การศึกษาการจำลองการวัด และ สังเกตการณ์ด้วยระบบฮาร์ท โปรโตคอล

The study of simulation measurement and monitoring with HART protocol

จอมพล เวียงวงศ์

ปิยพัทธ์ จันต๊ะคาด

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาการจำลองการวัด และ สังเกตการณ์ด้วยระบบฮาร์ท โปรโตคอล

The study of simulation measurement and monitoring with HART protocol

จอมพล เวียงวงศ์

ปิยพัทธ์ จันต๊ะคาด

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The study of simulation measurement and monitoring with HART protocol

JOMPON WIANGWONG
PIYAPAT CHANTAKHAD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSRTUMENTATION RNGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาการจำลองการวัด และ สังเกตการณ์ด้วยระบบฮาร์ท โปรโตคอล

A study of simulation measurement and monitoring with HART protocol

นักศึกษาผู้จัดทำ นายจอมพล เวียงวงศ์ **รหัสนักศึกษา** 54010178

นายปิยพัทธ์ จันต๊ะคาด **รหัสนักศึกษา** 54010819

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิริยะ กองรัตน์

ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ. วิริยะ กองรัตน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการจำลองการวัด และ สังเกตการณ์ด้วยระบบฮาร์ท โปรโตคอล The study of simulation measurement and monitoring with HART Protocol			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายจอมพล	เวียงวงศ์	รหัสนักศึกษา	54010754
	นายปิยพัทธ์	จันต๊ะคาด	รหัสนักศึกษา	54010819
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิริยะ	กองรัตน์		
ปีการศึกษา	2557			

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการรับและส่งข้อมูลด้วยระบบการสื่อสารแบบฮาร์ท โดยจัดทำแบบจำลองขึ้นมาซึ่งมีอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้ HART modem, Modem, pulse switch, Microcontroller บอร์ด Arduino Nano V3.0 และใช้โปรแกรม Arduino ในการเขียนโปรแกรมโดยใช้ร่วมกับบอร์ด Arduino เพื่อประมวลผลค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์การวัด(จำลองอุปกรณ์วัดโดยใช้ pulse switch เพื่อกดเพิ่มลดค่าทรานส์ดิวเซอร์เอาท์พุท) และ นำมาประมวลผลเพื่อให้ได้สัญญาณไฟฟ้า 4-20mA ออกไปควบคุมอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายและนำไปแสดงค่าบนจอแสดงผลทั้ง TFT Display และ Serial monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The study of simulation measurement and monitoring with HART Protocol
Authors	JOMPON WIANGWONG
	PIYAPAT CHANTAKHAD
Thesis Advisor	Assoc Prof.Viriya Kongrat
Year	2014

ABSTRACT

This project is designed to received value from transducer and calculate for control and monitoring to show on TFT , Serial monitor by using HART communication for communicate data between Serial monitor and Aduino for long distance while Aduino send 4-20mA electrical signal for control final control element.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องจากได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิริยะ กองรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รองศาสตรจารย์วิริยะ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย ให้ความช่วยเหลือ และ เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ ตลอดจนการทดลองนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูปภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 หลักการทำงานของ HART 3

2.2 พีดับเบิ้ลยูเอ็ม(Pulse Width Modulation) 14

2.3 การการมอดูเลตสัญญาณ (modulation) 16

2.4 การเดโมเลตชัน(Demodulation) 16

2.5 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล(A/D) 17

2.6 การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ 18

2.7 สัญญาณอนาล็อก 19

2.8 สัญญาณดิจิตอล 19

2.9 สัญญาณพัสส์ 19

บทที่ 3 การดำเนินงาน 22

3.1 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของการแปลงกระแส 22

3.2 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ 32

บทที่ 4 ผลการทดลอง 39

4.1 บทนำ 39

4.2 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 0 vdc 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 1.02 VDC 40
4.4 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 2.04 VDC 41
4.5 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 3.01 VDC 42
4.6 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 4.03 VDC 43
4.7 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์5.00 VDC 44

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ **47**
5.1 สรุปผลการทดลอง 47
5.2 ข้อเสนอแนะ 47

บรรณานุกรม **48**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างการส่งการส่งข้อมูล	3
2.2	การจำลองการสื่อสารแบบ อนาลอก และ ดิจิตอล	4
2.3	กระดำเนินการโหมด พอย-ทู-พอย	5
2.4	การดำเนินการโหมด มัลติดรอป	5
2.5	แสดงองค์ประกอบของมัลติดรอปเน็ตเวิร์ค	6
2.6	แสดงถึงตัววควบคุมแบบฮาร์ท ร่วมกับ มัลติดรอปเน็ตเวิร์ค	7
2.7	แสดงการใช้ฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์เป็นส่วนรับ I/O หลักของระบบ	9
2.8	แสดงฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์กับระบบ I/O ที่มีอยู่แล้ว	10
2.9	แสดงฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์ที่รวมอยู่ใน I/O	10
2.10	ระบบมัลติมาสเตอร์	11
2.11	โมดูล 3 ลูป	11
2.12	HART software	12
2.13	แสดงทรานส์มิตเตอร์ ที่มี PID (HART Slave)	13
2.14	สมาททราสมิทเตอร์ ด้วย PID	14
2.15	สัญญาณ PWM	15
2.16	วงจรสมมูล	15
2.17	กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่า PWM กับอัตราการเปิดปิดของคอนโทรลวาล์ว	16
2.18	ข้อดีของอุปกรณ์ฮาร์ท	19
2.19	แบบสัญญาณ HART FSK	20
2.20	Modulate wave form	21
2.21	Demodulate wave form	21
3.1	แสดงลักษณะการเขียนโปรแกรมใน arduino	22
3.2	โฟลชาร์ดการทำงานของโปรแกรม	23
3.3	การต่อ arduino เข้ากับ ฮาร์ดโมเด็ม	32
3.4	เช็คสัญญาณที่ฮาร์ดโมเด็มส่งออกมา	32
3.5	การแสดงผลของTFT A,B,C	33
3.6	การต่อ pin ขา arduino เข้ากับ ดิสเพล (LCD)	34
3.7	การต่อ arduino เข้า ดิสเพล ตามแบบ pin ข้างบน	34
3.8	ฮาร์ทโมเด็ม ds8500	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 PIN Layout ds8500 36
3.10Pin layout ของ Arduino nano V3.0 36
3.11ตัวแปลงกระแส XTR117 37
3.12บัดกรีตัวแปลงกระแส XTR117 เข้ากับ HART modem 38
4.1 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 0 VDC และ % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย 39
4.2 จอซีเรียลโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 40
0 vdc และ 0 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และค่ากระแส 4.00 mA
4.3 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 1.02 VDC และ 20.4% การทำงานของอุปกรณ์ 40
ควบคุมขั้นสุดท้าย
4.4 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่1.02 VDC 41
และ 20.43 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และค่ากระแส 7.27 mA
4.5 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 2.04 VDC และ 40% การทำงานของอุปกรณ์ควบคุม 41
ขั้นสุดท้าย
4.6 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่2.04 VDC 42
และ 40 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และค่ากระแส 10.54 mA29
4.7 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 3.01 VDC และ 60% การทำงานของอุปกรณ์ควบคุม.....42
ขั้นสุดท้าย
4.8 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ 43
ที่ 3.01 VDC และ 60.22% การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย
และค่ากระแส 13.63 mA
4.9 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 4.03 VDC และ 80% การทำงานของอุปกรณ์ควบคุม 43
ขั้นสุดท้าย
4.10 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 44
4.03 VDC และ 80.65 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และ
ค่ากระแส 16.90mA
4.11 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 5.0 VDC และ 100 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุม 44
ขั้นสุดท้าย
4.12 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ 45
5.00 VDC และ 100 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย
และค่ากระแส 20 mA
4.13 แสดงความสัมพันธ์ของค่า 10-bit , Input voltage , Output current 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

โรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งในปัจจุบันหลายๆที่มีความไม่ปลอดภัยและสภาวะที่ไม่เหมาะแก่การทำงานอย่างต่อเนื่องดังนั้นการสังเกตุการทำงานของระบบจำต้องทำอย่างต่อเนื่องซึ่งต้องให้วิศวกรหรือคนงานเป็นผู้สังเกตุเป็นเหตุทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพในระยะยาวดังนั้นโครงงานนี้จึงออกแบบเพื่อการสังเกตุค่าของระบบโดยที่ไม่จำเป็นต้องเข้าไปในพื้นที่ด้วยตัวเอง

ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านระบบฮาร์ท(HART) ทำให้เราสามารถรับ ข้อมูลจากระยะไกลได้โดยหลักการของการทดลองนี้ คือ แปลงค่าสัญญาณไฟฟ้า จากไมโคลคอลโทรลเลอ(Arduino nano v3) เป็นสัญญาณความถี่(FSK) โดยใช้ฮาร์ทโมเด็ม(HART modem) เพื่อให้สามารถรับข้อมูลในระยะทางไกลได้ จากนั้นแปลกสัญญาณความถี่(FSK)กลับเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยใช้โมเด็มอีกตัวเพื่อทำการส่งต่อข้อมูลกับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการมอนิเตอร์

ดังนั้นในโครงงานนี้จะใช้คุณสมบัติของการสื่อสารด้วยระบบฮาร์ท เพื่อจำลองการวัด จากระยะไกล โดยแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมผ่าน arduino และ มอนิเตอร์ค่าต่างๆแสดงบนคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาระบบฮาร์ท (HART)
2. ศึกษาการใช้งาน arduino nano v3
3. ศึกษาลักษณะสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับ
4. ศึกษาและออกแบบสร้างวงจรขยาย/ลดทอนสัญญาณ Current Sensor Transformer, Voltage Transformer และออกแบบสร้างอุปกรณ์ปรับสภาวะสัญญาณ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.ในการเชื่อมต่อ Arduino nano v3 กับ กับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ต USB และ ใช้โปรแกรม Arduino ในการทดลอง

