

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบชุดทดลองการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า

THE DESIGN OF MAGNETIC LEVITATION TRAINING KIT



นายวุฒิพงศ์ ศุภวิทยานันท์

นายตราวุธ สาสุข

นายศุภฤกษ์ อาศิริพจน์มนตรี

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....**62701**

วัน,เดือน,ปี..... 21 ส.ค. 2549

b..... 11k29k25
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DESIGN OF MAGNETIC LEVITATION TRAINING KIT



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 TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท


หัวข้อปริญญาโท การออกแบบการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า
THE DESIGN OF MAGNETIC LEVITATION TRAINING KIT

นักศึกษาผู้จัดทำ นายวุฒิพงษ์ สุภวิทยานันท์ **รหัสประจำตัว** 45010735
นายศราวุธ สาสุข **รหัสประจำตัว** 45010751
นายสุภฤกษ์ อสิรพจน์มนตรี **รหัสประจำตัว** 45010783

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ.อาจินต์ น่วมสำราญ รศ.วิริยะ กลองรัตน์	

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประสิทธิ์ จุลเจริญวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า	
	THE DESIGN OF MAGNETIC LEVITATION TRAINING KIT	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายวุฒิพงษ์ สุภวิทยานันท์	รหัสประจำตัว 45010735
	นายศราวุธ สาสุข	รหัสประจำตัว 45010751
	นายสุภฤกษ์ อาศิริพจน์มนตรี	รหัสประจำตัว 45010783
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศศ.อาจินต์ น่วมสำราญ	
	รศ.วิริยะ กองรัตน์	
ปีการศึกษา	2548	

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการออกแบบชุดทดลองการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการออกแบบส่วนประกอบของกระบวนการ, การคำนวณหาสมการทางคณิตศาสตร์และออกแบบตัวชดเชยนาฬิกาแบบ Lead เพื่อนำไปควบคุมวัตถุให้ลอยอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการภายในย่านที่กำหนดไว้ได้ โดยสั่งงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถอ่านค่าผลตอบสนองที่ได้จากกระบวนการและกำหนดค่าเป้าหมายให้กับกระบวนการได้ โดยใช้โปรแกรม LabView สื่อสารผ่านการ์ดรุ่น PCI-1711 ซึ่งชุดการทดลองนี้สามารถใช้เป็นแบบทดสอบสำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆได้

Thesis Title The Design of Magnetic Levitation Training Kit
Authors Mr.Wuttipong Supavittayapinun
Mr.Sarawut Sasuk
Mr.Supparauk Arsirapojmontree
Thesis Advisor Asst.Prof. Arjin Numsomran
Assoc.Prof. Viriya Kongratana
Year 2005

ABSTRACT

This thesis is presents the design of magnetic levitation. By design the parts of process elements, calculating to find math equation and design the analog lead compensator can possible to control the object levitates in the position inside the condition of range. Processing will be commanded by program LABview interface with data acquisition device (DAQ) via PCI-1711 to reads the response of the process and sets the set points to the process. This laboratory can be used for testing many type of controller.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรเล่มนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษา และความอนุเคราะห์ที่ดี จาก ผศ.อาจินต์ น่วมสำราญ และ รศ.วิริยะ กองรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตร คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุน และคำปรึกษาที่ดีที่เกี่ยวกับงานวิจัยจนสำเร็จตามจุดประสงค์

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่เอื้อเฟื้ออุปการะ และเครื่องมือในการทดลอง และทุก ๆ ความช่วยเหลือ

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกท่านที่ได้ช่วยกันทำงานและให้กำลังใจพร้อมทั้งความช่วยเหลือมา โดยตลอดขอบคุณพี่ไมตรี ธรรมา กับคำแนะนำในด้านการเขียน โปรแกรม และการเลือกใช้อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน

และที่มีเคยลืม ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอดมา จนปริญญาบัตรเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	IX
สารบัญตาราง.....	XIII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีและหลักการของสนามแม่เหล็ก.....	3
2.1.1 สนามแม่เหล็ก.....	3
2.1.2 สนามแม่เหล็กรอบขดลวดตัวนำ (Magnetic field around a coil).....	7
2.1.3 การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction).....	7
2.1.4 ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic field intensity).....	8
2.1.5 ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux density).....	8
2.1.6 แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive force).....	9
2.1.7 ความซึมซาบได้ (Permeability).....	9
2.1.8 ความซึมซาบได้สัมพัทธ์ (Relative permeability).....	10
2.1.9 วัสดุแม่เหล็ก.....	10
2.1.9.1 ไดอแมกเนติก.....	10
2.1.9.2 พาราแมกเนติก.....	10
2.1.9.3 เฟอร์โรแมกเนติก.....	10
2.2 ตัวควบคุมกระบวนการแบบ PID.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.1 ระบบควบคุม.....	12
2.2.2 ประเภทของการควบคุม.....	12
2.2.2.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop).....	13
2.2.2.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop).....	13
2.2.3 ชนิดของตัวควบคุม.....	14
2.2.3.1 ตัวควบคุมแบบ Proportional (P).....	14
2.2.3.2 ตัวควบคุมแบบ Proportional Derivative (PD).....	14
2.2.3.3 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral (PI).....	14
2.2.3.4 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral Derivative (PID).....	15
2.2.4 รูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID.....	15
2.2.5 ผลของพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID กับกระบวนการ.....	18
2.2.5.1 ผลของ Proportional Band กับกระบวนการ.....	18
2.2.5.2 ผลของ Integral Time กับกระบวนการ.....	18
2.2.5.3 ผลของ Derivative Time กับผลตอบสนองของกระบวนการ.....	19
2.2.6 การออกแบบตัวควบคุมแบบ PID ในโดเมนเวลา.....	19
2.2.6.1 ผลของตัวควบคุมแบบ Proportional + Derivative (PD).....	19
2.2.6.2 ผลของตัวควบคุมแบบ Proportional + Integral (PI).....	21
2.3 ทฤษฎีและหลักการของ Hall Effect Sensor.....	22
2.3.1 ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall sensor).....	22
2.3.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect).....	24
2.4 ทฤษฎีและหลักการของโปรแกรม LabVIEW.....	27
2.4.1 ที่มาของ LabVIEW.....	28
2.4.2 ส่วนประกอบต่างๆใน LabVIEW (LabVIEW Environment).....	29
2.4.3 เครื่องมือในการออกแบบ VI.....	30
2.4.3.1 เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ Front Panel.....	30
2.4.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Block Diagram.....	34
2.4.4 Front Panel Toolbar.....	36
2.4.5 Block Diagram Toolbar.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.6 การพัฒนาโปรแกรม.....	37
2.4.6.1 หลักการทำงานของ Dataflow Programming.....	37
2.4.6.2 Data Type (ประเภทของข้อมูล).....	38
2.4.7 Numeric Data type.....	40
2.4.7.1 Numeric Control และ Indicator.....	40
2.4.7.2 Numeric Function.....	43
2.4.8 Boolean Data type.....	44
2.4.8.1 Boolean Control และ Indicator.....	44
2.4.8.2 Boolean Function.....	45
2.4.9 String Data Type.....	45
2.4.9.1 String Control และ Indicator.....	45
2.4.9.2 String Function.....	46
2.4.10 Array.....	46
2.4.10.1 Array Control และ Array Indicator.....	46
2.4.10.2 Array Function.....	48
2.4.11 Cluster.....	48
2.4.11.1 Cluster Control และ Indicator.....	48
2.4.11.2 Cluster Function.....	49
2.4.12 Waveform Chart.....	50
2.4.13 Waveform Graph.....	52
2.4.14 X-Y Graph.....	52
2.4.15 SubVI.....	53
2.4.15.1 การสร้างและการเลือกใช้ SubVI.....	53
2.4.15.2 การเรียกใช้ SubVI.....	53
2.4.16 การ Debug VI.....	54
2.4.17 Formula Node.....	55
2.4.18 While Loop.....	55
2.4.19 For Loop.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.20 Stacked Sequence และ Flat Sequence Structure	57
2.4.21 Case Structure.....	58
2.4.22 Shift Register	59
2.4.23 Feedback Node.....	59
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างกระบวนการ.....	60
3.1 องค์ประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์.....	60
3.1.1 กระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า.....	60
3.1.1.1 โครงสร้างของกระบวนการ.....	60
3.1.1.2 การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการทดลอง.....	64
3.1.1.3 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....	65
3.1.1.4 ชุดขับกระแสให้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....	65
3.1.1.5 ชุดตัวควบคุมแบบ Lead.....	66
3.1.1.6 อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก (Hall Effect Sensor).....	68
3.1.1.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟ.....	68
3.2 องค์ประกอบของ Controller.....	69
3.2.1 การ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A.....	69
3.2.1.1 ส่วนแปลงสัญญาณ A/D.....	70
3.2.1.2 ส่วนแปลงสัญญาณ D/A.....	70
3.3 โปรแกรมสำหรับอ่านค่าที่ได้จากกระบวนการ.....	71
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	72
4.1 ขั้นตอนการหา Transfer Function.....	72
4.2 ผลตอบสนองของการ Simulate Transfer Function.....	73
4.3 ผลตอบสนองของกระบวนการ.....	73
4.4 ผลตอบสนองของกระบวนการที่ค่าเป้าหมายต่างๆ.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	75
5.1 บทสรุป.....	75
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	75
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	75
บรรณานุกรม.....	76
ภาคผนวก.....	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการทดลองของเอสเตด	3
2.2 แสดงการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ.....	4
2.3 แสดงกฎมือขวาของเส้นแรงแม่เหล็ก	4
2.4 แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางการไหลของเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ.....	5
2.5 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวด.....	5
2.6 แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามในตัวนำที่วางขนานกัน.....	6
2.7 แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางเดียวกันในตัวนำที่วางขนานกัน.....	6
2.8 แสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวด.....	7
2.9 พื้นฐานระบบควบคุม	12
2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด.....	13
2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด.....	13
2.12 รูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID.....	16
2.13 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ Unit ที่มีตัวควบคุมแบบ PD.....	20
2.14 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ Unit ที่มีตัวควบคุมแบบ PI.....	21
2.15 ตัวรับรู้ฮอลล์.....	22
2.16 การต่อตัวรับรู้ฮอลล์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและ โวลต์มิเตอร์.....	23
2.17 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก	23
2.18 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์.....	24
2.19 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H	25
2.20 โปรแกรม LabVIEW 7.1.....	27
2.21 หลักการทำงานของ LabVIEW.....	28
2.22 ส่วนประกอบของ LabVIEW	29
2.23 Controls Palette.....	31
2.24 Tools Palette.....	31
2.25 วิธีเรียกใช้ Tool palette.....	31
2.26 Operate Value Tool.....	32
2.27 Position/Size/Select Tool.....	32
2.28 Edit Text Tool.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 Set Color Tool.....	33
2.30 Object Shortcut Menu Tool.....	33
2.31 Scroll Window Tool.....	33
2.32 Get Color.....	33
2.33 Functions Palette.....	34
2.34 วิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 1.....	34
2.35 วิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 2.....	34
2.36 วิธีการเปิด Tools Palette.....	35
2.37 Tool ที่ใช้ใน Block Diagram.....	35
2.38 Front Panel Toolbar.....	36
2.39 หลักการทำงานของ Dataflow Programming.....	37
2.40 Data Type (ประเภทของข้อมูล).....	38
2.41 การ Wiring ที่ผิด.....	39
2.42 Error List.....	39
2.43 Numeric Control และ Indicator.....	40
2.44 การเปลี่ยน Change to Indicator.....	40
2.45 การแสดงผลเป็นตัวเลข.....	41
2.46 การกำหนดช่วงของค่าที่ใช้งาน.....	41
2.47 การปรับรูปแบบของสเกล.....	42
2.48 การกำหนดรูปแบบการแสดงผลแถบและจำนวนตัวเลขทศนิยม.....	43
2.49 การเรียกใช้ Numeric Function.....	44
2.50 Boolean Control และ Indicator.....	44
2.51 Boolean Function.....	45
2.52 String Control และ Indicator.....	45
2.53 String Function.....	46
2.54 Array Control และ Indicator.....	47
2.55 การเพิ่มมิติของ Array.....	47
2.56 Array Function.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.57 Cluster Control และ Indicator.....	49
2.58 Cluster Function.....	49
2.59 Waveform Chart.....	50
2.60 การใช้งาน Waveform Chart.....	50
2.61 การแสดงผลข้อมูลของ Waveform Chart.....	51
2.62 แสดงการล้างข้อมูลที่ Waveform Chart.....	51
2.63 Waveform Graph.....	52
2.64 การใช้งาน Waveform Graph.....	52
2.65 Express X-Y Graph.....	52
2.66 การใช้งาน X-Y Graph.....	53
2.67 การเรียกใช้ SubVI.....	54
2.68 Set/Clear Breakpoint.....	54
2.69 Probe Tool.....	54
2.70 การเรียกใช้ Formula Node.....	55
2.71 ลักษณะของ While Loop.....	55
2.72 การเรียกใช้คำสั่ง While Loop.....	56
2.73 การเรียกใช้คำสั่ง For Loop.....	56
2.74 ลักษณะของ For Loop.....	57
2.75 Stacked Sequence.....	57
2.76 Flat Sequence.....	57
2.77 การAdd Frame.....	58
2.78 Case Structure.....	59
2.79 Shift Register.....	59
2.80 Feedback Node.....	59
3.1 โครงสร้างโดยรวมของกระบวนการ.....	60
3.2 แบบจำลองของกระบวนการการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า.....	61
3.3 แบบจำลองการกระทำของแรงแม่เหล็กไฟฟ้ากับแม่เหล็กถาวร(ติดอยู่ด้านบนของวัตถุ).....	61
3.4 วงจรขับกระแสให้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 ชุดตัวชดเชยแบบ Lead.....	66
3.6 วงจรตัวชดเชยแบบ Lead.....	67
3.7 วงจรแหล่งแหล่งจ่ายไฟขนาด ± 25 V, 3 A.....	68
3.8 อุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟขนาด ± 25 V, 3 A.....	69
3.9 การ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A.....	70
3.10 Front Panel ของโปรแกรม.....	71
3.11 Block Diagram ของโปรแกรม.....	71
4.1 ผลตอบสนองของการ Simulate Transfer Function.....	73
4.2 ผลตอบสนองของกระบวนการ.....	73
4.3 ผลตอบสนองของกระบวนการที่ค่าเป้าหมายต่างๆ.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าซิมซาบได้ของสารต่างๆ.....	11
2.2 ความละเอียดของตัวเลขใน โปรแกรม LabVIEW.....	42
4.1 ผลการหาค่า β_m	72
4.2 ผลการหาค่า β_s	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของงานวิจัย

การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) มีความจำเป็นอย่างมากในวงการอุตสาหกรรมปัจจุบัน เนื่องจากการควบคุมแบบอัตโนมัติมีความสะดวกมากกว่าการใช้แรงงานคน ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่หันมาใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติในการควบคุมการผลิต ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับตัวควบคุมและระบบควบคุมจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง การศึกษาการออกแบบกระบวนการการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับตัวควบคุมและระบบควบคุมดียิ่งขึ้นและยังเป็นแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการอื่นๆต่อไปอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริิญญาานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างและคุณลักษณะของกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาทฤษฎี หลักการทำงาน และ โครงสร้างของระบบควบคุมที่ใช้กับกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับตัวตรวจจับ (Sensor) ที่ใช้ในการตรวจจับ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร
4. ศึกษาการควบคุมและออกแบบตัวชดเชยแบบ Lead
5. นำตัวชดเชยที่ออกแบบมาใช้กับกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า
6. เขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าที่ได้จากกระบวนการ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ขับเคลื่อนให้กับชุดทดลองแม่เหล็กไฟฟ้า
3. ออกแบบวงจรที่ใช้เกี่ยวกับการควบคุม
4. ศึกษาโครงสร้างของกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ
5. ออกแบบตัวชดเชยแบบ Lead
6. นำตัวชดเชยที่ออกแบบมาควบคุมกระบวนการ
7. เขียนโปรแกรมจาก LABview เพื่ออ่านค่าที่ได้จากกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ออกแบบและสร้างกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ชุดควบคุมที่ต้องใช้กระบวนการที่ใช้ทั้งหมด
3. ศึกษาโครงสร้างของกระบวนการเพื่อหาแนวทางในการออกแบบชุดควบคุม
4. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุมและวิธีการหา Transfer Function ของกระบวนการ
5. ออกแบบตัวชดเชยแบบ Lead
6. นำตัวชดเชยที่ออกแบบมาควบคุมระบบ
7. เขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าที่ได้จากกระบวนการ
8. วิเคราะห์ผลการทดลองและหาแนวทางแก้ไข
9. สรุปผลการศึกษาและทดลอง ข้อเสนอแนะในการพัฒนากระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

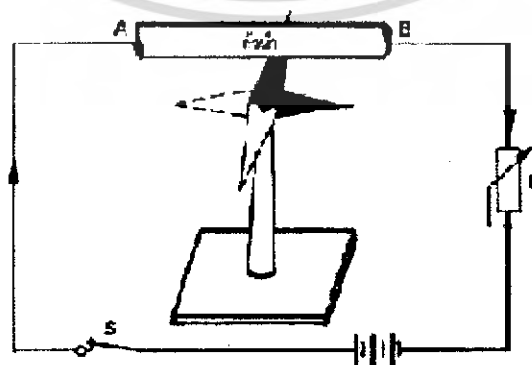
2.1 ทฤษฎีและหลักการของสนามแม่เหล็ก

2.1.1 สนามแม่เหล็ก

ในปี ค.ศ. 1819 แฮนด์ คริสเตียน เออสเตด (Hans Christian Oersted) นักฟิสิกส์ชาวเดนมาร์กได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการไหลของกระแสไฟฟ้า และพบว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเสมอ

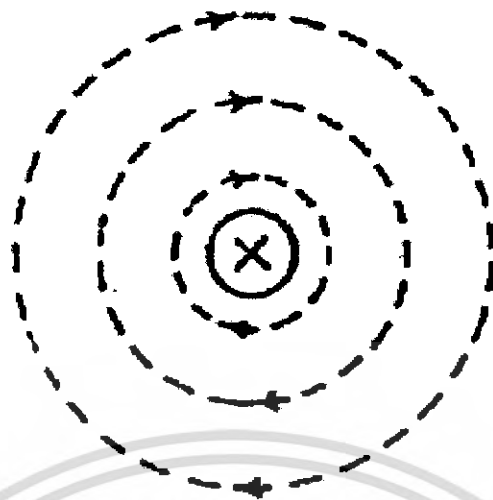
การทดลองของเออสเตดนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยการนำเอาลวดตัวนำไฟฟ้า AB ต่อเข้ากับเซลล์ไฟฟ้า และให้ลวดนำนั้นวางขนานกับเข็มทิศที่วางอยู่ใต้ลวดนำนั้น เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำจะทำให้เข็มทิศเกิดการเบี่ยงเบนไปจากแนวขนานเดิม โดยเข็มทิศจะตั้งฉากกับลวดนำ AB แต่เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับทาง เข็มทิศจะเกิดการเบี่ยงเบนกลับทางไปอีกทางหนึ่ง ซึ่งทำมุมกับตำแหน่งเดิม 180 องศา และยังพบอีกว่าถ้าให้ลวดตัวนำทำมุม 90 องศากับเข็มทิศแล้ว เข็มทิศจะไม่เบี่ยงเบนไปในทิศทางใดๆ เลย

เออสเตดยังได้ค้นพบอีกว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้านั้น ประกอบไปด้วยเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนหนึ่งจัดเรียงเป็นวงรอบๆ ลวดนำที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านนั้น โดยลวดนำจะเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมเหล่านั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ลวดนำนี้ ถ้ายังอยู่ห่างลวดนำมากอำนาจแม่เหล็กก็ยิ่งน้อย การเกิดสนามแม่เหล็กนี้สามารถแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดนำไฟฟ้าที่อยู่ในแนวตั้งทะลุผ่านกระดาษแข็ง แล้วนำเข็มทิศวางไว้บนกระดาษแข็งตามตำแหน่งต่างๆ จะสังเกตเห็นว่าทิศทางจะหันเหเรียงตามกันไปเป็นวงกลมรอบลวดนำ โดยให้สีตำแหน่งด้วยขั้วเหนือ และสีขาวแทนด้วยขั้วใต้หรืออาจใช้ผงเหล็กโรย โดยจะสังเกตเห็นว่าผงเหล็กเรียงตัวเป็นวงกลม



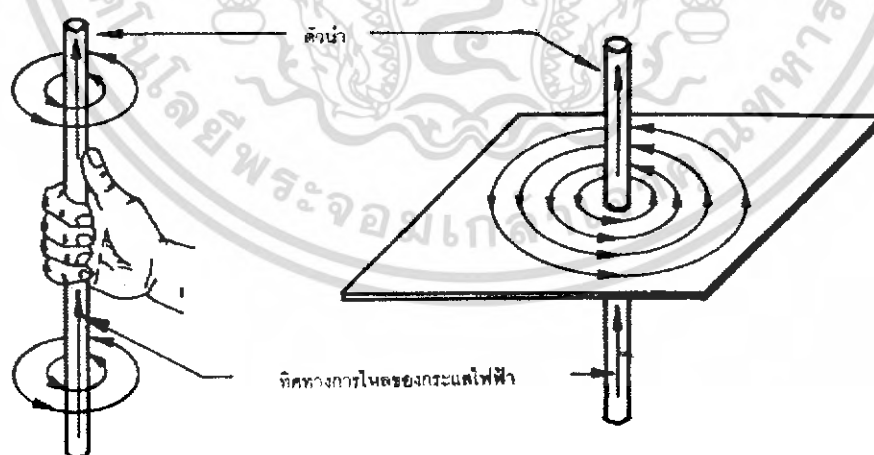
รูปที่ 2.1 แสดงการทดลองของเออสเตด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ

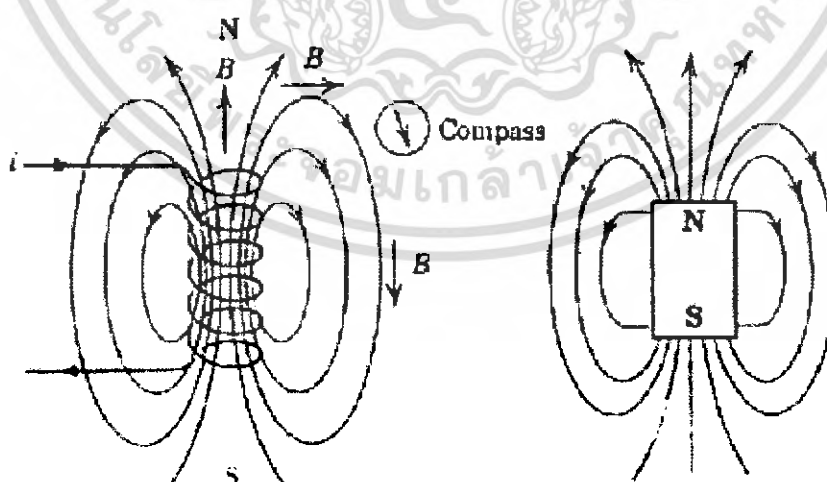
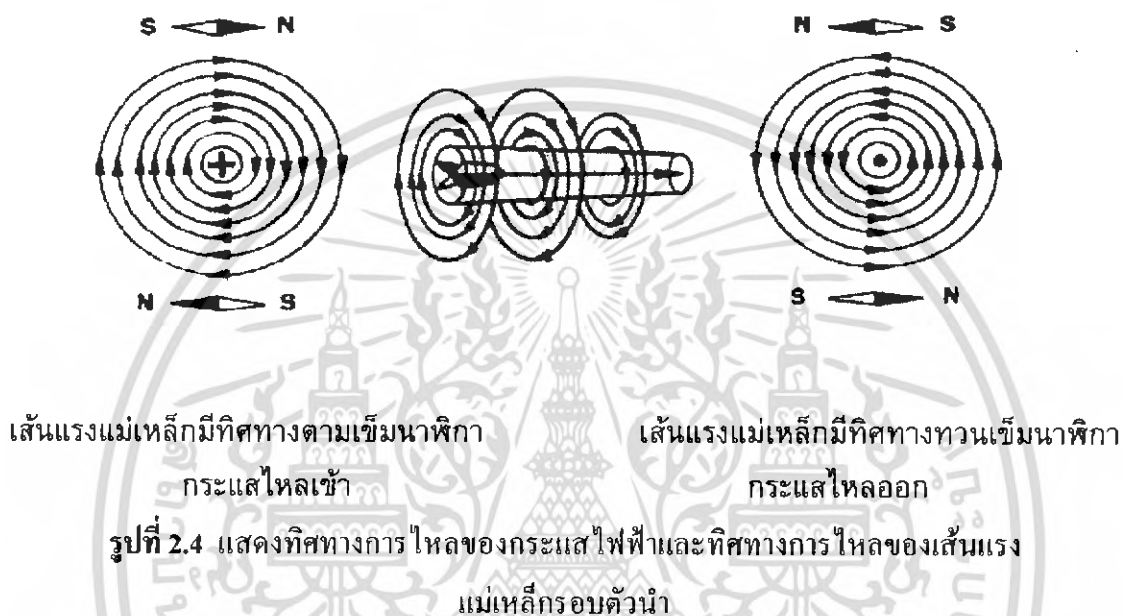
ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำไฟฟ้ากับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ สามารถหาได้โดยใช้กฎมือขวาของเส้นแรงแม่เหล็ก คือให้ใช้มือขวากำรอบตัวนำไฟฟ้า โดยให้หัวแม่มือชี้ไปตามความยาวของตัวนำแทนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า และให้นิ้วทั้งสี่ที่เหลือกำรอบตัวนำ โดยนิ้วทั้งสี่นั้นจะแทนทิศทางการไหลของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำนั้นดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงกฎมือขวาของเส้นแรงแม่เหล็ก

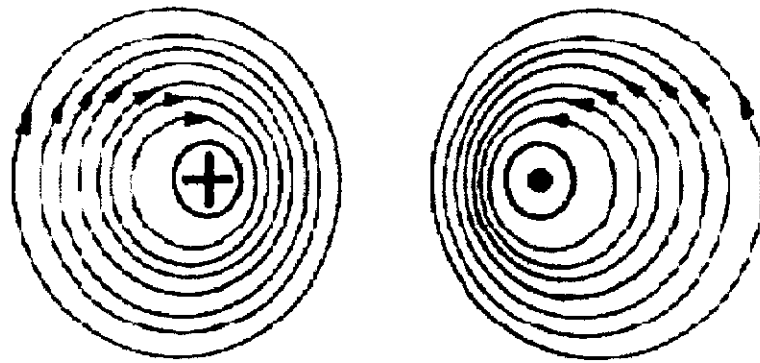
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกศรที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าจะใช้แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าไปตามความยาวของตัวนำไฟฟ้า โดยจะกำหนดให้ที่กระแสไฟฟ้าไหลเข้าซึ่งเห็นกันลูกศรนั้นแทนด้วยเครื่องหมายกากบาท (-) ส่วนด้านที่กระแสไฟฟ้าไหลออกซึ่งเห็นเป็นหัวลูกศรแทนด้วยเครื่องหมายจุด (·) และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำดังแสดงในรูปที่ 2.4 และทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดแสดงได้ดังรูป 2.5

