหลังจากทำงานในส่วนของ Code ใช้เวลา 10 ms แล้วจะรออีก 500 ms แล้วจึงจะวน Loop ใหม่ทำให้แต่ละ Loop จะใช้เวลา 10 ms+500 ms ดังแสดงในภาพที่ 6.30

ส่วนฟังก์ชัน Wait until Next ms Multiple จากรูปสมมุติว่า Code ใน Loop ใช้เวลา 10 ms เช่นเดียวกัน แต่การรอจริงๆ จะใช้เวลา 490 ms ก่อนที่จะวน Loop ใหม่ทำให้ในแต่ละ Loop ใช้เวลา 500 ms หรือ 10 ms ใน Code และ 490 ms สำหรับ Wait until Next ms Multiple ดังแสดงในภาพที่ 6.31



ภาพที่ 6.30 Wait (ms)

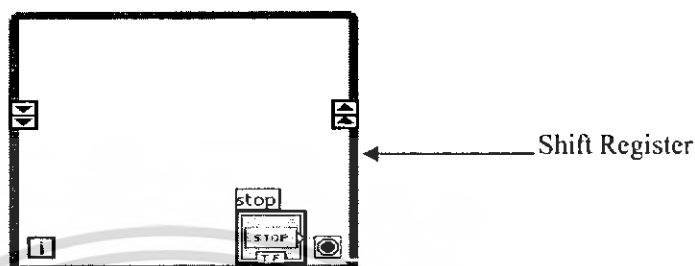


ภาพที่ 6.31 Wait Until ms Multiple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.15 Shift Register

Shift Register หรือ Feedback Node ใช้ร่วมกับ While Loop หรือ For Loop สำหรับการเก็บค่าไว้เพื่อใช้ขึ้นการวนซ้ำครั้งต่อไป Shift Register สามารถสร้างได้โดย Right Click ที่ขอบของ For Loop หรือ While Loop ดังแสดงในภาพที่ 6.32



ภาพที่ 6.32 Shift Register

6.2.16 Feedback Node

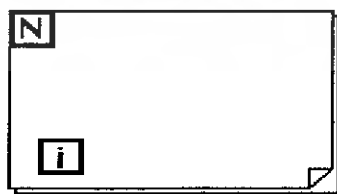
Feedback Node จะคล้ายกับ Shift Register แต่ใช้แทนกันในกรณีที่จะลดการลากสายที่ยาวและซับซ้อนและไม่มี Stack ของ Shift Register สามารถเปลี่ยน Feedback เป็น Shift Register ได้โดยการ Right Click ที่ Feedback Node เลือก Replace with Shift Register ดังแสดงในภาพที่ 6.33

Feedback Node

ภาพที่ 6.33 Feedback Node

6.2.17 For Loop

For Loop คล้ายกับ While Loop แต่จะใช้กำหนดค่าให้วนซ้ำจำนวนกี่ครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 6.34

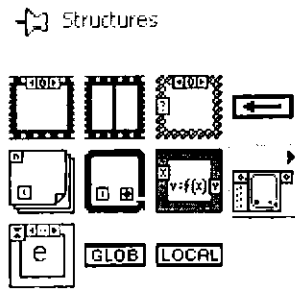


For Loop

ภาพที่ 6.34 For Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.18 Stacked Sequence และ Flat Sequence Structure

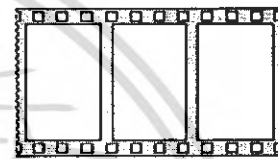


ภาพที่ 6.35 Structures Palette



Stacked Sequence Structure
[Stacked Sequence]

ภาพที่ 6.36 Stacked Sequence



Flat Sequence Structure
[Flat Sequence]

ภาพที่ 6.37 Flat Sequence

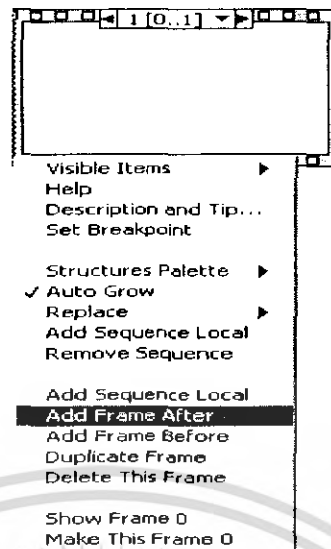
Sequence เป็นการควบคุมการไหลของโปรแกรมแบบตามลำดับ Frame คล้ายกับฟิล์มรูป ซึ่งโปรแกรมจะเริ่มทำงานตั้งแต่ Frame ลำดับที่ 0 ถัดไปเป็น Frame ลำดับที่ 1 ถัดไปเป็น Frame ลำดับที่ 2 ซึ่งการไหลของโปรแกรมไม่สามารถย้อนกลับไปยัง Frame ก่อนหน้าได้ เช่น ถ้า Frame ลำดับที่ 2 ทำงานเสร็จไม่สามารถให้ย้อนกลับไปทำงานลำดับที่ 1 ต่อได้

Stacked Sequence กับ Flat Sequence มีการทำงานเหมือนกันเพียงแต่ว่า Flat Sequence นั้นสามารถมองเห็น Code ในทุกๆ Sequence ได้ แต่ Stacked Sequence จะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการเขียนโปรแกรมได้มากขึ้น

การเพิ่ม Sequence สามารถทำได้โดยการ Right Click ที่ขอบของ Sequence แล้วเลือก Add Frame After หรือ Add Frame Before

Add Frame After จะทำการเพิ่ม Frame ลำดับถัดไป เช่น ถ้าอยู่ที่ลำดับที่ 2 แล้วเลือก Add Frame After LabVIEW จะสร้าง Frame ลำดับที่ 3 ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.38 Add Frame

Add Frame Before จะทำการเพิ่ม Frame ลำดับก่อนหน้าลำดับที่เราอยู่ปัจจุบัน ซึ่งหลังจากเพิ่ม Frame แล้วลำดับที่เราอยู่ปัจจุบันจะถูกจัดเป็นลำดับถัดไป เช่น ถ้าเราอยู่ที่ลำดับ Frame ลำดับที่ 2 แล้วเลือกที่ Add Frame Before LabVIEW จะทำการเพิ่ม Frame ลำดับที่ 2 และย้ายลำดับที่ที่เราอยู่ปัจจุบันเป็นลำดับที่ 3

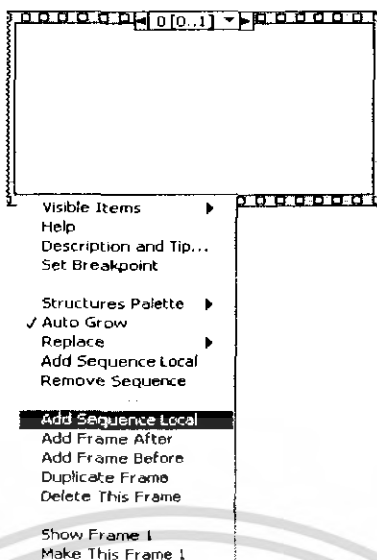
เราสามารถดูลำดับต่าง ๆ ของ Sequence โดยการ Click ที่ Frame Selector หรือ Right Click แล้วเลือก Show Frame



ภาพที่ 6.39 Show Frame

ในการส่งค่าจาก Frame หนึ่งไปอีก Frame หนึ่ง หน้าถัดไปๆ (แต่ไม่ใช่ Frame ก่อนหน้า) ของ Stacked Sequence ได้โดยการ Right Click ที่ขอบของ Sequence แล้วเลือก Add Frame Local

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.40 Add Sequence Local

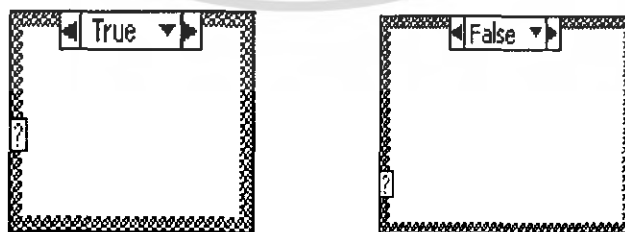
6.2.19 Case Structure

Case Structure ใช้ในการเลือกการทำงานเฉพาะ Code ที่อยู่ในแต่ละกรณีโดยการเปรียบเทียบค่าที่เข้ามาในตัวเลือก ((1) ในรูป) เท่ากับกับค่ากรณี ((2) ในรูป)

ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบตัวเลือก((1) ในรูป) และกรณี ((2) ในรูป) อาจเป็นค่าตรรกะ (Boolean) ตัวเลข (Numeric) ตัวอักษร (String) หรืออื่นๆ ก็ได้ไม่จำเป็นต้องเป็นค่า Boolean เสมอไปซึ่งค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบอาจเป็นค่าเดียวหรือช่วงของค่าหรือหลายค่าได้

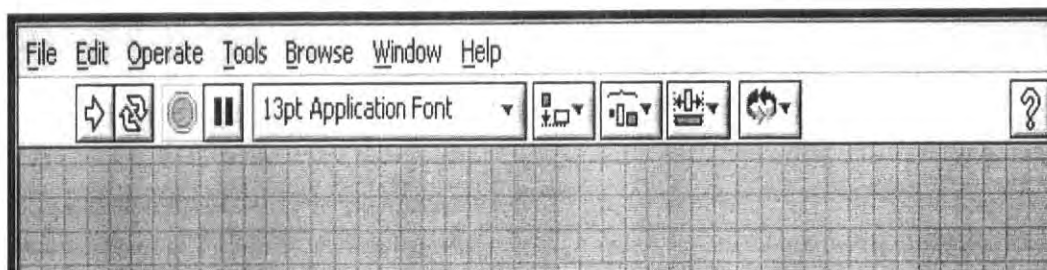
ช่วงของค่าสามารถใช้ “..” เป็นตัวกำหนด เช่น 1...100 หมายถึงช่วงค่าระหว่าง 1 ถึง 100 หรือ ...1 หมายถึงน้อยกว่า 1 เป็นต้น ถ้ามีหลายค่าสามารถใช้ “,” ในการกำหนดค่า เช่น 1, 5, 7 หมายถึงค่า 1, 5, 7 เป็นต้น

สามารถเพิ่มกรณีใหม่ได้โดยการ Right Click ที่ขอบ Case Structure และเลือก Add Case After หรือ Add Case Before



ภาพที่ 6.41 Case Structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

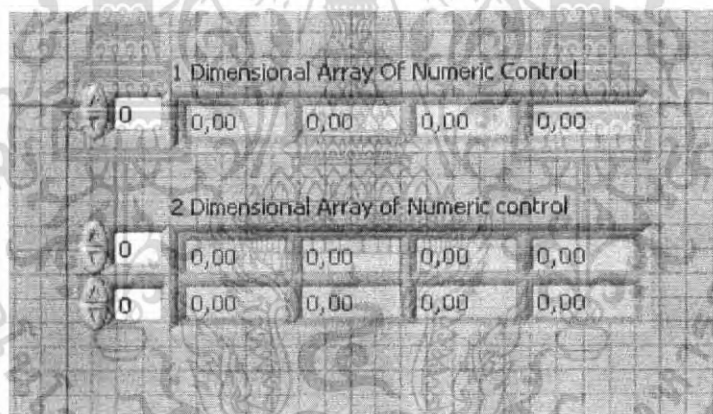


ภาพที่ 6.44 Text Settings

6.2.21 Array

Array คือ กลุ่มของข้อมูลในรูปแบบเดียวกัน เช่น กลุ่มของตัวเลข กลุ่มของข้อความ หรือกลุ่มของตรรกะ (Boolean) แต่ละข้อมูลใน Array เรียกว่า Element เราสามารถอ้างอิงข้อมูลใน Array (Element) ได้โดยใช้ดัชนี (Index) Element แรกสุดใน Array จะมี Index เป็น 0