2.ในส่วนของการทดลองการมอดูเลท (modulate) ของฮาร์ทโมเด็ม(HART modem) จะใช้ ออสซิโลสโคปในการสังเกตกราฟความถี่ของสัญญาณความถี่(FSK) ว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่

3.ตรวจค่าการแสดงผลระว่างจอ TFT และ serial monitor ว่าสามารถวัดค่าออกมาเท่ากันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในโครงการนี้เริ่มต้นโดยการศึกษาทฤษฎีของการสื่อสารผ่านด้วยระบบฮาร์ทและภาพรวมการทำงานของการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino เพื่อเก็บค่าที่ได้จากทรานส์ดิวเซอร์เพื่อแปลงเป็นสัญญาณออกไปควบคุมอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และ ส่งค่าออกไปแสดงผลบนจอ TFT และ Serial monito

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการทำงาน

2.1 หลักการทำงานของ HART

หลักการทำงานหลักๆของ HART มี 3 แบบ คือ communication mode, Frequency Shift keying, HART Networks

2.1.1 คอมมูนิเคชันโหมด(Communication mode)

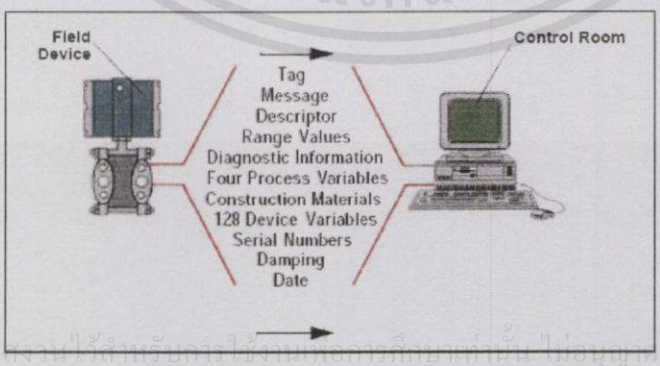
ในการทำงานแบบคอมมูนิเคชันโหมดมีโหมดย่อยอีก 2 โหมดคือ Master-Slave mode, Burst mode

2.1.1.1 มาสเตอ-สลาฟ โหมด(Master-Slave mode)

ฮาร์ท คือ มาสเตอ-สลาฟโหมด คอมมูนิเคชันโปรโตคอล นั่นหมายความว่าขณะการทำงานทั่วไป สลาฟ(ฟิล ดีไวซ์) จะทำการสื่อสารกับตัวมาสเตอก่อนการทำงาน ตัวมาสเตอร์ 2 ตัวสามารถติดต่อกันโดย ฮาร์ท ลูป ตัวไพรมารี่มาสเตอร์โดยทั่วไปแล้วจะเป็นระบบกระจายการควบคุม(DCS),โปรแกรมเมเบิล โลจิคคอนโทรล(PLC) หรือ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล(PC) ตัวเซคคัลดารี่มาสเตอร์ เป็นได้ทั้ง ฉอนฮีล เทอร์มินัล หรือ PC อีกตัว ตัวสลาฟ ดีไวซ์ ประกอบด้วย ทรานซ์มิตเตอร์,แอคทูเอเตอร์ และ คอนโทรลลเอร์ที่สามารถตอบสนองต่อทั้ง ไพรมารี่ และ เซคัลดารี่ มาสเตอร์

2.1.1.2 เบิซโหมด(Burst mode)

เบิซโหมดเป็นโหมดสนับสนุนการสื่อสารของระบบของฮาร์ท สามราถสื่อสารได้เร็ว(อัพเดทข้อมูล 3-4 ตัวต่อวิ) ในเบิซโหมด มาสเตอ จะทำการรับส่งข้อมูลกับ สลาฟอย่างต่อเนื่อง โดยตัวมาสเตอร์จะมีอัตราการรับข้อความสูง จนกว่าเราจะหยุดการเบิซที่ตัวสลาฟ

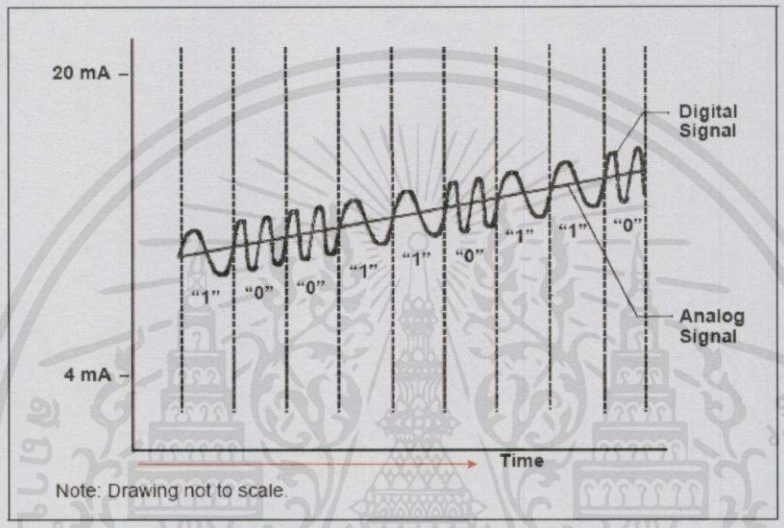


รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการส่งการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ฟรีเควสซี่ชิฟคีอิ้ง(Frequency shift keying)

โปรโตคอลการสื่อสารของฮาร์ทขึ้นอยู่กับเบลล์ 202 มาตรการสื่อสารของโทรศัพท์ และเราสามารถปรับค่าโดยใช้หลักการเปลี่ยนความถี่(FSK) โดยสัญญาณดิจิตอลสร้างจาก 2 ความถี่คือ 1,200 Hz และ 2,200 Hz แลปกเป็น บิท 1 และ 0 คลื่นไซน์ของทั้งสองความถี่ที่มีการซ้อนทับบนกระแสตรง (DC) อะนาล็อกสายสัญญาณที่จะให้อะนาล็อกพร้อมกันและการสื่อสารแบบดิจิตอลเพราะค่าเฉลี่ยสัญญาณ FSK จะเป็น 0 เสมอตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การจำลองการสื่อสารแบบ อนาลอก และ ดิจิตอล

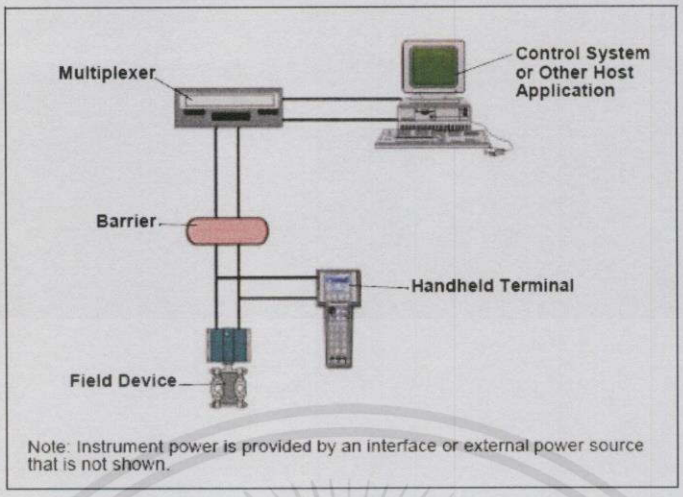
2.1.3 ฮาร์ทเน็ตเวิค(HART network)

ฮาร์ทเน็ตเวิคมี 2 แบบ คือ point-to-point และ มัลติดรอป

2.1.3.1 พอย-ทู-พอย(Point-to-Point)

ในโหมด พอย-ทู-พอย สัญญาณ 4-20 mA จะถูกนำมาใช้ในการสื่อสารกับค่าตัวแปรหนึ่ง ในขณะที่กำหนดตัวแปรกระบวนการ กำหนดค่าพารามิเตอร์ และข้อมูลอุปกรณ์อื่น ๆ จะถูกโอนแบบดิจิตอลโดยใช้ฮาร์ทโปโตคอล ตาม (รูปที่ 2.2) สัญญาณ 4-20 mA ไม่ได้รับผลกระทบจากสัญญาณฮาร์ทและสามารถนำมาใช้สำหรับการควบคุมตามปกติ การสื่อสารระบบฮาร์ทให้สัญญาณดิจิตอลเข้าถึงตัวแรปเซคคัลดารี่ และข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการดำเนินการ, การบำรุงรักษา และ การวินิจฉัยค่า

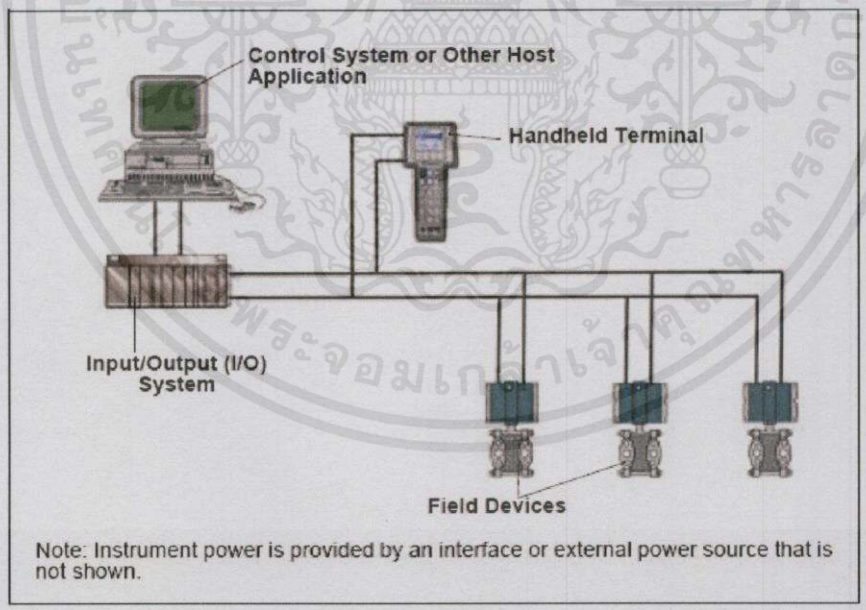
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กระดำเนินการโหมด พอย-ทู-พอย