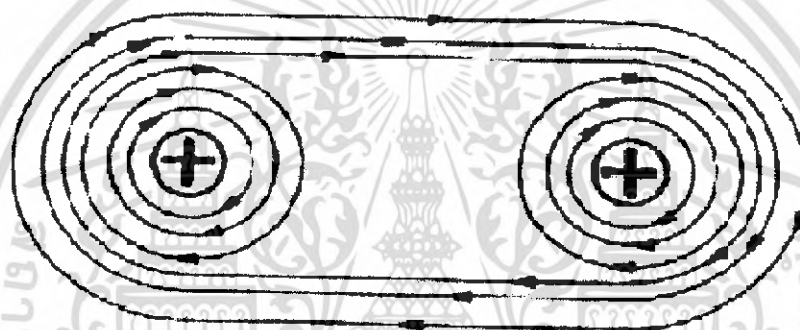


รูปที่ 2.5 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้าม
ในตัวนำที่วางขนานกัน



รูปที่ 2.7 แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในทิศทางเดียวกัน
ในตัวนำที่วางขนานกัน

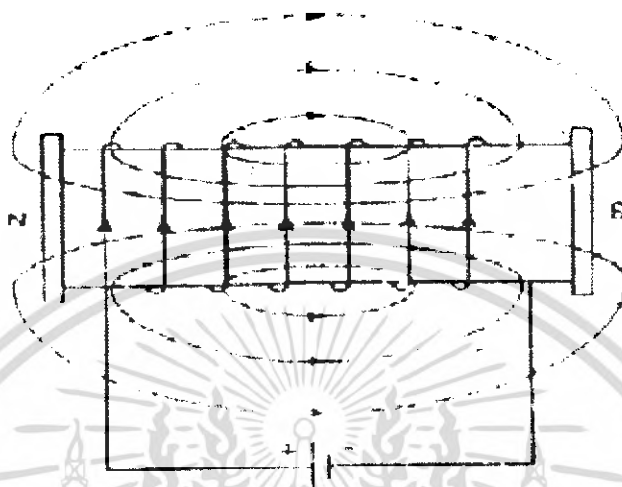
เมื่อนำตัวนำ 2 ตัวมาวางขนานกัน และมีกระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน แสดงในรูปที่ 2.6 สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำทั้งสองสามารถหาได้จากกฎมือขวา โดยกระแสไฟฟ้าไหลออกแสดงด้วยจุด คือตัวนำด้านซ้ายมือ และตัวนำด้านขวาให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าแสดงด้วยเครื่องหมายกากบาท ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำด้านซ้ายมือ จะมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนตัวนำทางด้านขวาที่กระแสไหลเข้าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นจะเห็นว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำทั้งสองนั้นมีทิศทางไปในทางเดียวกันทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กเหมือนกัน จึงเกิดแรงผลักกันขึ้นระหว่างตัวนำทั้งสองที่วางขนานกันนั้น

แต่ถ้าตัวนำทั้งสองที่วางขนานกันมีกระแสไฟฟ้าไหลไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยสมมุติให้กระแสไหลเข้ามีทิศทางตามเข็มนาฬิกาและเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำทางด้านขวาก็จะมีทิศทางตามเข็มนาฬิกาเช่นเดียวกันทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กด่างกัน เป็นเหตุให้เกิดแรงดูดกันขึ้น ตัวนำทั้งสองจะถูกดึงเข้ามาใกล้กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สนามแม่เหล็กรอบขดลวดตัวนำ (Magnetic field around a coil)

ถ้าเราพันขดลวดรอบแกนเหล็กดังรูปที่ 2.6 และต่อปลายขดลวดเข้ากับขั้วแบตเตอรี่ แกนเหล็กจะกลายเป็นแม่เหล็กและคุณสมบัติคล้ายกับแม่เหล็กถาวร ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นแทนด้วยหัวลูกศร



รูปที่ 2.8 แสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลผ่านขดลวด

โดยปลายของแกนเหล็กด้านซ้ายจะเป็นขั้วเหนือและปลายด้านขวาจะเป็นขั้วใต้ ถ้ากลับทิศทางกระแสในขดลวดหรือกลับขั้วแบตเตอรี่ จะทำให้ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไปหรือขั้วแม่เหล็กด้านซ้ายจะเปลี่ยนเป็นขั้วใต้ และด้านขวาจะเปลี่ยนเป็นขั้วเหนือนั่นเอง

เมื่อทิศทางกระแสไหลในขดลวด เราสามารถหาขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นได้ โดยใช้กฎมือขวาของขดลวด (Right hand rule for coil) ซึ่งกล่าวว่า ให้กำขดลวดด้วยมือขวา โดยให้นิ้วทั้งสี่กำขดลวดที่ทิศทางกระแสในขดลวด นิ้วหัวแม่มือซึ่งยื่นออกไปขนานกับแกนของขดลวดจะชี้ไปทางขั้วเหนือ (ทิศทางแม่เหล็กภายในขดลวด)

2.1.3 การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction)

ในปี ค.ศ. 1831 นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ คือ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้ค้นพบหลักฐานสำคัญเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า คือถ้ามีขดลวด C ปลายของขดลวดต่อกับกัลวานอมิเตอร์ G (แอมมิเตอร์ที่มีความไวสูง) แล้วนำแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่เข้าไปในขดลวด เข็มของกัลวานอมิเตอร์ จะบ่ายเบนไปทิศทางหนึ่งแสดงว่าเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด C หลังจากการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กถาวรหยุดลง เข็มของกัลวานอมิเตอร์จะกลับมายังที่ศูนย์ตามเดิม ผลการทดลองพิสูจน์ได้ว่ามีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่ เมื่อเทียบกับขดลวด C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราจับขั้วแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่ออกห่างจากขดลวด C เข็มของกัลป์วานอมิเตอร์จะบ่ายเบนไปทิศทางตรงข้ามกับครั้งแรกแสดงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวด C มีทิศทางตรงข้ามกับครั้งแรกเช่นกัน ถ้าเราจับแม่เหล็กถาวรเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกัน จะพบว่ายิ่งมีความเร็วมากเข็มของกัลป์วานอมิเตอร์ก็ยิ่งบ่ายเบนมาก ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดก็ต้องมากขึ้นด้วย

ผลที่ได้รับจากการทดลองเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าสรุปได้ดังนี้

ก. เมื่อลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กหรือเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดลวดตัวนำ จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวด

ข. ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขึ้นอยู่กับทิศทางของสนามแม่เหล็กและทิศทางของลวดตัวนำที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กับสนามแม่เหล็ก

ค. ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราความเร็วที่ลวดตัวนำเคลื่อนที่ตัดหรือถูกตัดโดยเส้นแรงแม่เหล็ก

2.1.4 ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic field intensity) ใช้สัญลักษณ์ H

คือแรงเคลื่อนแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยความยาวของวงจรมแม่เหล็ก วงจรมแม่เหล็กที่มีเส้นแรงแม่เหล็กสม่ำเสมอจะมีค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยความยาวคงที่ตลอดแนวของเส้นแรงแม่เหล็กนั้น นั่นหมายความว่าความเข้มสนามแม่เหล็กจะมีค่าคงที่ตลอดแนวความเข้มสนามแม่เหล็กนั้นด้วย หน่วยของความเข้มสนามแม่เหล็กคือ แอมแปร์/เมตร (A/m) ความเข้มสนามแม่เหล็กเราสามารถวัดได้หรือหาได้จากการนำเอาขั้วเหนือเดี่ยว (N) ที่มีแรงแม่เหล็ก 1 หน่วยขั้วไปวางไว้ ณ จุดใดจุดหนึ่งในสนามแม่เหล็ก ค่าของแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของขั้วเหนือเดี่ยวกับสนามแม่เหล็กก็จะเป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็กนั้นๆ

ความเข้มสนามแม่เหล็กสามารถหาได้จากสมการคือ

$$H = \frac{I}{l} = \frac{Ni}{l} \quad (\text{A/m})$$

โดย H = ความเข้มสนามแม่เหล็ก

l = ความยาวของวงจรมแม่เหล็ก

2.1.5 ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux density) ใช้สัญลักษณ์ B

เพื่อให้ทราบปริมาณที่แน่นอนของเส้นแรงแม่เหล็ก จึงต้องกำหนดพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่าน ปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กที่ไหลผ่านต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เรียกว่า ความหนาแน่น-

ของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux density) ดังนั้นหน่วยความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก คือ เวเบอร์ / ตารางเมตร (wb/m^2) หรือเทสลา (Tesla)

ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กหาได้จากสมการ

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (\text{wb}/\text{m}^2)$$

โดย B = ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก

A = พื้นที่หน้าตัดของวงจรมแม่เหล็ก

2.1.6 แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive force) ใช้สัญลักษณ์ \mathfrak{F}

หมายถึง ความสามารถในการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดที่พันอยู่รอบแกนเหล็ก เป็นแหล่งที่ทำหน้าที่ส่งเส้นแรงแม่เหล็ก ให้เคลื่อนที่ผ่านไปมาในวงจรมแม่เหล็กซึ่งคล้ายกับ แรงดันไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ส่งกำลังให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในโหลด หรือส่วนต่างๆ ของวงจร โดยแรงดันแม่เหล็กนั้นเป็นงาน (work done) ที่มีหน่วยวัดเป็นจูล (Joules) ซึ่งได้จากการนำเอา ขั้วเหนือเคี้ยวส่งผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็ก หน่วยของงานคิดเป็น จูล แต่หน่วยของแรงดันแม่เหล็กใช้ แอมแปร์เทิร์น (A-T) ซึ่งได้จากการเอากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดคูณกับ จำนวนรอบของขดลวดที่พันไว้เพื่อให้เกิดสนามเส้นแรงแม่เหล็ก

แรงดันแม่เหล็กสามารถหาได้จากสมการคือ

$$\begin{aligned} \mathfrak{F} &= \text{m.m.f.} \quad (\text{A-T}) \\ &= Ni \quad (\text{A-T}) \end{aligned}$$

โดย \mathfrak{F} = แรงดันแม่เหล็ก แอมแปร์เทิร์น (A-T)

i = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด แอมแปร์ (A)

N = จำนวนรอบขดลวด รอบ (T)

2.1.7 ความซึมซาบได้ (Permeability) ใช้สัญลักษณ์ μ

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่แท้จริงมันจะขึ้นอยู่กับโมเลกุลของแกนเหล็กว่าจะสามารถวางตัวในแนวเดียวกันได้ง่ายเพียงใด เรียกว่าความซึมซาบได้ ความซึมซาบได้นี้เป็น อัตราส่วนของ ความหนาแน่นแห่งเส้นแรงแม่เหล็กต่อความเข้มสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจะได้ว่า

$$\mu = \frac{B}{H} = \mu_0 \mu_r \quad ; \quad (\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7})$$

ความซึมซาบได้ คือ ความยินยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่าน โดยความซึมซาบของสุญญากาศเป็น 1 ซึ่งปกติทั่วไปแล้ว จะกล่าวถึงเฉพาะความซึมซาบได้สัมพัทธ์ ซึ่งหมายถึงตัวกลาง เช่น เหล็ก ยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้เป็นกี่เท่าของอากาศ เมื่อมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่ากัน

2.1.8 ความซึมซาบได้สัมพัทธ์ (Relative permeability) ใช้สัญลักษณ์ μ_r

คืออัตราส่วนของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ผลิตได้ในวัสดุสารแม่เหล็กคือความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ผลิตได้ในสุญญากาศ (หรือในแกนที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก) โดยใช้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กค่าเดียวกัน เช่น ในอากาศ $\mu_r = 1$ แต่ในโลหะผสม เช่น นิกเกิล - เหล็ก (nickel - iron alloys) มี μ_r สูงถึง 100000

2.1.9 วัสดุแม่เหล็ก

2.1.9.1 ไดอแมกเนติก หมายถึง การที่สารแม่เหล็กต่อต้านกับสนามแม่เหล็กจากภายนอก สารแม่เหล็กแบบนี้เราเรียกว่า สารแม่เหล็กไดอแมกเนติก (Diamagnetic substances) โดยผู้ที่ค้นพบคือ ไมเคิลฟาราเดย์ เมื่อปี ค.ศ.1846

2.1.9.2 พาราแมกเนติก หมายถึง การที่สนามแม่เหล็กจากภายนอกทำให้อะตอมเกิดแรงคู่ควบจัดเรียงขั้วคู่ให้หันไปในทิศทางที่เรียงตัวกันตามสนามแม่เหล็กจากภายนอกนั้น คุณสมบัติที่สำคัญของความเป็นแม่เหล็กแบบนี้คือ ค่าความเป็นแม่เหล็กของสารเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งสารนั้นวางอยู่ และเป็นสัดส่วนกลับกันกับอุณหภูมิ ผู้ที่ค้นพบคือ ปีแอร์คูรี (Pierre Curie) เมื่อปี ค.ศ. 1895

2.1.9.3 เฟอร์โรแมกเนติก อะตอมของสารแม่เหล็กเฟอร์โรจะมีการจัดโมเลกุลขั้วคู่เหนี่ยวนำซึ่งกันและกันให้มีทิศทางไปทางเดียวกันภายใต้แรงกระทำซึ่งกันและกัน คุณสมบัติที่สำคัญของสารแม่เหล็กเฟอร์โรคือ ค่าความเป็นแม่เหล็กของสารไม่เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก และสารอาจแสดงคุณสมบัติทางแม่เหล็กได้ถึงแม้ว่าจะไม่มีสนามแม่เหล็ก สารแม่เหล็กเฟอร์โรมีอยู่ 5 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล กาโคลิเนียม และดีสโพรเซียม โดยสารทั้ง 5 นี้จะยังคงสภาพเป็นสารแม่เหล็กเฟอร์โร ตามที่อุณหภูมิยังไม่เกินค่าอุณหภูมิของคูรี (Curie temperature) แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเปลี่ยนเป็นสารแม่เหล็กพาราแมกเนติกทันที โดยเหล็กนั้นมีอุณหภูมิของคูรี 1043 K คุณสมบัตินี้จะเกิดได้แม้ว่าอะตอมของธาตุทั้ง 5 นี้จะอยู่ในโครงสร้างของผลึก ซึ่งไม่ใช่มีแค่ธาตุทั้ง 5 นี้อย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าซึมซาบได้ของสารต่างๆ

สาร	$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_a}$
บิสมัท	0.99983
เงิน	0.99998
ทองแดง	0.99999
น้ำ	0.99999
อากาศ	1.0000004
อะลูมิเนียม	1.00002
โคบอลต์	250
นิกเกิล	600
เหล็กหล่อ	2000
เหล็กเส้น	5000
แกนเหล็กหม้อแปลง	7000
ซูเปอร์มัลลอย	1,000,000
48 เฟอร์มัลลอย	6000
78 เฟอร์มัลลอย	7000
โมเฟอร์มัลลอย	9000
สินีแมก	3500
โมนีแมก	3500
มิวเมทอล	9000

2.2 ตัวควบคุมกระบวนการแบบ PID

เป็นที่ทราบกันดีว่าระบบควบคุมอัตโนมัติแบบ PID ได้ถูกนำมาควบคุมกระบวนการในการผลิตเป็นเวลานานมากกว่า 50 ปีมาแล้ว อุตสาหกรรมการผลิตแบบอัตโนมัติทั่วไปในปัจจุบันก็ยังนิยมใช้ตัวควบคุมแบบ PID เป็นรูปแบบที่สามารถควบคุมกระบวนการต่างๆ ได้อย่างกว้างขวางไม่ว่ากระบวนการนั้นจะมีผลตอบแทนความถี่ต่ำ ความถี่กลาง หรือความถี่สูง ตัวควบคุมแบบ PID ที่สามารถควบคุมกระบวนการได้เป็นอย่างดี ถ้ามีการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอย่างเหมาะสม

อุตสาหกรรมในประเทศไทยนั้น ได้มีการนำระบบควบคุมแบบ PID มาใช้ แต่ในการใช้งานนั้น มักจะใช้เพียงแค่การควบคุมแบบ P หรือการควบคุมแบบ PD เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าพารามิเตอร์แบบ PID ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ หรือผู้มีความชำนาญกับกระบวนการ เป็นอย่างสูง ค่าของพารามิเตอร์ที่ได้ถึงจะเป็นค่าที่กระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการปรับค่าที่ผู้เชี่ยวชาญใช้อย่างกว้างขวาง ได้แก่ วิธีการปรับค่า (Trial and Error Method) ซึ่งค่าที่ได้ อาจจะไม่ใช่ว่าดีที่สุด เนื่องจากปรับค่ามักอาศัยประสบการณ์ ซึ่งไม่สามารถพิสูจน์ทางทฤษฎี ได้อย่างชัดเจน

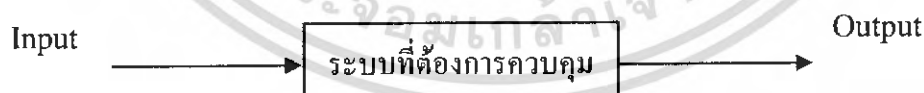
ในกระบวนการผลิตที่ทำงานโดยอัตโนมัติทั่วไปจำเป็นต้องมีตัวควบคุมกระบวนการ ซึ่งการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ก็มีมากมายหลายแบบ ตั้งแต่การควบคุมกระบวนการ แบบง่าย ๆ (Single-Loop-Control) จนถึงการควบคุมกระบวนการแบบซับซ้อน แต่ถ้ามองลงไป ในส่วนย่อยของตัวควบคุมกระบวนการแล้วมักพบว่าประกอบไปด้วยตัวควบคุมกระบวนการ แบบ PID แทบทั้งสิ้นน้อยครั้งจะพบตัวควบคุมกระบวนการแบบอื่น ๆ

2.2.1 ระบบควบคุม

ระบบควบคุม คือ รูปแบบของระบบใด ๆ ก็ตามที่มีการจัดองค์ประกอบต่างๆ ภายในระบบ เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบที่เป็นไปตามต้องการ ซึ่งส่วนมากอาศัยพื้นฐานทฤษฎีระบบเชิงเส้น มาช่วยในการวิเคราะห์พิจารณาถึงความสัมพันธ์ ระหว่างเหตุผลของแต่ละองค์ประกอบของระบบ ไม่ว่าจะระบบควบคุมนี้ จะมีความซับซ้อนเพียงไรก็ตาม พื้นฐานของระบบควบคุม จะมีองค์ประกอบ สำคัญ 3 ส่วนดังนี้

- วัตถุประสงค์ของการควบคุม (Input)
- กระบวนการ, ขั้นตอน, หลักที่ใช้ในการควบคุม (Process)
- ค่าที่ได้รับจริง (Output)

จากองค์ประกอบต่างๆข้างต้น สามารถนำมาเขียนแทนด้วยภาพบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 พื้นฐานระบบควบคุม

2.2.2 ประเภทของการควบคุม

ลักษณะการควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. ระบบการควบคุมแบบเปิด (Open-loop control system)
2. ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop control system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open loop)

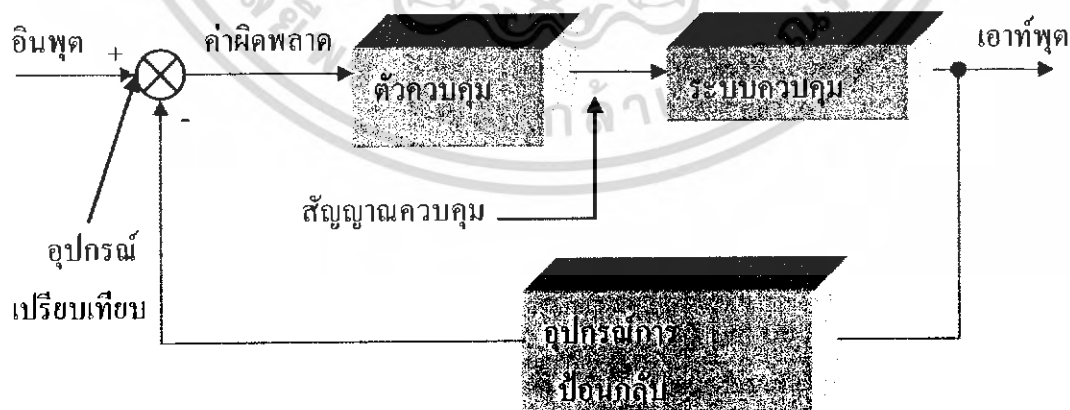
ระบบควบคุมแบบเปิดหรือเรียกอีกอย่างว่าระบบควบคุมแบบไม่มีการป้อนกลับ ระบบนี้ค่าเอาต์พุตที่ได้จะไม่มีผลต่อการควบคุมขบวนการของระบบ หมายความว่า ไม่มีการนำเอาต์พุตที่ได้กลับมาเปรียบเทียบกับค่าของอินพุต (อ้างอิง) ที่ป้อนไปให้กับระบบ ซึ่งสามารถที่จะแสดงลักษณะบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิดดังรูป 2.10



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิด

2.2.2.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop)

เมื่อระบบควบคุมแบบเปิดไม่สามารถจะให้ความแม่นยำในการควบคุมได้ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาที่จะนำสัญญาณเอาต์พุตซึ่งมีผลโดยตรงกับระบบควบคุมนำมาใช้งาน โดยการนำสัญญาณจากเอาต์พุตของระบบป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบกับนั้น จะเป็นสัญญาณค่าผิดพลาด (Error) เพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณป้อนเข้าตัวควบคุม (Controller) ให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่ เพื่อจะลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบ และทำให้เอาต์พุตของระบบเข้าสู่ค่าที่เราต้องการ (Set point) ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ชนิดของตัวควบคุม

จุดประสงค์ของการเพิ่มตัวควบคุมเข้าไปในกระบวนการนั้นก็เพื่อต้องการควบคุมให้ได้ผลตามที่ต้องการที่จะศึกษาถึงคุณสมบัติของการควบคุมทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของตัวควบคุมที่มีต่อระบบ เพื่อให้สามารถเลือกใช้ตัวควบคุมให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการแต่ละแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวควบคุมที่สำคัญและนิยมนำมาใช้ในกระบวนการมีดังนี้

2.2.3.1 ตัวควบคุมแบบ Proportional (P)

เป็นแบบของการควบคุมที่ง่ายที่สุดของตัวควบคุม เนื่องจากมีค่าที่ปรับเพียงค่าเดียวคือ ค่าอัตราขยายของตัวควบคุม (KC) หรือค่า PB (Proportional band) ซึ่งเป็นข้อดีของการควบคุมชนิดนี้ การเพิ่มตัวควบคุม P เข้าไปในระบบจะทำให้ได้ค่าช่วงเวลาไต่ขึ้น (Rise time) ของระบบลดลง แต่พบว่าจะมีค่า Offset หรือค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัว (steady-state error-Ess) เกิดขึ้นทำให้ผลการตอบสนองต่อสถานะอยู่ตัวไม่เข้าสู่ค่าของ Set Point ตามที่ต้องการแต่ก็สามารถทำให้ค่าความคลาดเคลื่อน ที่สถานะอยู่ตัวนี้ลดลงได้โดยการเพิ่มค่าอัตราขยาย KC (หรือลดค่า PB) ซึ่งก็มีผลกระทบทำให้ค่าพุ่งเกิน (Over Shoot) ของระบบมีค่ามากขึ้น จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมักจะใช้ตัวควบคุมแบบ P ร่วมกับตัวควบคุมชนิดอื่นเพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีขึ้น

2.2.3.2 ตัวควบคุมแบบ Proportional Derivative (PD)

เป็นแบบของการควบคุมกระบวนการที่สามารถใช้ตัวควบคุมแบบ Proportional ได้อยู่แล้ว โดยการเพิ่มส่วนของตัวควบคุมอนุพันธ์ (D) เข้าไปซึ่งคุณสมบัติของตัวควบคุม PD นี้จะคล้ายกับตัวควบคุมแบบ P คือ ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัวอยู่ในระบบ แต่ถ้าให้ค่าอัตราขยายของ Proportional มีค่าสูงๆ (หรือค่า PB ต่ำ) แล้ว จะพบว่าตัวควบคุม PD มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวน้อยกว่าตัวควบคุมแบบ (P)

2.2.3.3 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral (PI)

สำหรับกระบวนการที่ไม่ต้องให้มีความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวจะทำให้การควบคุมมีผลเสียหาย ควรใช้ตัวควบคุมชนิดนี้ เนื่องจากผลของตัวควบคุมอินทิกรัล (I) นั้นจะทำให้ไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวในระบบควบคุม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของตัวควบคุมชนิดนี้แต่อาจจะทำให้ระบบควบคุมมีการทำงานช้าลง

2.2.3.4 ตัวควบคุมแบบ Proportional Integral Derivative (PID)

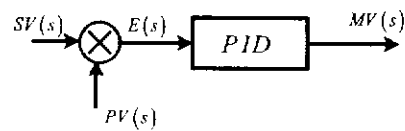
นิยมใช้กับกระบวนการที่มีค่าคงตัวเวลา (Time Constant) มีค่ามากหรือกระบวนการที่มีค่าเวลาไร้ผลตอบสนอง (Dead Time) หรือในกระบวนการที่ผลตอบสนองช้า อย่างเช่น กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิ สำหรับกระบวนการที่มีผลตอบสนองเร็ว อย่างเช่น กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการไหลของของไหล ตัวควบคุมแบบ PID อาจจะไม่เหมาะสมที่จะใช้งานเนื่องจากผลของอนุพันธ์ในตัวควบคุมจะทำให้ระบบควบคุมทนต่อสิ่งรบกวน แต่จะทำให้ลดค่าพุงเกินของระบบได้ดี

สำหรับตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (D) หรือตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (I) อย่างใดอย่างหนึ่งจะไม่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการใดๆ และเนื่องจากว่าตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นั้นจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงตัวเป็น 100% อีกทั้งยังพุงเกินสูง สำหรับตัวควบคุมแบบอินทิกรัล จะทำให้ระบบมีอันดับสูงขึ้น และอาจจะทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ เนื่องจากผลของการอินทิกรัล จะไปลดค่าอัตราการหน่วง (Damping Ratio) ของระบบ

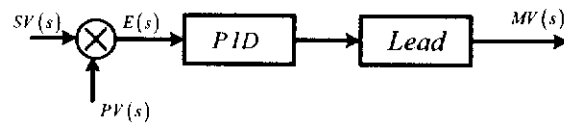
ในกรณีที่ตัวควบคุมที่กล่าวมาไม่สามารถควบคุมระบบตามที่ต้องการได้นั้น ก็สามารถเพิ่มอุปกรณ์ที่เรียกว่าตัวชดเชย (Compensator) เข้าไปในระบบได้เช่นตัวชดเชยแบบ Lead ซึ่งจะทำให้ระบบมีการตอบสนองเร็วขึ้นตัวชดเชยแบบ Lag ซึ่งจะทำให้ระบบมีพฤติกรรมตรงกันข้ามกับตัวชดเชยแบบ Lead ในการเพิ่มตัวควบคุมและตัวชดเชยให้แก่ระบบนั้น จะต้องพิจารณาด้วยว่ามีการเชื่อมต่ออย่างไรเข้ากับระบบที่ถูกควบคุมถ้าตัวควบคุมเป็นแบบอนุกรม (Series) กับระบบที่ถูกควบคุมจะเรียกว่าการควบคุมหรือชดเชยแบบอนุกรม ในบางครั้งเรียกการต่อแบบนี้ว่า Cascade ถ้าต่ออยู่ในลักษณะการป้อนกลับนั้น จะเรียกว่าการควบคุมหรือชดเชยแบบขนาน (Parallel) หรือแบบป้อนกลับ (Feed Back) นอกจากนั้นยังอาจต่ออยู่ในลักษณะที่เรียกว่าการควบคุม หรือชดเชยแบบ Forward หรืออาจจะนำแบบต่างๆเหล่านี้มาต่อรวมกันก็ได้ การเพิ่มตัวควบคุมหรือชดเชยเข้าไปในระบบนั้น ต้องพิจารณาพฤติกรรมของระบบระดับสัญญาณที่จุดต่างๆ รูปแบบในการต่อ คลอดจนต้องสามารถหาอุปกรณ์ทางกายภาพที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมหรือตัวชดเชยที่ต้องการให้ได้