Array ที่ใช้งานบ่อยๆจะมี 1 มิติ (1 Dimensional Array) และมี 2 มิติ (2 Dimensional Array) ดังแสดงในภาพที่ 6.45



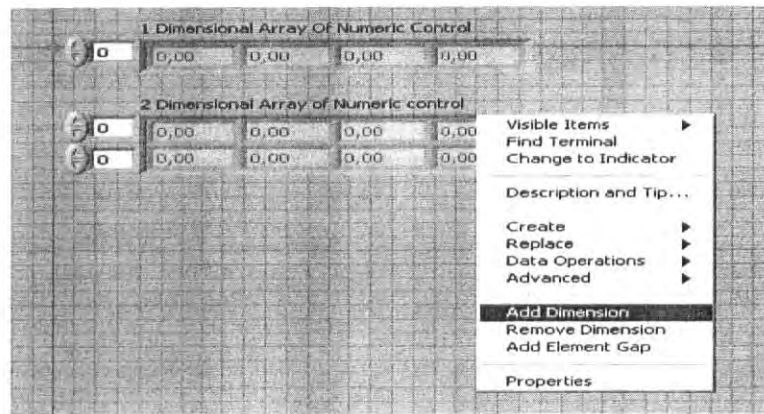
ภาพที่ 6.45 Array

Array Control และ Array Indicator

การสร้าง Array Control หรือ Indicator สามารถสร้างได้โดยการ Click เลือก Control Palette >> All Controls >> Array and Cluster แล้วนำมาวางบน Front Panel จากนั้นให้เลือก Control หรือ Indicator ที่ต้องการ เช่น ตัวเลข จาก Controls Palette แล้วนำมาวางภายใน Array ที่สร้างขึ้นมาก่อนหน้านี้

ถ้าต้องการเพิ่มมิติ (Dimension) ของ Array สามารถทำได้โดยการ Right Click ที่ Array ที่สร้างขึ้นมา แล้วเลือก Add Dimension

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.46 Add Dimension

Array Functions

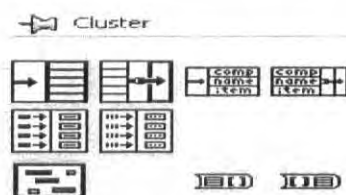


ภาพที่ 6.47 Array Function

ฟังก์ชันต่างๆ เกี่ยวกับ Array สามารถเลือกได้จาก Functions Palette >> All Functions >> Array รวมถึงการเลือกใช้งานของฟังก์ชันต่างๆ ตามข้อมูลใน Array เช่น ในกรณีที่มี Element เป็นตัวเลข (Numeric) เราสามารถเรียกเป็นฟังก์ชันของตัวเลข (Numeric Functions) ได้ เช่น สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันบวก (Add) กับ Array ที่มีข้อมูลแบบตัวเลขได้

6.2.22 Cluster

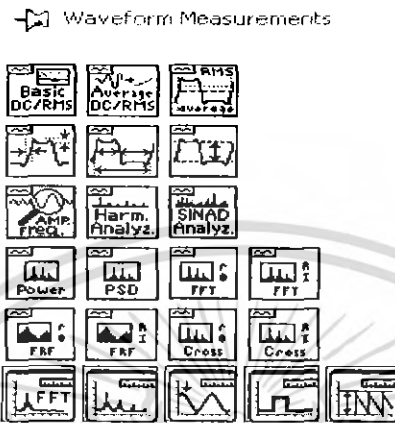
Cluster Control และ Indicator



ภาพที่ 6.48 Cluster

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเหนือจากฟังก์ชันของ Waveform แล้วฟังก์ชันในการวิเคราะห์หลาย ๆ ฟังก์ชันจาก Function Palette >> All Functions >> Analyze (ไม่มีใน LabVIEW Base Development System) เช่น ฟังก์ชันหา Root Mean Square ของ Waveform และยังมีหลายๆ Toolset ของ LabVIEW ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ในรูปแบบต่างๆ กัน



ภาพที่ 6.50 Waveform Measurements

เช่น Advanced Signal Processing Toolset ก็ใช้ Waveform Data Type รวมถึงฟังก์ชันของ Data Acquisition ให้ผลลัพธ์ออกมาเป็น Waveform Data Type เช่น Acquire Waveform.vi

6.2.24 Waveform Chart



ภาพที่ 6.51 Waveform Chart

Waveform Chart โคชปกติจะรับข้อมูลประเภทตัวเลขแล้วเก็บข้อมูลใน Buffer ซึ่งการแสดงผลอาจอยู่ในรูปต่างๆ ขึ้นอยู่กับรูปแบบข้อมูล (Data Type) ที่ป้อนไปยัง Waveform Chart ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

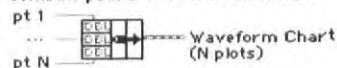
Waveform Charts:

Wire data directly to chart:

Data	Resulting Chart
Scalar	Single plot - 1pt
1D	Single Plot - 1 or more pts
WDT	Single Plot - 1 or more pts
2D	Multiplot - 1 or more pts

WDT (Waveform Data Type) includes timing info.

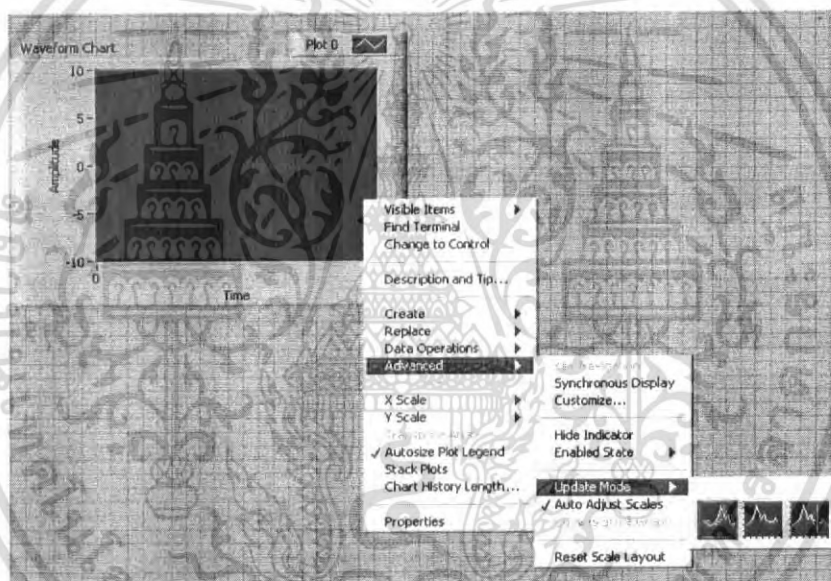
Or combine points with a bundle node:



Or use timing information in WDT.

ภาพที่ 6.52 การใช้งาน Waveform Chart

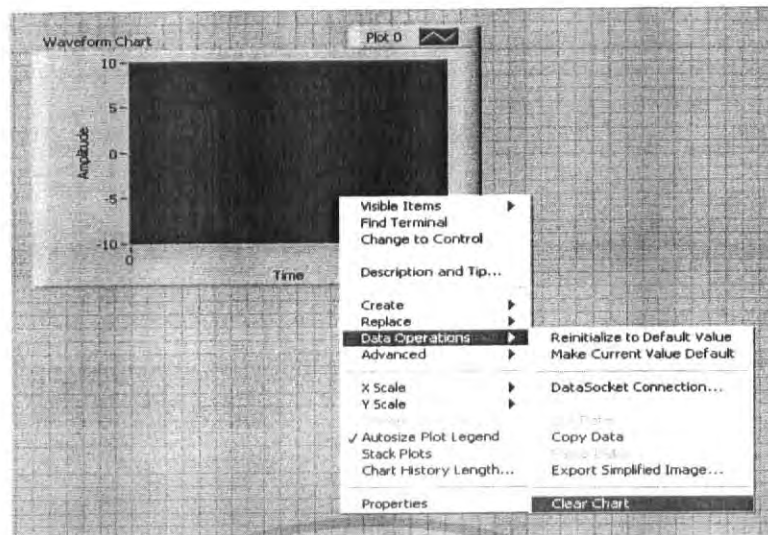
การแสดงผล (Update) ข้อมูลของ Chart จะมีอยู่ 3 รูปแบบคือ Strip Chart, Scope Chart หรือ Sweep Chart



ภาพที่ 6.53 การแสดงผลข้อมูล Chart

ซึ่งการแสดงผลในรูปแบบต่างๆของ Chart จะอาศัยข้อมูลที่เก็บไว้ใน Buffer ของ Chart ซึ่งเราสามารถกำหนดขนาดของ Buffer ได้โดยการ Right Click ที่ Chart แล้วเลือก Chart History Length ถ้าเราต้องการล้างข้อมูลใน Buffer สามารถทำได้โดยการ Right Click ที่ Chart แล้วเลือก Data Operation >> Clear Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.54 แสดงการล้างข้อมูลที่ Chart

6.2.25 Waveform Graph



ภาพที่ 6.55 Waveform Graph

ข้อมูลที่ป้อนให้กับ Waveform Graph จะเป็นข้อมูลประเภท Array ของตัวเลขหรือ ข้อมูลประเภท Waveform เช่น ถ้า Array ของตัวเลขเป็นชนิด 1 มิติ (Dimension) จะแสดง Graph 1 เส้น หรือถ้า Array ของตัวเลขเป็นชนิด 2 มิติ(Dimension) จะแสดง Graph หลายเส้นขึ้นอยู่กับจำนวน Row ของ Array ของตัวเลข

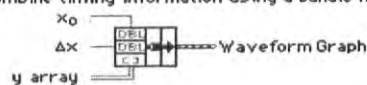
Waveform Graphs:

Wire data directly to waveform graph:

Y Array	Resulting Graph
1D	Single Plot
WDT	Single Plot
2D	Multiplot

WDT (Waveform Data Type) includes timing info. Others default to 0 for x_0 and 1 for Δx .

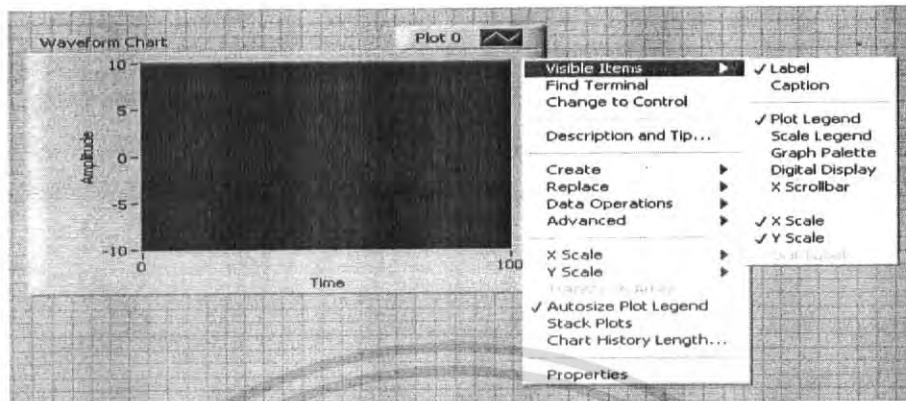
Combine timing information using a bundle node:



ภาพที่ 6.56 การใช้งาน Waveform Graph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของ Waveform Graph สามารถกำหนดให้แสดงหรือซ่อนไว้ได้โดยกำหนดได้จาก Properties หรือ Right Click ที่ Graph แล้วเลือก Visible Items