2.3.1.2 มัลติดรอป(Multidrop)

โหมดมัลติดรอปต้องการแค่สายไฟคู่เดียว สามารถจ่ายได้มากถึง 15 ฟิลดีไวซ์ ค่าในกระบวนการทั้งหมดจะถูกแปลงเป็นแบบดิจิตอล ในโหมดมัลติดรอปแอดเดรสของฟิลทั้งหมดจะถูปรับเป็น >0 และกระแสที่ผ่านจะถูกฟิคค่าต่ำสุด(4 ma โดยทั่วไป)

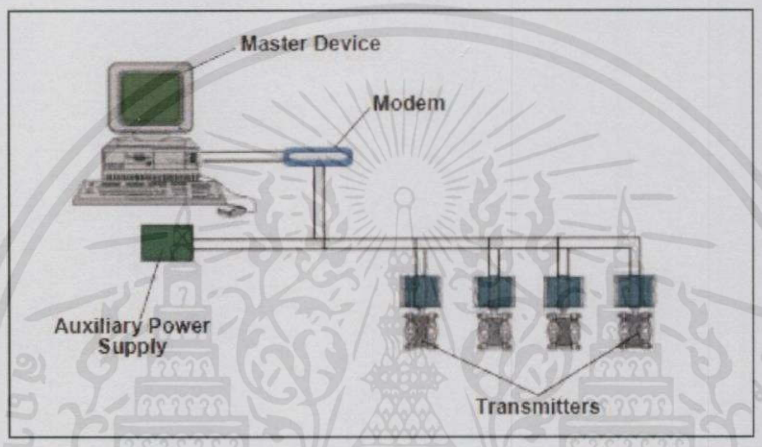


รูปที่ 2.3 การดำเนินการโหมด มัลติดรอป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 มัลติดรอป เน็ตเวิร์ค (Multidrop network)

การสื่อสารแบบฮาร์ทโปรโตคอล สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้หลายตัวในคู่สายเดียวด้วยองค์ประกอบของมัลติดรอปเน็ตเวิร์คดังรูป แม้ว่ากระแสที่ผ่านอุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดไว้ให้มีค่าต่ำสุด(โดยปกติคือที่ 4 mA) แต่ก็เพียงพอสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ ลูปกระแสอนาล็อก(Analog current loop) จะไม่สามารถเปลี่ยนความสัมพันธ์และมีผลกระทบใดๆดังนั้นจังไม่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงตัวแปรหลักหรือตัวแปรขั้นต้นได้(Primary variable)ในกระบวนการ การสื่อสารในมัลติดรอปเน็ตเวิร์คจะเป็นดิจิตอลทั้งหมด



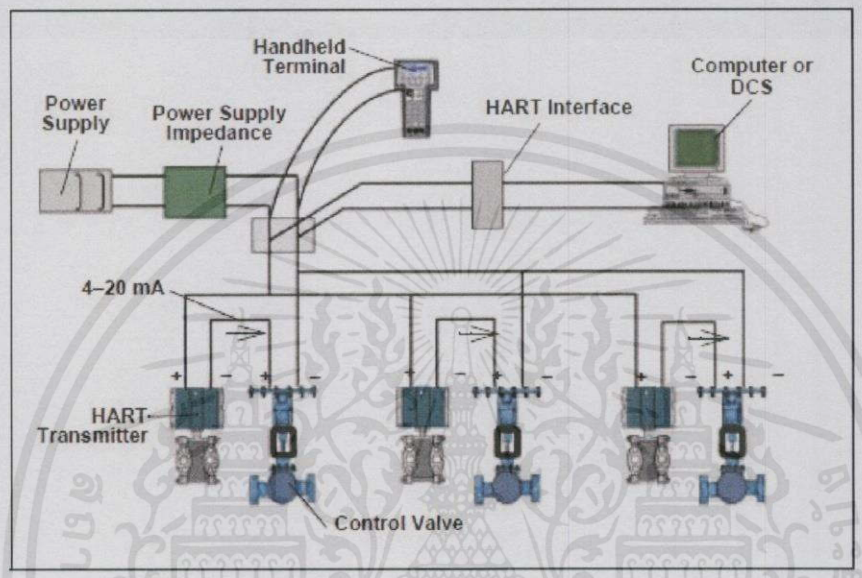
รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบของมัลติดรอปเน็ตเวิร์ค

คำสั่งมาตรฐานฮาร์ทถูกใช้เพื่อติดต่อสื่อสารกับเครื่องมือที่ใช้ในสนามในการกำหนดตัวแปรกระบวนการหรืออุปกรณ์ข้อมูลพารามิเตอร์ รอบเวลาโดยทั่วไปที่จำเป็นในการอ่านข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรเดียวจากอุปกรณ์ฮาร์ทจะอยู่ที่ประมาณ 500 มิลลิวินาที สำหรับอุปกรณ์ 15 ตัวเราจำเป็นต้องใช้เวลาในการสแกนและอ่านค่าตัวแปรหลัก(Primary avariable)ทั้งหมดที่ 7.5 วินาที การอ่านข้อมูลจากเครื่องมือหลายตัวแปรอาจใช้เวลานานเนื่องจากจะมีจำนวนตัวแปรประมาณ 1-4 ตัว มัลติดรอปเน็ตเวิร์คทั่วไปสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ด้วยการต่อขนานแบบใช้ 2 สาย ลูปกำลัง 2 สาย(2 wire loop powred)และลูปกำลัง 4 สาย(4 wire loop powered)สามารถเชื่อมต่อกันได้ในเครือข่ายเดียวกัน หากทั้งลูปทั้ง 2 แบบทำการเชื่อมต่อในเครือข่ายเดียวกันการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์จะต้องใช้แบบ 3 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.4 มัลติดรอป และ ตัวควบคุมแบบฮาร์ทในภาคสนาม(Multidrop with HART Field controllers)

ตัวควบคุมแบบฮาร์ทในภาคสนาม สามารถเชื่อมต่อกับมัลติดรอปเน็ตเวิร์คได้ดังรูป สัญญาณเอาท์พุตจากอุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกแยกกันต่างหากซึ่งนั่นทำให้เครือข่ายฮาร์ทมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในกรณีนี้สัญญาณอนาลอกจะถูกใช้เพื่อควบคุมตัวอุปกรณ์ควบคุม



รูปที่ 2.5 แสดงถึงตัวควบคุมแบบฮาร์ท ร่วมกับ มัลติดรอปเน็ตเวิร์ค

ข้อดีของ ฮาร์ทร่วมกับมัลติดรอปเน็ตเวิร์ค

ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินสายเนื่องจากการใช้ ฮาร์ทมัลติดรอปเน็ตเวิร์คนั่นใช้ขนาดสายที่เล็กกว่าการเดินสาย แบบ จุด ต่อ จุด (point to point) เนื่องจากระยะทางการส่งสัญญาณฮาร์ทระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวสั้นลง

การตั้งค่าอุปกรณ์สำหรับการทำงานแบบมัลติดรอป

การใช้ฮาร์ทโปรโตคอลกับอุปกรณ์ 15 ตัวที่เชื่อมต่ออยู่กับมัลติดรอปเน็ตเวิร์ค โดยเราสามารถกำหนดแอดเดรสโดยมีค่าตั้งแต่ 0 เป็นต้นไป ด้วยโปรโตคอลฮาร์ท แต่ละฟิลด์(Field)ให้ไม่ซ้ำกันก่อนที่จะทำการสื่อสารกับอุปกรณ์มาสเตอร์เพราะตัวอุปกรณ์มาสเตอร์จะไม่สามารถจำแนกการสื่อสารได้หากมีอุปกรณ์ที่แอดเดรสซ้ำกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อระบบควบคุม(Control system interface)

เมื่อคุณเปลี่ยนระบบการควบคุมที่มีอยู่โดยการเพิ่มอินเตอร์เฟซฮาร์ทมันเป็นสิ่งสำคัญที่จะเข้าใจการทำงานที่สมบูรณ์นำเสนอโดยอินเตอร์เฟซฮาร์ท ในขณะที่ผู้ผลิตระบบควบคุมแต่ละรายนำเสนออินเตอร์เฟซที่แตกต่างกัน และไม่สามารถเชื่อมต่อกันไปทั้งหมด

ระบบควบคุมจำพวก DCS , PLC , SCADA ใช้เพียงฟังก์ชั่นที่จำเป็นในการใช้งานที่กำหนด ตัวอย่างเช่นระบบควบคุมอัตราการไหลจะมีเพียงแค่ตัวอ่านค่าตัวแปรหลักเท่านั้นไม่มีฟังก์ชั่นอื่นเสริมเพื่อสังเกตุค่าหรือเปลี่ยนแปลงค่าที่ต้องการตั้งค่า ในขณะที่ฮาร์ททำทั้งการเก็บค่าจากตัวแปร ตั้งค่าและ รักษาสภาพการทำงาน อุปกรณ์ทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับมัน

ระบบย่อยของ ฮาร์ท อินพุต/เอาท์พุต (HART I/O Sub systems)