2.2.4 รูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID

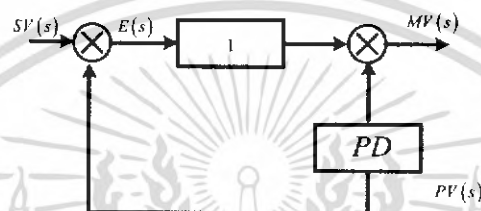
ตัวควบคุมแบบ PID พอดีจะแบ่งรูปแบบของตัวควบคุมตามกฎเกณฑ์ของการควบคุมได้เป็น 4 แบบตามรูปที่ 2.12



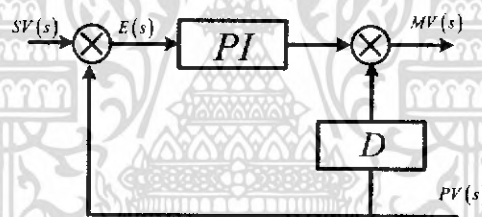
a)



b)



c)



d)

รูปที่ 2.12 รูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID

โดยที่

$SV(s)$ จุดปรับตั้ง (Set Point หรือ Set Value)

$PV(s)$ สัญญาณตัวแปรกระบวนการ (Process Variable)

$E(s)$ ผลต่างระหว่างจะปรับตั้งและสัญญาณป้อนกลับมีค่าเท่ากับ

$M(s)$ สัญญาณตัวแปรกระบวนการ (Manipulated Signal)

รูปแบบตามรูปที่ 2.12a เป็นรูปที่ใช้กันมากในการอธิบายเพื่อความเข้าใจตามหนังสือต่าง ๆ แต่เป็นรูปแบบที่ไม่ค่อยได้ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตจริงๆ พารามิเตอร์แต่ละตัวจะไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้นการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งจะไม่มีผลของค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ไปเกี่ยวข้องด้วย สมการของการควบคุมใน s-Domain แสดงได้ด้วยสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MV(s) = \left(\frac{100}{PB}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \cdot E(s) \dots\dots\dots 2.1$$

รูปแบบตามรูปที่ 2.12b เป็นรูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในตัวควบคุมแบบ PID แบบเชิงอุปมาน (Analog) ทั้งนี้ง่ายในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แต่ในปัจจุบันไม่ค่อยได้พบเห็นมากนัก เนื่องจากการปรับค่า PB , T_i , T_d นั้นจะมีผลกระทบต่อกัน (Mutual Interference) สมการของการควบคุมใน s-Domain แสดงได้ด้วยสมการที่ 2.2

$$MV(s) = \left(\frac{100}{PB}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) (1 + T_d s) \cdot \frac{E(s)}{\left(1 + \frac{T_d s}{N}\right)} \dots\dots\dots 2.2$$

สำหรับตัวควบคุมแบบ PID ตามรูปแบบที่ 2.12c และรูปที่ 2.12d นั้นเป็นรูปแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในเครื่องควบคุมแบบ PID ชนิดเชิงเลข (Digital PID Controller) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

สำหรับรูปตามรูปที่ 2.12c เป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมกระบวนการที่มีการรบกวนจากภายนอก (Load Supply Disturbance) แต่กระบวนการจะปรับตัวได้ไม่ค่อยดีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของจุดปรับตั้ง ทั้งนี้เนื่องจากค่า Proportional Band มีผลต่อตัวแปรกระบวนการ ส่วนรูปที่ 2.12d นั้นเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมที่มีการเปลี่ยนค่าจุดปรับตั้ง แต่กระบวนการจะปรับตัวได้ไม่ค่อยดีถ้ามีสัญญาณรบกวนจากภายนอก ทั้งนี้เนื่องจากค่า Proportional Band มีผลต่อค่าผลต่างระหว่างค่าจุดปรับตั้งกับตัวแปรกระบวนการ สำหรับรูปแบบทั้งสองที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ชัดเจนว่า Derivative Term นั้นจะมีผลเฉพาะค่าตัวแปรกระบวนการ ทั้งนี้มีข้อดีคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าจุดปรับตั้งอย่างทันทีทันใดจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของกระบวนการ สมการคณิตศาสตร์ใน s-Domain ของรูปแบบที่ 2.9d แสดงได้ตามสมการที่ 2.4

$$MV(s) = \left(\frac{100}{PB}\right) \cdot \left(PV(s) + \frac{E(s)}{T_i s} + \frac{T_d s \cdot PV(s)}{\left(1 + \frac{T_d s}{n}\right)} \right) \dots\dots\dots 2.3$$

$$MV(s) = \left(\frac{100}{PB}\right) \cdot \left(E(s) + \frac{E(s)}{T_i s} + \frac{T_d s \cdot PV(s)}{\left(1 + \frac{T_d s}{N}\right)} \right) \dots\dots\dots 2.4$$

2.2.5 ผลของพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID กับกระบวนการ

2.2.5.1 ผลของ Proportional Band กับกระบวนการ

Proportional Band กับการควบคุมกระบวนการนั้น Proportional Band จะเป็นสัดส่วนผกผันกับการเพิ่มค่าอัตราขยายของกระบวนการโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราขยายกับค่า Proportional Band สามารถแสดงได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 2.5

$$Gain = (100 / PB) \dots\dots\dots 2.5$$

สำหรับผลของ Proportional Band กับการควบคุมแบบ P-Control นั้น Proportional Band จะมีผลกับขนาดของผลตอบสนองรวมถึงความไว (Sensitivity) และออฟเซต (Offset) หรือค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัว (Steady State Error) ของผลต่อค่า Proportional Band ที่มากเกินไปจะมีผลทำให้เกิดค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวมากขึ้น และทำให้ความของผลตอบสนองลดลง ในทางตรงกันข้าม ค่าของ Proportional Band ที่น้อยเกินไปจะทำให้กระบวนการเกิดการแกว่งหรือเข้าใกล้จะไร้เสถียรภาพมากขึ้น

2.2.5.2 ผลของ Integral Time กับกระบวนการ

สำหรับ Integral Action นั้น จะมีผลตอบสนองในลักษณะของค่าสะสมแต่จะไม่มีผลตอบสนองในลักษณะทันทีทันใด ในการลดค่า Integral Time จะมีผลทำให้ออฟเซตหรือค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวของกระบวนการลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก Integral Action จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของความผิดพลาดสะสมของผลตอบสนอง แต่ถ้า Integral Time ที่ตั้งให้กระบวนการนั้นมีค่าน้อยเกินไป (Integral Action มากไป) ก็จะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการเกิดการแกว่งมากขึ้น (การพุ่งเกินมากขึ้น) เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สถานะคงตัวนานขึ้น ในทำนองกลับกัน การเพิ่มค่า Integral Time จะมีผลในทางตรงกันข้ามกับที่กล่าวมาแล้ว คือ จะเพิ่มค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวของผลตอบสนองของกระบวนการ ถ้าผลตอบสนองของกระบวนการนั้นเป็นผลตอบสนองที่มีค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวอยู่ แต่ในขณะเดียวกันก็จะเป็นการลดการแกว่งหรือการพุ่งเกินของผลตอบสนองของกระบวนการ ในกรณีที่กระบวนการนั้นมีค่า Integral Time เดิมน้อยเกินไป เมื่อมีการเริ่มเดินเครื่องอย่างอัตโนมัติ (Automatic Start) ด้วยการควบคุมของตัวควบคุมแบบ PID Integral Action จะทำให้เกิด Integral Windup เนื่องจากขณะเริ่มเดินเครื่อง ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นเป็นเวลานาน ทำให้เทอมของ Integral มีค่าเกิน 100%

2.2.5.3 ผลของ Derivative Time กับผลตอบสนองของกระบวนการ

ผลของ Derivative Action จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุต ซึ่งมีผลทำให้กระบวนการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น สำหรับตัวควบคุมแบบ PID ที่มีรูปแบบตามสมการที่ 2.3 และ 2.4 นั้น ค่าของ Derivative Action จะมีผลกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เกี่ยวกับกระบวนการ โดยจะทำให้กระบวนการมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นแต่ Derivative Action จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Set Point แต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม Derivative Action จะมีผลเสียในการควบคุมกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวนมาก ทั้งนี้เนื่องจาก Derivative Action จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เข้ามาอย่างมาก ดังนั้นกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวน เช่น กระบวนการควบคุมอัตราการไหล หรือ กระบวนการควบคุมความดัน Derivative Control อาจมีผลทำให้กระบวนการไม่มีเสถียรภาพ (Unstable)

สำหรับผลของค่าพารามิเตอร์ทั้งสามตัวที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเป็นการพิจารณาผลตอบสนองของกระบวนการอย่างไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน หรือใช้เป็นการพิจารณาทางทฤษฎีเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้ว ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้งสามกับผลตอบสนองของกระบวนการยังเกี่ยวพันกับสิ่งอื่นๆ อีก เช่น รูปแบบของการควบคุมนั้น จะใช้การควบคุมในลักษณะใด และยังเกี่ยวพันกับสภาพแวดล้อม สัญญาณรบกวนที่กระบวนการได้รับอีกด้วย ดังนั้นในการปรับค่าของพารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยปกติต้องอาศัยความคุ้นเคยและความชำนาญกับกระบวนการหรือตัวควบคุมแบบนั้นๆ เป็นอย่างมาก

2.2.6 การออกแบบตัวควบคุมแบบ PID ในโดเมนเวลา

ตัวควบคุมแบบ PID ประกอบด้วยตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) และตัวควบคุมแบบ Derivative (D) และมีฟังก์ชันการถ่ายโอนดังนี้

$$G_c(s) = K_p + K_D(s) + \frac{K_I}{s}$$

โดยที่ K_p, K_D และ K_I เป็นค่าจริงบางครั้งค่าของ K_I จะแสดงอยู่ในรูปของ $\frac{1}{T_i}$ (Integral Time)

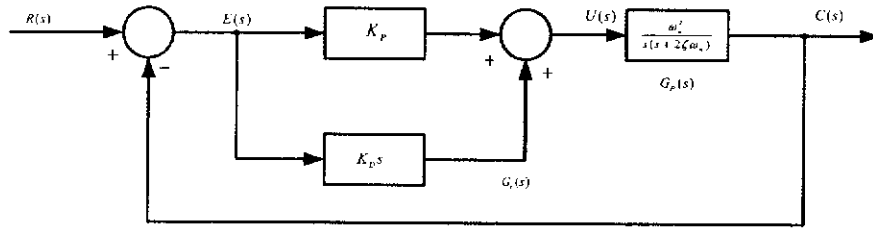
K_D จะแสดงอยู่ในรูปของ T_d (Derivative Time)

2.2.6.1 ผลของตัวควบคุมแบบ Proportional + Derivative (PD)

พิจารณาระบบควบคุมป้อนกลับแบบ Unit ที่มีตัวควบคุมแบบ PD ดังแสดง

ดังรูป 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ Unit ที่มีตัวควบคุมแบบ PD

จากรูปฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูบเปิดของระบบที่ถูกควบคุม คือ

$$G_p(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s + 2\zeta\omega_n)}$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม คือ

$$G_c(s) = K_p + K_p s$$

สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม จะเป็น

$$u(t) = K_p e(t) + K_p \frac{de(t)}{dt}$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูบเปิดของระบบที่ถูกควบคุมโดยรวม คือ

$$G(s) = G_c(s)G_p(s) = \frac{C(s)}{E(s)} = \frac{\omega_n^2(K_p + K_p s)}{s(s + 2\zeta\omega_n)}$$

ซึ่งเท่ากับการเพิ่ม Zero ที่ $s = -K_p / K_D$ ให้กับฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูบเปิดสมการคุณลักษณะ คือ

$$s^2 + (2\zeta\omega_n + K_D\omega_n^2)s + K_p\omega_n^2 = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

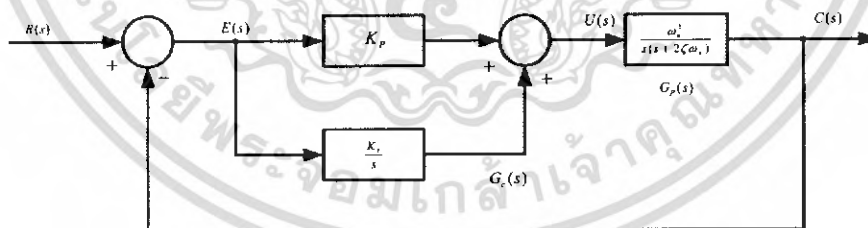
ในการควบคุมแบบ PD นั้น ผลของตัวควบคุมแบบ Derivative บางครั้งจะเรียกว่า Rate จะทำให้สัมประสิทธิ์ของเทอม S มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย $K_D \omega_n^2$ ซึ่งทำให้อัตราการหน่วงมีค่ามากขึ้น และส่งผลให้ Maximum Overshoot มีค่าลดลงหรือหมดไป กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ พฤติกรรมของระบบอาจจะเปลี่ยนจากกรณี Under Damped ที่มีอัตราการหน่วงน้อยไปเป็นกรณี Under Damped ที่มีอัตราการหน่วงมากขึ้นหรือเป็นกรณีของ Critical Damped หรือ Over Damped ได้ อย่างไรก็ตาม K_D จะต้องมีความเหมาะสมถ้ามีค่าน้อยเกินไป ก็ไม่สามารถปรับปรุงเสถียรภาพสัมพัทธ์ได้ดีเท่าที่ควร แต่หากมีค่ามากเกินไป ก็จะทำให้ผลตอบสนองชั่วครู่ของระบบเกิด Overshoot มากขึ้น หรืออาจทำให้ผลตอบสนองของระบบช้าลง สิ่งที่ต้องการทราบอีกอย่างหนึ่งก็คือ การควบคุมแบบ Derivative นี้ จะไม่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่สภาวะคงที่โดยตรง ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่นั้นเป็นค่าคงที่ แต่จะมีผลทางอ้อมอันเนื่องมาจาก ζ มีค่าเพิ่มขึ้น สามารถทำให้ปรับอัตราการขยายให้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ผลตอบสนองที่สภาวะคงที่ดีขึ้น

สรุปได้ว่าการชดเชยตัวควบคุมแบบ PD ที่มีค่า K_D ที่เหมาะสมทำให้

1. เสถียรภาพสัมพัทธ์ของระบบดีขึ้น (ลด Overshoot)
2. ประยุกต์ใช้กับระบบที่มี Time Lag มาก ๆ ได้ดี
3. มีผลทางอ้อมต่อผลตอบสนองที่ภาวะคงที่ แต่ไม่มีผลโดยตรง

2.2.6.2 ผลของตัวควบคุมแบบ Proportional + Integral (PI)

พิจารณาระบบควบคุมป้อนกลับแบบ Unit ที่มีตัวควบคุมแบบ PI ดังรูป 2.14



รูปที่ 2.14 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ Unit ที่มีตัวควบคุมแบบ PI

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม คือ

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบรูปเปิดของระบบที่ถูกควบคุมโดยรวม คือ

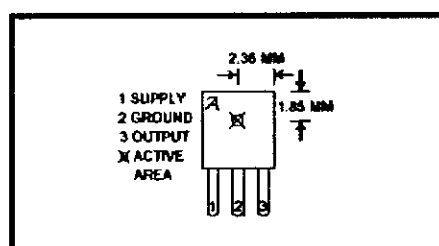
$$G_c(s) = G_c(s)G_p(s) = \frac{\omega_n^2(K_p s + K_I)}{s^2(s + 2\zeta\omega_n)}$$

ซึ่งเท่ากับการเพิ่ม Zero ที่ $s = -K_I/K_p$ และเพิ่ม Pole ที่ $s = 0$ ให้กับฟังก์ชันถ่ายโอนแบบรูปเปิด และมีผลทำให้ชนิดของระบบเปลี่ยนจากชนิดที่ 1 เป็นชนิดที่ 2 ก่อนที่จะเพิ่มก่อนที่จะเพิ่มตัวควบคุมแบบ Integral (บางครั้งเรียกว่า Reset) เข้าไปค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่ของระบบนี้ต่ออินพุทแบบ Step จะมีค่าเป็นศูนย์และมีค่าเท่ากับ $s = 1/K_p$ เมื่ออินพุทเป็นแบบ Ramp แต่เมื่อใส่ตัวควบคุมแบบ Integral เข้าไป ชนิดของระบบจะเปลี่ยนจากชนิดที่ 1 เป็นชนิดที่ 2 นั่นคือค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่ของระบบนี้ต่ออินพุทแบบ Step และแบบ Ramp จะมีค่าเป็นศูนย์ จึงกล่าวได้ว่าผลของตัวควบคุมแบบ Integral ทำให้ความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ลดลง

2.3 ทฤษฎีและหลักการของ Hall Effect Sensor

แม่เหล็ก (magnet) เป็นสิ่งที่สามารถดูวัสดุบางชนิดได้ เช่น เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ เป็นต้น การที่แม่เหล็กดูดสารบางอย่างได้ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็ก (magnetic field) ในบริเวณโดยรอบแม่เหล็ก เราสามารถตรวจสอบว่าบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กหรือไม่ โดยใช้เข็มทิศ แต่เราไม่สามารถทราบได้ว่ามีค่าเท่าใด นักวิทยาศาสตร์พยายามวัดสนามแม่เหล็กด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันเราสามารถวัดสนามแม่เหล็กได้สะดวกและรวดเร็วโดยใช้ตัวรับรู้ออลล์ (Linear Hall sensor) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ตัวรับรู้ออลล์เป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ซึ่งเป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านในแนวตั้งเมื่อนำตัวรับรู้ออลล์ไปต่อกับโวลต์มิเตอร์ แล้วนำไปวางใกล้บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กก็จะทำให้ทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้

2.3.1 ตัวรับรู้ออลล์ (Linear Hall sensor)



รูปที่ 2.15 ตัวรับรู้ออลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

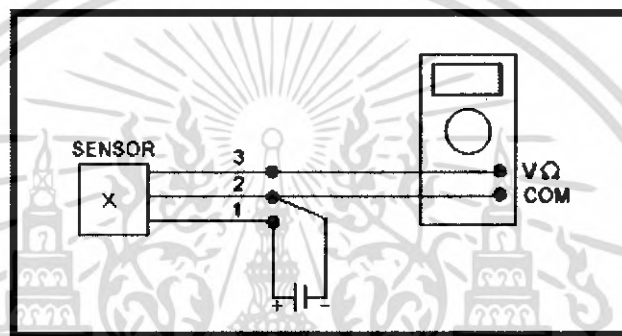
ตัวรับรู้ออสลล์เป็นวงจรรวมมีขนาดและลักษณะดังรูปที่ 2.15 และมีสมบัติดังนี้

input voltage 4.5 – 6 V

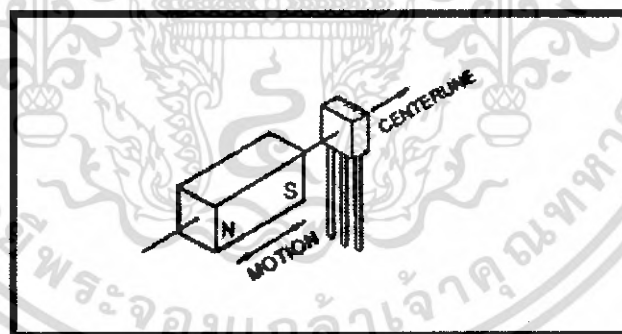
offset voltage 2.5 V (ประมาณ)

sensitivity 13 V/T

เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงหรือเซลล์ไฟฟ้า 4.5-6 โวลต์ เข้ากับขา 1 และขา 2 และ ต่อ โวลต์มิเตอร์เข้ากับขา 2 และขา 3 ดังรูปที่ 2.12 โวลต์มิเตอร์จะแสดงค่าประมาณ 2.5 โวลต์ ค่านี้เป็น ความต่างศักย์ขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก เรียกว่า offset voltage ค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย ขึ้นอยู่กับโวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ต่อกับขา 1 และขา 2 แต่จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของ โวลเตจของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง



รูปที่ 2.16 การต่อตัวรับรู้ออสลล์กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและโวลต์มิเตอร์



รูปที่ 2.17 การวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำแม่เหล็กเข้าใกล้ Active area ของตัวรับรู้ออสลล์ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศของสนามแม่เหล็ก กล่าวคือถ้านำขั้วใต้เข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ ถ้านำขั้วเหนือเข้าใกล้ ความต่างศักย์จะมีค่าลดลง ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไปมีความสัมพันธ์กับ ความเข้มของสนามแม่เหล็กหรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux density) ดังนี้

$$B = (V_{\text{out (B)}} - V_{\text{out (O)}}) S^{-1}$$

เมื่อ $V_{\text{out (O)}}$ เป็นความต่างศักย์ขณะไม่มีสนามแม่เหล็ก

$V_{\text{out (B)}}$ เป็นความต่างศักย์ขณะมีสนามแม่เหล็ก

S เป็นสัมประสิทธิ์ความไว มีหน่วยเป็น โวลต์ต่อเทสลา (V/T)

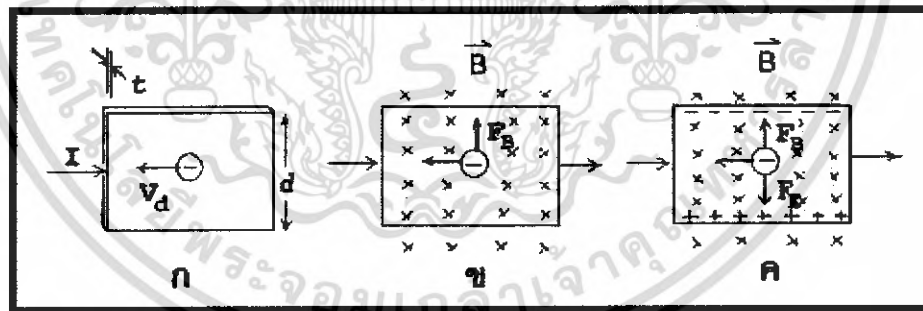
(สำหรับตัวรับรู้ฮอลล์ที่ใช้ในบทความนี้ $S = 13 \text{ V/T}$)

B เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก หรือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (T)

ตัวรับรู้ฮอลล์สามารถวัดสนามแม่เหล็กในบริเวณใกล้แม่เหล็กถาวร สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบริเวณปลายโซเลนอยด์และสนามแม่เหล็กใกล้เส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านได้

2.3.2 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) นักศึกษามหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปกินส์ ซึ่งในขณะนั้นมีอายุ 24 ปี ได้พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (charge carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้ และการเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบาง ในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮอลล์



รูป 2.18 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อธิบายได้โดยใช้รูป 2.18ก-ค ดังนี้

รูป 2.18ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current) I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน v_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

รูป 2.18ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบาง หรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

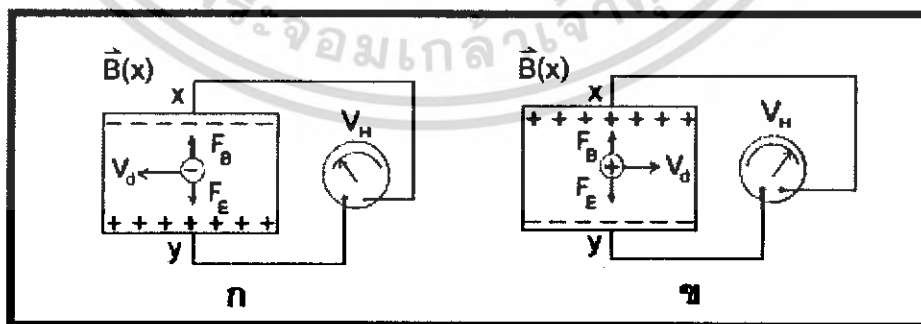
รูป 2.18ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าเรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน

สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลเตจ(V) ดังนี้

$$E_H = \frac{V}{d} \dots\dots\dots (1)$$

ความต่างศักย์หรือโวลเตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage) V_H พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซีลีคอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก (เหตุผล พิจารณาได้จากสมการ (7) หรือสมการ (8) ในตอนท้าย) จากสมการ (1) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \dots\dots\dots (2)$$



รูป 2.19 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H

เราสามารถวัด V_H โดยต่อมิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูป 2.19ก

สภาพัฒน์ของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จากมิลลิโวลต์มิเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.19ก พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในรูป 2.19ก แต่ทิศของ F_b และ E_e ยังคงเดิม ดังแสดงในรูป 2.19ข ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพหัวของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ

จากรูป 2.18ค ขณะที่แรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

$$(-e)E_H = (-e)V_d B \dots\dots\dots(3)$$

จากสมการ (2) จะได้

$$\begin{aligned} V_H &= E_H d \\ V_H &= V_d B d \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ n คือ จำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง

แทนสมการ (5) ลงในสมการ (4) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA} \dots\dots\dots(6)$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{d}$ คือ ความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net} \dots\dots\dots(7)$$

สมการ (7) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = netI^{-1}V_H \dots\dots\dots(8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณ $V_H I$ และ t ในสมการ (8) หาได้จากการวัด ส่วนค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหัววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า $n \approx 10^{22} \text{ m}^{-3}$ และโลหะทั่วไปมีค่า $n \approx 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการ (8) ได้

ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1\text{T} = 10^4\text{G}$

2.4 ทฤษฎีและหลักการของโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 2.20 โปรแกรม LabVIEW 7.1

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW สามารถเขียนเป็นสมการต่างๆที่ซับซ้อนได้เหมือน Text-Based เช่น ภาษา C โดยใช้ Formula Node และการทำงานของ LabVIEW นั้นจะเน้นทางการติดต่อกับเครื่องมือหรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ใช้วัดสัญญาณทางกายภาพต่างๆและนอกจากนั้นสามารถนำประโยชน์จาก Computer Technology และ Network Technology มาประยุกต์ใช้งาน เช่น เก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล (Database) หรือส่งผ่านข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ทำให้ในหลายอุตสาหกรรมได้นำเอา LabVIEW มาประยุกต์ใช้งานกับงานวัดควบคุมและออโตเมชัน (Automation)

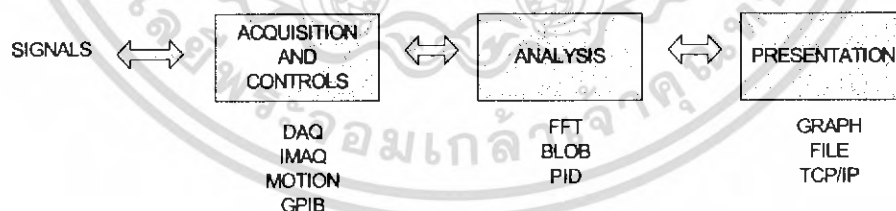
2.4.1 ที่มาของ LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อๆว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน

LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นเองได้อย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่างๆที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป, ปุ่มหมุน(Dial) และสวิตช์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์

พื้นที่ส่วนที่ใช้เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ

LabVIEW อาศัยหลักการการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ต้องการ หลักการดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ



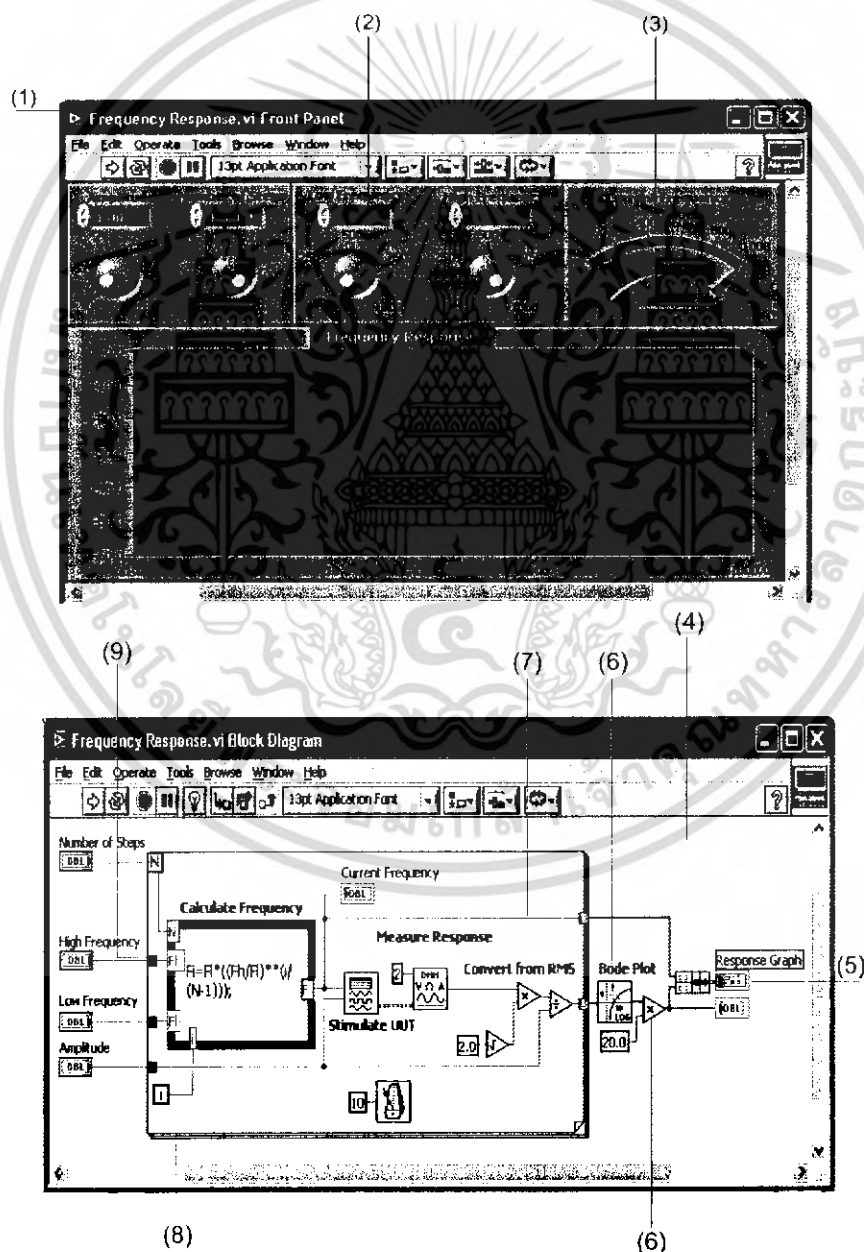
รูปที่ 2.21 หลักการทำงานของ LabVIEW

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลังจากที่รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการทำ Analysis หรือวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้
3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่ต้องจำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา หรือ Spectrum Analyzer จะแสดงสัญญาณในรูปแบบความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

2.4.2 ส่วนประกอบต่างๆใน LabVIEW (LabVIEW Environment)



รูปที่ 2.22 ส่วนประกอบของ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.22 ส่วนประกอบต่างๆของ LabVIEW อธิบายตามหมายเลข

(1) Front Panel คือส่วนที่จะติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ซึ่งส่วนนี้จะประกอบด้วย Control หรือ Input (รับข้อมูลจากผู้ใช้) และ Indicator หรือ Output (แสดงผลให้ผู้ใช้นั้นเห็น)

(2) Control คือสิ่งที่ผู้ใช้งานจะป้อนค่าหรือเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งก็คือ Input เข้าสู่ระบบในรูปแบบ Numeric Control (ตัวรับข้อมูลแบบตัวเลข)

(3) Indicator เป็นสิ่งที่โปรแกรมแสดงผลออกมาให้ผู้ใช้งานเห็น ซึ่งก็คือ Output ที่ออกมาจากระบบหรือ Application ที่เราพัฒนา ในรูปแบบตัวอย่างของ Numeric Indicator (ตัวแสดงผลแบบตัวเลข)

(4) Block Diagram คือส่วนที่ผู้พัฒนาใช้ในการเขียนโปรแกรม หรือส่วนของ Source Code

(5) Terminal จะมี 2 รูปแบบคือ จุดกำเนิด (Source) หรือ (Output Terminal) และจุดรับ (Sink) หรือ (Input Terminal)

(6) Icons คือ ส่วนที่มีการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเมื่อโปรแกรมทำงาน เช่น ฟังก์ชันซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่มีอยู่แล้วใน LabVIEW ได้แก่ Add, Subtract หรือ SubVIs ซึ่งจะหมายถึง VI ที่ถูกเรียกอ่านจากอีก VI หนึ่ง

(7) Wire คือ เส้นทางของข้อมูลที่ส่งผ่านจุดกำเนิดข้อมูล (Source) ไปจุดรับข้อมูล/จุดสิ้นสุด (Sink)

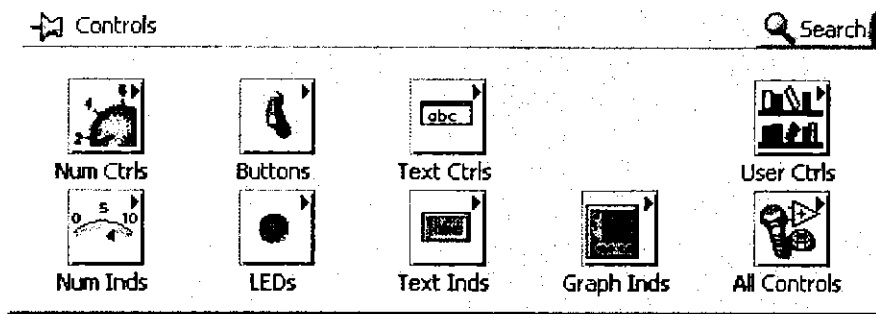
(8) Structures คือ ส่วนที่ควบคุมขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เช่น For Loop

(9) Node คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างข้อมูลกับ SubVI, Function หรือ Structure

2.4.3 เครื่องมือในการออกแบบ VI

2.4.3.1 เครื่องมือที่ใช้ออกแบบ Front Panel

เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel จะใช้ Controls Palette และ Tools Palette LabVIEW มี Controls Palette ที่ใช้ในการออกแบบ Front Panel ซึ่งเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) โดยจะจัดเป็นกลุ่มต่าง ๆ เช่น กลุ่มของตัวเลข (Numeric) ซึ่งภายในกลุ่มจะมี Control และ Indicator ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับตัวเลข



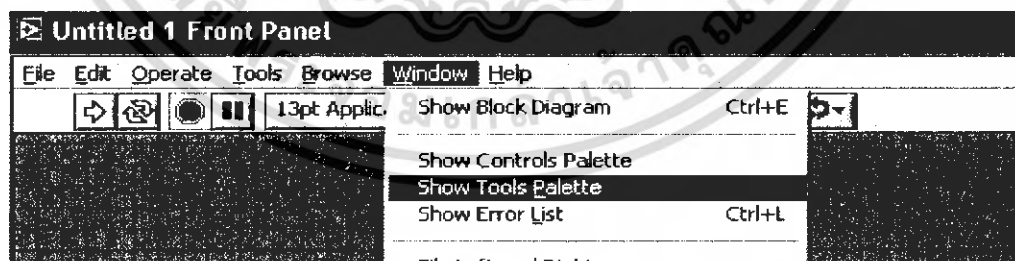
รูปที่ 2.23 Controls Palette

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



รูปที่ 2.24 Tools Palette

วิธีเปิด Tools Palette มี 2 วิธีคือ เปิดโดย Click ที่ Window >> Show Tools Palette



รูปที่ 2.25 วิธีเรียกใช้ Tool palette

หรือ Shift + Right click ในตำแหน่งที่ว่างของ Front Panel แล้วเลือก Tool โดย Click ที่ Tool ที่ต้องการหนึ่งครั้ง

Tool ที่ใช้บ่อย ๆ ในการออกแบบ Front Panel เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.26 Operate Value Tool

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



รูปที่ 2.27 Position/Size/Select Tool

3. Edit Text Tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษรหรือเพิ่มข้อความลงบน Front Panel



รูปที่ 2.28 Edit Text Tool

4. Set Color Tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสีของสิ่งที่เราต้องการเปลี่ยนสี ซึ่งสามารถเปลี่ยนสีทั้งสีด้านบน (Foreground) ของสิ่งใด ๆ และสีพื้น (Background) ถ้าสิ่งนั้นมี Background เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 Set Color Tool

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



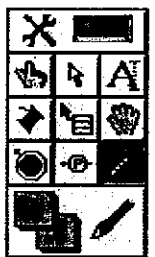
รูปที่ 2.30 Object Shortcut Menu Tool

6. Scroll Window Tool ใช้สำหรับการเลื่อน (Scroll Window) ทั้ง Front Panel และ Block Diagram



รูปที่ 2.31 Scroll Window Tool

7. Get Color เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคัดลอก (Copy) สีที่เราเลือกจากวัตถุหนึ่งเพื่อที่จะนำไปใช้ในการเปลี่ยนสีของอีกวัตถุหนึ่งให้สีเหมือนกับวัตถุที่เรา Copy สีมา โดยใช้ Color Tool

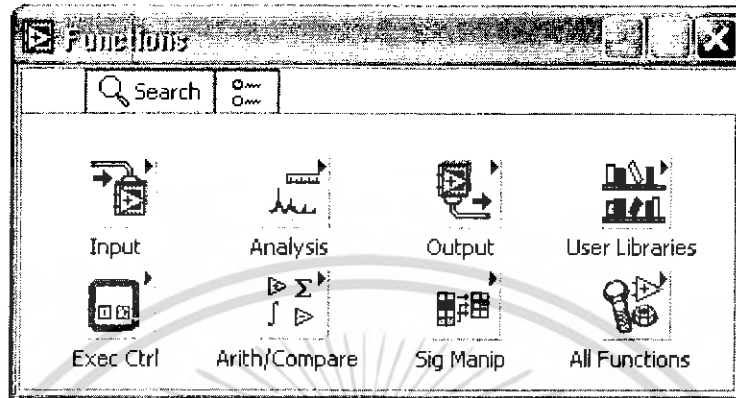


รูปที่ 2.32 Get Color

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ Block Diagram

LabVIEW ใช้ Functions Palette ซึ่งจะมี Function และ SubVI ต่างๆที่มีอยู่แล้ว ให้ผู้ใช้เลือกใช้ โดย Function และ SubVI จัดเป็นกลุ่ม ๆ เช่น Numeric Function จะมี Function ต่างๆ เกี่ยวกับตัวเลข เช่น บวก ลบ คูณ หาร



รูปที่ 2.33 Functions Palette

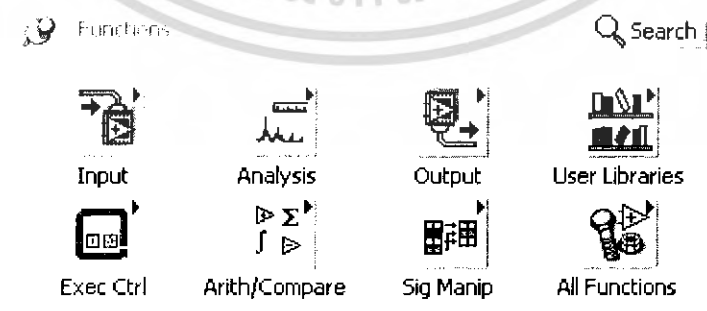
การเลือกแถบ Function หรือ Functions Palette ขึ้นมาแสดงมีได้ 2 วิธี เช่นเดียวกับ Front Panel โดยการ

1. Click ที่เมนู Window >> Show Functions Palette ของ Block Diagram



รูปที่ 2.34 วิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 1

2. Right-Click ที่ตำแหน่งว่างบน Block Diagram และ Click ที่เมนู



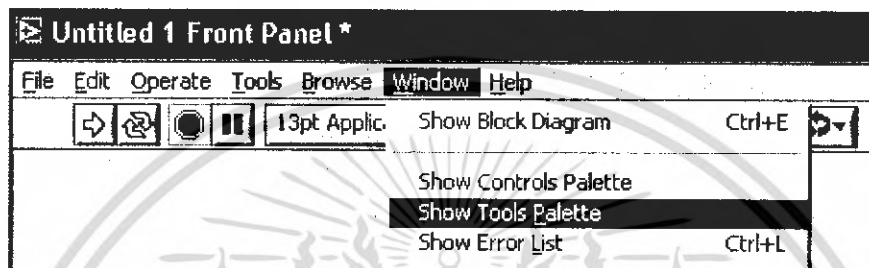
รูปที่ 2.35 วิธีเลือกใช้ Functions Palette วิธีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

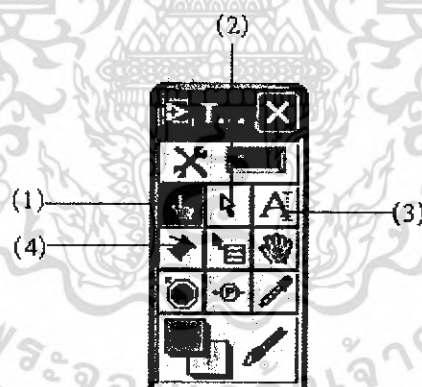
Tools Palette สำหรับ Block Diagram

เปิด Tools Palette โดยการ Click ที่ Window>> Show Tools Palette หรือกด Shift + Right Click แล้ว Click เลือก Tool ที่ต้องการใช้



รูปที่ 2.36 วิธีการเปิด Tools Palette

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



รูปที่ 2.37 Tool ที่ใช้ใน Block Diagram

(1) Operating Tool ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าหรือเลือกค่าคงที่ใน Block Diagram

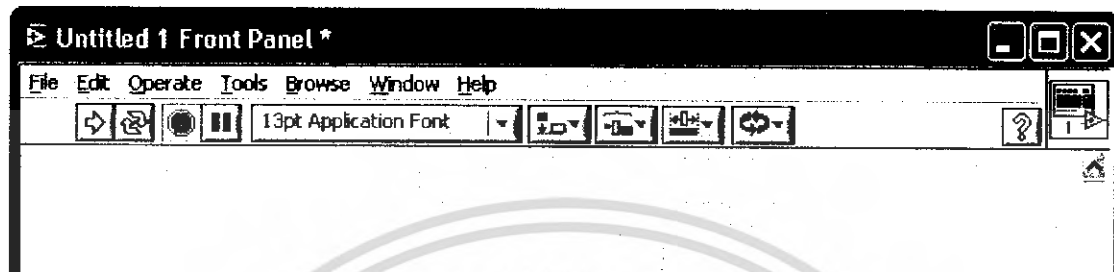
(2) Position/Size/Select ใช้ในการเลือก/เคลื่อนย้าย/จัดขนาดของสิ่งที่สร้างขึ้นบน Block Diagram

(3) Edit Text Tool ใช้ในการแก้ไขข้อความที่เป็นตัวอักษร หรือเพิ่มข้อความลงบน Front Panel
















เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) Wiring Tool ใช้ในการโยงสาย (Wiring) ระหว่าง Terminal หรือ Node ซึ่งสายที่โยงนี้จะเป็นเส้นทางเดินของข้อมูล

2.4.4 Front Panel Toolbar




รูปที่ 2.38 Front Panel Toolbar


-  โปรแกรมสามารถ Run ได้เมื่อ Click ปุ่มนี้บน Toolbar
-  โปรแกรมกำลัง Run อยู่
-  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 ต่อไปได้
- เมื่อ Click ปุ่ม  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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 Block Diagram Toolbar

สิ่งที่เพิ่มเติมจาก Front Panel Toolbar ในส่วนของ Block Diagram มีดังต่อไปนี้

 Highlight Execution เมื่อ Click แล้ว ในการ Run Program จะทำให้โปรแกรม Run ช้าลงเพื่อให้เราเห็นถึงการไหลของข้อมูล และทำงานของโปรแกรม

 เมื่อ Click แล้วจะออกจากโหมด (Mode) ที่โปรแกรม Run ช้า (Highlight Execution)

 เป็นการ Run โปรแกรมแบบทีละคำสั่ง และจะลงไปถึงคำสั่งของ SubVI

 เป็นการ Run โปรแกรมแบบทีละคำสั่ง แต่จะไม่ลงไปถึงคำสั่งของ SubVI

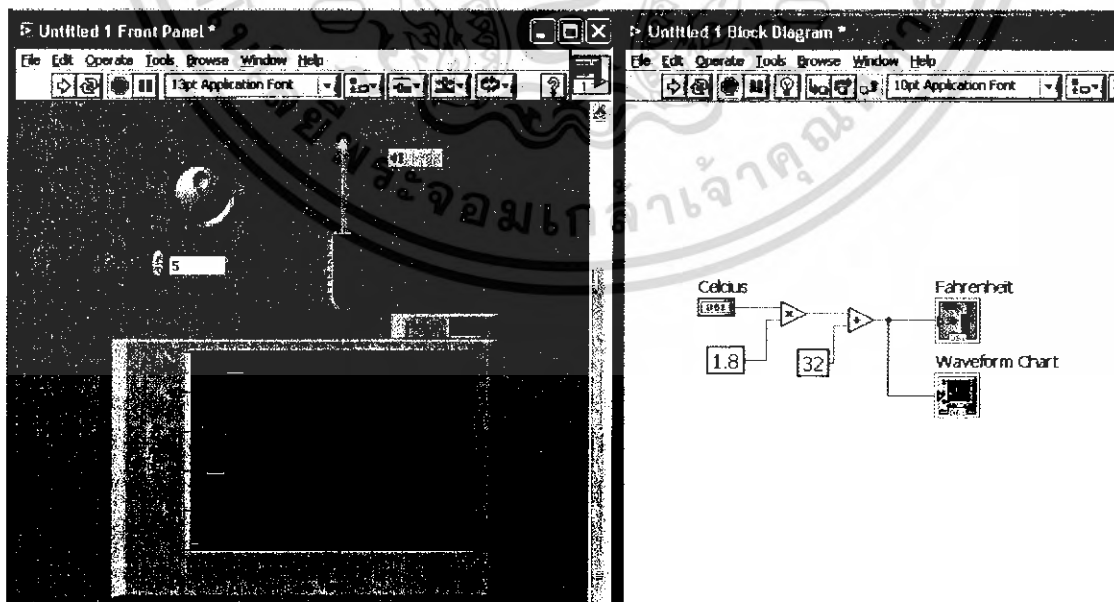
 ให้ Run จนออกจาก Loop และ SubVI

2.4.6 การพัฒนาโปรแกรม

2.4.6.1 หลักการทำงานของ Dataflow Programming

โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย LabVIEW จะทำงานโดยอาศัยหลักการของ Dataflow ซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้ คือ

1. ฟังก์ชันหรือ SubVI จะทำงานเมื่อมีข้อมูล (Input)
2. เมื่อฟังก์ชันหรือ SubVI ทำงานเสร็จจะให้ข้อมูล (Output) ไปยังฟังก์ชันหรือ SubVI อื่นๆที่ต้องการข้อมูล
3. ข้อมูลจะถูกส่งผ่านโดยสาย (Wire)



รูปที่ 2.39 หลักการทำงานของ Dataflow Programming

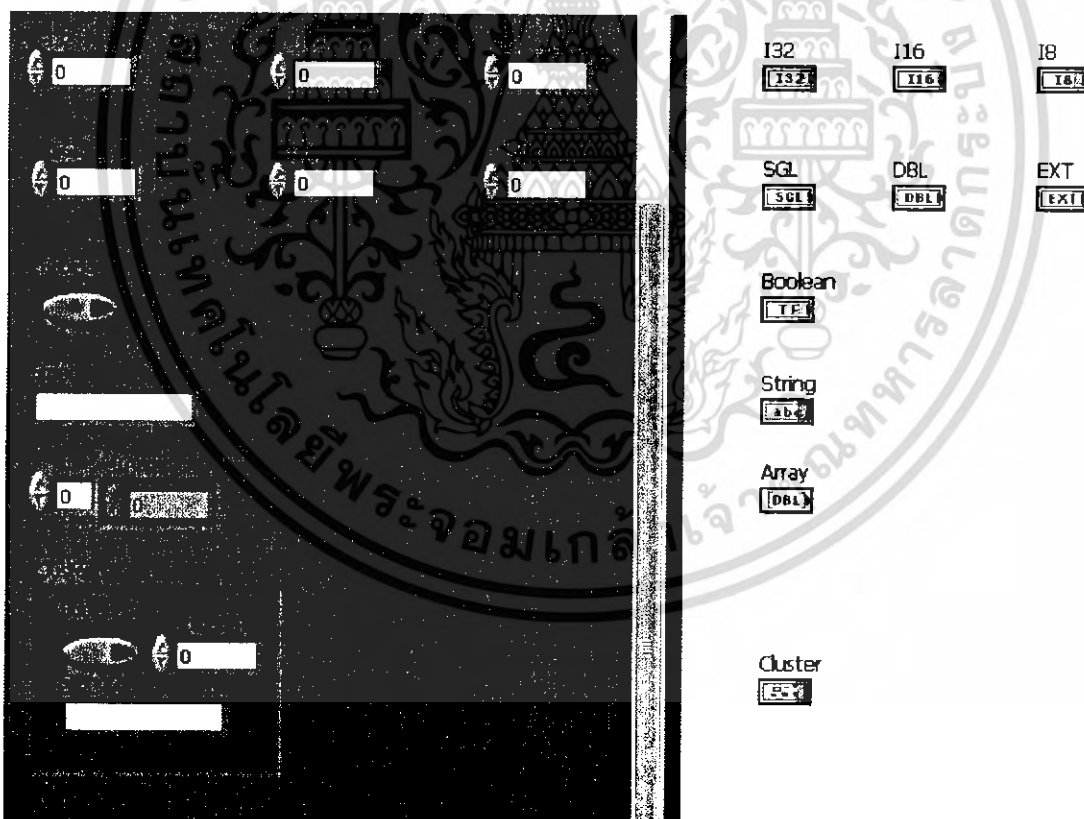
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.39 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะเป็นดังนี้

1. ฟังก์ชันคูณ (Multiply) จะทำงานก่อนฟังก์ชันบวก เพราะฟังก์ชันคูณมีข้อมูล (Input) พร้อม แต่ฟังก์ชันบวกต้องรอ Output จากฟังก์ชันคูณ (หลักการ Dataflow ข้อที่ 1)
2. หลังจากฟังก์ชันคูณทำงานเสร็จจะส่งผ่านข้อมูลไปยังฟังก์ชันบวก (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)

2.4.6.2 Data Type (ประเภทของข้อมูล)

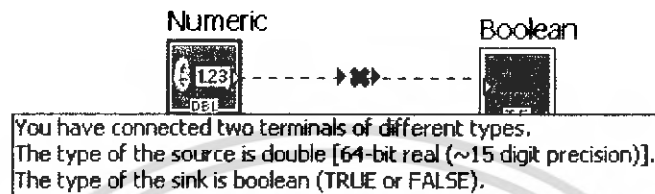
เช่นเดียวกับภาษาโปรแกรมอื่นๆ เช่น ภาษา C ที่มีประเภทของข้อมูล ประเภทของข้อมูลใน LabVIEW ที่สำคัญจะประกอบด้วย Numeric, Boolean, String และ Waveform ซึ่งแต่ละรูปแบบของประเภทข้อมูลจะมีการแยกสีให้แตกต่างกัน (Color Code)



รูปที่ 2.40 Data Type (ประเภทของข้อมูล)

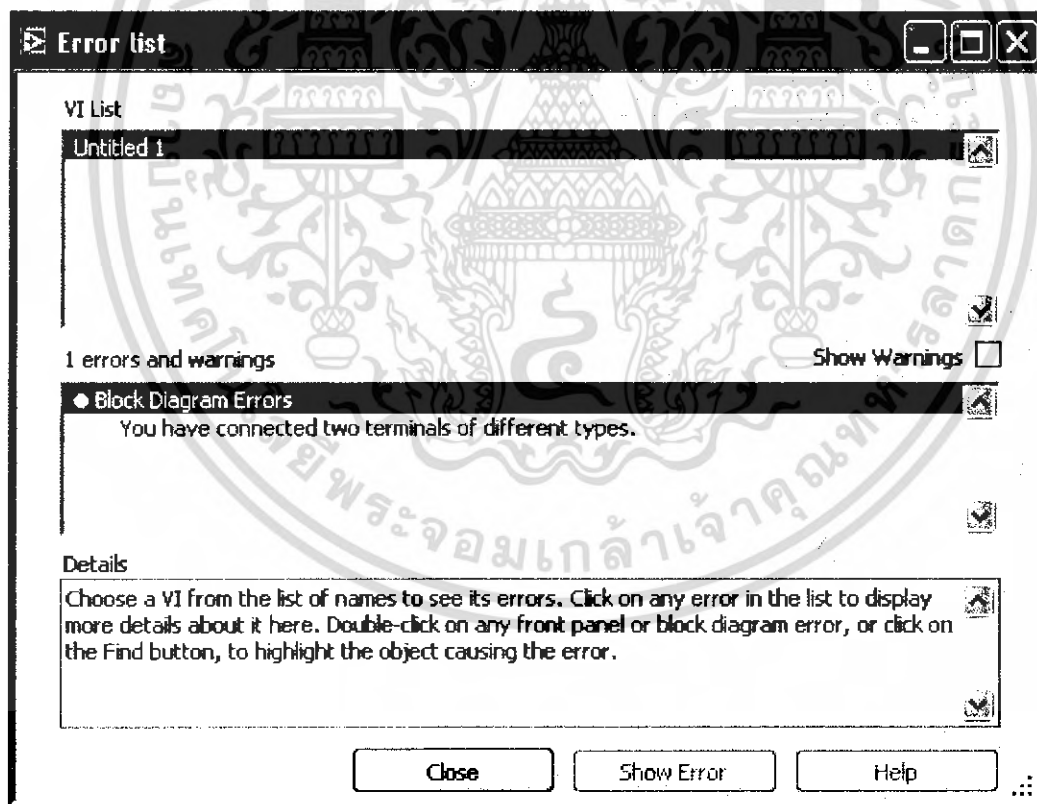
ซึ่งแต่ละประเภทของข้อมูลจะมีฟังก์ชันที่แยกตามประเภทกัน รวมทั้งสีของ (Wiring) จะขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของข้อมูลมีความสำคัญในการเขียนโปรแกรม เพราะฟังก์ชัน หรือ SubVI รับรูปแบบ Input และให้ Output แตกต่างกันไป เช่น ฟังก์ชันคูณรับข้อมูลประเภทตัวเลข หรือ Array ของตัวเลข ซึ่งถ้านำเอาข้อมูลประเภทตัวอักษร (String Data Type) มาป้อนที่ด้าน Input Terminal แล้ว LabVIEW จะแสดงเส้น (Wire) เป็นเส้นประ ซึ่งเราสามารถดูคำอธิบายได้ โดยการเลื่อน Cursor ไปเหนือเส้นประนั้น