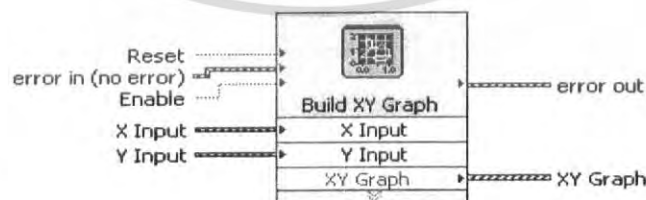
ภาพที่ 6.57 Visible Items

6.2.26 X-Y Graph



ภาพที่ 6.58 Express XY Graph

LabVIEW เวอร์ชัน 7 จะมี Express XY Graph เพื่อให้ง่ายในการใช้งาน แต่หลักการของ XY Graph เหมือนกับ เวอร์ชันก่อนๆ คือเราป้อนค่า X และ Y ในรูปของ Array และ XY Graph จะทำการ Plot ค่าให้



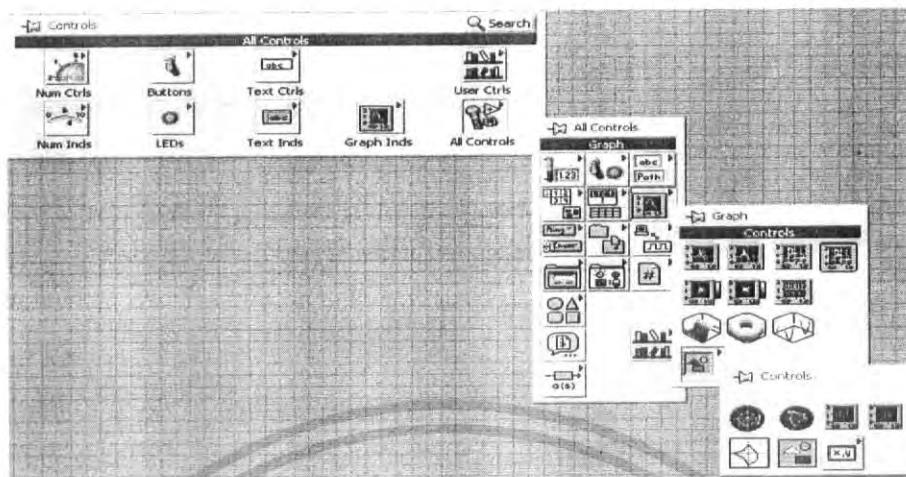
Build XY Graph

formats the data displayed on an X-Y Graph.

ภาพที่ 6.59 การใช้งาน XY Graph

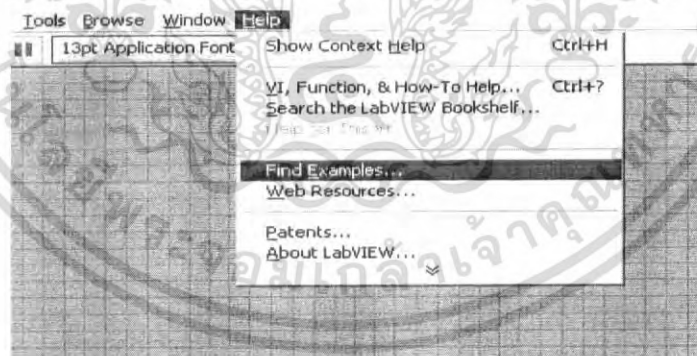
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.27 Other Graphs (กราฟรูปแบบอื่นๆ)



ภาพที่ 6.60 แสดงกราฟลักษณะอื่นๆ

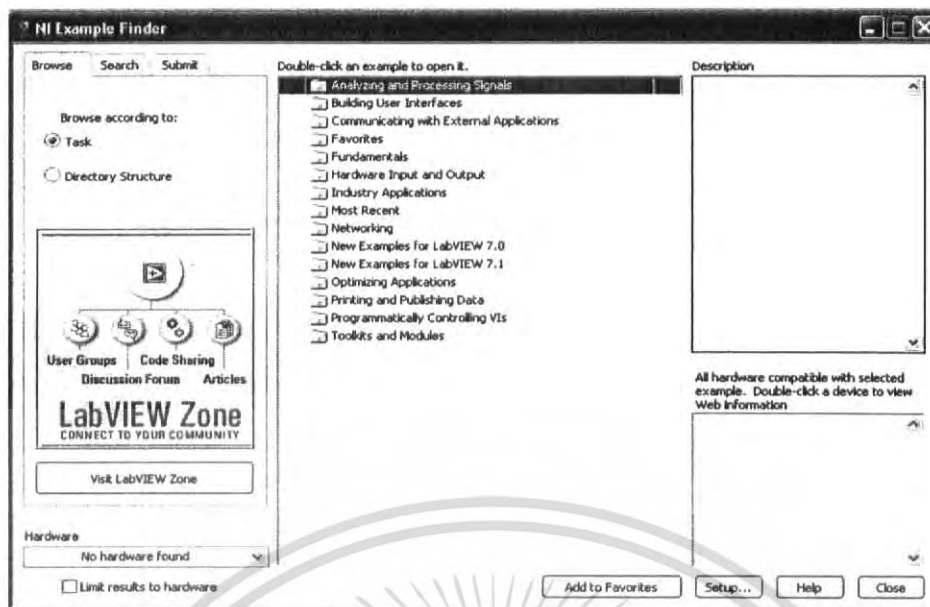
Waveform Chart , Waveform graph และ XY Graph เป็นรูปแบบการแสดงผลประเภท Graph ที่ใช้งานบ่อย ยังมี Graph รูปแบบอื่น ๆ อีก เช่น Intensity Chart , Intensity Graph , Digital Waveform Graph และ 3D Graph ต่างๆ ซึ่งตัวอย่างต่างๆ สามารถ Search หาได้โดยการพิมพ์ชื่อรูปแบบของ Graph ลงใน Find Examples (มีตั้งแต่ LabVIEW 6.1 ขึ้นไป) โดย click ที่ Help >> Find Examples ดังแสดงในภาพที่ 6.60



ภาพที่ 6.61 วิธีใช้ Help

แล้วเลือก Search แล้วพิมพ์ชื่อ Graph ที่เราต้องการ เช่น ถ้าเราต้องการ Plot Intensity Graph เราสามารถพิมพ์คำว่า Intensity แล้ว Double Click ใช้ช่อง Keyword แล้ว Double Click โปรแกรม ตัวอย่างเพื่อศึกษารูปแบบการป้อนข้อมูลในแต่ละรูปแบบของ Graph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.62 NI Example Finders

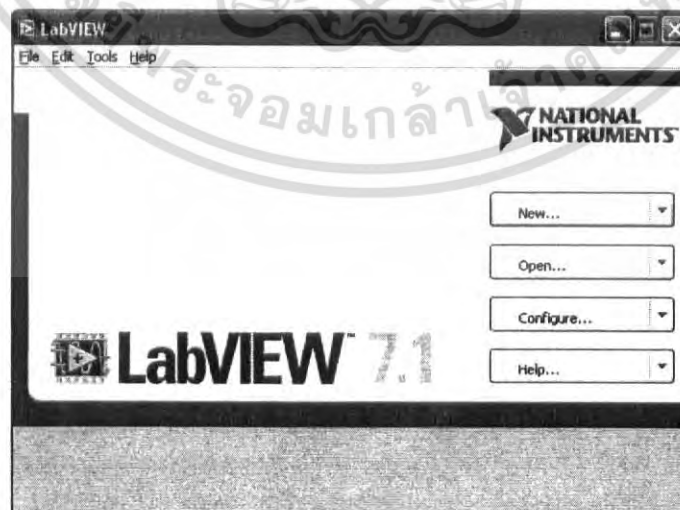
หรือเลือกดูตัวอย่างรูปแบบกราฟต่าง ๆ จาก LabVIEW X.X >> Examples >> General >> Graphs

6.3 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

6.3.1 การออกแบบโปรแกรม ตัวควบคุม PID ด้วยโปรแกรม LabVIEW

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

1. Click ที่ New... เพื่อสร้าง โปรแกรมใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 6.63

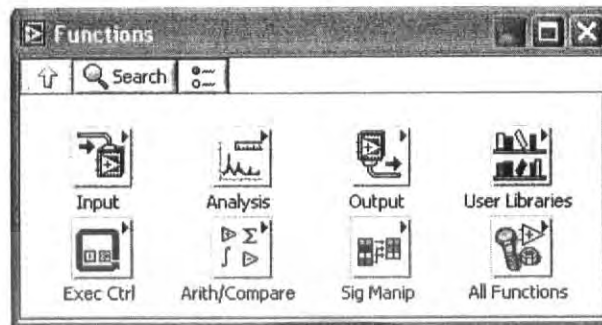


ภาพที่ 6.63 LabVIEW 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือก PID Advance.vi ในหน้าต่างของ Block Diagram มาวางที่หน้าต่าง Block Diagram

2.1 Click ขวาที่หน้าต่าง Block Diagram



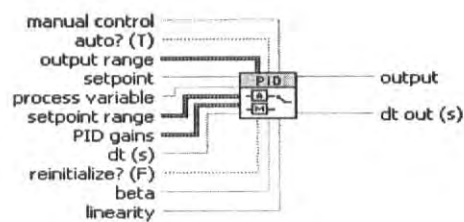
ภาพที่ 6.64 Functions

2.2 เลือก All Functions



ภาพที่ 6.65 All Functions

2.3 เลือกตัวควบคุม PID Advance.vi



ภาพที่ 6.66 PID Advance.vi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งตัวควบคุม PID นี้มีค่าสำหรับต่อใช้งานอยู่ 13 ค่า คือ

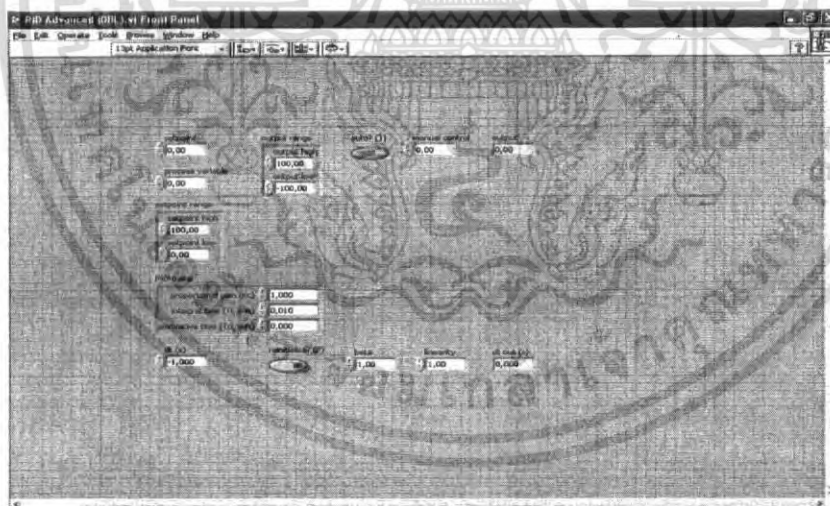
1. Set point เป็นค่าที่ใช้สำหรับป้อนค่าเป้าหมาย
2. Process Variable เป็นค่าที่ใช้สำหรับต่อกับสัญญาณของกระบวนการ
3. PID Gain เป็นค่าที่ใช้ป้อนค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ
4. dt(s) เป็นค่าที่ใช้สำหรับป้อน Sampling time ของกระบวนการ
5. dt out(s) เป็นค่าที่ใช้สำหรับแสดงสถานะของ Sampling time ว่าสามารถใช้ได้

หรือไม่ เพราะในการทำงานที่มีประสิทธิภาพค่าของ dt(s) และ dt out(s) จะต้องเท่ากัน

6. Reinitialize
7. Output เป็นค่าที่ใช้สำหรับส่งค่าสัญญาณ Mv ออกไปควบคุมกระบวนการ
8. Output Range เป็นค่าสำหรับใช้ในการปรับตั้ง Range Output ให้สัมพันธ์กับ