ระบบฮาร์ทส่วนมากเข้ากันได้กับระบบ อินพุต/เอาท์พุตย่อย ซึ่งจะมีช่องสำหรับสัญญาณอนาลอกหลายช่องในแต่ละ I/O การ์ด ซัพพลายเออร์สามารถเลือกได้ว่าจะให้อินเตอร์เฟซฮาร์ทต่อเพียงหนึ่งช่องทางหรือจะแบ่งเป็นหลายช่องทาง โดยจำนวนช่องทางของฮาร์ทอินเตอร์เฟซจะมีผลต่อความถี่ในการอัพเดทข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ภาคสนาม(Field device)

ระบบฮาร์ท อินพุต/เอาท์พุต สำหรับเครือข่ายมัลติดรอป

เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด ฮาร์ทอินเตอร์เฟซ 1 ตัวควรแยก I/O เป็นแต่ละแชนแนล ระบบที่ใช้เพียงหนึ่งอินเตอร์เฟซฮาร์ตในหลายช่อง I / O อาจไม่สนับสนุนเครือข่ายมัลติดรอป มันจะทำให้อัตราการอัพเดทข้อมูลช้ามากและช้าพอที่จะทำให้ระบบมัลติดรอปไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นผู้ผลิตบางรายจึงใช้มัลติดรอปกับฮาร์ทอินเตอร์เฟซที่มีการรอง I/O แชนแนลเพียงช่องทางเดียว อย่างไรก็ตามหาก I/O การ์ดมีหลายช่องทางแต่หากต่อกับฮาร์ทอินเตอร์เฟซไปแล้วช่องทางอื่นๆก็จะไม่สามารถใช้กับฮาร์ทอินเตอร์เฟซได้

ระบบฮาร์ท อินพุต/เอาท์พุต สำหรับ เบิร์ซ โหมด (HART I/O for Burst mode)

เบิร์ซโหมดเป็นตัวเลือกใช้งานในอุปกรณ์ภาคสนาม การรับข้อมูลจากเบิร์ซโหมดเครื่องโฮสต์ก็จะต้องมีตัวเลือกนี้เช่นกันเช่นกันเพื่อการได้รับประโยชน์จากเบิร์ซโหมดอย่างเต็มรูปแบบ 1 ฮาร์ทอินเตอร์เฟซก็ควรแยก I/O กันอย่างชัดเจนในแต่ละแชนแนลหากใช้ 1ฮาร์ทอินเตอร์เฟซกับ I/O แชนแนลมากกว่า 1 แชนแนล ข้อมูลที่ถูกส่งไปให้กับอุปกรณ์อาจจะไม่ถูกตรวจพบในระบบควบคุมหากระบบไม่รองรับการเชื่อมต่อกับเบิร์ซโหมดก็จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับการช่วยในการตั้งค่าอื่นๆ

2.3.1.5 มัลติเพลกเซอร์(Multiplexer)

การใช้ฮาร์ทคู่กับมัลติเพลกเซอร์ เป็นสิ่งที่จำเป็นเมื่อผู้ใช้ต้องการติดต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ทจำนวนมากๆ มัลติเพลกเซอร์สามารถแยกส่วนและมีความสามารถที่จะสนับสนุนการเชื่อมต่อทั้งแบบ จุดต่อจุด (Point to Point) และแบบ มัลติดรอป (Multidrop) ในส่วนการสื่อสารของฮาร์ท โดยความสามารถระหว่างการสื่อสาร

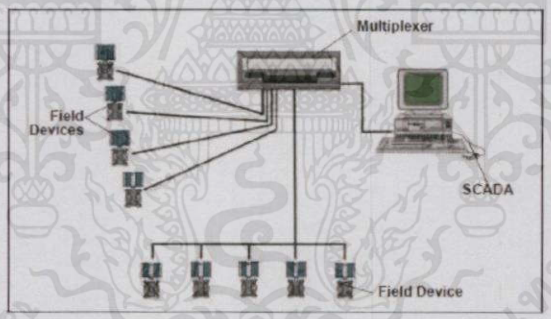
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของมัลติเพลกเซฮร์ และ โฮสต์ขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการทำมัลติเพลกเซอร์

-เมื่อเชื่อมต่อ ฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ
-จำนวนแชนแนล ที่ฮาร์ดสามารถรองรับ
-จำนวนแชนแนลที่จะส่งข้อมูลไปยังฮาร์ทโมเด็ม
-สนับสนุนการใช้เบิร์ซโหมดหรือไม่(Birst mode)
-สนับสนุนการใช้มัลติดรอปเน็ตเวิร์คหรือไม่
-วิธีการสื่อสารกับโฮสต์คอมพิวเตอร์หรือระบบการควบคุม

การใช้มัลติเพลกเซอร์เป็นระบบ I/O หลัก (Multiplexer as primary I/O)

ฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์สามารถถูกใช้เป็นส่วนรับและส่ง I/O หลักสำหรับควบคุมหรือแสดงผลของระบบดังรูปที่ 2.6 โดยทั่วไปจะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวทำหน้าที่สื่อสารระหว่างผู้ใช้และเครื่องจักรและการปฏิบัติหน้าที่อื่นๆ มัลติเพลกเซอร์จะทำหน้าที่แสดงผลค่าจากอุปกรณ์ภาคสนามอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นค่ากระแสที่ส่งจากอุปกรณ์ สถานะการทำงานของอุปกรณ์ สู่คอมพิวเตอร์ และส่งผ่านคำสั่งฮาร์มจากคอมพิวเตอร์ สู่อุปกรณ์ภาคสนาม



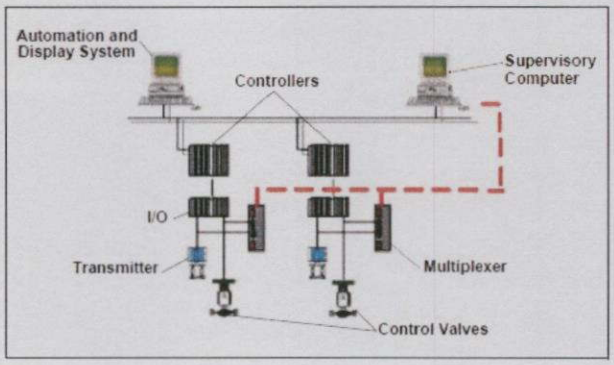
รูปที่ 2.6 แสดงการใช้ฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์เป็นส่วนรับ I/O หลักของระบบ

การแสดงผลควบคู่กับมัลติเพลกเซอร์(Parallel monitoring with multiplexer)

เมื่อระบบควบคุมแบบดั้งเดิมคือ 4-20 mA มีการใช้สัญญาณอนาลอกเพื่อวัดและควบคุมเอาท์พุต ฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์สามารถถูกเพิ่มเข้าไประบบดังกล่าวเพื่อเพิ่มการเข้าถึงสัญญาณฮาร์ทดิจิตอล การใช้มัลติเพลกเซอร์ช่วยให้คอมพิวเตอร์เข้าถึงการตรวจสอบค่าและสถานะต่างๆของอุปกรณ์หรือคำนวณค่าต่างๆที่ไม่สามารถทำได้ด้วยสัญญาณ4-20mA

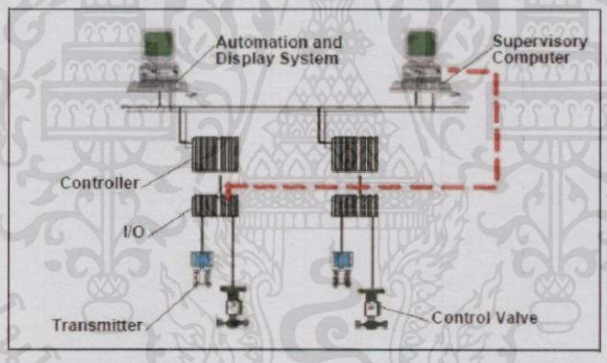
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีมัลติเพลกเซอร์สองประเภทที่ถูกนำมาใช้ร่วมกับระบบควบคุม มัลติเพลกเซอร์แบบเดินสายคู่ขนานเป็นที่นิยมใช้กับระบบควบคุมที่มีการเดินสายแบบทั่วไปอยู่แล้วดังรูป



รูปที่ 2.7 แสดงฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์กับระบบ I/O ที่มีอยู่แล้ว

มัลติเพลกเซอร์ยังสามารถรวมกับ I/Oของระบบควบคุมเสมือนบุคคลที่ 3 (Third - party)และเหมือนระบบ I/O ดังรูป มัลติเพลกเซอร์สามารถรวมกัน IS barrier และอุปกรณ์ฟิลเตอร์อื่นๆ ที่ส่งต่อข้อมูลต่อไปยังอุปกรณ์ภาคสนาม สำหรับการติดตั้งประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เทอร์มิเนชั่น(Termination) หรือต้องการพื้นที่เพิ่มเติม มัลติเพลกเซอร์ยังทำหน้าที่เป็นเกตเวย์แปลงข้อความฮาร์ทสู่โปรโตคอลอื่นๆเช่น มอดบัส (Modbus) โปรฟิบัส(Profibus) หรือ อีเทอร์เน็ต(Ethernet)

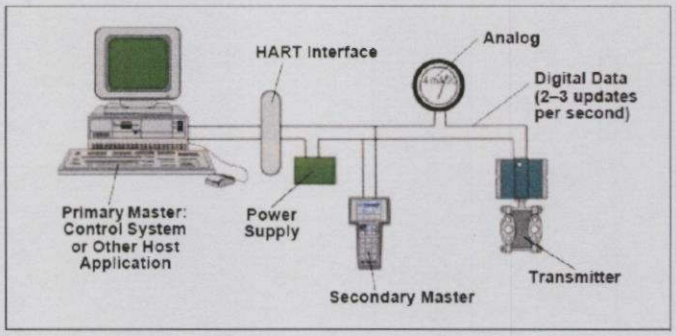


รูปที่ 2.8 แสดงฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์ที่รวมอยู่ใน I/O