รูปที่ 2.41 การ Wiring ที่ผิด

หรือ Click ที่ปุ่ม Run เพื่อให้แสดง Error List

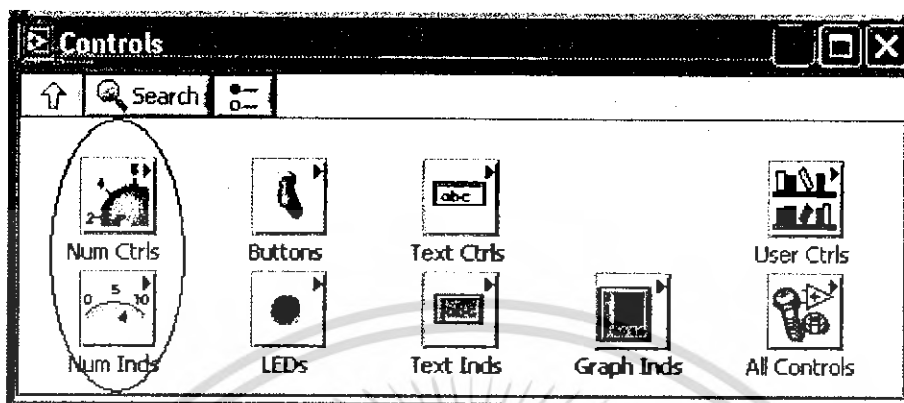


รูปที่ 2.42 Error List

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

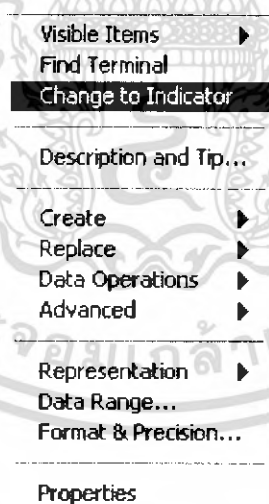
2.4.7 Numeric Data type

2.4.7.1 Numeric Control และ Indicator



รูปที่ 2.43 Numeric Control และ Indicator

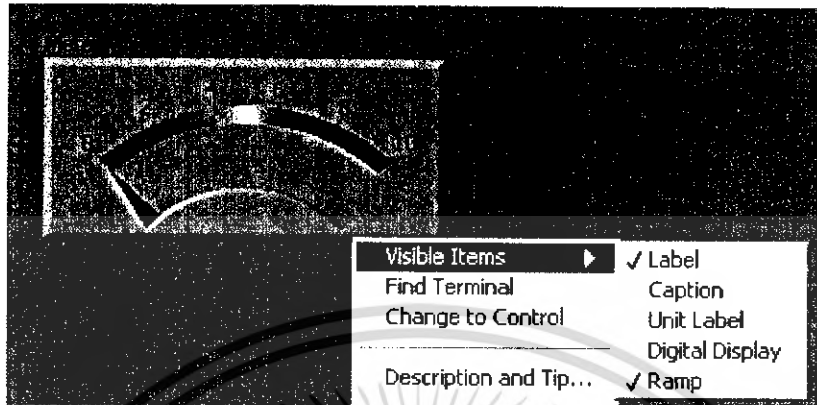
LabVIEW มีรูปแบบการรับข้อมูลเข้า (Input = Control) และแสดงผล (Output = Indicator) ชนิดแบบตัวเลขหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละตัวถูกกำหนดเป็น Control หรือ Indicator ไว้แล้ว แต่เราสามารถเปลี่ยนจาก Control เป็น Indicator หรือจาก Indicator เป็น Control ได้โดยการ Right Click ที่ Numeric Control หรือ Indicator นั้นแล้วเลือก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



รูปที่ 2.44 การเปลี่ยน Change to Indicator

นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ อีกที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการ Right - Click ที่สิ่งนั้น (Object) แล้วเลือกจาก Short Cut Menu ของ Object นั้น ๆ หรือเลือกจาก เมนู Properties ซึ่ง เริ่มมีใน LabVIEW ตั้งแต่ เวอร์ชัน 7.0 ขึ้นไป คุณสมบัติที่สำคัญคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

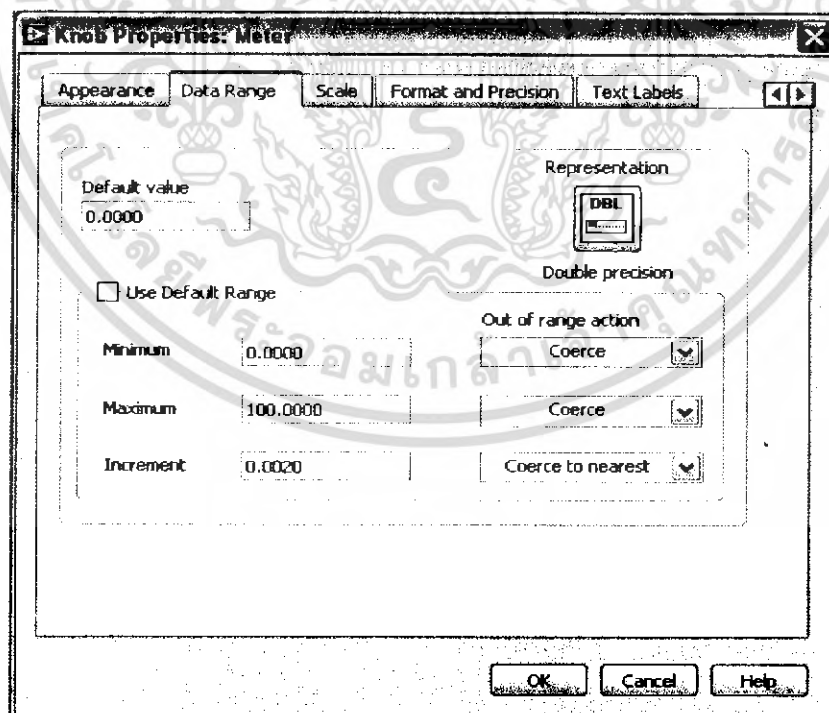
- Visible Item >> Digital Display เพิ่มการแสดงผลเป็นตัวเลข เช่น แสดงตัวเลขของค่า Meter Indicator



รูปที่ 2.45 การแสดงผลเป็นตัวเลข

- Change to Control/Change to Indicator เป็นการเปลี่ยนจาก Control เป็น Indicator

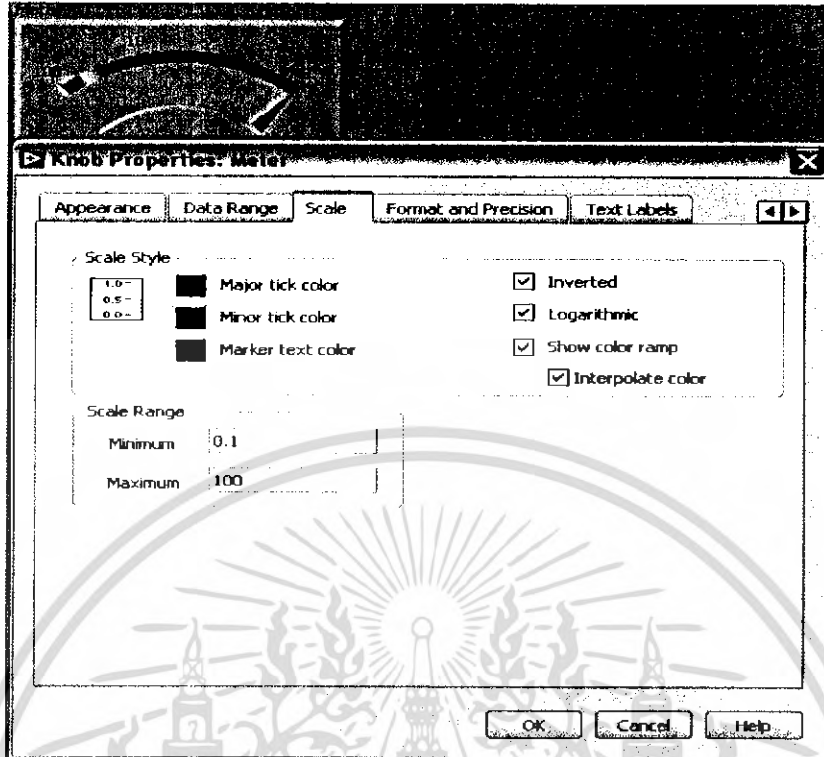
- Data Range เป็นการกำหนดช่วงค่าที่จะใช้งาน เช่น สามารถกำหนดค่าต่ำสุดและสูงสุดที่จะให้ผู้ใช้ป้อนอยู่ระหว่าง 0.00-100.00



รูปที่ 2.46 การกำหนดช่วงของค่าที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Scale ปรับรูปแบบสเกลตามความเหมาะสมในการใช้งาน



รูปที่ 2.47 การปรับรูปแบบของสเกล

- Representation เป็นการเลือกรูปแบบความละเอียดของตัวเลขในการใช้งานดัง

ตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงความละเอียดของตัวเลขในโปรแกรม LabVIEW

Terminal	Numeric Data Type	Bits of Storage on Disk	Approximate Number of Decimal Digits	Approximate Range on Disk
	Single-precision, floating-point	32	6	Minimum positive number: 1.40e-45 Maximum positive number: 3.40e+38 Minimum negative number: -1.40e-45 Maximum negative number: -3.40e+38
	Double-precision, floating-point	64	15	Minimum positive number: 4.94e-324 Maximum positive number: 1.79e+308 Minimum negative number: -4.94e-324 Maximum negative number: -1.79e+308
	Extended-precision, floating-point	120	varies from 15 to 33 by platform; refer to the LabVIEW Data Storage Application Note for more information about using numeric data types in LabVIEW	Minimum positive number: 6.48e-4966 Maximum positive number: 1.19e+4932 Minimum negative number: -6.48e-4966 Maximum negative number: -1.19e+4932
	Complex single-precision, floating-point	64	6	Same as single-precision, floating-point for each (real and imaginary) part
	Complex double-precision, floating-point	128	15	Same as double-precision, floating-point for each (real and imaginary) part
	Complex extended-precision, floating-point	256	varies from 15 to 33 by platform; refer to the LabVIEW Data Storage Application Note for more information about using numeric data types in LabVIEW	Same as extended-precision, floating-point for each (real and imaginary) part
	Byte signed integer	8	2	-128 to 127
	Word signed integer	16	4	-32,768 to 32,767
	Long signed integer	32	9	-2,147,483,648 to 2,147,483,647
	Byte unsigned integer	8	2	0 to 255
	Word unsigned integer	16	4	0 to 65,535
	Long unsigned integer	32	9	0 to 4,294,967,295

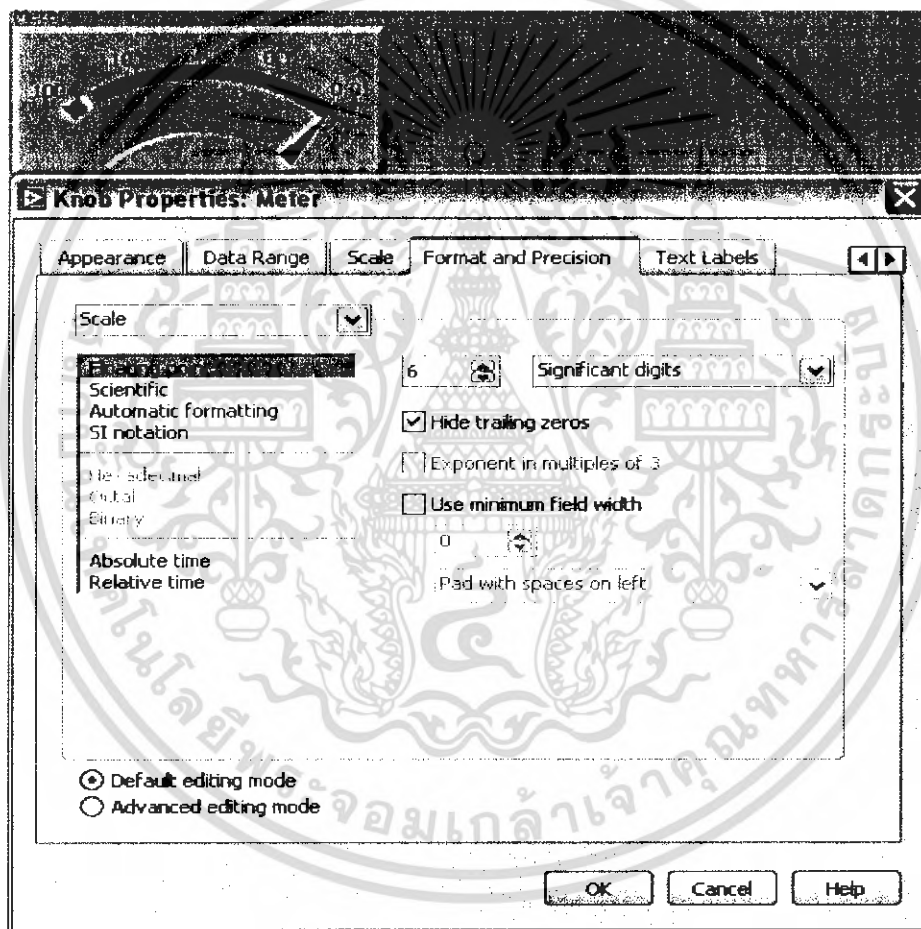
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Format และ Precision เป็นการกำหนดรูปแบบการแสดงผลแบบและจำนวนตัวเลขทศนิยม ซึ่งสามารถเลือกให้แสดงผลแบบตัวเลขดังต่อไปนี้ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบ (Representation) ของตัวเลขที่ใช้งานด้วย

รูปแบบของตัวเลขมีให้เลือกแสดงผลหลายรูปแบบ

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

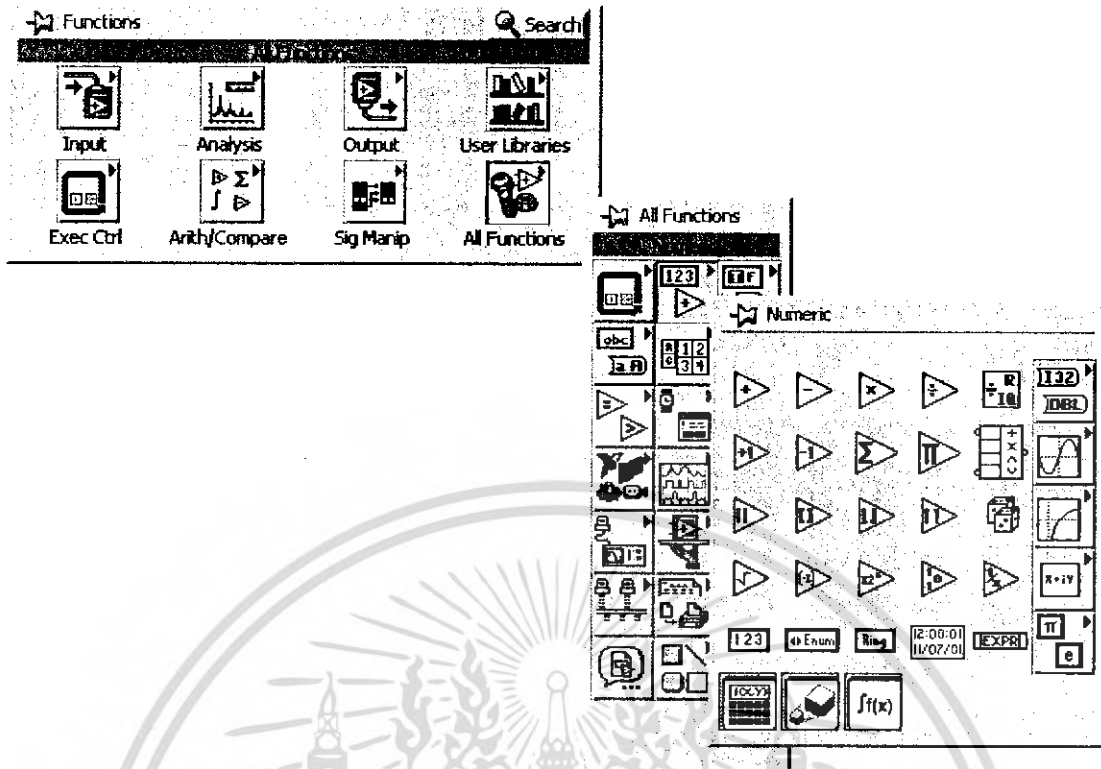


รูปที่ 2.48 การกำหนดรูปแบบการแสดงผลแบบและจำนวนตัวเลขทศนิยม

2.4.7.2 Numeric Function

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

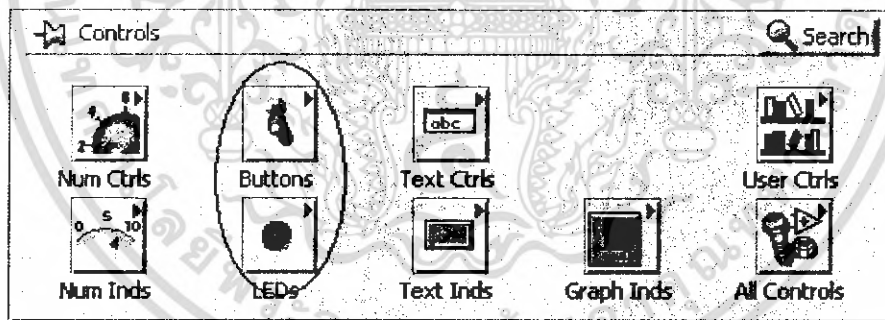
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.49 การเรียกใช้ Numeric Function

2.4.8 Boolean Data type

2.4.8.1 Boolean Control และ Indicator



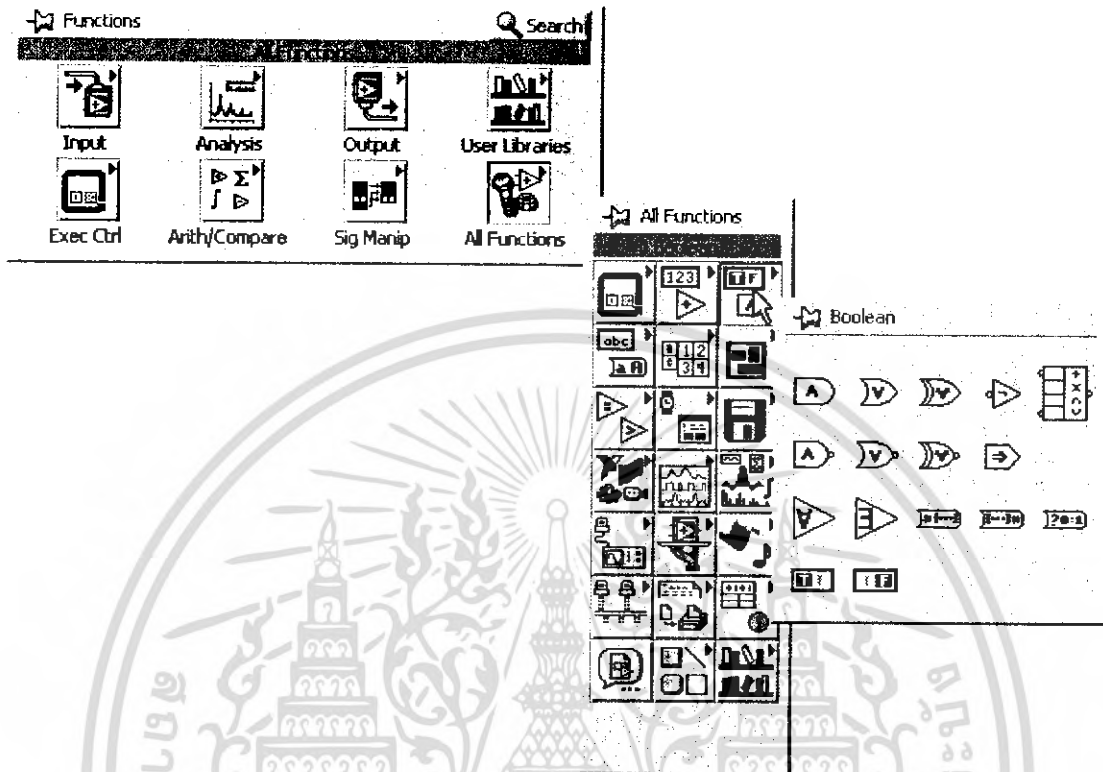
รูปที่ 2.50 Boolean Control และ Indicator

Boolean Controls และ Indicators เป็นรูปแบบ Input และ Output ซึ่งมีสองสถานะ คือ เปิดกับปิด (On หรือ Off) หรือ จริงกับเท็จ (True/False) นอกเหนือจากค่าจริงกับเท็จหรือเปิดกับปิดแล้ว LabVIEW สามารถกำหนดการทำงานของ Switch Control ให้มีการทำงานทางกลศาสตร์ คล้ายกับสวิตช์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.8.2 Boolean Function

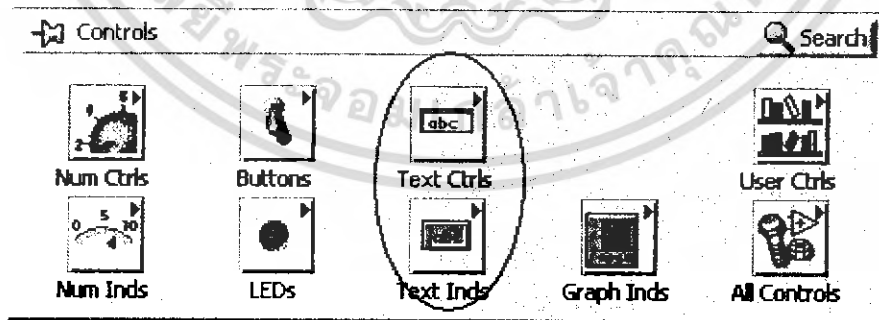
ฟังก์ชัน (Function) หรือ SubVI ที่เกี่ยวกับตรรกะสามารถเลือกใช้ได้จาก Functions Palette>>All Functions Palette>>Boolean >>...



รูปที่ 2.51 Boolean Function

2.4.9 String Data Type

2.4.9.1 String Control และ Indicator

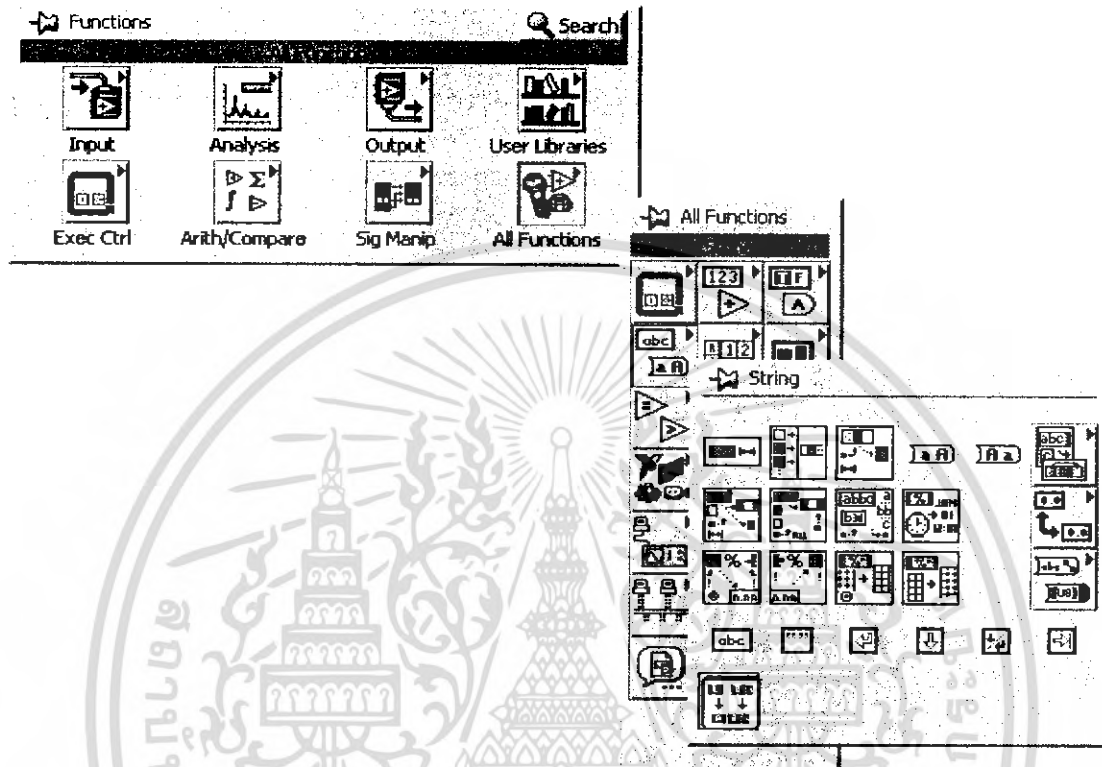


รูปที่ 2.52 String Control และ Indicator

String หมายถึง ตัวอักษรตั้งแต่หนึ่งตัวอักษรขึ้นไปมาประกอบรวมกัน การแสดงรูปแบบ String มีได้ด้วยกันหลายรูปแบบซึ่งสามารถกำหนดได้โดยการ Right Click ที่ String Control หรือ Indicator แล้วเลือกรูปแบบการแสดงผล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.9.2 String Function

ฟังก์ชัน (Function) หรือ SubVI ที่เกี่ยวกับตัวอักษรสามารถเลือกใช้ได้จาก Functions Palette >> All Functions Palette >> String >> ...