กระบวนการ

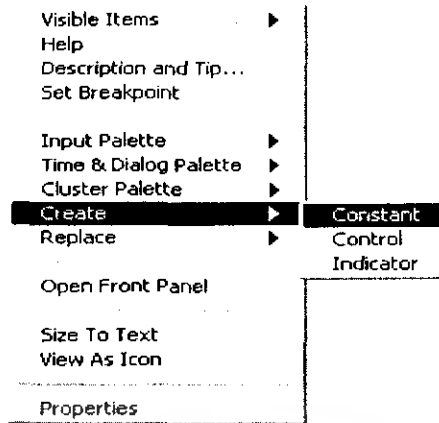
9. Manual control เป็นการปรับการควบคุมโดยผู้ใช้งาน
10. Auto เป็นการปรับการควบคุมโดยอัตโนมัติ
11. Beta
12. Linearity เป็นแบบเชิงเส้น
13. Set points range ผ่านการใช้งานของ set points



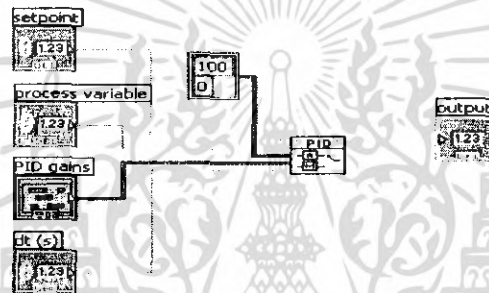
ภาพที่ 6.67 แสดงลักษณะส่วนของ Font Panel ของ PID Advance.vi

3. ต่ออินพุตให้กับขาต่างๆของ PID Advance.vi โดยการ Click ขวา ที่จุดต่อแต่ละขาแล้ว ไปสร้าง Constant, Control, Indicator แล้วแต่วัตถุประสงค์ของการเขียน โปรแกรม เช่น ดังแสดงใน ภาพที่ 6.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

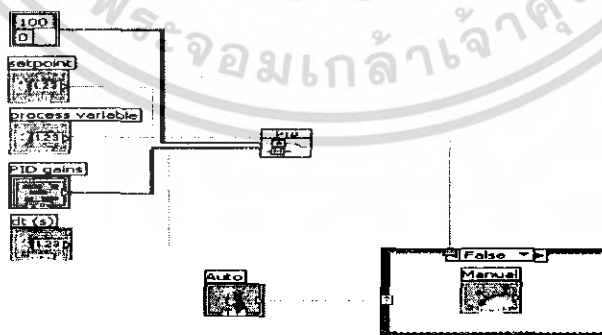


ภาพที่ 6.68 การเลือก Constant



ภาพที่ 6.69 ลักษณะการต่อ PID Advance.vi

4. เพิ่มปุ่ม Auto/Manual ในการควบคุมสัญญาณ MV เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

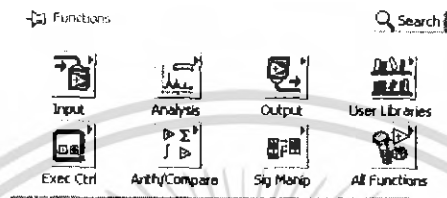


ภาพที่ 6.70 ลักษณะการต่อ PID Advance.vi และ Auto/Manual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

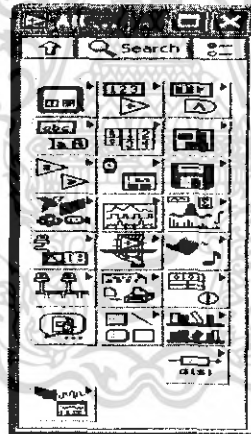
5. สร้างฟังก์ชันการอินเทอร์เฟซขึ้นมา ซึ่งมีหน้าที่แปลงค่า MV ที่ได้จากตัวควบคุมให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน แล้วส่งไปยัง Final Control Element เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิในเตาอบ รวมทั้งต้องทำหน้าที่รับสัญญาณจาก Transmitter เพื่อแปลงค่าเป็นสัญญาณ PV แล้วส่งกลับไปยังตัวควบคุมเพื่อทำการประมวลผล

5.1 Click ขวาที่หน้าต่าง Block Diagram



ภาพที่ 6.71 Block Diagram

5.2 เลือก All Functions



ภาพที่ 6.72 All Functions

5.3 เลือก User Libraries



ภาพที่ 6.73 User Libraries

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

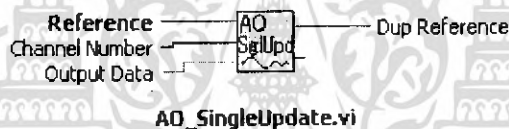
5.4 เลือก VI-DAQ AIO



ภาพที่ 6.74 VI-DAQ AIO

5.5 หน้าที่ใช้การใช้งานของฟังก์ชันการอินเทอร์เฟสแต่ละตัวมีดังนี้

AO_singleUpdate มีหน้าที่อัปเดตค่าเอาต์พุตของช่องสัญญาณที่กำหนด ซึ่งมีขาใช้งานดังนี้



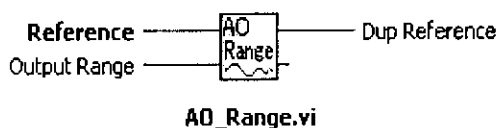
ภาพที่ 6.75 AO_singleUpdate

- Reference จะต่อกับขา Reference out ของ AO_Config
- Channel Number เป็นการกำหนดช่องสัญญาณซึ่งก็คือ Update output
- Output Data เป็นขาที่รับค่าเอาต์พุต จากตัวควบคุม
- Dup reference เป็นการส่งสัญญาณอ้างอิงให้กับฟังก์ชันอื่นๆซึ่งในที่นี้ต่อกับ

AO_Range

ดังนี้

AO_Range มีหน้าที่กำหนดย่านของเอาต์พุตของทุกๆช่องสัญญาณซึ่งมีขาใช้งาน



ภาพที่ 6.76 AO_Range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

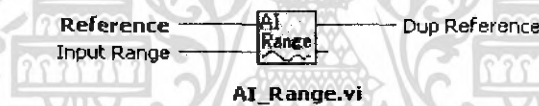
- Reference จะต่อกับขา Dup Reference ของ AO_singleUpdate
- Output Range เป็นการกำหนดข่านของค่าเอาต์พุตที่ได้รับมา โดยในที่นี้จะกำหนดเป็นเลข 6 คือการกำหนดให้มีข่านการใช้งานอยู่ที่ 0 ถึง 10 V

AIO_Config มีหน้าที่กำหนดอุปกรณ์ภายนอกที่จะทำให้ตัวมันสามารถทำงานได้ ซึ่งมีขาใช้งานดังนี้



ภาพที่ 6.77 AIO_Config

- Device Name เป็นการกำหนดชื่อของอุปกรณ์ภายนอก ที่ใช้ในการอินเตอร์เฟส
 - Reference Output ใช้สร้างสัญญาณอ้างอิงให้กับฟังก์ชันอื่นๆ
- AI_Range** มีหน้าที่กำหนดข่านอินพุตของทุกๆช่องสัญญาณ ซึ่งมีขาใช้งานดังนี้

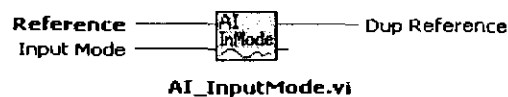


ภาพที่ 6.78 AI_Range

- Reference จะต่อกับขา Reference Output ของ AIO_Config
- Input Range เป็นการกำหนดข่านของค่าอินพุตที่ได้รับมา โดยในที่นี้จะกำหนดเป็นเลข 6 คือการกำหนดให้มีข่านการใช้งานอยู่ที่ 0 ถึง 10 V

- Dup reference เป็นการส่งสัญญาณอ้างอิงให้กับฟังก์ชันอื่นๆ ซึ่งในที่นี้ต่อกับ AI_InputMode

AI_InputMode มีหน้าที่กำหนด single end หรือค่าความแตกต่างของอินพุต ซึ่งมีขาใช้งานดังนี้



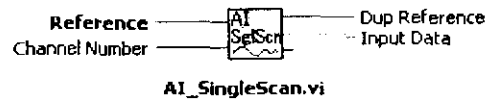
ภาพที่ 6.79 AI_InputMode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Reference จะต่อกับ Dup Reference ของ AI_Range
- Dup reference เป็นการส่งสัญญาณอ้างอิงให้กับฟังก์ชันอื่นๆซึ่งในที่นี้ต่อกับ

AI_SingleScan

AI_SingleScan มีหน้าที่อ่านค่าที่ได้จากช่องสัญญาณที่กำหนด ซึ่งมีขาใช้งาน ดังนี้



ภาพที่ 6.80 AI_SingleScan

- Reference จะต่อกับ Dup Reference ของ AI_InputMode
- Channel Number เป็นการกำหนดช่องสัญญาณทางอินพุต
- Dup reference เป็นการส่งสัญญาณอ้างอิงให้กับฟังก์ชันอื่นๆซึ่งในที่นี้ต่อกับ

AIO_Close

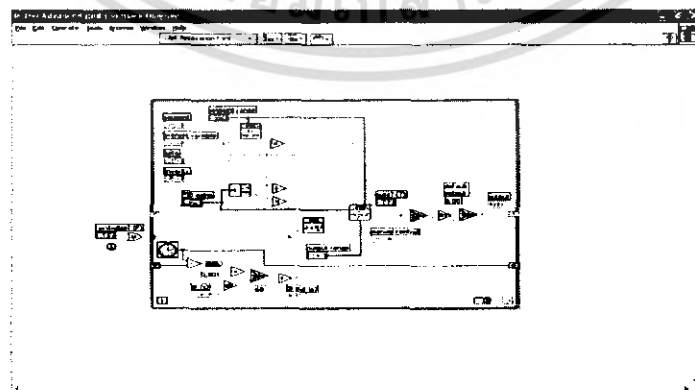
- Input Data ส่งค่าอินพุตให้กับตัวควบคุม

AIO_Close มีหน้าที่กำหนดจุดสิ้นสุดของการอินเทอร์เฟส ซึ่งมีขาการใช้งาน ดังนี้



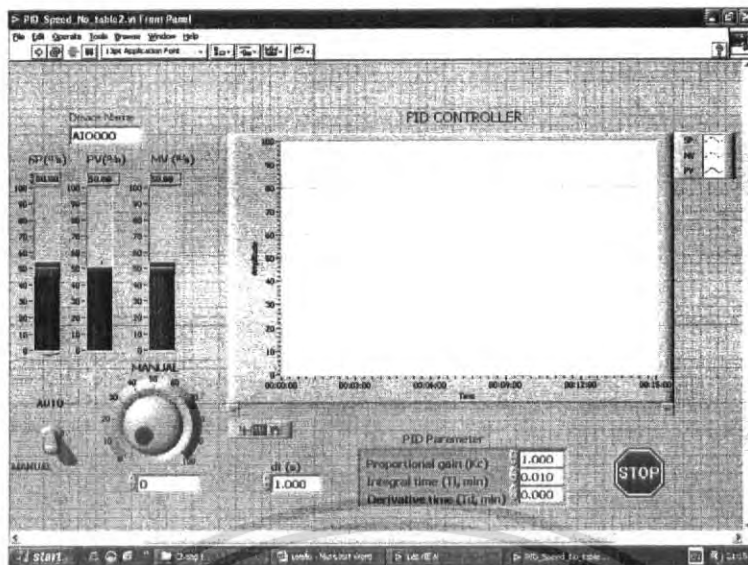
ภาพที่ 6.81 AIO_Close

- Reference จะต่อกับ Dup Reference ของ AI_SingleScan

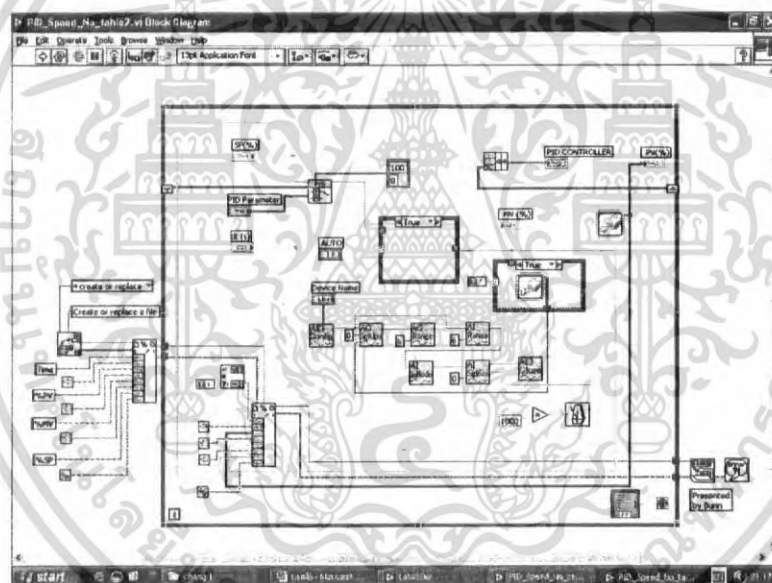


ภาพที่ 6.82 แสดงลักษณะส่วนของ Block diagramของ PID Advance.vi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.83 แสดงโปรแกรมตัวควบคุม PID ในหน้าต่าง Front Panel