2.3.1.6 ฮาร์ทโปรโตคอลที่มี 2 มาสเตอร์

ฮาร์ทโปรโตคอลที่มี 2 มาสเตอร์(ไพรมารี่ และ เซคคัลดารี่) ไว้สื่อสารกับ สลาฟดีไวซ์ เพื่อเพิ่มการดำเนินการที่ยืดหยุ่นต่อระบบโฮสให้เชื่อต่ออย่างถาวร ขณะที่แฮนฮิลเทอร์มินอล และ PC คอนโทรลเลอสามารถเชื่อต่อกับฟิลดีไวซ์ได้ด้วย

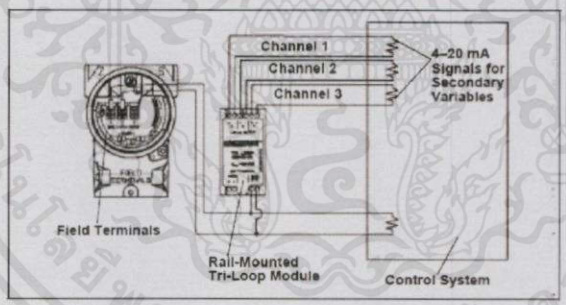
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ระบบมัลติมาสเตอร์

2.3.2 การอ่านข้อมูลฮาร์ท จากระบบที่ไม่ใช่ฮาร์ท

ผลิตภัณฑ์ฮาร์ทหลายๆตัวสามารถแสดงค่าที่วัดได้มากกว่า 1 หรือ หลายเอาท์พุทฟังก์ชัน(ทำการวัดหลายกระบวนการ,คำรวณค่ากระบวนการจากข้อมูล และ ประเมินค่าฟีดแบค)ทั้งหมด ข้อมูลแบบนี้สามารถเข้าถึงได้ง่ายแบบดิจิตอล แต่ควบคุมที่มีอยู่ หรืออุปกรณ์อินเตอร์เฟซไม่มีความสามารถอ่านข้อมูลจากฮาร์ท โดยอุปกรณ์ฮาร์ทสามารถแปลงค่าดิจิตอล เป็น อนาลอก หรือ ข้อมูลการติดต่อ นั่นหมายถึง แปลง analog/digital/I/O ซึ่งเป็นประโยชน์ของการใช้ระบบฮาร์ท สื่อสารกับอุปกร์ต่างๆ บริษัท Rosemouth ได้ผลิตโมดูล 3 ลูป และ เดอะมูสอินดัสทรีได้ผลิตผลิตภัณฑ์มา 2 ตัว โมดูล 3 ลูปโมนิเตอร์ สามารถเบิชค่าข้อมูลและ แปลงออกเป็น 4 ค่า โดย 3 ค่าเป็นอนาลอกเอาท์พุท โดยใช้สายคู่ในการเดินสายไปในฟิลดีไวซ์



รูปที่ 2.5 Tri loop module

2.3.3 ฮาร์ทีซอฟแวร์(HART software)

ซอฟแวร์ในรูปที่ 2.6 ใช้สำหรับการตั้งค่าการปรับค่าพารามิเตอร์ และ เก็บข้อมูลในฮาร์ทดีไวซ์ รายการในตารางไม่ครบคลุมซอฟแวร์ทั้งหมด ซอฟแวร์บางตัวยังเป็นตัวเฉพาะสำหรับการวิจัย สำหรับซอฟแวร์สำหรับการวิจัย HART R232 หรือ อุปกรณ์อื่นเชื่อมต่อกับ HART แอพิเคชันซอฟแวร์ เข้ากับ ฟิล ดีไวซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Software	Application	Manufacturer
Asset Management Solutions (AMS)	Configuration and calibration management	Fisher-Rosemount
CONF301 HART Configurator	Configuration management	Smar International
CONFIG	Configuration management	Krohne
Cornerstone Base Station	Configuration and calibration management	Applied System Technologies
Cornerstone Configurator	Instrument configuration	Applied System Technologies
H-View	Configuration management and data acquisition	Arcom Control Systems
IBIS	Configuration management	EB Hartmann & Braun
IBIS	Configuration management	Samson
K-S Series	Configuration management	ABB
Mobrey H-View	Configuration management	KDG Mobrey
Pacemaker	Configuration management	UTSI International Corporation
SIMATIC PDM	Configuration management	Siemens
Smart Vision	Configuration management	EB Hartmann & Braun/ Bailey Fischer & Porter
XTC Configuration Software	Configuration management	Moore Products Co.

Activate Wi

รูปที่ 2.6 HART software

2.3.4 สถานะของอุปกรณ์และการวิเคราะห์(Device status and Diagnostics)

ส่วนใหญ่อุปกรณ์ฮาร์ทภาคสนามจะให้ข้อมูลทั้งสถานะและข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ฮาร์ทโปรโตคอลกำหนดข้อมูลสถานะพื้นฐานเป็นข้อมูลที่มีอยู่ในทุกๆข้อความที่ได้รับจากอุปกรณ์ ภาคสนามสถานะพื้นฐานนี้ช่วยให้เครื่องโฮสต์สามารถเตือนได้ทันที เมื่อตรวจพบข้อผิดพลาดจากอุปกรณ์ภาคสนามข้อความแสดงสถานะยังช่วยให้ผู้ใช้ สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างการที่มีค่าที่เกินกว่าย่านที่เซ็นเซอร์สามารถอ่านได้กับการที่เซ็นเซอร์ทำงานผิดปกติตัวอย่างข้อความสถานะได้แก่

- ความผิดปกติของอุปกรณ์ภาคสนาม
- ค่าที่ถูกตั้งมีการเปลี่ยนแปลง
- มีสถานะอื่นๆเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อนาลอกเอาท์พุตถูกตั้งค่าให้คงที่
- ตัวแปรหลักมีค่าเกินกว่าข้อจำกัด

อุปกรณ์ฮาร์ทสามารถดำเนินการได้กว้างในการวิเคราห์อุปกรณ์ปริมาณและชนิดของข้อมูลการวินิจฉัยจะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตและแตกต่างกันไปข้อมูลการวิเคราะห์นั่นๆสามารถเข้าถึงได้ด้วยฮาร์ทโปรโตคอล

การใช้แอปพลิเคชั่น DD ในเครื่องโฮสต์จะทำให้สามารถตีความและวิเคราะห์ข้อมูลได้หากไม่ได้ใช้แอปพลิเคชั่น DD อาจต้องใช้ซอร์ฟแวร์ที่มีโมดูล productspecific ในการตีความข้อมูล

ผู้ผลิตหลายรายมีการใช้ซอร์ฟแวร์พิเศษสำหรับผลิตภัณฑ์ของตัวเอง โดยบางโมดูลช่วยให้คุณสามารถปรับแต่งสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เฉพาะเจาะจงโดยส่วนมากจะเป็นผู้ผลิตวาล์วแอคทูเอเตอร์ที่จะทำแบบนี้เพื่อป้องกันวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์

ซอร์ฟแวร์หลายๆชนิดสามารถให้การสื่อสารที่ต่อเนื่องระหว่างอุปกรณ์ภาคสนามด้วยการใช้ ฮาร์ทที่เหมาะสมและ ฮาร์ทมัลติเพลกเซอร์ ร่วมกับ ฮาร์ท I/O โปรแกรมเหล่านี้จะช่วยให้การตรวจสอบเป็นแบบเรียลไทม์ไม่ว่าจะเป็นสถานะหรือการวิเคราะห์ข้อมูล

2.2 พีดับเบิ้ลยูเอ็ม(Pulse Width Modulation)

PWM คือเทคนิคการส่งสัญญาณแบบสวิทช์ หรือ ส่งค่าดิจิตอล 0-1 โดยให้สัญญาณความถี่คงที่ การควบคุมระยะเวลาสัญญาณสูงและสัญญาณต่ำ ที่ต่างกัน ก็จะทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณสวิทช์ ต่างกันด้วย อย่างเช่น ดูภาพประกอบ

-ถ้าอยากให้ V_{out} ออกมา 0 โวลต์ เราก็ให้ระยะเวลาสัญญาณ LOW เต็มคาบเวลา

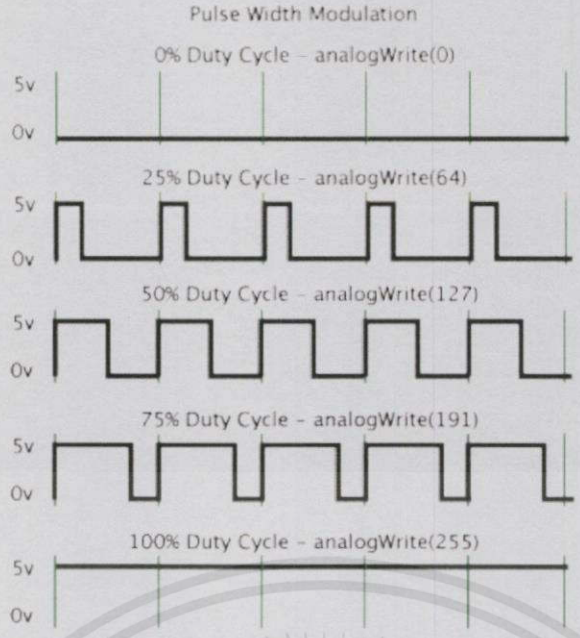
-ถ้าอยากให้ V_{out} ออกมา 25% เราก็ให้สัญญาณ HIGH 25 % และ สัญญาณ LOW 75%