รูปที่ 2.53 String Function

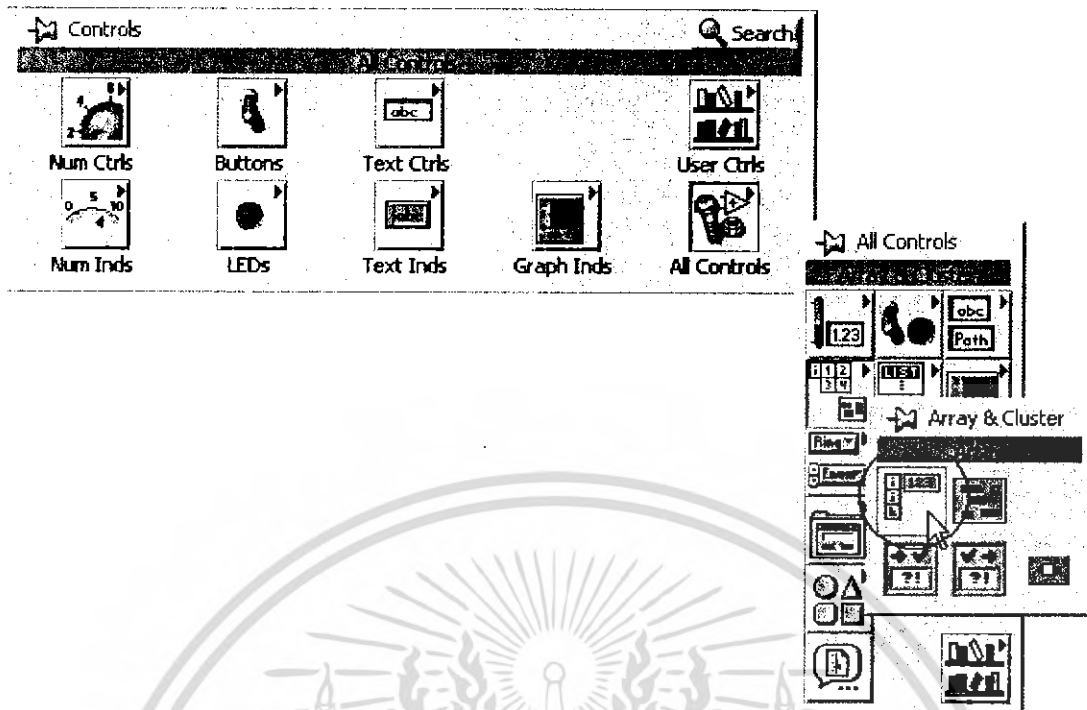
2.4.10 Array

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

2.4.10.1 Array Control และ Array Indicator

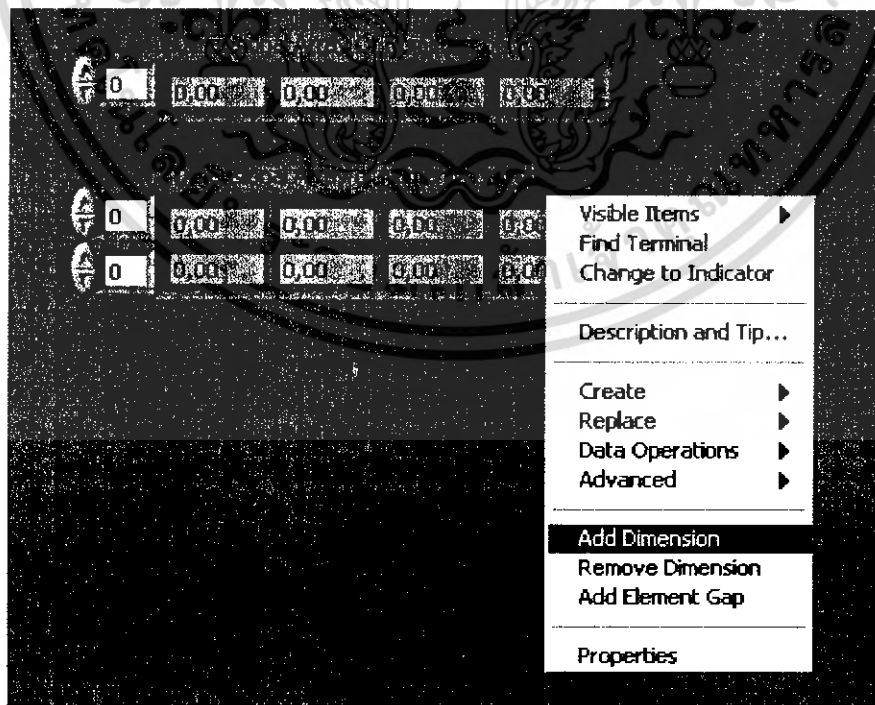
การสร้าง Array Control หรือ Indicator สามารถสร้างได้โดยการ Click เลือก Control Palette >> All Controls >> Array and Cluster แล้วนำมาวางบน Front Panel จากนั้นให้เลือก Control หรือ Indicator ที่ต้องการ เช่น ตัวเลข จาก Controls Palette แล้วนำมาวางภายใน Array ที่สร้างขึ้นมาก่อนหน้านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.54 Array Control และ Indicator

Array ที่ใช้งานบ่อยๆจะมี 1 มิติ (1 Dimensional Array) และมี 2 มิติ (2 Dimensional Array) และถ้าต้องการเพิ่มมิติ (Dimension) ของ Array สามารถทำได้โดยการ Right Click ที่ Array ที่สร้างขึ้นมา แล้วเลือก Add Dimension

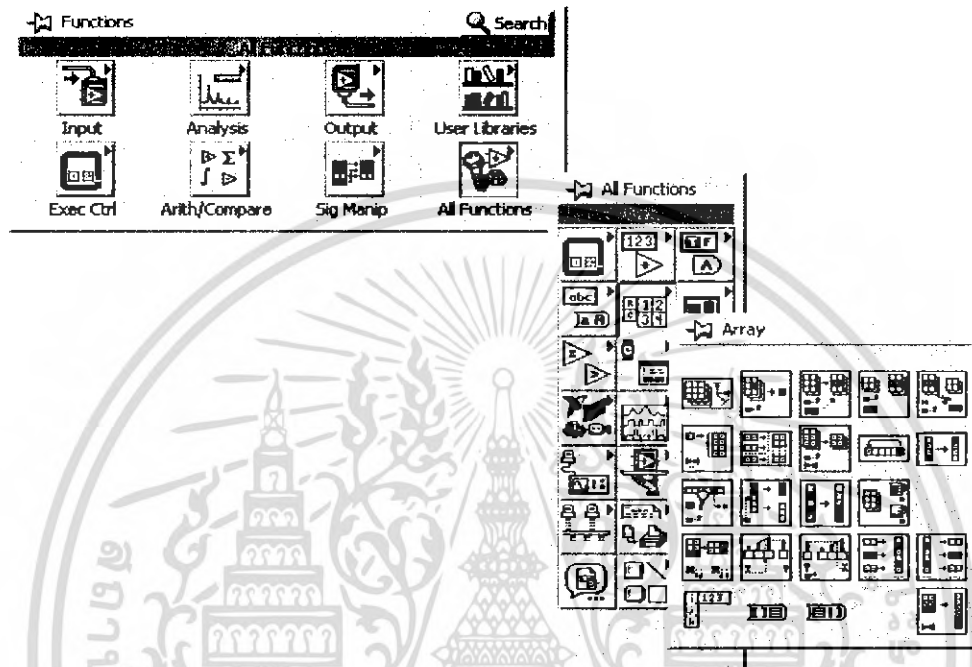


รูปที่ 2.55 การเพิ่มมิติของ Array

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.10.2 Array Function

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



รูปที่ 2.56 Array Function

2.4.11 Cluster

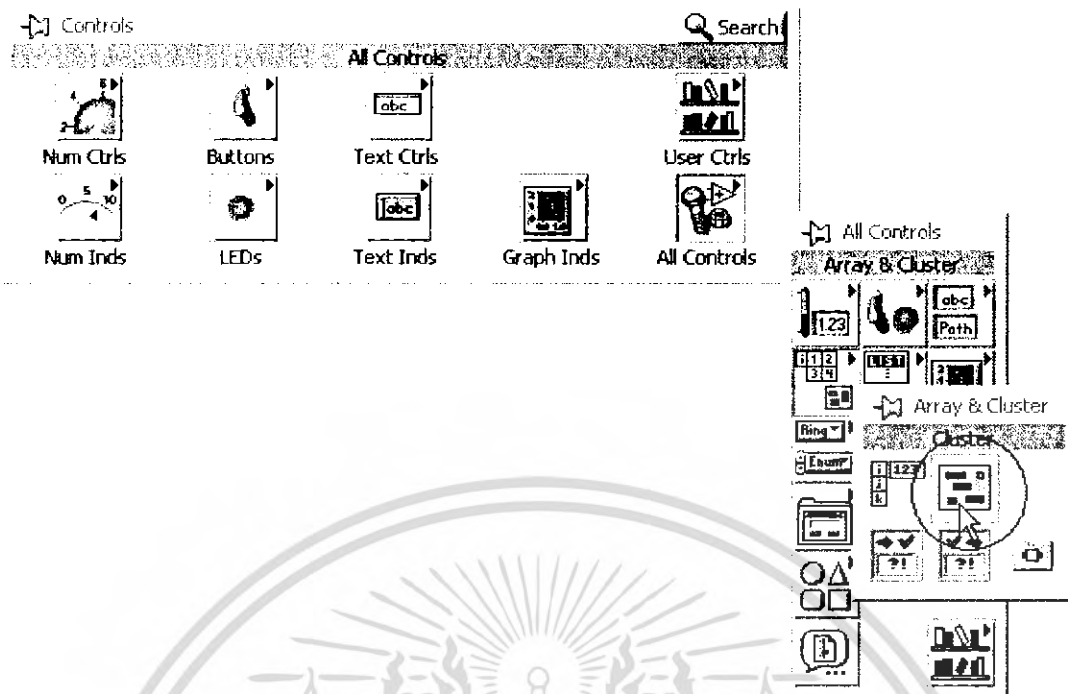
Cluster หมายถึง กลุ่มของรูปแบบข้อมูล (Data type) ที่แตกต่างกันมารวมอยู่ด้วยกันเป็นรูปแบบข้อมูลใหม่ เช่น เราสามารถสร้างรูปแบบข้อมูลแบบใหม่ของเราเองขึ้นมา ซึ่งรูปแบบข้อมูลของเราประกอบด้วย Numeric Control, Boolean Control และ String Control

นอกจากการใช้ Cluster ในการสร้างรูปแบบข้อมูลแบบใหม่แล้ว Cluster จะใช้เพื่อสร้าง Input และ Output ของ SubVI เพื่ออำนวยความสะดวกและลดเทอร์มินอล Input และ Output ของ SubVI (SubVI สามารถมีเทอร์มินอล Input และ Output ได้มากที่สุด 28 เทอร์มินอล)

2.4.11.1 Cluster Control และ Indicator

การสร้าง Cluster Control หรือ Indicator สามารถสร้างได้โดยการ Click เลือก Control Palette >> All Controls >> Array and Cluster แล้วนำมาวางบน Front Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

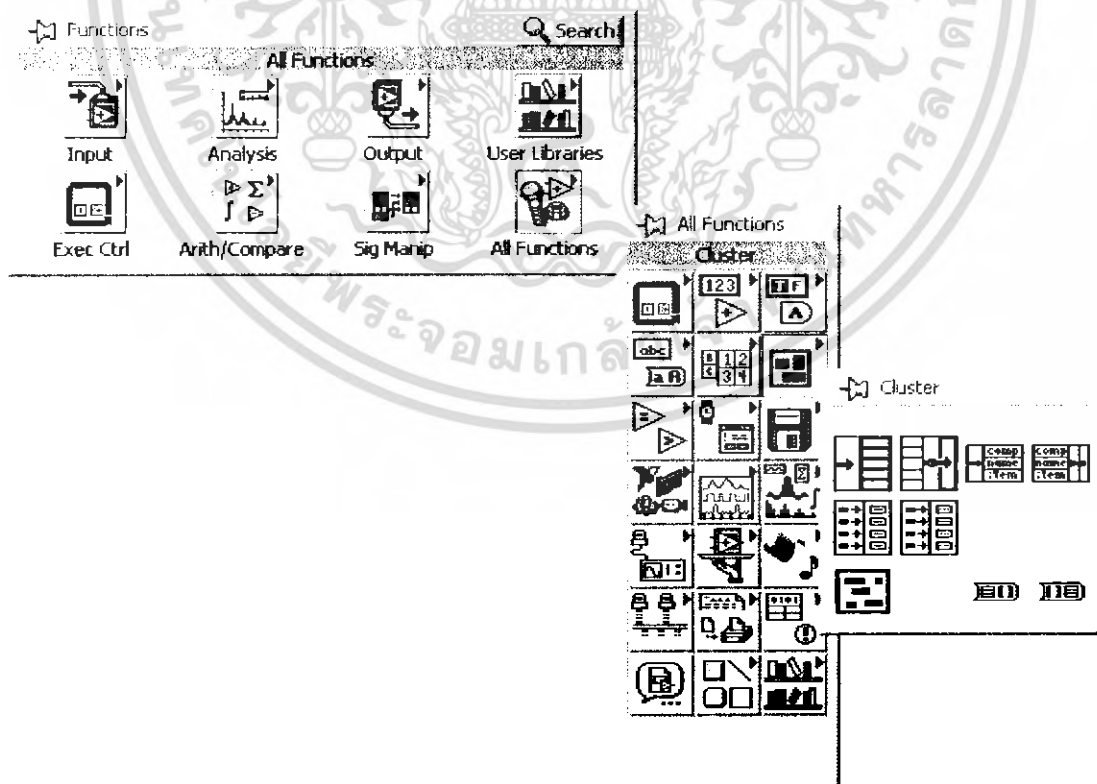


รูปที่ 2.57 Cluster Control และ Indicator

2.4.11.2 Cluster Function

การสร้าง Cluster Function สามารถสร้างได้โดยการ Click เลือก

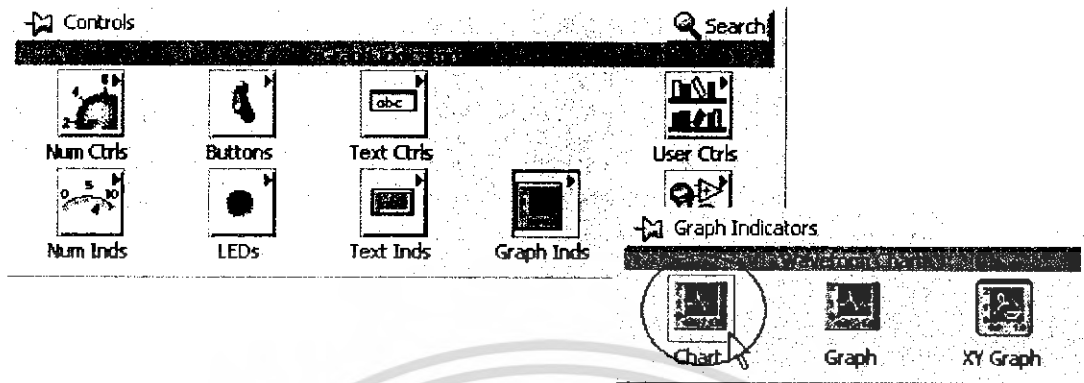
Functions Palette >> All Functions Palette >> Cluster แล้วนำมาวางบน Block Diagram



รูปที่ 2.58 Cluster Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.12 Waveform Chart



รูปที่ 2.59 Waveform Chart

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

Waveform Charts:

Wire data directly to chart:

Data	Resulting Chart
Scalar	Single plot - 1 pt
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:

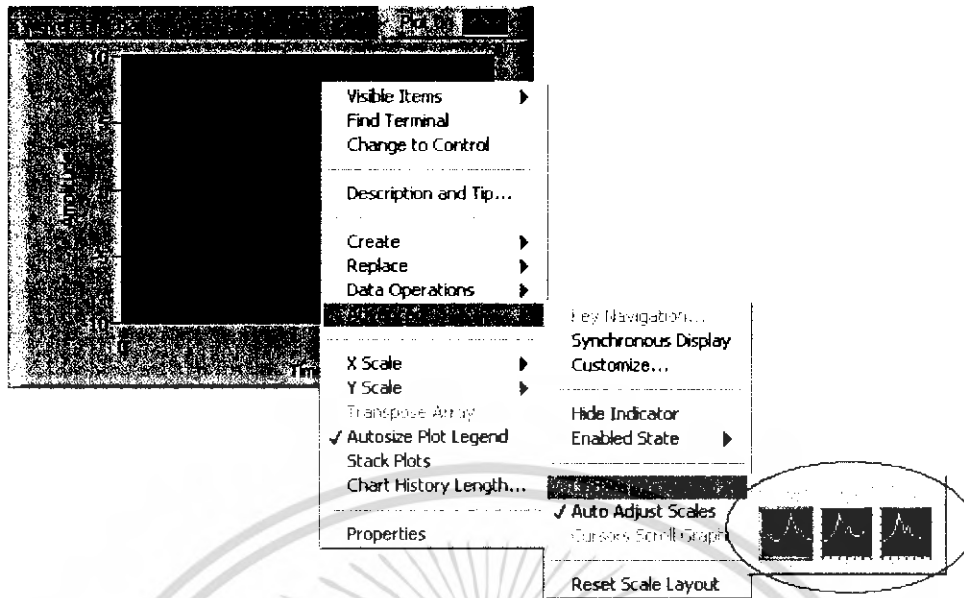


Or use timing information in WDT.

รูปที่ 2.60 การใช้งาน Waveform Chart

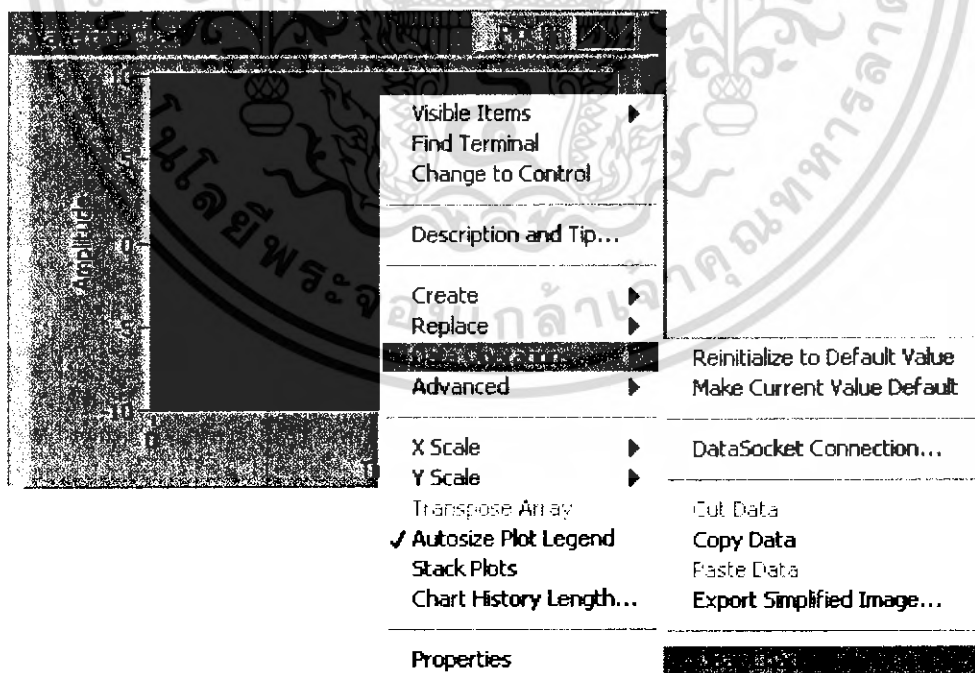
การแสดงผล (Update) ข้อมูลของ Chart จะมีอยู่ 3 รูปแบบคือ Strip Chart , Scope Chart และ Sweep Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.61 การแสดงผลข้อมูลของ Waveform Chart

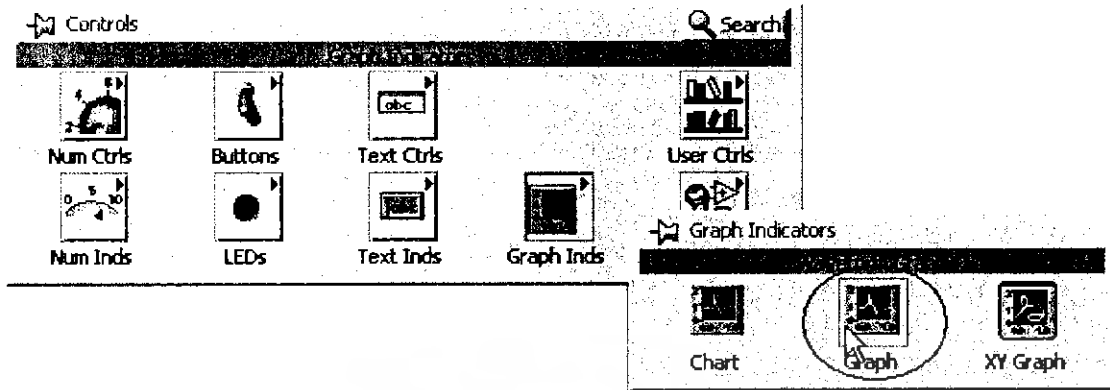
ซึ่งการแสดงผลในรูปแบบต่างๆของ Chart จะอาศัยข้อมูลที่เก็บไว้ใน Buffer ของ Chart ซึ่งเราสามารถกำหนดขนาดของ Buffer ได้โดยการ Right Click ที่ Chart แล้วเลือก Chart History Length ถ้าเราต้องการล้างข้อมูลใน Buffer สามารถทำได้โดยการ Right Click ที่ Chart แล้วเลือก Data Operation >> Clear Chart



รูปที่ 2.62 แสดงการล้างข้อมูลที่ Waveform Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.13 Waveform Graph



รูปที่ 2.63 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:

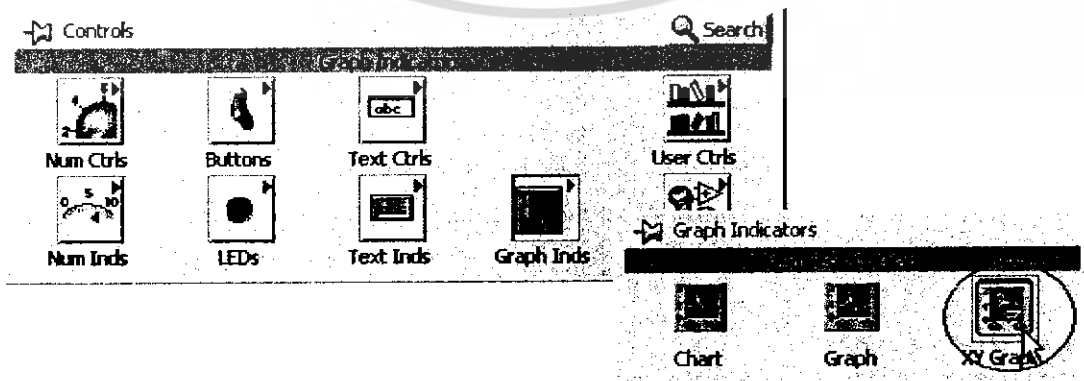
Y Array	Resulting Graph
1D	Single Plot
WDT	Single Plot
2D	Multiplot

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:



รูปที่ 2.64 การใช้งาน Waveform Graph

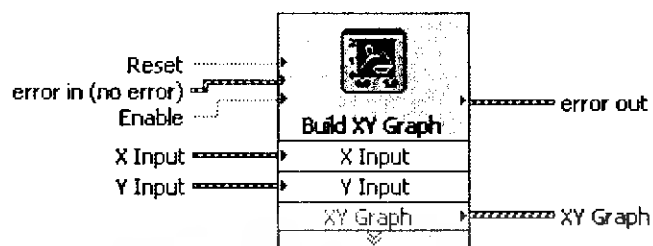
2.4.14 X-Y Graph



รูปที่ 2.65 Express X-Y Graph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW 7 จะมี Express X-Y Graph เพื่อให้ง่ายในการใช้งาน แต่หลักการของ X-Y Graph เหมือนกับ เวอร์ชันก่อนๆ คือ เราป้อนค่า X และ Y ในรูปของ Array และ XY Graph จะทำการ Plot ค่าให้



Build XY Graph

formats the data displayed on an X-Y Graph.

รูปที่ 2.66 การใช้งาน X-Y Graph

2.4.15 SubVI

2.4.15.1 การสร้างและการเลือกใช้ SubVI

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

การสร้าง SubVI จะมี 2 วิธี คือ

- การสร้างจาก VI ให้เป็น SubVI
- การสร้าง SubVI จาก VI ที่กำลังพัฒนาอยู่

2.4.15.2 การเรียกใช้ SubVI

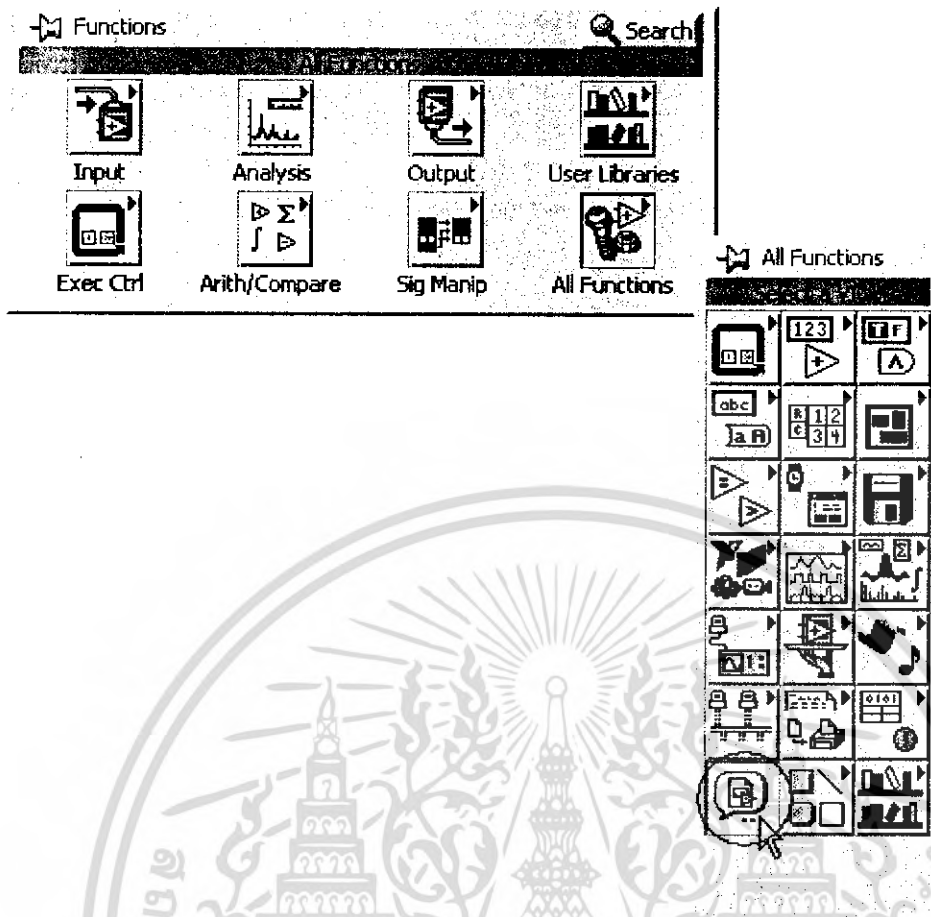
เราสามารถเรียก SubVI มาใช้ได้ 2 วิธี

- โดยการเปิด SubVI ที่เราต้องการเรียกใช้ตามปกติแล้ว Click ที่ Icon แล้วลากมา

วางบน Block Diagram

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.67 การเรียกใช้ SubVI

2.4.16 การ Debug VI

การ Debug VI คือ การตรวจสอบว่าการทำงาน VI เป็นไปตามที่เราได้ออกแบบไว้หรือว่ามีความผิดพลาดของการทำงานที่ใดบ้าง

Tool ที่ใช้สำหรับการ Debugging VI

Break Point Tool คือ จุดที่เรากำหนดว่าเมื่อโปรแกรม Run มาถึงจุดนี้ให้หยุดการทำงาน เพื่อที่เราจะทำการตรวจสอบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

Probe Tool คือ ข้อมูลที่เราต้องการดู ณ จุดต่างๆ กัน



รูปที่ 2.68 Set/Clear Breakpoint

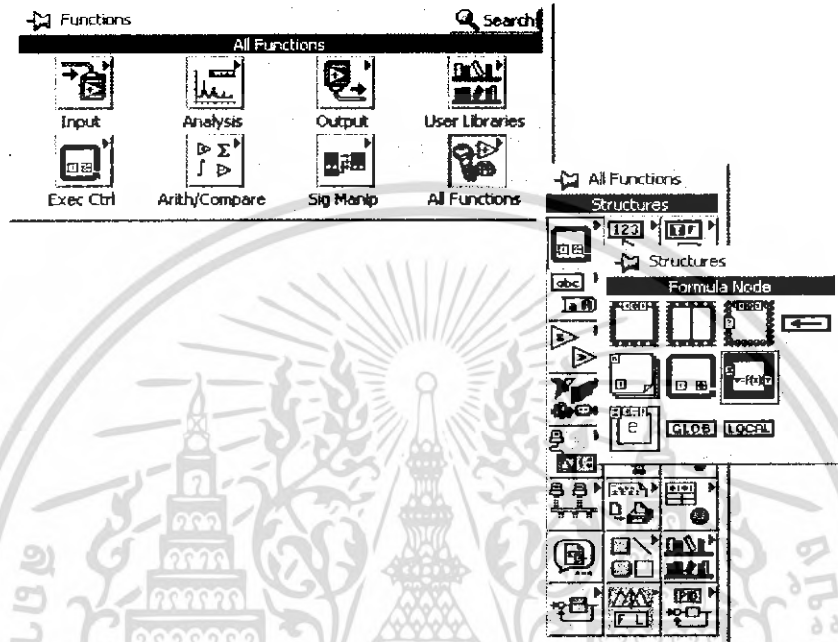


รูปที่ 2.69 Probe Tool

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.17 Formula Node

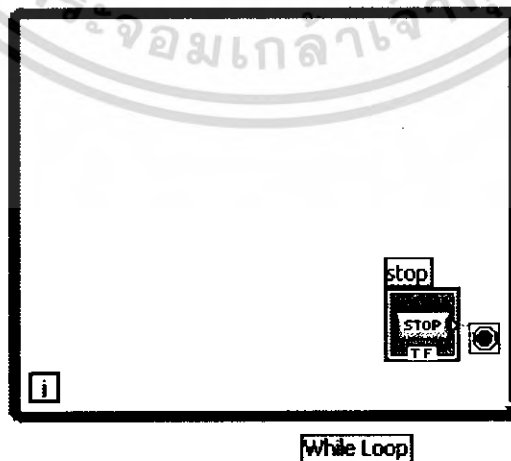
ในกรณีที่สมการคำนวณซับซ้อนมากขึ้น การใช้ฟังก์ชันตัวเลข (Numeric Function) หลายๆ ตัวมาต่อกันอาจทำให้การความเข้าใจการทำงานของสมการต่างๆยากขึ้นหรือเขียนโปรแกรมเร็วขึ้นถ้าเราเขียนเป็นสมการแบบ Text based ใช้ Formula Node ในการเขียนสมการแบบ Text based