ภาพที่ 6.84 แสดงโปรแกรมตัวควบคุม PID ในหน้าต่าง Block diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

โครงสร้างส่วนประกอบของกระบวนการ และการออกแบบ กระบวนการ

7.1 กล่าวนำ

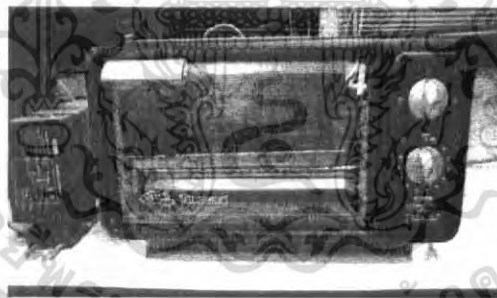
ในที่นี้จะเป็นการออกแบบระบบ รวมทั้งส่วนที่ใช้ในการเขียน โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมกระบวนการ และนำอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในกระบวนการมาเชื่อมต่อกัน เช่น Thermocouple type K, Thermocouple Transmitter TT95, Signal converter SC 95, การ์ด AD12-16(PCI)E และเตาอบ เพื่อให้ได้กระบวนการตามต้องการ

7.2 โครงสร้างส่วนประกอบของกระบวนการ

7.2.1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์เชื่อมต่อของกระบวนการ

7.2.1.1 เตาอบ

เตาอบเป็นส่วนของอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิภายใน ดังแสดงใน ภาพที่ 7.1 และลักษณะ โครงสร้างเตาอบไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 7.2



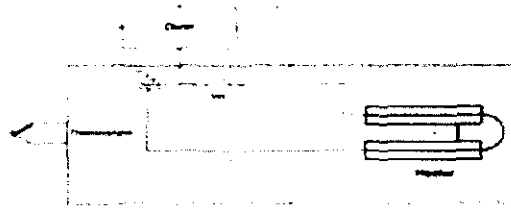
ภาพที่ 7.1 แสดงภาพเตาอบไฟฟ้า

ข้อมูลทางเทคนิค

เตาอบไฟฟ้า Turbora รุ่น TGO-07

กำลังไฟฟ้าสูงสุด	650 W	: ความถี่คลื่นไฟฟ้า	50 Hz
ฮีตเตอร์บนรวม	325 W	: ความจุเครื่อง	7 L
ฮีตเตอร์ล่าง	325 W	: น้ำหนักโดยประมาณ	2.9 Kg.
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	220 V		

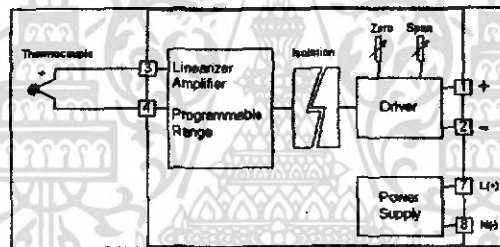
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.2 แสดงลักษณะ โครงสร้างเตาอบไฟฟ้า

7.2.1.2 Thermocouple Transmitter TT95

เทอร์โมคัปเปิ้ลจะรับค่าความร้อนมาจากเตาอบ ซึ่งเทอร์โมคัปเปิ้ลจะให้ค่าที่ออกมาเป็นมิลลิโวลต์เข้าที่ TT 95 แล้วทำการแปลงสัญญาณออกมาเป็น 1 ถึง 5 โวลต์ เพื่อส่งสัญญาณไปยังการ์ด CONTEC AD12-16(PCI)E และลักษณะของวงจรภายใน TT 95 ดังแสดงในภาพที่ 7.3



ภาพที่ 7.3 แสดงลักษณะของวงจรภายใน TT 95

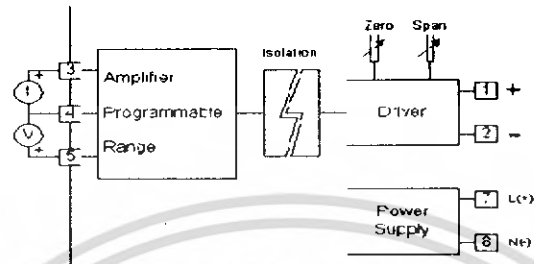
ข้อมูลทางเทคนิค

Thermocouple input	ย่านการใช้งานของ Type K	0 ถึง 200 °C
Cold junction Compensation		0 ถึง 50 °C
Linearity		< ± 0.2% ของ span
Out put		4 ถึง 20 มิลลิแอมป์
Power supply		220 VAC
Ambient temperature		0 ถึง 50 C
Isolations Voltage		แยกได้ถึง 500 VAC (1นาทื) ระหว่าง Input Output และPower supply
Connection		Plug -11 pins socket
Mounting	Wall or DIN rail	: Dimension W50×H70×D130mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.1.3 Signal converter SC 95

SC 95 เป็นอุปกรณ์ที่รับสัญญาณจากการ์ด CONTEC AD12-16(PCI)E แล้วแปลงสัญญาณจาก 1 ถึง 5 โวลต์เป็น 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ เพื่อส่งต่อไปควบคุมฮีสเตอร์ของเตาอบ และลักษณะของวงจรภายใน SC 95 ดังแสดงในภาพที่ 7.4



ภาพที่ 7.4 แสดงลักษณะของวงจรภายใน SC 95

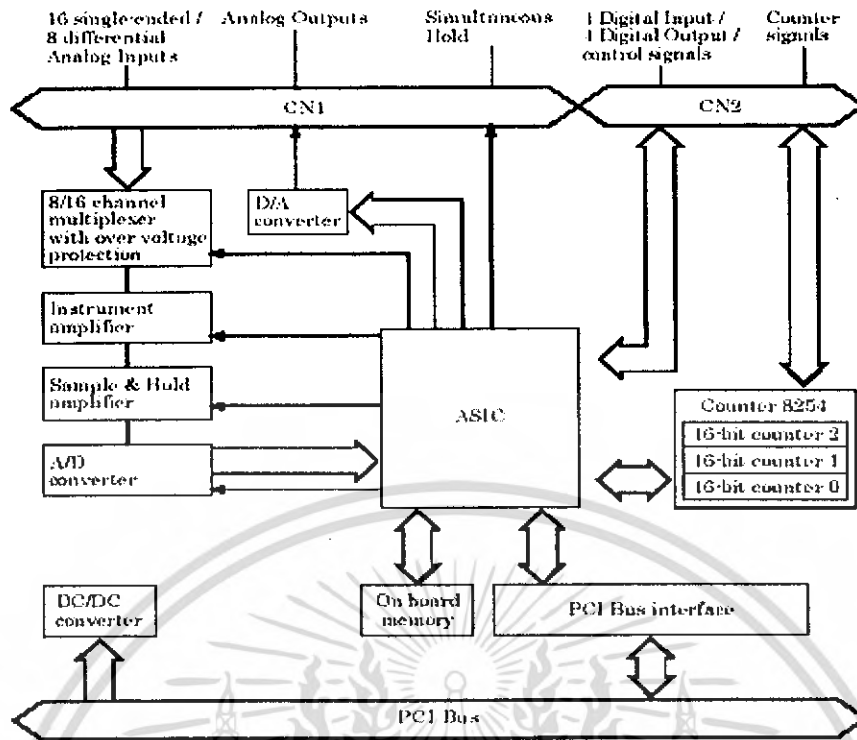
ข้อมูลทางเทคนิค

Input Voltage	Rang จาก	1 ถึง 5 โวลต์
Output		4 ถึง 20 มิลลิแอมป์
Linearity		$\pm 0.2\%$ ของ span
Isolation Voltage		แยกได้ถึง 500 VAC ระหว่าง Input Output และ Power supply
Power Supply		220 VAC
Ambient		0 ถึง 50 °C
Connection		Plug-11 pins socket
Mounting		Wall or DIN rail
Dimension		W50 × H70 × D130 mm.

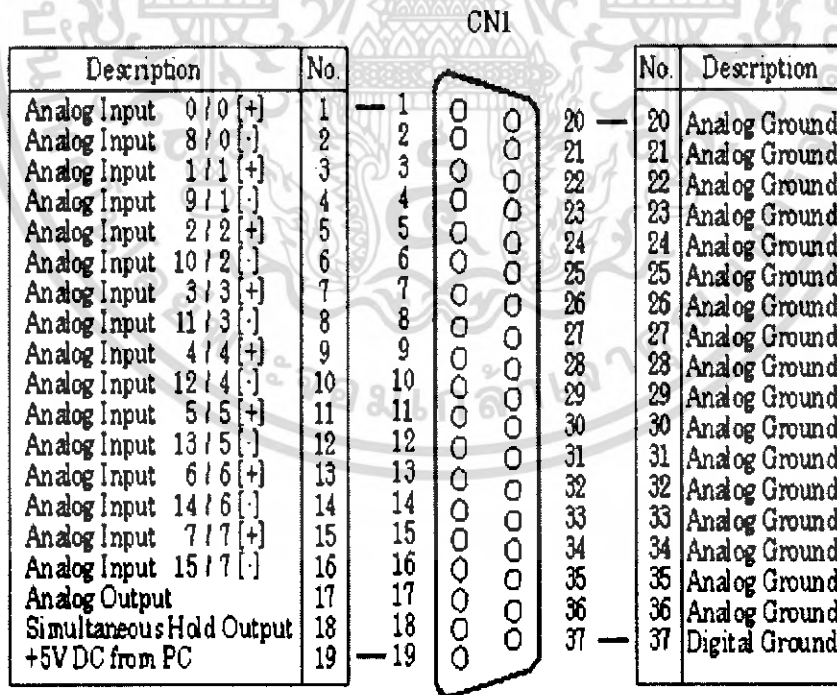
7.2.1.4 การ์ด CONTEC AD12-16(PCI)E

อุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้ติดต่อเชื่อมโยงข้อมูลทางอินพุต และเอาต์พุตซึ่งในการทดลองการเชื่อมต่อสัญญาณจะใช้การ์ด CONTEC AD12-16(PCI)E เชื่อมต่อกับ PC ทาง Slot PCI ซึ่งการ์ดตัวนี้จะรับค่าสัญญาณอนาลอกแล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล หลังจากคำนวณค่าและประมวลผลแล้วจะทำการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก เพื่อส่งสัญญาณไปยัง Final control element เพื่อควบคุมกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 7.5 และรายละเอียดขาของ CNI ของการ์ด CONTEC AD12-16(PCI)E ดังแสดงในภาพที่ 7.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.5 แสดง Block Diagram โครงสร้างภายในของการ์ด AD12-16(PCI)E