-และ ถ้าอยากให้ V_{out} ออกมา 50% เราให้ระยะเวลาของสัญญาณ HIGH และ LOW เท่ากัน ก็จะได้ค่าเป็น 2.5 โวลต์

-เช่นเดียวกัน ถ้าเราอยากให้ V_{out} ออกมา 75% เราให้ระยะสัญญาณ HIGH เป็น 75% และ สัญญาณ LOW 25%

-ซึ่งสุดท้าย ถ้าเราอยากให้ V_{out} ออกมา 5 โวลต์ เราเปิดสัญญาณ HIGH เต็มคาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



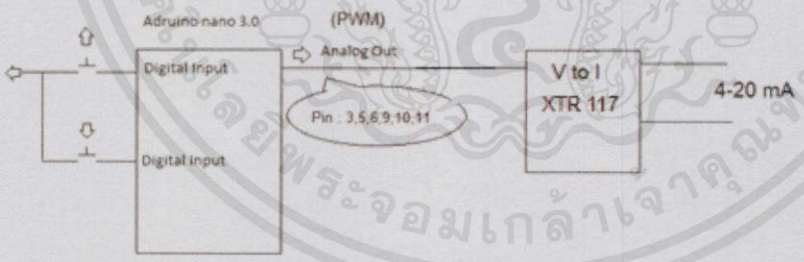
รูปที่ 2.4 สัญญาณ PWM

สำหรับโมดุล PWM ของ Arduino มีความละเอียด 8 bit หรือ ปรับได้ 255 ระดับ ดังนั้นค่าสัญญาณ 0 โวลต์ถึง 5 โวลต์ จะถูกแสดงเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล จะได้ 0 ถึง 255 ซึ่งเราสามารถเทียบสัดส่วนคำนวณจากเลขจริง เป็น เลขทางดิจิตอล **ตัวอย่าง** ถ้า 5V = 255

> 1.0v จะเท่ากับค่าเท่าไร

= 255/5.0V*1.0V = 51

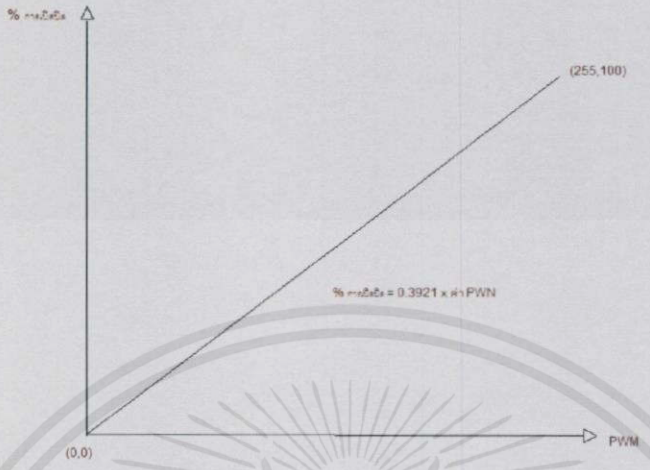
ถ้าอยากให้ V_{out} = 1.0 V เราสั่งให้ค่า PWM = 51



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูล

วงจรสมมูลนี้จะทำหน้าที่ควบคุมเปอร์เซ็นการเปิดปิดอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายของโดยเมื่อกดสวิทช์ Pin Up (⇧ ⊥) จะเพิ่มอัตราการเปิดของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายและเมื่อกดสวิทช์ Pin Down (⇩ ⊥) อัตราการเปิดของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายจะลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งค่า PWM เป็น 0 คอนโทรลวาล์วจะปิดสนิท โดยเราจะเทียบค่า PWM กับอัตราการเปิดปิดของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายเป็นเปอร์เซ็นต์โดย PWM 0-255 เทียบเป็นอัตราการเปิดปิดของคอนโทรลวาล์ว 0-100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กราฟ แสดงถึง ความสัมพันธ์ของค่า PWM กับอัตราการเปิดปิดของคอนโทรลวาล์ว

2.3 การการมอดูเลตสัญญาณ (modulation)

การมอดูเลตสัญญาณ คือ การจะส่งสัญญาณเสียงหรือข้อมูลผ่านช่องทางการสื่อสารจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าช่วยพาสัญญาณเหล่านั้นให้เคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งขบวนการหรือขั้นต้อนในการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวเราเรียกว่าการมอดูเลต(Modulation) พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีความถี่สูงและคงที่รวมทั้งมีแอมปลิจูด(ขนาด) สูงด้วยนั้นเราเรียกว่าสัญญาณคลื่นพาห์(Signal Carrier) อุปกรณ์สำหรับมอดูเลตสัญญาณ(Modulator) จะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์และรวมเข้ากับสัญญาณข้อมูลเพื่อให้สัญญาณมีความแรงพอที่จะส่งผ่านสื่อกลางไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ไกลออกไปได้และเมื่อถึงปลายทางก็จะมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณคลื่นพาห์ออก ให้เหลือเพียงสัญญาณข้อมูลเราเรียกวิธีการแยกสัญญาณนี้ว่าการดีมอดูเลต(Demodulation)เรื่องการมอดูเลตสัญญาณเป็นเรื่องที่สำคัญมากในการสื่อสารข้อมูลการเลือกวิธีการมอดูเลตและการดีมอดูเลตที่เหมาะสม จะช่วยให้ท่านทำการส่งข้อมูลข่าวสาร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์สำหรับมอดูเลตสัญญาณ (Modulator) จะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์ และรวมเข้ากับสัญญาณข้อมูลเพื่อให้สัญญาณมีความแรงพอที่จะส่งผ่านสื่อกลางไปยังอีกจุดหนึ่ง เมื่อถึงปลายทางจะมีอุปกรณ์ในการแยกสัญญาณคลื่นพาห์ออก เรียกวิธีการแยกสัญญาณนี้ว่า“การดีมอดูเลต” (Demodulation)

การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่(FSK) ในการมอดูเลตแบบFSK ขนาดของคลื่นพาห์จะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห์นั่นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น1 ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น0 ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเดโมเลตชัน(Demodulation)

หมายถึง ขบวนการเปลี่ยนสารสนเทศจากการ Modulate กลับมาสู่ลักษณะเดิม ในการติดต่อสื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์โดยอาศัยสายโทรศัพท์ข้อมูลที่จะส่งจากคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่ง ไปยังคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งนั้น จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงลักษณะของข้อมูลนั้น จาก analog ไปสู่ digital เสียก่อน เพื่อให้ข้อมูลถูกส่งผ่าน หรือถ่ายทอดไปตามสายโทรศัพท์ เมื่อถึงเครื่องรับปลายสาย เพื่อให้คนอ่านข้อมูลนั้นได้ จำเป็นต้องเปลี่ยนลักษณะของข้อมูลจาก digital มาสู่ลักษณะ analog นี้เรียกว่า demodulation

2.5 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล(A/D)

ในกรณีถ้าระบบเครือข่ายของเราเป็นแบบดิจิตอลคือ สามารถส่งผ่านสัญญาณดิจิตอลสู่ช่องทางสื่อสารดิจิตอลได้โดยตรง เช่น ในเครือข่าย ISDN หรือไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Mail) เป็นต้นเราสามารถส่งสัญญาณดิจิตอลที่ออกจากคอมพิวเตอร์สู่เครือข่ายได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม และในทำนองเดียวกันเราก็สามารถส่งสัญญาณอนาล็อกผ่านเข้าไปในระบบเครือข่ายดิจิตอลได้โดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเสียก่อนโดยใช้อุปกรณ์ที่ทำงานตรงกันข้ามกับโมเด็มคือโคเดก (CODEC หรือ Coder Decoder)

เทคนิคในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ 1. การมอดูเลตทางแอมปลิจูดของพัสส์หรือ PAM (Pulse Amplitude Modulation) 2. การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์หรือ PCM (Pulse Amplitude Modulation)

การมอดูเลตทางแอมปลิจูดของพัลส์(PAM) โดยอาศัยหลักการแซมปิงหรือการชักตัวอย่าง (Sampling) ของสัญญาณที่เป็นอนาล็อก (ต่อเนื่อง) ตามช่วงเวลาให้สัญญาณนั้นขาดจากกันเป็นพัลส์ๆ โดยขนาดของแต่ละพัลส์จะเท่ากับขนาดของสัญญาณเดิมในช่วงเวลานั้นๆ ทางทฤษฎีการแซมปิงจะทำด้วยอัตราสองเท่าของแบนด์วิดท์ของสัญญาณอนาล็อกเป็นจำนวนครั้งต่อวินาที (อัตราแซมปิง= 2 BW เฮิรตซ์) ยิ่งถ้าแซมปิงสัญญาณด้วยอัตราน้อยเท่าไรเราก็จะได้สัญญาณพัลส์ที่ใกล้เคียงกับสัญญาณเดิมมากที่สุดแต่ถ้าอัตราน้อยเกินไปสัญญาณก็จะกลับไปเป็นสัญญาณอนาล็อกเหมือนเดิม

จะเห็นว่าขนาดของพัลส์ของแต่ละแซมปิงเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับสัญญาณเดิมและสัญญาณใหม่ที่ได้จะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) แต่ขนาดของสัญญาณพัลส์ยังเป็นแบบต่อเนื่องเท่าและเหมือนสัญญาณเดิม ดังนั้นในการส่งสัญญาณPAM ในระยะทางไกลๆ จะเกิดสัญญาณรบกวนได้ง่ายเช่นเดียวกับการส่งสัญญาณแบบAM ซึ่งจะไม่สามารถแก้ไขได้เมื่อสัญญาณถึงปลายทาง การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (PCM) เนื่องจากขนาดของพัลส์ในแบบPAM ยังคงเป็นแบบต่อเนื่องการส่งสัญญาณแบบPAM จึงไม่ได้ต่างอะไรกับการส่งสัญญาณอนาล็อกเลยดังนั้นในวิธีการส่งแบบPCM จึงมีขั้นตอนการทำให้ขนาดของสัญญาณข้อมูลเป็นแบบไม่ต่อเนื่องก่อนด้วยวิธีการที่เรียกว่าการควอนไทซ์(Quantize) ขั้นตอนการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยวิธี PCM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์