รูปที่ 2.70 การเรียกใช้ Formula Node

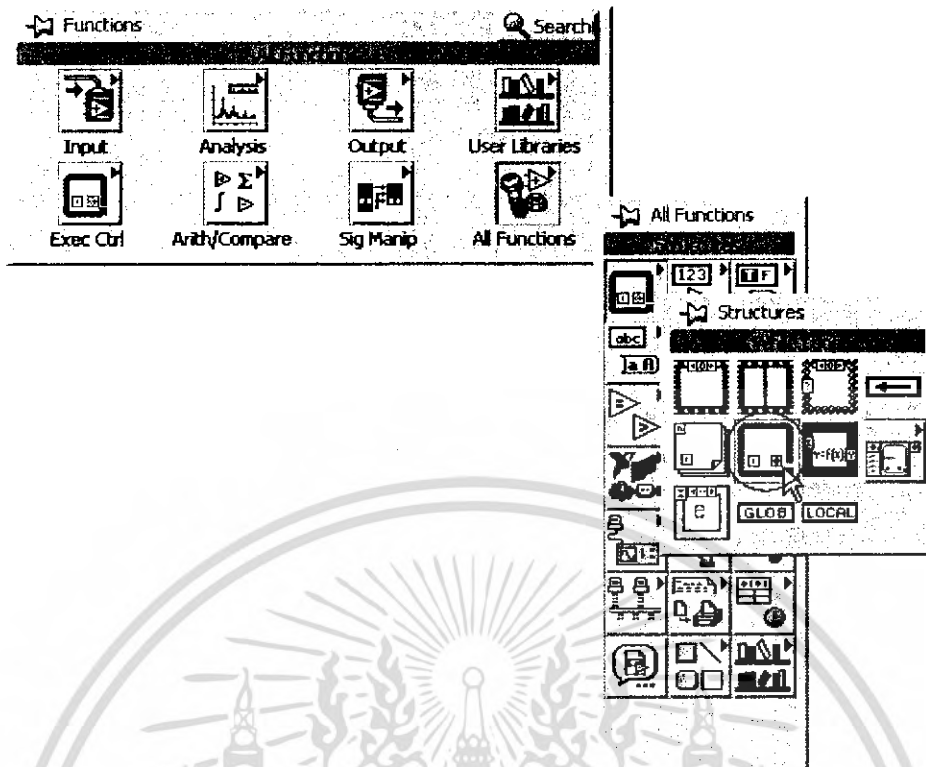
2.4.18 While Loop

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



รูปที่ 2.71 ลักษณะของ While Loop

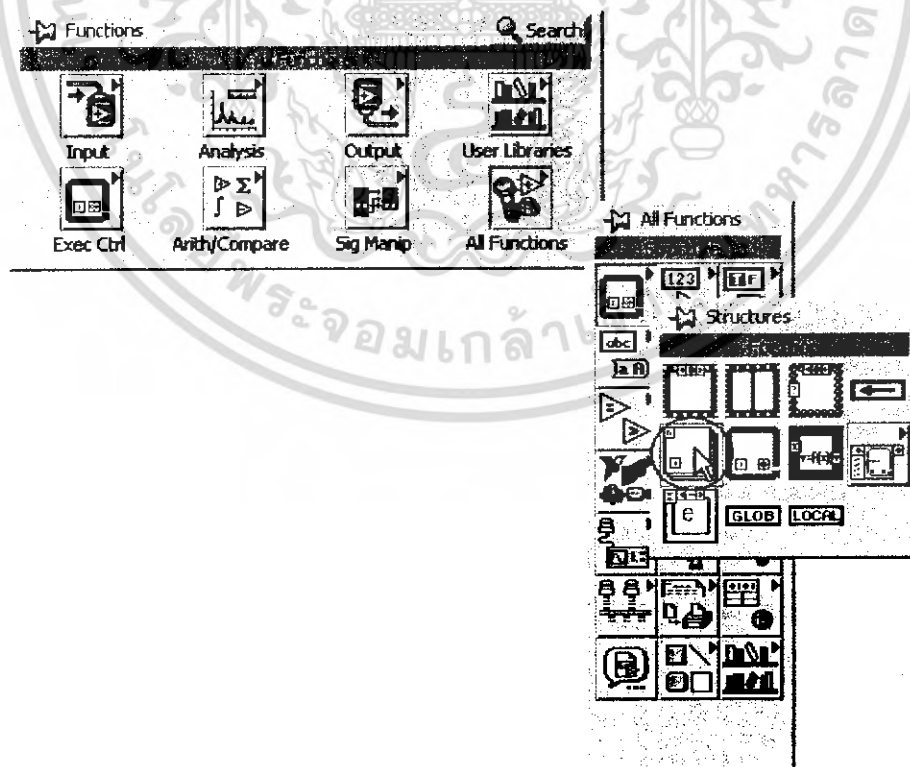
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.72 การเรียกใช้คำสั่ง While Loop

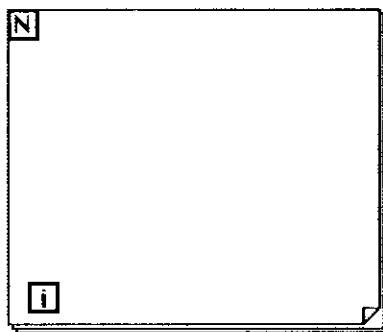
2.4.19 For Loop

For Loop คล้ายกับ While Loop แต่จะใช้กำหนดว่าให้วนซ้ำจำนวนกี่ครั้ง



รูปที่ 2.73 การเรียกใช้คำสั่ง For Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

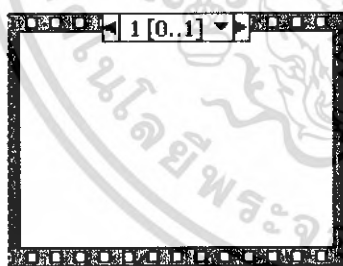


รูปที่ 2.74 ลักษณะของ For Loop

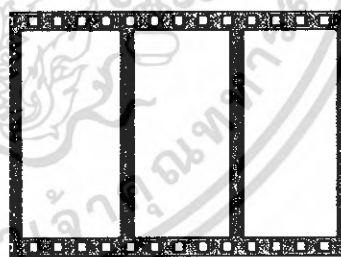
2.4.20 Stacked Sequence และ Flat Sequence Structure

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



รูปที่ 2.75 Stacked Sequence



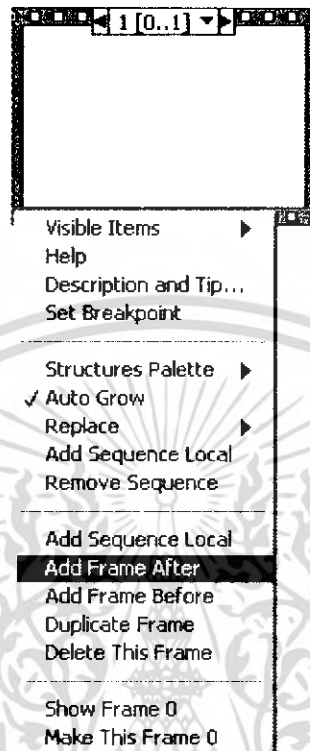
รูปที่ 2.76 Flat Sequence

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

Add Frame Before จะทำการเพิ่ม Frame ลำดับก่อนหน้าลำดับที่เราอยู่ปัจจุบัน ซึ่งหลังจากเพิ่ม Frame แล้วลำดับที่เราอยู่ปัจจุบันจะถูกจัดเป็นลำดับถัดไป เช่น ถ้าเราอยู่ที่ลำดับ Frame เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้เนาไปเผยแพร่บนนิตยสาร การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่ 2 แล้วเลือกที่ Add Frame Before LabVIEW จะทำการเพิ่ม Frame ลำดับที่ 2 และย้ายลำดับที่ที่เราอยู่ปัจจุบันเป็นลำดับที่ 3



รูปที่ 2.77 การ Add Frame

2.4.21 Case Structure

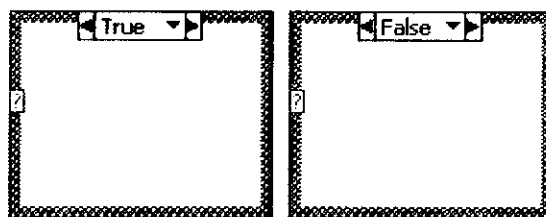
Case Structure ใช้ในการเลือกการทำงานเฉพาะ Code ที่อยู่ในแต่ละกรณีโดยการเปรียบเทียบค่า ค่าที่เข้ามาในตัวเลือก ((1) ในรูป) เท่ากันกับค่ากรณี ((2) ในรูป)

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 ที่จอ Case Structure และเลือก Add Case After หรือ Add Case Before

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.78 Case Structure

2.4.22 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



รูปที่ 2.79 Shift Register

2.4.23 Feedback Node

Feedback Node จะคล้ายกับ Shift Register แต่ใช้แทนกันในกรณีที่จะลดการลากสายที่ยาวและซับซ้อนและไม่มีการ Stack ของ Shift Register สามารถเปลี่ยน Feedback เป็น Shift Register ได้โดยการ Right Click ที่ Feedback Node แล้วเลือก Replace with Shift Register



รูปที่ 2.80 Feedback Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างกระบวนการ

3.1 องค์ประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

3.1.1 กระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า

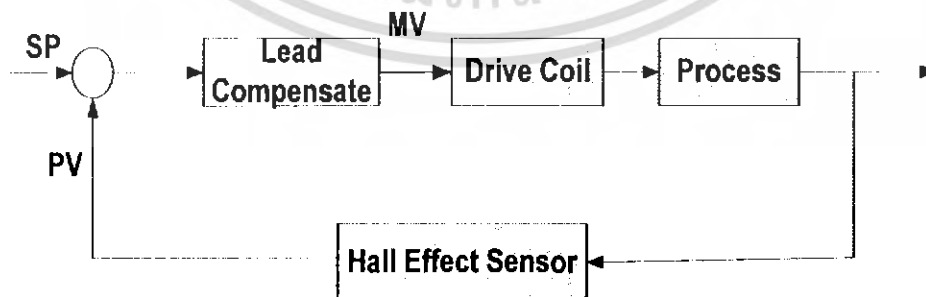
การออกแบบกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการออกแบบเพื่อที่จะควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุให้ลอยอยู่นิ่ง กระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่มีความไวต่อสิ่งรบกวนสูงเพราะฉะนั้น อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบทดลองจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะมีความเที่ยงตรงสูง

ในการควบคุมการทำงานของกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ได้นั้นจำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

1. โครงสร้างของกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า
3. ชุดขับกระแสให้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า
4. อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก(Hall Effect Sensor)
5. ชุดตัวชดเชยแบบ Lead
6. วงจรแหล่งจ่ายไฟ
7. การ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A

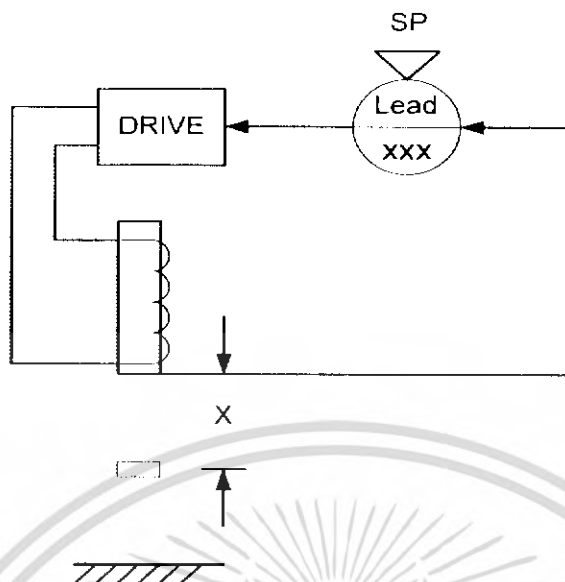
โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองนั้นสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1.1.1 โครงสร้างของกระบวนการ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยรวมของกระบวนการ

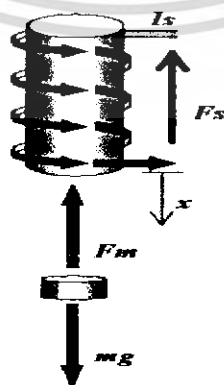
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า

การออกแบบชุดทดลองการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า จะต้องเริ่มจากการพิจารณาลวดทองแดงกับแกนเพื่อทำเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อกำลังกระแสไฟให้ โดยระยะการเคลื่อนที่ของวัตถุจะต้องอยู่ในย่านที่สามารถควบคุมได้ ปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการ คือน้ำหนักและชนิดของวัตถุ

จากโครงสร้างและแบบจำลองของกระบวนการด้านบนกระบวนการจะเริ่มจาก Hall Effect Sensor จะวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Voltage) เพื่อส่งไปยังการ์ด A/D เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อส่งไปประมวลผลโดยโปรแกรมที่เราเขียนขึ้นในคอมพิวเตอร์เพื่อส่งค่าที่เหมาะสมไปยังการ์ด D/A เพื่อแปลงสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากคอมพิวเตอร์ไปเป็นสัญญาณอนาล็อกไปยังชุดวงจรจับขดลวดเพื่อไปควบคุมกระบวนการต่อไป



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการกระทำของแรงแม่เหล็กไฟฟ้ากับแม่เหล็กถาวร(ติดอยู่ด้านบนของวัตถุ)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 จะแสดงพารามิเตอร์ต่างๆของกระบวนการการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยขดลวดพันรอบแกนเหล็กทำให้เกิดสนามแม่เหล็กกระทำกับแม่เหล็กถาวร ซึ่งตามหลักฟิสิกส์ (กฎที่ 2 ของนิวตัน) นั้นจะได้รับความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่างๆดังนี้

$$\ddot{X} = g - \frac{1}{m} (F_m(x) - F_s(x, I_s)) \dots \dots \dots (3.1)$$

โดย m คือ มวลของแม่เหล็กถาวร

F_m คือ แรงกระทำของแม่เหล็กถาวร

F_s คือ แรงกระทำของแกนเหล็ก(แม่เหล็กไฟฟ้า)

X คือ ระยะห่างระหว่างแกนเหล็กกับแม่เหล็กถาวร

โดยแรงกระทำของแกนขดลวดโซลินอยด์กระทำกับแม่เหล็กถาวรมันจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับระยะระหว่างแกนขดลวดโซลินอยด์กับแม่เหล็กถาวร (F_m) และอีกส่วนหนึ่งนั้นจะขึ้นอยู่กับทั้งระยะห่างและกระแสที่ไหลผ่านขดลวด (F_s) ซึ่งส่วนแรกนั้นจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำแม่เหล็กถาวรแต่สำหรับส่วนที่สองนั้นจะขึ้นอยู่กับการกลายเป็นแม่เหล็กของขดลวดโซลินอยด์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และสิ่งสำคัญที่ควรทราบคือ แม่เหล็กถาวรมันจะมีขั้วตายตัวแต่ขั้วของแกนขดลวดโซลินอยด์นั้นจะเปลี่ยนไปตามทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า (I_s) นั้นเอง

ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสามารถหาได้จากสมการ (3.2) และ (3.3) ดังนี้

$$B_s(x, I_s) = \frac{k\mu_0 N_s I_s R_s^2}{2x^3} = \alpha_s \frac{I_s}{x^3} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\text{โดยที่ } \alpha_s = \frac{k\mu_0 N_s R_s^2}{2}$$

$$B_m(x) = \frac{\mu_0 N_m I_m R_m^2}{2x^3} = \alpha_m \frac{I_m}{x^3} \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\text{โดยที่ } \alpha_m = \frac{\mu_0 N_m R_m^2}{2}$$

เมื่อ B_s คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กของขดลวดโซลินอยด์(แม่เหล็กไฟฟ้า)

B_m คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร

μ_0 คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ

N คือ จำนวนรอบของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด

R คือ รัศมีของขดลวด (โดยประมาณ)

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กของแกนขดลวด โซลินอยด์นั้นจะคูณอยู่กับค่าคงที่ k ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำแกนและค่า α และ α_m นั้นจะหาได้จากการประมาณจากการวัด สำหรับแรงกระทำของแม่เหล็กถาวรที่กระทำกับแกนขดลวด โซลินอยด์ (F_m) สามารถหาได้จากสมการ(3.4)

$$F_m(x) = \frac{1}{2} A_{sj} \frac{B_m^2(x)}{\mu_0} = \frac{A_{sj} \alpha_m^2}{2\mu_0 x^6} = \frac{\beta_m}{x^6} \dots\dots\dots(3.4)$$

เมื่อ A_{sj} คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก และแรงกระทำของขดลวด โซลินอยด์นั้นจะสามารถหาได้จากสมการ (3.5)

$$F_s(x, I_s) = \frac{3\mu_0 m_m m_s}{2\pi x^4} \dots\dots\dots(3.5)$$

โดยที่ $m_m = N_m I_m \pi R_m^2 = \frac{2\pi}{\mu_0} \alpha_m$ และ

$$m_s = N_s I_s \pi R_s^2 = \frac{2\pi}{\mu_0} I_s \alpha_s$$

m, m_m คือ ขนาดของโมเมนต์แม่เหล็กของขดลวด โซลินอยด์และแม่เหล็กถาวรตามลำดับ ดังนั้นจากสมการ (3.5) และค่าคงที่ต่างๆสามารถเขียนสมการหาค่า F_s ใหม่ได้ดังสมการ (3.6)

$$F_s(x, I_s) = \frac{6\pi \alpha_m \alpha_s I_s}{\mu_0 x^4} = \beta_s \frac{I_s}{x^4} \dots\dots\dots(3.6)$$

โดยที่ $\beta_s = \frac{6\pi \alpha_m \alpha_s}{\mu_0}$

เนื่องจากสามารถหาค่า F_s และ F_m ได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมการ (3.1) อีกครั้ง

เพื่อออกแบบ State Space Model โดยกำหนด 2 State ดังสมการ (3.7)

กำหนดให้ $x_1 = x$ และ $x_2 = \dot{x}$

จะได้ $\dot{x}_1 = \dot{x} = x_2$

$$\dot{x}_2 = \ddot{x} = g - \frac{1}{m} \left(\beta_m \frac{1}{x^6} + \beta_s \frac{I_s}{x^4} \right) \dots\dots\dots(3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.7) สามารถทำให้เป็นเชิงเส้นรอบจุดสมดุล $x_{1,0}, x_{2,0}$ และ $I_{s,0}$ ได้ดังสมการ (3.8)

$$\Delta \dot{x}_1 = 0 \cdot \Delta x_1 + 1 \cdot \Delta x_2 + 0 \cdot \Delta I_s$$

$$\Delta \dot{x}_2 = \frac{1}{m} \left(\frac{6\beta_m}{x_{1,0}^7} + \frac{4\beta_s I_{s,0}}{x_{1,0}^5} \right) \cdot \Delta x_1 + 0 \cdot \Delta x_2 - \frac{\beta_s}{x_{1,0}^4} \cdot \Delta I_s \dots \dots \dots (3.8)$$

จากสมการเชิงเส้นสามารถแปลงอยู่ในรูปแบบของ State Space ได้ดังสมการ (3.9)

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \dots \dots \dots (3.9)$$

โดยที่ $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{1}{m} \left(\frac{6\beta_m}{x_{1,0}^7} + \frac{4\beta_s I_{s,0}}{x_{1,0}^5} \right) & 0 \end{bmatrix}$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\beta_s}{x_{1,0}^4} \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \quad 0]$$

และ $D = [0]$

จาก State Space Form เราสามารถที่จะหา Transfer Function ของกระบวนการได้ดังสมการ(3.10)

$$G(s) = C(Is - A)^{-1}B = \frac{b}{s^2 - a} \dots \dots \dots (3.10)$$

ซึ่งจะเห็นว่าเป็นกระบวนการที่ไม่เสถียรเนื่องจากมีโพลจำนวน 1 ตัวอยู่ทางด้านขวาของระนาบ

3.1.1.2 การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการทดลอง

ในการที่เราจะสามารถหา Transfer Function นั้นเราจำเป็นต้องรู้ค่า β_m และ β_s ซึ่งสามารถหาได้จากการทดลอง

การหาค่า β_m

เนื่องจากเราจะหาค่าความหนาแน่นฟลักซ์ของแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร ดังนั้นจึงไม่ต้องจ่ายไฟให้กับคอยล์ เพื่อหาค่าระยะระหว่างแกนขดลวดกับแม่เหล็กถาวรที่จุดสมดุล และจะได้ความสัมพันธ์ตามกฎที่ 2 ของนิวตันดังสมการ(3.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g = \frac{1}{m} \left(\beta_m \frac{1}{x^6} \right) \Rightarrow \beta_m = mgx^6 \dots\dots\dots(3.11)$$

การหาค่า β_s

เราจะป้อนแรงดันไฟฟ้า (24 V) ให้ขดลวดเพื่อหาค่าระยะระหว่างแกนขดลวดกับแม่เหล็กถาวรที่จุดสมดุล ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการ (3.12)

$$\beta_s = (mg - \beta_m \cdot x^6) \frac{x^4}{I_s} \dots\dots\dots(3.12)$$

3.1.1.3 ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

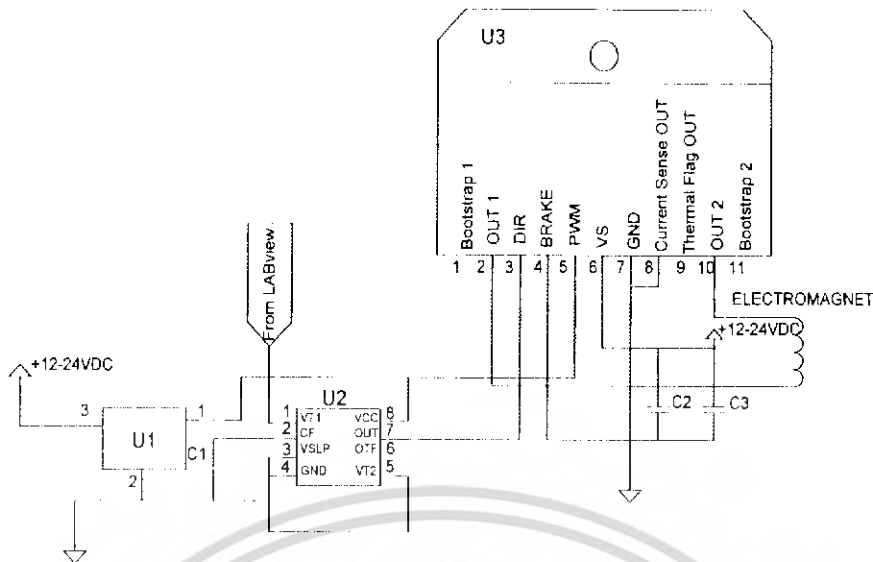
ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง (Actuator) ในการควบคุมกระบวนการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการควบคุมก็คือการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก (Hall Effect Sensor) ป้อนกลับมาควบคุมการจ่ายไฟโดยผ่านชุดขับกระแส ซึ่งขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองใช้ขดลวดที่มีความต้านทานประมาณ 60 โอห์ม ซึ่งจะทำให้ขดลวดกินกระแสประมาณ 400 mA ที่แรงดัน 24 V

3.1.1.4 ชุดขับกระแสให้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

ชุดขับกระแสให้กับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบไปด้วย

C1	0.01uF	monolithic capacitor
C2	470uF	electrotic capacitor
C3	0.1uF	monolytic capacitor
U1	LM78L05	5 Volt regulator
U2	MIC502	Fan Management IC
U3	LMD18201	H-Bridge Motor Control IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

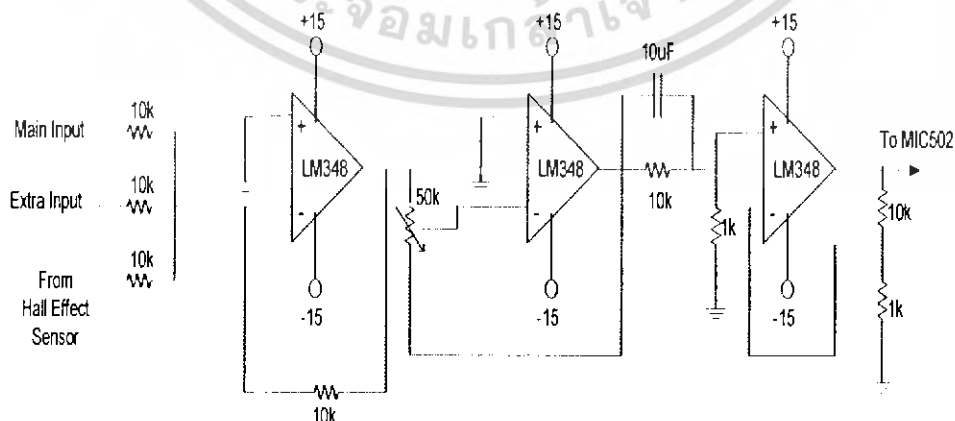


รูปที่ 3.4 วงจรขับกระแสให้ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า

ในกระบวนการนี้จะใช้สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulated) ในการขับกระแสให้ขดลวด ซึ่งสัญญาณ PWM นี้ จะถูกสร้างมาจากไอซีเบอร์ MIC 502 ซึ่งถูกออกแบบมาให้สร้างสัญญาณ PWM โดยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับไฟฟ้ากระแสตรงที่เข้ามา โดยที่ความถี่ของสัญญาณพัลส์นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าตัวเก็บประจุ จากการทดลองจะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 0.01µF ซึ่งจะให้ความถี่ประมาณ 10 kHz ซึ่งถ้าความถี่ยิ่งสูงก็จะทำให้กระบวนการมีผลตอบสนองที่เร็วขึ้น

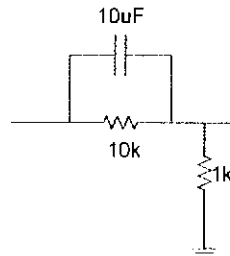
ส่วนไอซีเบอร์ LMD18201 นั้นจะทำหน้าที่กลับขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดผลักกันระหว่างแม่เหล็กไฟฟ้าและแม่เหล็กถาวร ซึ่งไอซีนี้สามารถทนกระแสได้สูงถึง 3 A

3.1.1.5 ชุดตัวควบคุมแบบ Lead



รูปที่ 3.5 ชุดตัวชดเชยแบบ Lead

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรตัวชดเชยแบบ Lead

เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่มีเสถียรภาพ ดังนั้น Phase Margin จะมีค่าเป็นลบ เราจึงได้เลือกตัวชดเชยแบบ Lead เพื่อที่จะทำให้ Phase Margin มีค่าเป็นบวก โดยให้รูปแบบของตัวชดเชยแบบ Lead ดังนี้

$$N \frac{s+b}{s+bN} \dots \dots \dots (3.13)$$

จากรูปที่ 3.6 จะได้

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_2 + \frac{R_1}{1+R_1Cs}} = \frac{\frac{1}{R_1C} + s}{\frac{R_1 + R_2}{R_1R_2C} + s} \dots \dots (3.14)$$

จากสมการที่ 3.13 และ 3.14 จะได้

$$b = \frac{1}{R_1C} \text{ และ } N = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