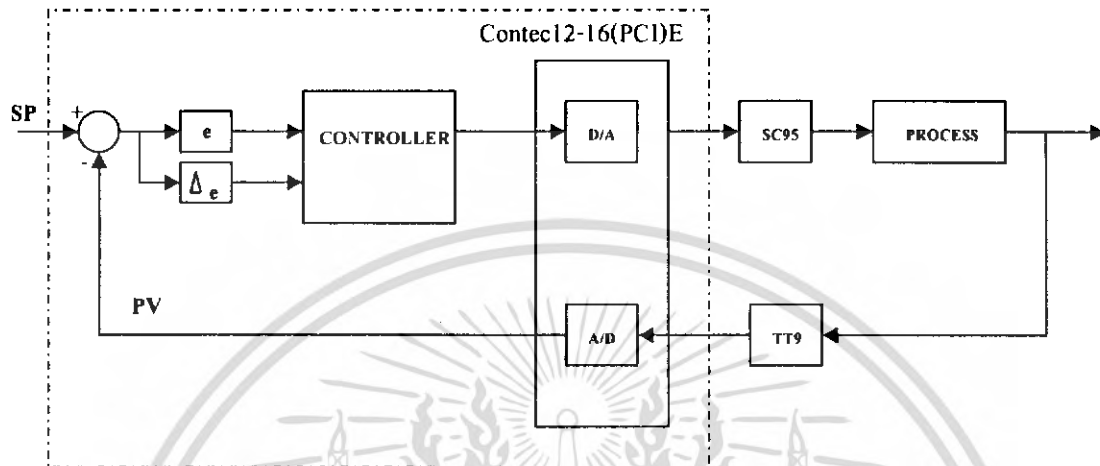
ภาพที่ 7.6 แสดงรายละเอียดขาของ CNI ของการ์ด AD12-16(PCI)E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2 LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW จะใช้ในการเขียน soft wear ลงบนการ์ด CONTEC AD12-16(PCI)E หรือ (Controller) เพื่อการควบคุมกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 7.7

Personal Computer

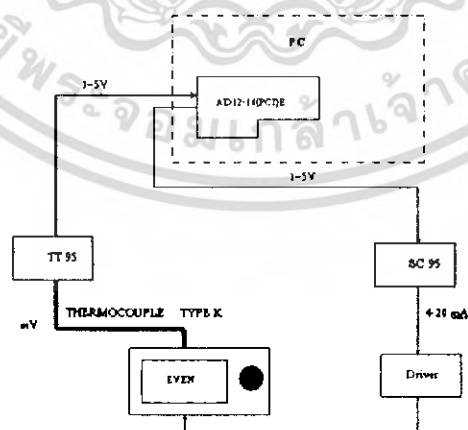


ภาพที่ 7.7 แสดงลักษณะ โครงสร้างของตัวควบคุมโดยใช้ LabVIEW

7.3 การออกแบบกระบวนการ

7.3.1 Plant

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ และโครงสร้างโคะแกรมของกระบวนการ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อนำมาออกแบบจะได้กระบวนการสำหรับควบคุมอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 7.8



ภาพที่ 7.8 แสดงลักษณะการออกแบบกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นจากสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากเตาอบ โดยใช้ Thermocouple type K ซึ่งจะต่ออยู่กับ Thermocouple Transmitter (TT 95) เพื่อวัดอุณหภูมิในเตาอบ แล้วแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐาน 1-5 V ไปยังการ์ด CONTEC เพื่อแปลงสัญญาณ อนุาลอก เป็น ดิจิตอล (A/D Converter) แล้วส่งให้กับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง Slot PCI จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะทำการประมวลผลตามหลักการของ ตัวควบคุม PID เพื่อที่จะนำค่าที่เหมาะสมออกมาที่การ์ด CONTEC อีกที เพื่อแปลงสัญญาณ ดิจิตอล เป็น อนุาลอก (D/A Converter) แล้วนำสัญญาณอนุาลอก 1-5 V ที่ได้ไปแปลงเป็นสัญญาณ มาตรฐาน 4-20 mA ที่ Signal Converter (SC 95) แล้วนำสัญญาณที่ได้ส่งไปยัง Process ซึ่งจะมี Final Control Element เพื่อควบคุมการทำงานของฮีสเตอร์ในเตาอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ผลการทดลอง

8.1 กล่าวนำ

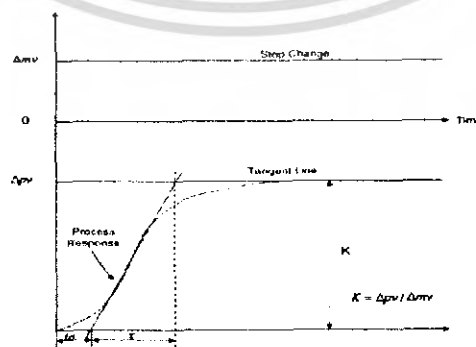
ในบทนี้จะนำเอาตัวควบคุมที่ได้ออกแบบไว้ด้วยโปรแกรม LabVIEW ก็คือ ตัวควบคุม PID ไปทดลอง เพื่อวิเคราะห์ เปรียบเทียบตัวควบคุมทั้งสอง ทั้งโดยวิธี Process Reaction Curve ของ (Ziegler-Nichols) และโดยวิธีหาทางเดินของราก (Root Locus) ว่ามีผลตอบสนองของกระบวนการเป็นอย่างไร

โดยค่าที่ได้จากกราฟผลการทดลองนั้น จะนำมาหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น Maximum Overshoot (%MP), Rise time (T_r), Delay time (T_d) และ Settling time (t_s)

สำหรับการทดลองนี้เราจะกำหนด setpoint (SP) ไปที่ค่า 40%, 60% และจาก 40% ถึง 60% และดูผลตอบสนองของกระบวนการในระดับต่างๆ

8.2 การทดลองตัวควบคุม PID โดยวิธี Process Reaction Curve ของ (Ziegler-Nichols) ด้วยโปรแกรม LabVIEW

ปรับตัวควบคุมให้อยู่ในตำแหน่ง Manual Mode เพื่อทำลูปเปิด แล้วทำการปรับค่า Mv ไว้ค่าๆ หนึ่งให้คงที่ตลอดในช่วง เพื่อทำการทดลองหาค่าที่ $Mv = 25\%$ แล้วสังเกตค่า Pv จากมอนิเตอร์ว่าได้ผลเป็น S Curve ดังรูปที่ 8.1 หรือไม่ ถ้าได้ก็ทำการลากเส้นสัมผัส Tangent Line แล้วทำการหาค่าอัตราขยายของกระบวนการ K, ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ τ (Time Constant) และค่า t_0 (Dead Time) จากนั้นก็เลือกวิธีการควบคุมรูปแบบ PID โดยวิธี Process Reaction Curve ของ (Ziegler-Nichols) จะได้ค่าของ K_c , T_i และ T_d ซึ่งใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Process Reaction Curve ดังแสดงในภาพที่ 8.1



ภาพที่ 8.1 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 8.1 จะได้ Transfer Function ดังสมการที่ (8.1)

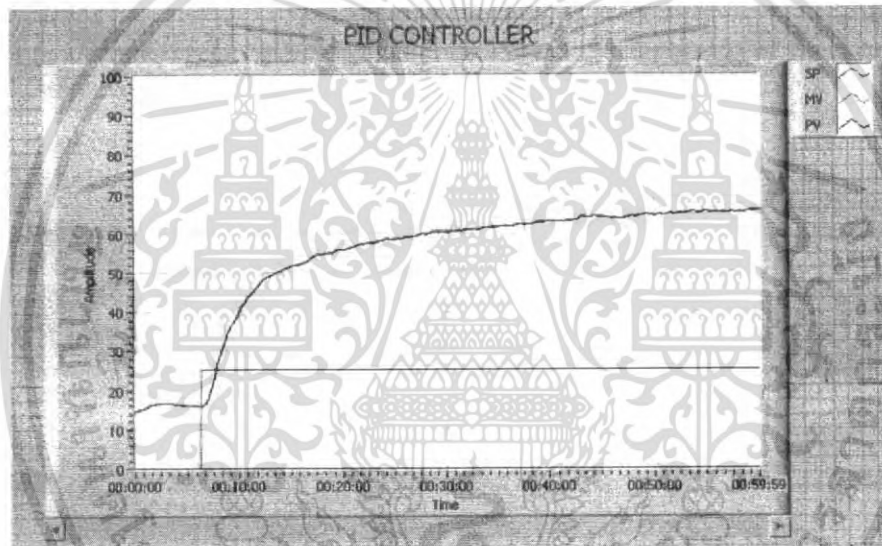
$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau_s + 1} \quad (8.1)$$

K คือ อัตราขยายของกระบวนการ

$$\text{ซึ่งมีค่า } K = \frac{\Delta PV}{\Delta MV}$$

t_0 คือ ค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ

τ คือ ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ



ภาพที่ 8.2 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S จากการทดสอบเปิดที่ Mv 25 %

นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากวิธี Process Reaction Curve โดยป้อน Input แบบ Unit Step ที่ $Mv = 25\%$ ดังแสดงในภาพที่ 8.2 แล้วนำไปทำการปรับละเอียด ซึ่งให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ดี เพื่อควบคุมกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด จึงได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

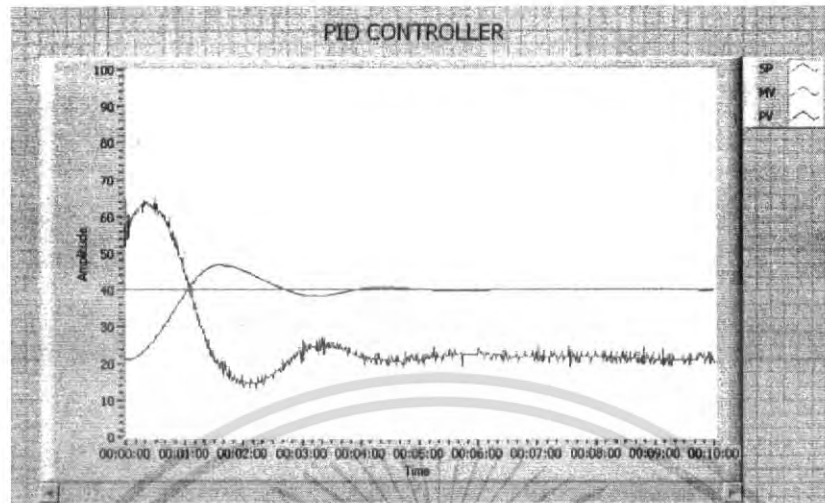
$$K_c = 2.814$$

$$T_i = 0.57$$

$$T_d = 0.142$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่า SetPoint ที่ 40% ในตัวควบคุม PID (Ziegler – Nichols)

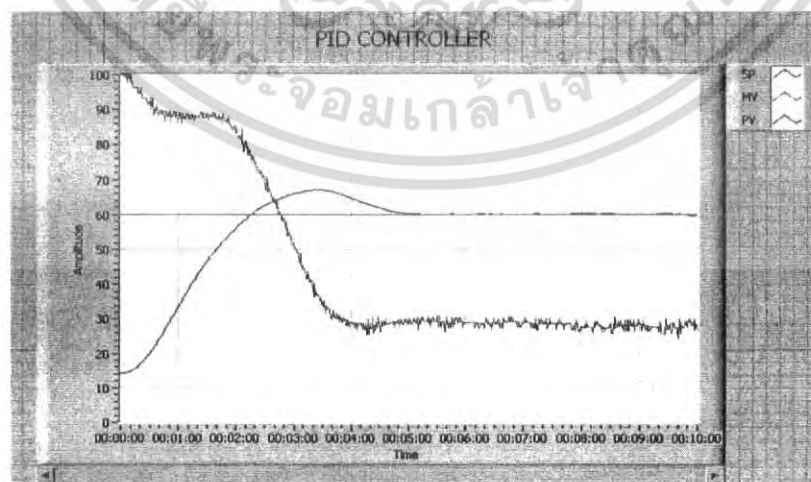


ภาพที่ 8.3 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Ziegler – Nichols) SetPoint ที่ 40%