2.6.1. ทำการควอนไทซ์สัญญาณอนาล็อก

โดยทำให้ค่าขนาดของสัญญาณเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่องเสียก่อน (สมมติว่าต้องการแปลงสัญญาณเป็นดิจิตอลขนาด3 บิต ดังนั้น23 = 8 ระดับ)

2.6.2 จากนั้นทำการแซมปิง

สัญญาณด้วยอัตราที่เหมาะสม (2 BW เฮิรตซ์) เราก็จะได้สัญญาณPAM ซึ่งในแต่ละพัลส์นั้นสามารถจะกำหนดรหัสแทนพัลส์ได้ด้วยรหัสของเลขฐานสอง

2.6.3. รหัสของแต่ละพัลส์ก็จะถูกส่งออกไปในรูปแบบของเลขฐานสอง

เมื่อสัญญาณ PCM ถูกส่งไปถึงปลายทางก็จะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณ PAM แล้วจึงแปลงกลับมาเป็นสัญญาณอนาล็อกอย่างเดิมอีกที การทำ ควอนไทซ์จะทำให้สัญญาณที่ปลายทางไม่เหมือนทางต้นทางทีเดียวอีกทั้งในช่วงระหว่างการแซมปิง แต่ละครั้งสัญญาณรบกวนจากแหล่งอื่นสามารถแทรกเข้ามาได้แต่อย่างไรก็ตามการมอดูเลตแบบPCM ก็ให้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบ PAM และได้สัญญาณข้อมูลเป็นดิจิตอลจริงๆ อัตราการส่งสัญญาณดิจิตอลโดยการมอดูเลตแบบPCM ของสัญญาณอนาล็อกแต่ละชนิดที่ใช้กันในปัจจุบัน

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ มี 2 ชนิด คือ สัญญาณอนาล็อก และสัญญาณดิจิตอล สัญญาณอนาล็อก จะใช้ใน อุปกรณ์ทั่วๆ ไป และใช้ในการควบคุมแบบเก่า ในปัจจุบันมีไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ามาช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการควบคุมนั้น เราจำเป็นต้องใช้ สัญญาณดิจิตอลในการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในความเป็นจริงนั้น เราใช้สัญญาณอนาล็อกในการควบคุม ดังนั้นเราจึงจำเป็น ต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วจึงนำสัญญาณนั้นเข้ามาสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ควบคุมระบบต่อไป แม้ว่าสัญญาณอนาล็อกนั้นมีความแน่นอน และแม่นยำสูง แต่สัญญาณอนาล็อกนั้นก็ควบคุมได้ยาก เนื่องจากในสภาพแวดล้อม มีสัญญาณรบกวนอยู่มาก และการที่จะทำให้ การควบคุมแบบอนาล็อก มีความสามารถควบคุม เท่ากับการควบคุมแบบดิจิตอลนั้น ทำได้ยาก เนื่องจากวงจรควบคุมแบบ อนาล็อกจะต้องมีความซับซ้อนสูง อย่างไรก็ตาม สัญญาณดิจิตอลก็ไม่สามารถทดแทนความละเอียดของสัญญาณอนาล็อกได้อย่างสมบูรณ์ แต่ทำให้การควบคุมนั้นทำให้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น

2.7 สัญญาณอนาล็อก

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอนาล็อก(Analog Signal) หมายถึง สัญญาณที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous Data) ที่มีขนาดไม่คงที่ มีลักษณะเป็นเส้นโค้งต่อเนื่องกันไป โดยการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก

จะถูกรบกวนให้มีการแปลความหมายผิดพลาดได้ง่าย เช่น สัญญาณเสียงในสายโทรศัพท์ เป็นต้น

2.8 สัญญาณดิจิตอล

เครื่องมือดิจิตอลที่ใช้ไมโครโปรเซสจะมีข้อดีมากมาย จะพบในสมาร์ทดรไวซ์ทั้งหมดโดยไม่คำนึงถึงชนิดของอุปกรณ์สื่อสารอุปกรณ์ดิจิตอลมีข้อดี เช่น มีความแม่นยำดีกว่า และสเถียร ฮาร์ทโปรโตคอลจะเพิ่มความสามารถของเครื่องมือดิจิตอลโดยการให้การเข้าถึงการสื่อสารและระบบเครือข่าย

Benefits	HART Instruments	Digital Instruments
Accuracy and stability	✓	✓
Reliability	✓	✓
Multivariable	✓	✓
Computations	✓	✓
Diagnostics	✓	✓
Multiple sensor inputs	✓	✓
Ease of commissioning	✓	
Tag ID	✓	
Remote configuration	✓	
Loop checks	✓	
Adjustable operational parameters	✓	
Access to historical data	✓	
Multidrop networking	✓	
Access by multiple host devices	✓	
Extended communication distances	✓	
Field-based control	✓	
Interoperability	✓	

รูปที่ 2.7 ข้อดีของอุปกรณ์ฮาร์ท

2.9 หลักการทำงาน

การส่งสัญญาณข้อมูลด้วยระบบอนาล็อกและดิจิตอลช่องทางการสื่อสารแบบ บรอดแบนด์ (Broad-Band) สำหรับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก ช่องทางการสื่อสารแบบ เบสแบนด์ (Base-Band) สำหรับการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล

สัญญาณอนาล็อก (Analog Signals) เป็นแบบคลื่นที่ติดต่อกันไป สัญญาณเปลี่ยนแปลงต่อเนื่อง

สัญญาณดิจิตอล (Digital Signals) ใช้ความแตกต่างของการ เปิด และ ปิด สัญญาณมีเพียง 2 ระดับ เลขฐาน 2

Counting Converter Counting Converter เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้อัลกอริทึม การนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้จากการนับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจร Counter เป็นอุปกรณ์นับค่าที่เพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง แล้วส่งค่าที่ได้ให้ D/A มีขา Reset รับสัญญาณ Reset เมื่อต้องการให้เริ่มนับใหม่ D/A เมื่อรับค่าที่นับเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งจากตัวนับ ก็แปลงค่าให้เป็นสัญญาณ อนาล็อกที่มีค่าความต่างศักย์ค่าๆ หนึ่ง แล้วส่งต่อเข้าไปที่อุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบ(Comparator) Comparator จะเป็นอุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ ของอินพุต และค่าจากที่ตัวนับ ถ้าหากทั้งสองสัญญาณมีค่าเท่ากันส่งค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ออกมา(ลอจิก 0) ถ้าไม่เท่ากันก็จะส่งความต่างศักย์ที่ไม่ใช่ 0 โวลต์ออกมา(ลอจิก 1) ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่ออกมา จะนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับ สัญญาณนาฬิกา จะได้ค่าลอจิกออกมา ถ้าผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญญาณนาฬิกาแสดงว่ายังไม่ได้ผลลัพธ์เท่าที่ต้องการ สัญญาณนาฬิกาก็จะไปทำให้ตัวนับนับเพิ่มขึ้นต่อไป และเมื่อได้ค่าผลลัพธ์ดิจิตอลที่ต้องการแล้ว ค่าที่ได้จาก ตัวเปรียบเทียบจะให้ค่าความต่างศักย์เป็น 0 (ลอจิก 0) ซึ่งเมื่อนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับสัญญาณนาฬิกาแล้ว ก็จะให้ลอจิก 0 ซึ่งทำให้ตัวนับไม่นับเพิ่มอีก ก็จะได้ค่าดิจิตอลจากตัวนับที่ต้องการ จากคำอธิบายข้างต้นจะได้กราฟของ V0 ดังนี้ ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การนับต้องเริ่มนับที่ 0 เสมอ และนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ช้า เอาท์พุตที่ได้จะมี delay จึงไม่ค่อยนิยมใช้เท่าที่ควร จึงได้เปลี่ยนตัวนับเป็นแบบนับลงได้ด้วย ซึ่งจะอ้างอิงระดับจากระดับเก่า ทำให้ไม่จำเป็นต้องนับ 0 ใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนอินพุตใหม่ แต่ให้อ้างอิงกับผลลัพธ์เดิม ทำให้ได้ผลลัพธ์เร็วขึ้น Successive Approximation ใช้หลักการของ "binary search" ในการหาคำตอบ โดยนำค่าผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วง เพื่อให้ทราบว่า ค่านั้นๆ มากกว่า หรือน้อยกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงมาเรื่อยๆ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วงไปเรื่อยๆ จนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น เลขที่เป็นคำตอบคือ 3 จากช่วงของคำตอบที่ 0-7 ครั้งแรกเอาค่า (0+7)/2 = 4 มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่า คำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 2 ก็เลือกค่า (0+4)/2 = 2 มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่มากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 3 ก็เลือกค่า (2+4)/2 = 3 มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการ การแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิตอล มีประโยชน์มากในการควบคุมอุปกรณ์สวิตชิ่ง ซึ่งมีลักษณะการแปลงสัญญาณได้หลายวิธี แต่ละวิธีจะมีอัลกอริทึม ความรวดเร็วในการทำงาน และการใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างกันด้วย ทำให้ขนาด และราคาต่างกัน ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้ที่จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ และงบประมาณที่มีอยู่โมดูเลชั่นและดีโมดูเลชั่น (Modulation-Demodulation)