เมื่อเรากำหนดให้ $R_1 = 1k$ และ $R_2 = 10k$ จะได้

$$N = \frac{10k + 1k}{1k} = 11$$

และจาก $b = \frac{\omega_c}{\sqrt{N}}$ จะได้

$$b = \frac{60}{\sqrt{11}} = 18.09$$

โดยที่ ω_c มาจากการเลื่อน Zero จนทำให้ Phase Margin มีค่าเป็นบวก และเมื่อหา b ได้ก็จะได้

$$C = \frac{1}{R_1 b} = \frac{1}{1k(18.09)} = 5.5 \mu F$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากไม่มีตัวเก็บประจุขนาด $5.5\mu F$ ดังนั้นเราจึงใช้ค่า $10\mu F$ แทน

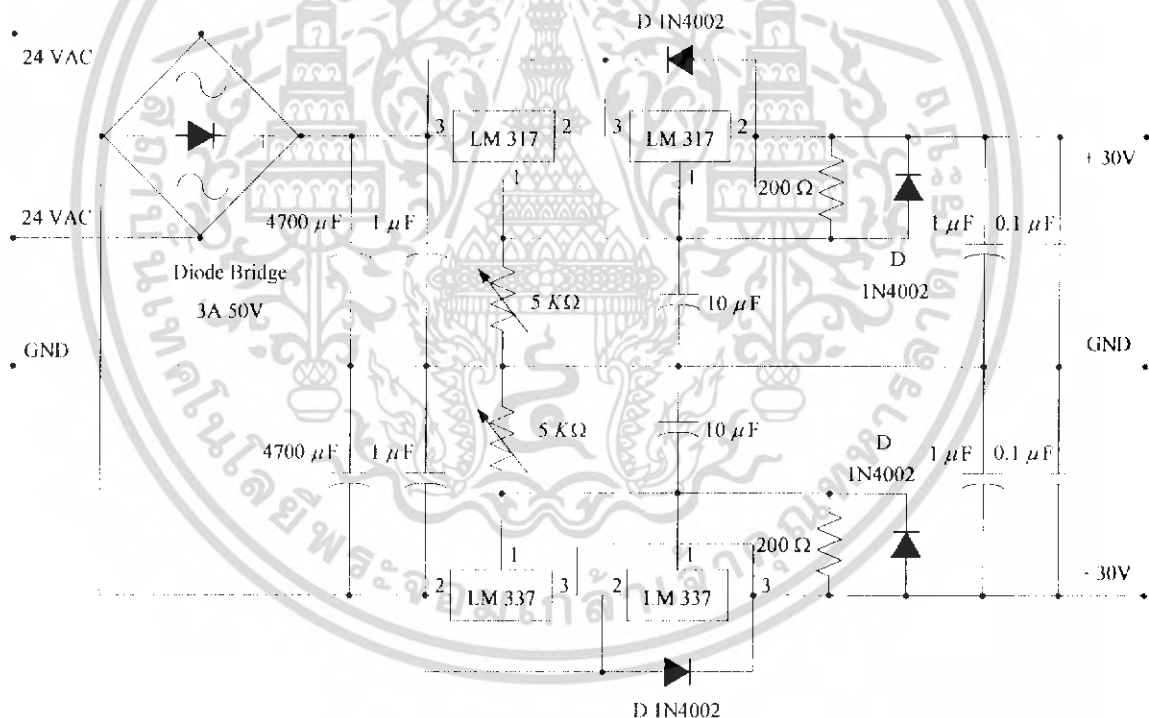
และเมื่อเรานำค่าต่างๆที่ได้ไปแทนลงในสมการที่ 3.13 และ 3.14 จะเห็นได้ว่าเราจะต้องเพิ่มตัวขยายเข้าไปเท่ากับ 11 เพื่อชดเชยการลดทอน

3.1.1.6 อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก (Hall Effect Sensor)

อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก คือ Hall Effect Sensor ซึ่งในการทดลองจะใช้ไอซีเบอร์ SS490 ซึ่งเป็นของบริษัท Honeywell

3.1.1.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟสำหรับอุปกรณ์ขับเคลื่อนมอเตอร์จะใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด $\pm 25\text{ V}$, 3 A โดยรูปของวงจรแหล่งจ่ายไฟแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 และรูปอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

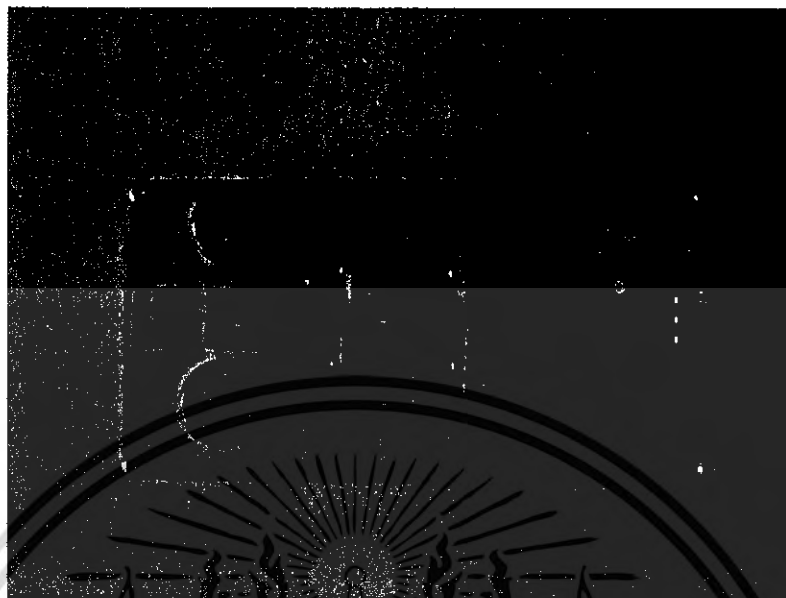


รูปที่ 3.7 วงจรแหล่งแหล่งจ่ายไฟขนาด $\pm 25\text{ V}$, 3 A

เนื่องจากไอซีเรกกูเลเตอร์ที่ใช้ในการรักษาระดับแรงดันอ้างอิงให้คงที่ขนาด $\pm 25\text{ V}$ นั้นไม่มี ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ LM 317 และ LM 337 ซึ่งเป็นไอซีเรกกูเลเตอร์แบบปรับค่าแรงดันได้ แต่เนื่องจากไอซีนี้สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดเพียง 1.5 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเพื่อให้เหมาะสมในการการใช้งานกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนของมอเตอร์ได้จึงนำเอาไอซี เรกกูเลเตอร์นี้มาต่อขนานกันเพื่อให้สามารถจ่ายกระแสได้มากขึ้นถึง 3 A



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟขนาด ± 25 V, 3 A

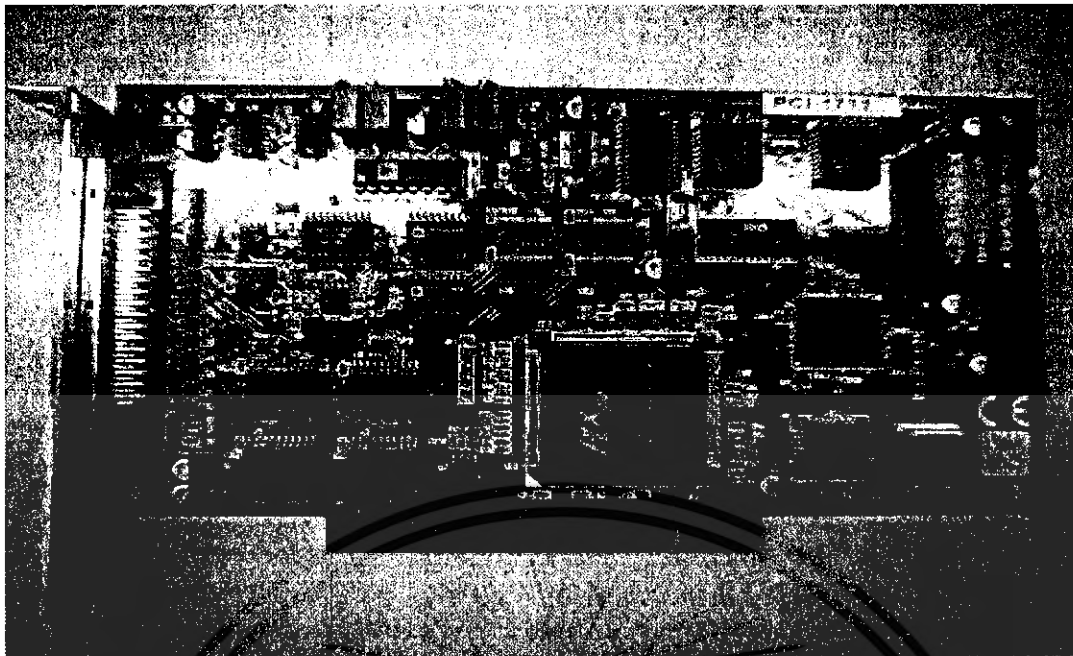
3.2 องค์ประกอบของ Controller

3.2.1 การ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A

การ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A ที่ใช้ในการทดลองนี้จะใช้การ์ดรุ่น PCI-1711 ของบริษัท Advantech ซึ่งจะเป็นการ์ดที่มีลักษณะการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แบบ PCI การ์ดนี้จะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม กับอุปกรณ์ขับเคลื่อนของปั๊มน้ำและอุปกรณ์กรองความถี่ต่ำ โดยรูปของการ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A แสดงได้ดังรูปที่ 3.9 และการ์ดจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

- ส่วนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D)
- ส่วนแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก (D/A)
- ส่วนดิจิตอลอินพุต (D Input)
- ส่วนดิจิตอลเอาต์พุต (D Output)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การ์ดแปลงสัญญาณ A/D และ D/A

3.2.1.1 ส่วนแปลงสัญญาณ A/D

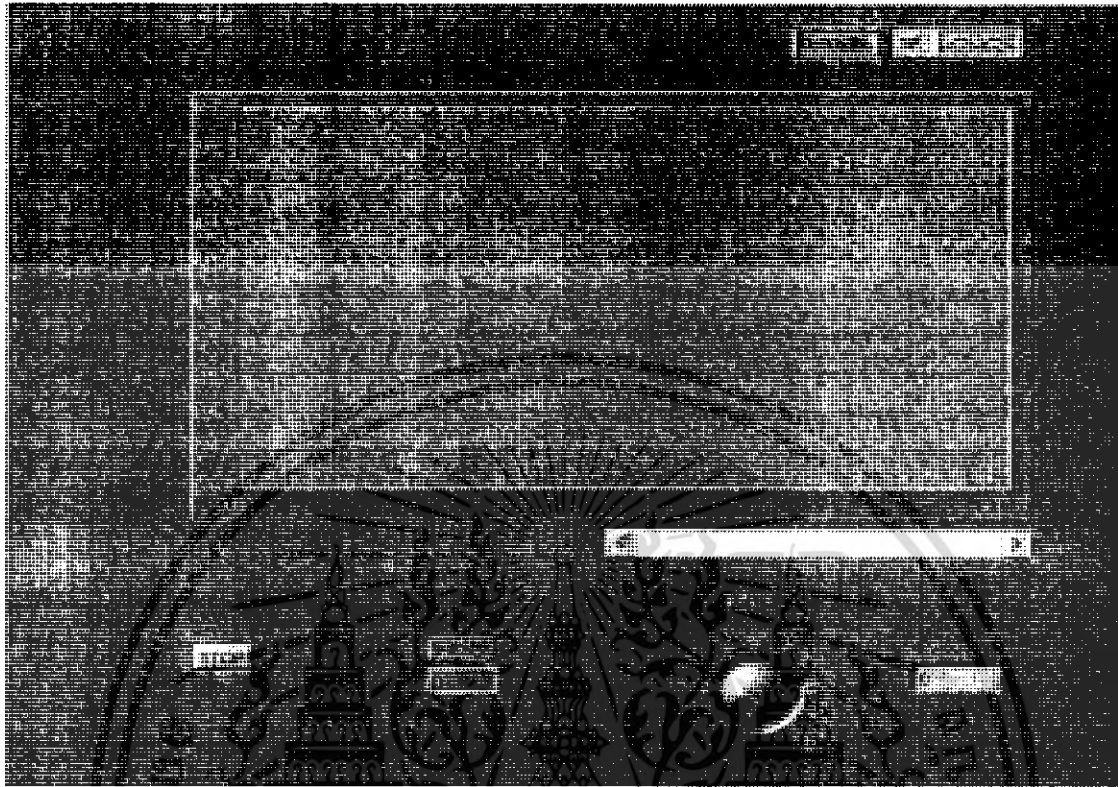
ส่วนแปลงสัญญาณ A/D นี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแรงดันจากอุปกรณ์กรองความถี่และแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อส่งให้กับคอมพิวเตอร์หรือตัวควบคุมต่อไป โดยส่วนแปลงสัญญาณ A/D นี้จะมีจำนวนช่องในการรับสัญญาณถึง 16 ช่อง , มีความละเอียดสูงถึง 12 บิต , มีความเที่ยงตรงสูงถึง $\pm 0.01\%$ หรือ ± 1 บิต , มีความเป็นเชิงเส้นมากถึง ± 1 บิต , และมีความเร็วในการแปลงสัญญาณสูงสุดถึง 100 KHz นอกจากนี้ยังสามารถเลือกช่วงของสัญญาณอินพุตที่จะรับเข้ามาได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับการเลือกที่สวิทช์หรือเลือกทางซอฟต์แวร์

3.2.1.2 ส่วนแปลงสัญญาณ D/A

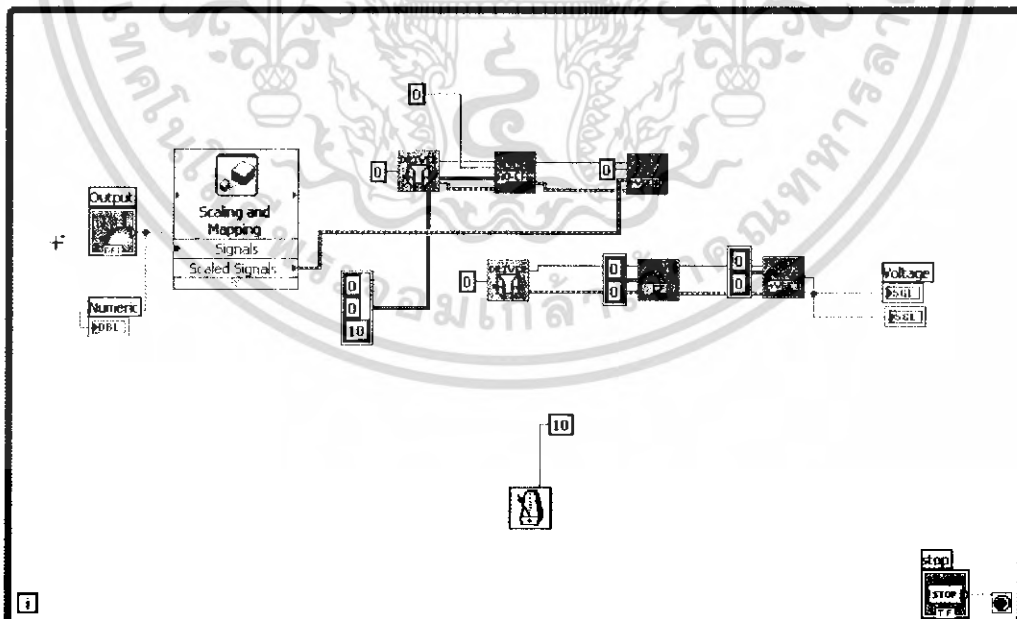
ส่วนแปลงสัญญาณ D/A นี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์หรือตัวควบคุม และแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณอนาล็อกเพื่อส่งให้กับชุดขับกระแสของขดลวดต่อไป โดยส่วนแปลงสัญญาณ D/A นี้จะมีจำนวนช่องในการส่งสัญญาณ 2 ช่อง , มีความละเอียดสูงถึง 12 บิต , มีความเป็นเชิงเส้นมากถึง ± 0.5 บิต และมีความเร็วในการแปลงสัญญาณสูงถึง $5 \mu s$ นอกจากนี้ยังสามารถเลือกช่วงของสัญญาณเอาต์พุตที่จะส่งออกไปได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับการเลือกที่สวิทช์หรือเลือกทางซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โปรแกรมสำหรับอ่านค่าที่ได้จากกระบวนการ



รูปที่ 3.10 หน้าจอของโปรแกรม



รูปที่ 3.11 Block Diagram ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการหา Transfer Function

ตารางที่ 4.1 ผลการหาค่า β_m

มวล	0.017	0.02	0.023	0.026	0.03	[Kg]
ระยะ (X_m)	0.006	0.0055	0.005	0.0045	0.004	[mm]
β_m	7.78E-15	5.43E-15	3.52E-15	2.12E-15	1.20E-15	[Nm ⁶]
เฉลี่ย	4.012E-15					

ตารางที่ 4.2 ผลการหาค่า β_s เมื่อป้อนไฟให้ขดลวด 24 V

มวล	0.017	0.02	0.023	0.026	0.03	[Kg]
ระยะ (X_s)	0.0105	0.0095	0.009	0.0085	0.0075	[mm]
β_s	1.26E-08	9.98E-08	9.25E-08	8.32E-08	5.82E-08	[Nm ⁴ /A]
เฉลี่ย	9.21E-09					

และเมื่อนำค่า β_m และ β_s ที่ได้ไปแทนลงในสมการเพื่อที่จะหาค่า Transfer Function โดยจาก Math Model ที่เราหามาได้ในบทที่ 3 จะได้

$$G(s) = \frac{b}{s^2 - a}$$

โดยค่า b และ a หาได้ดังนี้

$$b = \frac{-\beta_s}{x_{1,0}^2} = \frac{-9.21E-09}{0.02^2} = -0.0576$$

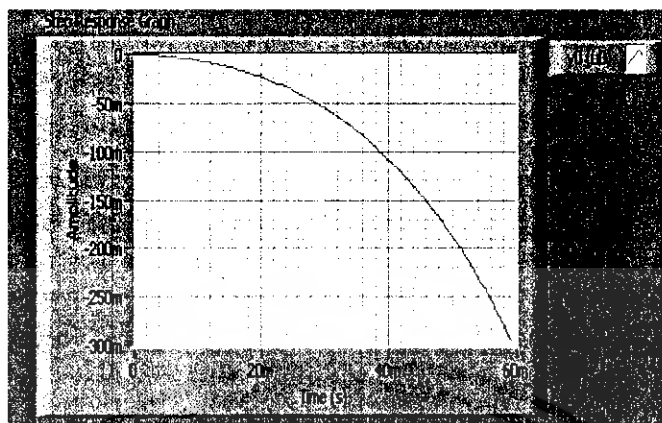
$$a = \frac{1}{m} \left(\frac{6\beta_m}{x_{1,0}^7} + \frac{4\beta_s I_{s,0}}{x_{1,0}^5} \right) = \frac{1}{0.023} \left(\frac{6(4.012E-15)}{0.02^7} + \frac{4(9.21E-09)(0.4)}{0.02^5} \right) = 201.04$$

ดังนั้น

$$G(s) = \frac{-0.0576}{s^2 - 201.04}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

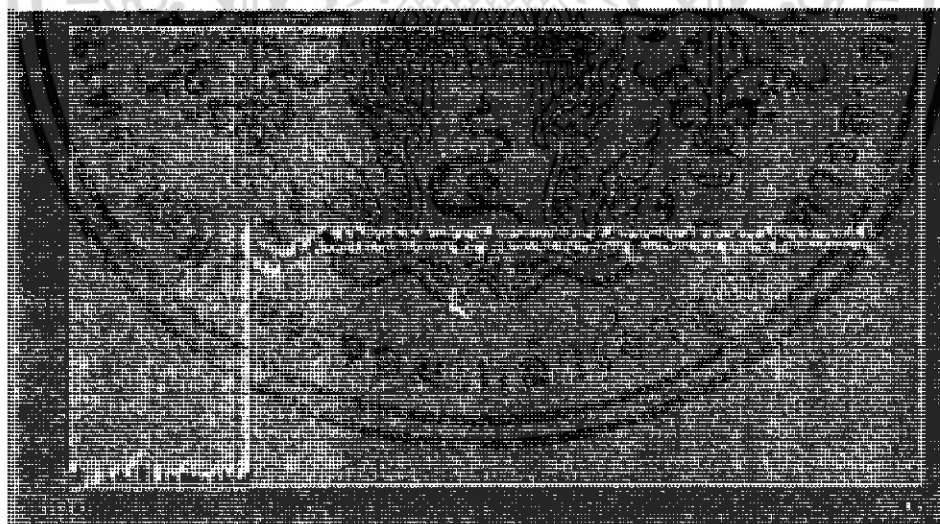
4.2 ผลตอบสนองของการ Simulate Transfer Function



รูปที่ 4.1 ผลตอบสนองของการ Simulate Transfer Function

จากรูปที่ 4.1 นั้นจะเป็นกราฟที่แสดงผลตอบสนองของ Transfer Function ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นกระบวนการที่ไม่มีเสถียรภาพ

4.3 ผลตอบสนองของกระบวนการ



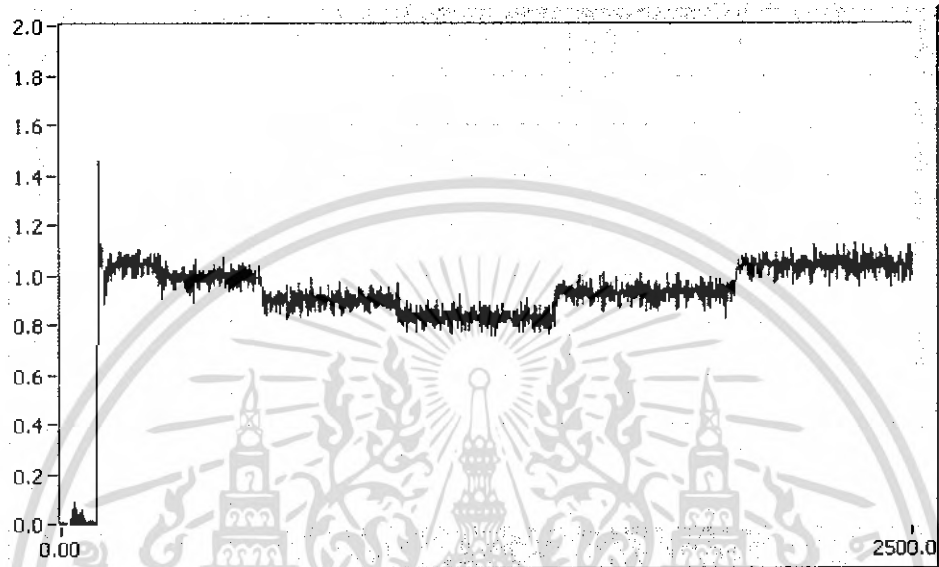
รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองของกระบวนการ

จากรูปที่ 4.2 เราจะเห็นได้ว่าที่ $t = 0$ จะยังไม่มีแรงดันของ Hall Effect จนกระทั่งเมื่อเราทำการเปิดไฟเลี้ยงให้กับขดลวด จะทำให้มีแรงดันจาก Hall Effect ค่าหนึ่ง เนื่องจาก Hall Effect ได้วัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขดลวด และเมื่อเรานำวัดออกมาไว้ตรงตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อยู่ในการลอยตัว แรงดันที่ได้จาก Hall Effect จะเปลี่ยนแปลงไป (น้อยมาก) เพื่อกลับเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง โดยจะใช้เวลาน้อยมาก

4.4 ผลตอบสนองของกระบวนการที่ค่าเป้าหมายต่างๆ



รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองของกระบวนการที่ค่าเป้าหมายต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 เราจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของ Set Point โดยการป้อนไฟเพิ่มจากการ์ด A/D นั่นคือ เมื่อจ่ายไฟจากการ์ด A/D ให้มากขึ้น จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้วัตต์ลอยสูงขึ้น (เข้าใจ Hall Effect มากขึ้น) โดยแรงดันที่ได้จากการวัดค่าสนามแม่เหล็กของ Hall Effect จะมีค่าลดลง ในทางตรงกันข้าม เมื่อเราป้อนไฟน้อยลง จะทำให้วัตต์ลอยต่ำลง (ออกห่างจาก Hall Effect) แรงดันที่ได้จากการวัดค่าสนามแม่เหล็กของ Hall Effect จะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการปรับ Set Point แต่ละครั้งนั้น ระบบจะเข้าสู่สมดุลได้อย่างรวดเร็ว

บทที่ 5

สรุปผลการทำวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการเสนอการออกแบบชุดทดลองกระบวนการการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า โดยในการออกแบบตัวควบคุมเราจะต้องรู้สมการทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการก่อน และนำค่าที่ได้ไปแปลงเป็นสมการในรูปแบบ State Space จึงได้ Transfer Function ของระบบมา โดยค่า Transfer Function ที่หามาได้นั้นเมื่อเรานำไป Simulate โดยโปรแกรม MathLab แล้วพบว่ากระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ไม่มีเสถียรภาพ เพราะมีโพลไปตกที่ด้านขวาของระนาบ ดังนั้นเพื่อให้ระบบนี้มีเสถียรภาพมากขึ้นเราจึงได้ทำการใช้ตัวควบคุมแบบ Lead Compensate เพื่อดึงให้โพลที่อยู่ด้านขวาของระนาบนั้นย้ายมาอยู่ที่ด้านซ้ายของระนาบแทน

ซึ่งจากตัวควบคุมที่คำนวณหามาได้นั้น สามารถทำให้ระบบนี้มีเสถียรภาพมากขึ้น กล่าวคือสามารถทำให้วัตถุสามารถลอยนิ่งอยู่ในอากาศได้ และยังสามารถที่จะควบคุมให้เลื่อนไปตามจุดต่างๆ ที่เรากำหนดภายในย่านที่เราตั้งไว้ได้

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- การหาค่า X_m และ X_s ซึ่งได้มาจากการวัดระยะที่จุดสมดุลอาจจะเป็นค่าที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เนื่องจากผู้วัดไม่สามารถที่จะรู้จุดสมดุลที่แน่นอนได้
- ระยะทางของสายไฟที่ยาวมีจะผลกระทบต่อการกระบวนการเนื่องจากจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นมาก
- ควรจะมีอุปกรณ์ป้องกันการกระแทกต่อเซ็นเซอร์เพราะจะทำให้เซ็นเซอร์เกิดความเสียหายได้
- ต้องมั่นใจว่าเซ็นเซอร์จะต้องติดอยู่ตรงกลางปลายของแกนขดลวด
- พื้นที่หน้าตัดของแกนขดลวดจะต้องมีขนาดพอๆกับหน้าตัดของแม่เหล็กถาวร

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการเสนอการออกแบบชุดทดลองกระบวนการการยกตัวของวัตถุด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ตัวควบคุมแบบ Lead ซึ่งเป็นการควบคุมแบบอนาล็อก ดังนั้นการนำตัวควบคุมแบบอื่นๆ เช่น ตัวควบคุมแบบ PID หรือ ตัวควบคุมแบบฟuzzy logic มาใช้ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Adam Kumpf, MIT student 2003, <http://web.mit.edu/kumpf/www/MagLev/KumpfWriteup.pdf>
2. "Magnetic Levitation, Technic report in project course Automatic Control" by Johan Virdehed and group
3. Hall Effect Sensor , <http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/saowalak/hall/hall.htm>
4. พิพิศ ลำยอง , Electrical Machine 1 เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. เจริญ เพชรภูมิ , เรียนลัด LABview.
6. รศ.กิตติ ตีระเศรษฐม . รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร , วิศวกรรมระบบควบคุม Control System Engineering และ ระบบควบคุมป้อนกลับ Feedback Control System , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้