ซึ่งสามารถหาผลตอบสนองของกระบวนการต่างๆ ได้ดังนี้

- Percent Maximum Overshoot: $\%M_p = 17.24\%$
- Rise Time: $t_r = 40$ seconds
- Settling Time: $t_s = 196$ seconds @ $\pm 2\%$
- Delay Time : $t_d = 39$ seconds

กำหนดค่า SetPoint ที่ 60% ในตัวควบคุม PID (Ziegler – Nichols)



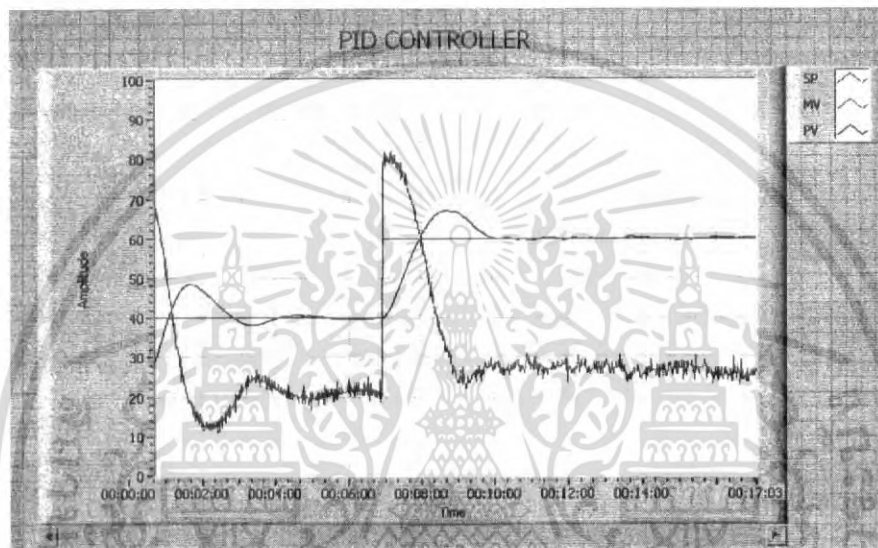
ภาพที่ 8.4 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Ziegler – Nichols) SetPoint ที่ 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถหาผลตอบสนองของกระบวนการต่างๆ ได้ดังนี้

- Percent Maximum Overshoot: $\%M_p = 11.735\%$
- Rise Time: $t_r = 92$ seconds
- Settling Time: $t_s = 268$ seconds @ $\pm 2\%$
- Delay Time : $t_d = 68$ seconds

กำหนดค่า %SetPoint จาก 40% ถึง 60% ในตัวควบคุม PID (Ziegler – Nichols)



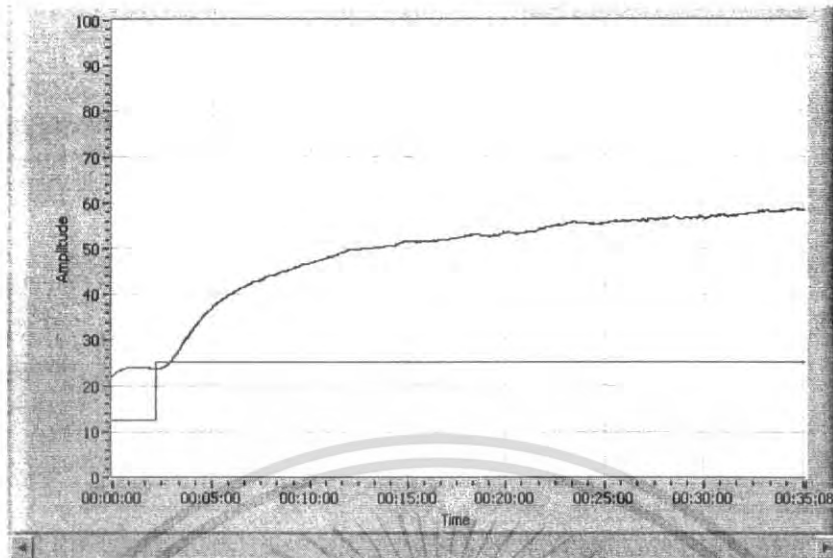
ภาพที่ 8.5 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Ziegler – Nichols) SetPoint จาก 40% ถึง 60%

8.3 การทดลองตัวควบคุม PID โดยวิธีหาทางเดินของราก (Root Locus) ด้วยโปรแกรม LabVIEW

โดยวิธีหาทางเดินของราก (Root Locus) จะทำการประมาณเป็นอันดับสอง โดยจะใช้วิธีการหาแบบจำลองของกระบวนการด้วยวิธีการสะสมผลตอบสนอง (Integrate Step Response: ISR) โดยการใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ k_0 , k_1 , k_2 โดยทำการป้อนอินพุตแบบ Unit Step ให้กับกระบวนการจริง แล้วดูผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว ดังแสดงในภาพที่ 8.6 ค่า $k_0 = 2.817$ คือ ค่าที่กระบวนการเข้าสู่สภาวะคงตัว แล้วทำการกำหนดจุด Saddle Point (S_d) ใหม่ เพื่อทำการหา Poles และ Zeros จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเทียบกับสมการของ PID จะได้ค่าพารามิเตอร์ของ K_c , T_i และ T_d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

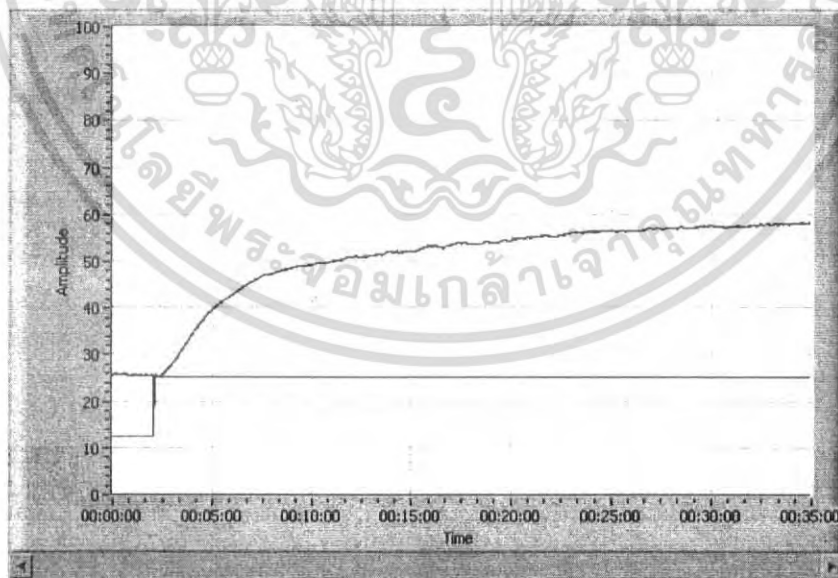
$$k_0 = 2.817$$



ภาพที่ 8.6 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ k_0

เมื่อได้ค่า k_0 แล้วทำการหาค่า k_1 โดยทำการป้อนอินพุตแบบ Unit Step ที่มีค่าเท่ากับที่หาค่า k_0 แล้วทำการอินทิเกรตเข้าไป ซึ่งดังแสดงในภาพที่ 8.7 จะได้ค่า k_1 เมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่

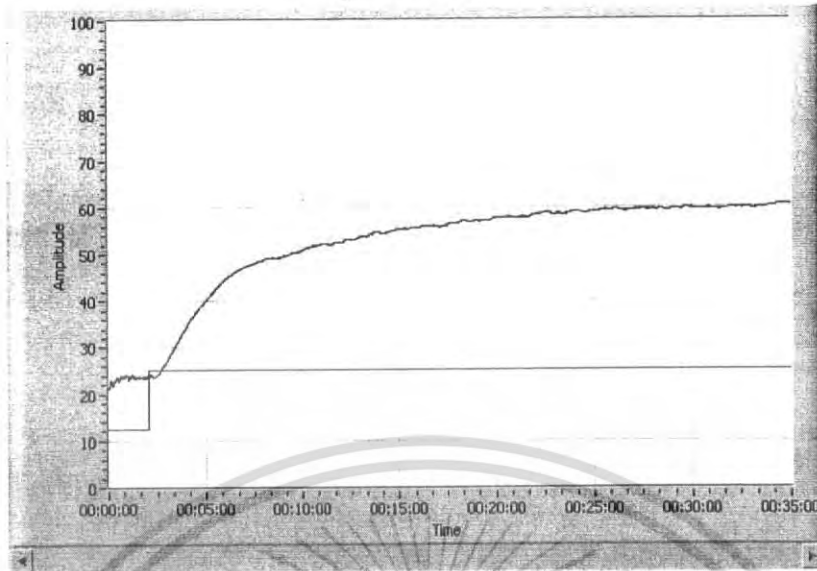
$$k_1 = 228.177$$



ภาพที่ 8.7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ k_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k_2 = 12.4 \times 10^3$$



ภาพที่ 8.8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการ k_2

ดังแสดงในภาพที่ 8.8 เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ k_2 ซึ่งวิธีการก็เหมือนกับการหาค่า k_1 เพียงแต่เพิ่มการอินทิเกรตเข้าไปเป็นสองครั้ง จะได้ค่า k_2 เมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่จะได้ค่า k_0, k_1, k_2 ดังนี้

$$k_0 = 2.817$$

$$k_1 = 228.177$$

$$k_2 = 12.4 \times 10^3$$

หลังจากที่ได้ค่า k_0, k_1, k_2 แล้วหา ทราจพอร์ฟังก์ชันของกระบวนการ จากสมการที่ (8.2)

$$a_1 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$$

$$a_2 = \tau_1\tau_2 + \tau_1\tau_3 + \tau_2\tau_3$$

$$a_3 = \tau_1\tau_2\tau_3$$

$$k_0 = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = a_0$$

$$k_1 = K_0 a_1$$

$$k_2 = a_1 K_1 - a_2 K_0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(s) = \frac{K_0 \prod_{i=1}^2 (1 + \gamma_i s)}{\prod_{i=1}^3 (1 + \tau_i s)}$$

$$= \frac{K_0 + b_1 s + b_2 s^2}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3} \quad (8.2)$$

จะได้ทรานเฟอร์ฟังก์ชันคือ

$$G(s) = \frac{0.0013}{s^2 + 0.0375s + 0.0005}$$

โดยที่

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

สมการคุณลักษณะของลูปปิด คือ

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

ξ = Damping Ratio

ω_n = Undamped Natural Frequency

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันจากระบบ คือ

$$\frac{0.0013}{s^2 + 0.0375 + 0.005}$$

จะได้รากของสมการ คือ

$$s_1, s_2 = -0.0187 \pm 0.01221i$$

หาค่า s_d จากสมการที่ (8.3)

$$s_d = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} \quad (8.3)$$

จะได้

$$s_d = -0.0198 \pm 0.0197i$$

เมื่อกำหนด

$$K_c = 12.2$$

%Mp ไม่เกิน 10%

Time Setting ประมาณ 200 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ Pole ใหม่ คือ

$$z_{c1}, z_{c2} = -0.026, -0.026i$$

จากสมการที่ (5.4)

$$\frac{K_c (s + z_{c1})(s + z_{c2})}{s} \quad (8.4)$$

จะได้

$$\begin{aligned} &= \frac{12.2(s + 0.026)(s + 0.026)}{s} \\ &= \frac{s^2 + 2(0.026)s + (0.026)^2}{s} \end{aligned}$$

จาก PID Controller ดังสมการที่ (8.5)

$$\begin{aligned} &= \frac{K_p s + K_i + K_D s^2}{s} \\ &= \frac{K_p \left[s^2 + \left(\frac{K_p}{K_D} \right) s + \frac{K_i}{K_D} \right]}{s} \end{aligned} \quad (8.5)$$

เทียบค่ากับสมการ PID

$$\frac{K_D \left[s^2 + \left(\frac{K_p}{K_D} \right) s + \frac{K_i}{K_D} \right]}{s} = \frac{12.2 [s^2 + 2(0.026)s + (0.026)^2]}{s}$$

จะได้ว่า

$$K_D = 12.2$$

$$\left(\frac{K_p}{K_D} \right) s = 2(0.026)s$$

$$K_p = 2(0.026)K_D = 2(0.026)12.2$$

$$K_p = 0.634$$

$$\frac{K_i}{K_D} = 0.026^2$$

$$K_i = (0.026)^2 (12.2)$$

$$K_i = 0.008$$

ดังนั้น

$$K_p = 0.634$$

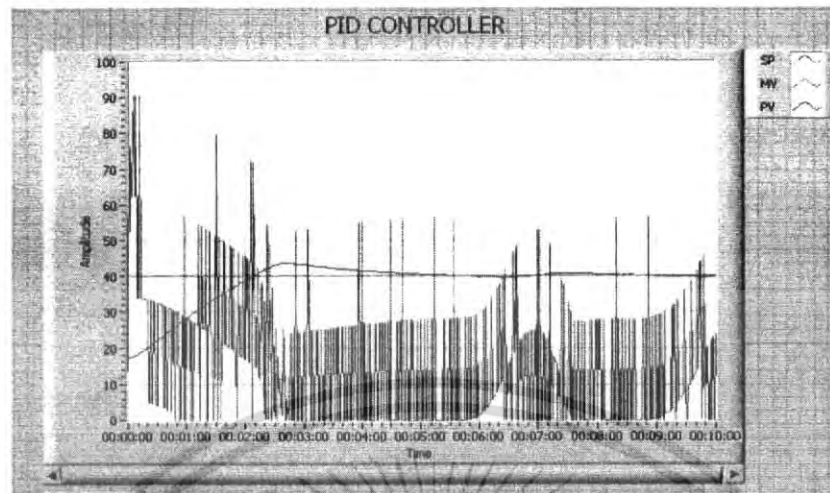
$$K_i = 0.008$$

$$K_D = 12.2$$

นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่า SetPoint ที่ 40% ในตัวควบคุม PID (Root - Luci)

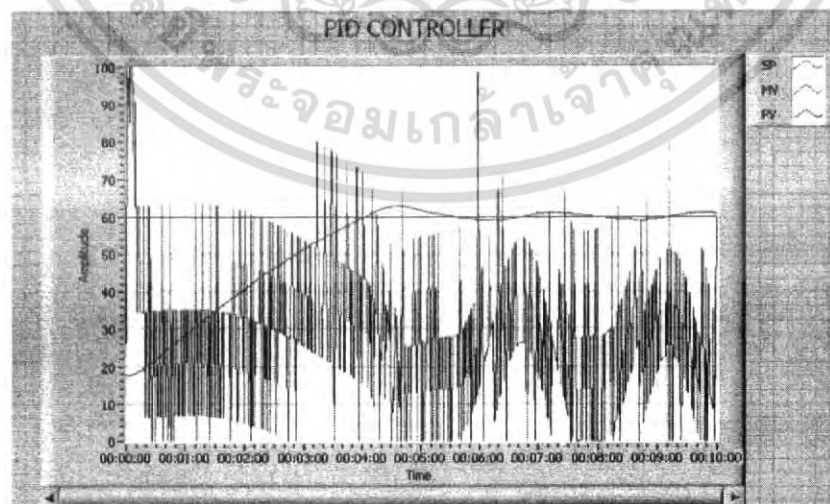


ภาพที่ 8.9 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Root -Luci) SetPoint ที่ 40%

ซึ่งสามารถหาผลตอบสนองของกระบวนการต่างๆ ได้ดังนี้

- Percent Maximum Overshoot: $\%M_p = 8.703\%$
- Rise Time: $t_r = 96$ seconds
- Settling Time: $t_s = 300$ seconds @ $\pm 2\%$
- Delay Time : $t_d = 58$ seconds

กำหนดค่า SetPoint ที่ 60% ในตัวควบคุม PID (Root - Luci)



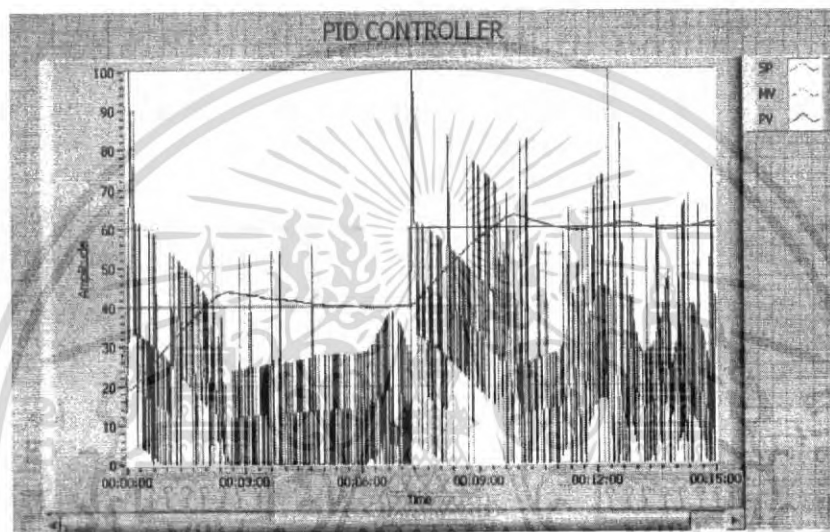
ภาพที่ 8.10 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Root -Luci) SetPoint ที่ 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถหาผลตอบสนองต่างๆ ได้ดังนี้

- Percent Maximum Overshoot: $\%M_p = 4.817\%$
- Rise Time: $t_r = 181$ seconds
- Settling Time: $t_s = 380$ seconds @ $\pm 2\%$
- Delay Time : $t_d = 111$ seconds

กำหนดค่า SetPoint จาก 40% ถึง 60% ในตัวควบคุม PID (Root - Luci)



ภาพที่ 8.11 แสดงผลการทดลองของตัวควบคุม PID (Root - Luci) SetPoint จาก 40% ถึง 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลการทดลอง

ปัจจุบัน เทคโนโลยีทางด้านระบบควบคุมได้ก้าวสู่ยุคดิจิทัล ตัวควบคุมที่ใช้จะเปลี่ยนจากตัวควบคุมแบบอนาล็อกเป็นตัวควบคุมแบบดิจิทัล ซึ่งจะใช้คอมพิวเตอร์ โดยจะใช้โปรแกรมต่างๆ เขียนหรือสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อคำนวณค่า แล้วนำค่าที่ได้ไปกำหนดสัญญาณควบคุม อุปกรณ์ภายนอก คณะผู้จัดทำจึงเกิดแนวคิดในการสร้างชุดควบคุม โดยอาศัยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งข้อดีในการใช้โปรแกรม LabVIEW นี้คือ มีความยืดหยุ่น และง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม สามารถนำใช้งานได้จริง และมีความปลอดภัยสูง เหมาะกับการควบคุมทั้งในระยะใกล้ และระยะไกล ตลอดจนให้ผลการของการทำงานที่เป็น Real Time

จากการทดลองการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID โดยใช้วิธีของ Ziegler – Nichols จะต้องหาผลตอบสนองของกระบวนการแบบระบบเปิด ว่าผลตอบสนองที่ได้เป็น S-CURVE หรือไม่ ถ้าได้ก็จะทำการหาค่าพารามิเตอร์ตามวิธีของ Process Reaction Curve Method ก็จะได้ค่า K_p, K_I, K_D ออกมา จากนั้นนำค่าที่ได้ไปทำการปรับแต่งเพื่อควบคุมกระบวนการ และในการปรับแต่งนี้ ผู้ใช้จะต้องมีความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่จะใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการ และต้องมีประสบการณ์หรือความชำนาญในการปรับแต่งเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ

การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้วิธีหาทางเดินของราก (Root Locus) วิธีนี้จำเป็นจะต้องหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันก่อน เพื่อดูทางเดินรากของกระบวนการก่อนที่จะทำการออกแบบตัวควบคุม จากนั้นทำการกำหนด Percent Maximum over Shoot และ Settling Time แล้วทำการกำหนดจุด Saddle Point (S_d) ก็จะได้ zero และ Pole ใหม่แล้วนำไปเทียบกับสมการของตัวควบคุม PID ก็จะได้ค่าพารามิเตอร์ K_p, K_I, K_D เพื่อนำมาควบคุมกระบวนการ

9.2 ปัญหาที่พบในการออกแบบโปรแกรม

1. ระบบมีการระบายความร้อนที่น้อยทำให้อุณหภูมิของเตาอบลดลงช้า จึงควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการระบายความร้อนของระบบ ขึ้นอยู่กับน้ำที่ใส่ใน เตาอบ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จึงทำให้น้ำในระบบระเหย ระบบจึงระบายความร้อนได้น้อยลง จึงควรมีการรักษาระดับน้ำให้คงที่

2. การปรับค่า span และ zero ของ Transmitter Thermocouple จะต้องทำให้อุณหภูมิคงที่

ที่ค่าใดค่าหนึ่งก่อนจึงทำการวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การปรับค่า span และ zero ของ Signal Conditioner ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟที่ให้ค่าคงที่ในระดับสัญญาณที่เราต้องการ

4. เมื่อโปรแกรมของตัวควบคุมสั่งให้มีการเปิดปิดฮีตเตอร์ ซึ่งฮีตเตอร์จะต้องใช้เวลาในการทำความร้อน จึงไม่สามารถทำงานได้โดยทันที

9.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

การออกแบบโปรแกรมของตัวควบคุม PID จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ K_p, K_i, K_d ก่อนที่จะนำมาใช้ควบคุมกระบวนการ โดยตัวผู้ควบคุมต้องทราบทฤษฎีในการปรับแต่งและหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID เสียก่อน

โปรแกรมของตัวควบคุมนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการอื่นๆได้ เพียงแต่ทำการแก้ไขโปรแกรมอีกเล็กน้อย เพื่อให้เหมาะสมกับในแต่ละกระบวนการ



บรรณานุกรม

- [1] รศ.ดร.ฟูศักดิ์ ชิวสุวิทย์, “ระบบควบคุมป้อนกลับ Feedback Control Systems”: ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] รศ.มนตรี พิรุณเกษตร, “อุณหพลศาสตร์ 1.”, กรุงเทพฯ : วิทยพัฒน์, 2545
- [3] ผศ.อาจินต์ น่วมสำราญ, “ระบบควบคุม”: ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] เจริญ เพชรมณี, “เรียนลัด LabVIEW (Software for Measurement and Automation)”. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2547
- [5] ทรงวุฒิ ขวัญใจ, “การออกแบบตัวควบคุมแบบสองสถานะหลายระดับ สำหรับควบคุมอุณหภูมิ”. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] Erickson C. James. “Handbook of Electrical Heating for Industry”. New York : IEEE, Inc. 1995.
- [7] Okata M. “Modern Control Engineering”. 3rd Edition. : Prentice-Hall, int 1997.
- [8] Lisa K. Wells. “LabVIEW for everyone” . graphical programming made even easier , NJ :Prentice Hall PTR , c 1997
- [9] Robert H. bishop. “LabVIEW 7 express” .student edition : NJ :Prentice Hall PTR , c 2006