เป็นวิธีการที่จะทำให้การส่งสัญญาณดิจิตอลที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถส่งผ่านสื่อกลางของโทรศัพท์ที่ส่งสัญญาณแบบอนาล็อก หรือการแปลงสัญญาณดิจิตอลและสัญญาณอนาล็อก

2.10 สัญญาณพัสส์

สัญญาณพัสส์เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากระดับของสัญญาณไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่งที่มีความแตกต่างกัน ระหว่างแรงดันต่ำสุดกับแรงดันสูงสุดอย่างรวดเร็ว อาจมีความต่อเนื่องก็ได้ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สัญญาณพัสส์บวก และ สัญญาณพัสส์ลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 ส่วนประกอบของสัญญาณพัสส์

ส่วนประกอบของสัญญาณพัสส์ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

2.10.1.1 ระดับสัญญาณหรือแอมปลิจูด

หมายถึงขนาดของสัญญาณที่วัดจากสัญญาณต่ำมายังระดับสัญญาณสูงหรือจากยอดของสัญญาณมายังเส้นอ้างอิง

2.10.1.2 ขอบขาของสัญญาณ

มีอยู่ด้วยกัน2ลักษณะ

ขอบขาขึ้นของสัญญาณ หมายถึง ขอบขาของสัญญาณที่เปลี่ยนสัญญาณจากระดับต่ำไปยังระดับสูง

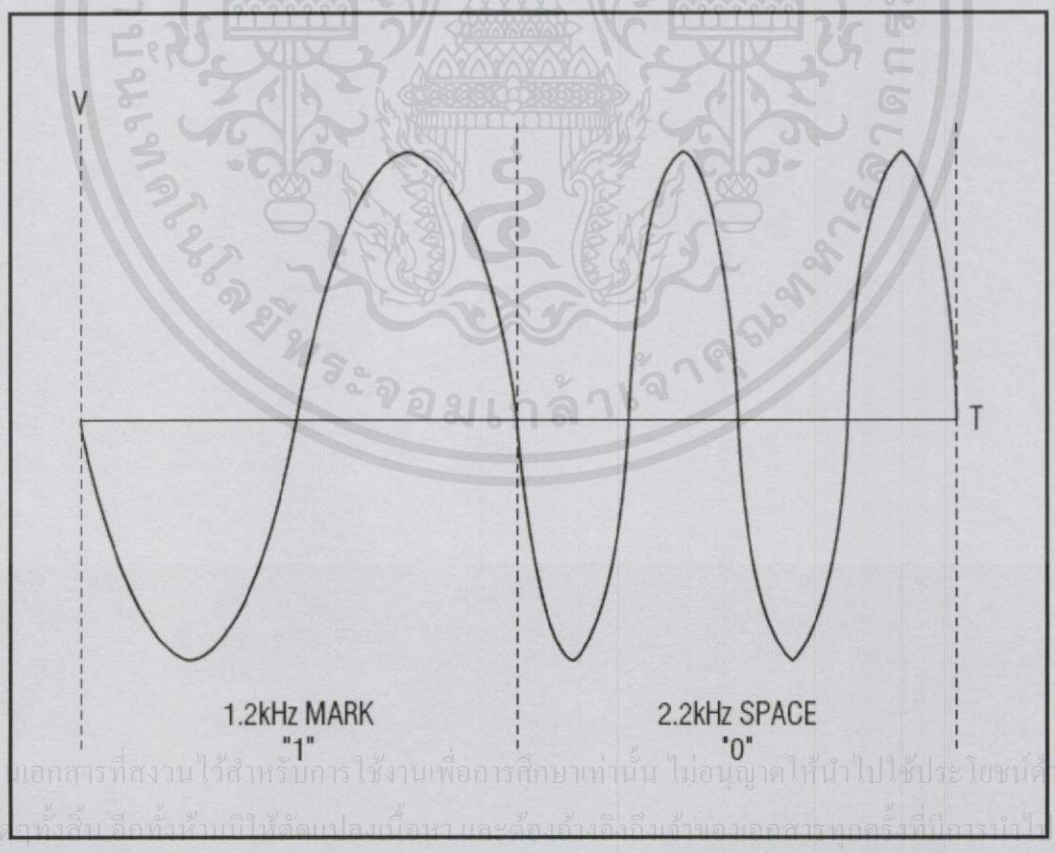
ขอบขาลงของสัญญาณ หมายถึง ขอบขาของสัญญาณที่เปลี่ยนสัญญาณจากระดับสูงไปยังระดับต่ำ

2.10.1.3 ความกว้างของสัญญาณ

หมายถึง ระยะทางที่วัดจากกึ่งกลางขอบขาขึ้นไปยังกึ่งกลางขอบขาลงของสัญญาณ

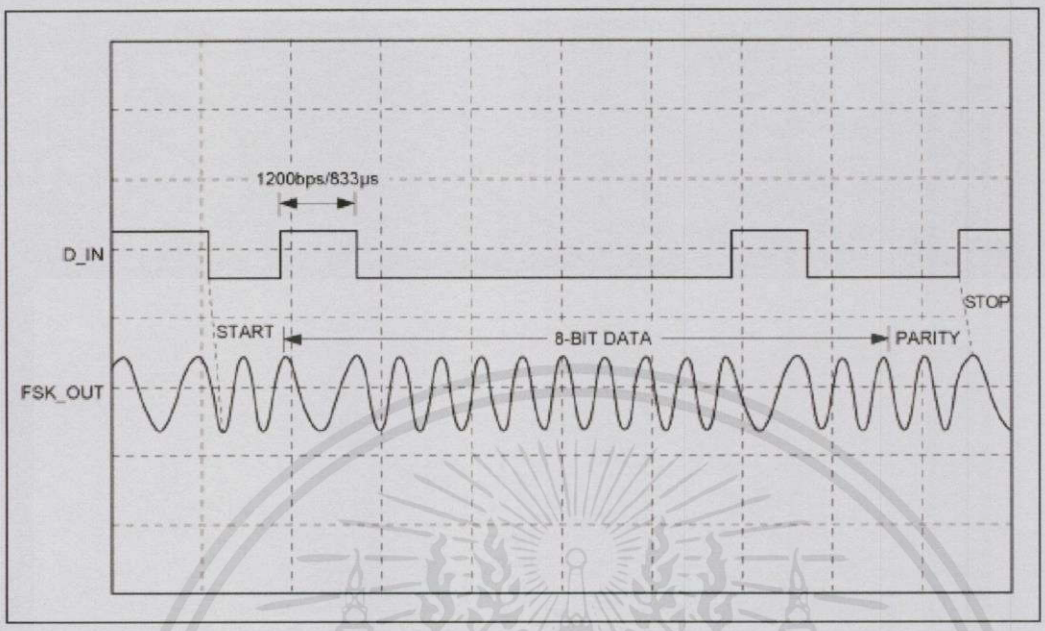
2.10.1.4 เส้นฐาน

หมายถึง เส้นอ้างอิงของสัญญาณ



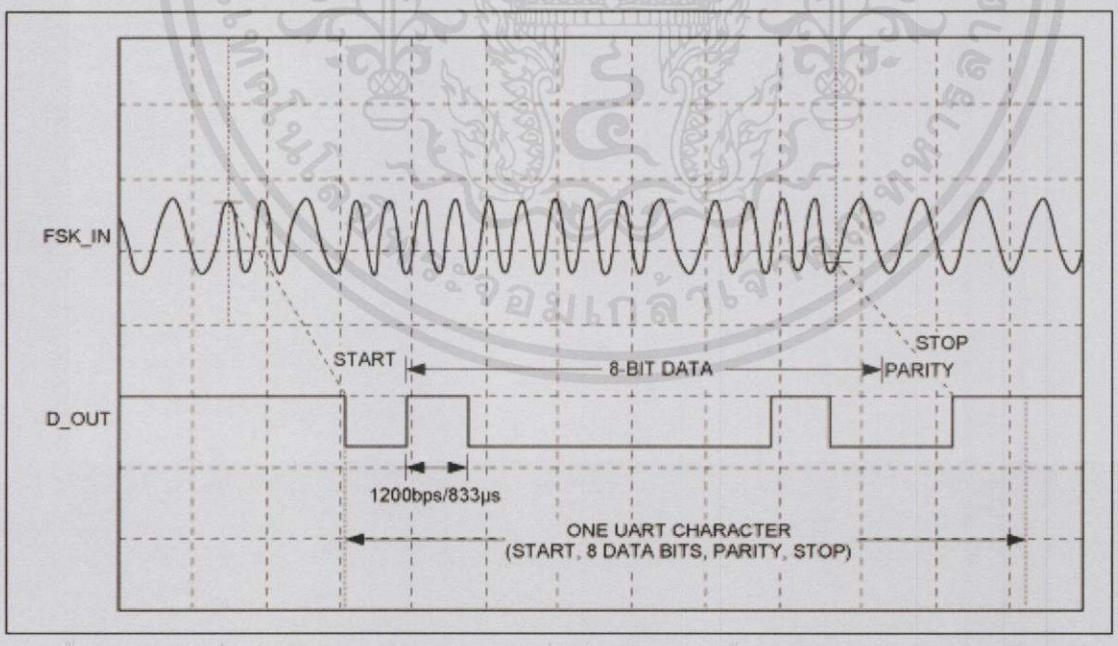
รูปที่ 2.7 แบบสัญญาณ HART FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 Modulate wave form

Modulate wave form: โมดูเลทโหมด มี digital อินพุท เข้าโมเด็ม และ ส่งความถี่ FSk เป็นเอาท์พุท ข้อมูลแสดงในรูปแบบ 11-bit UART



รูปที่ 2.9 Demodulate wave form

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

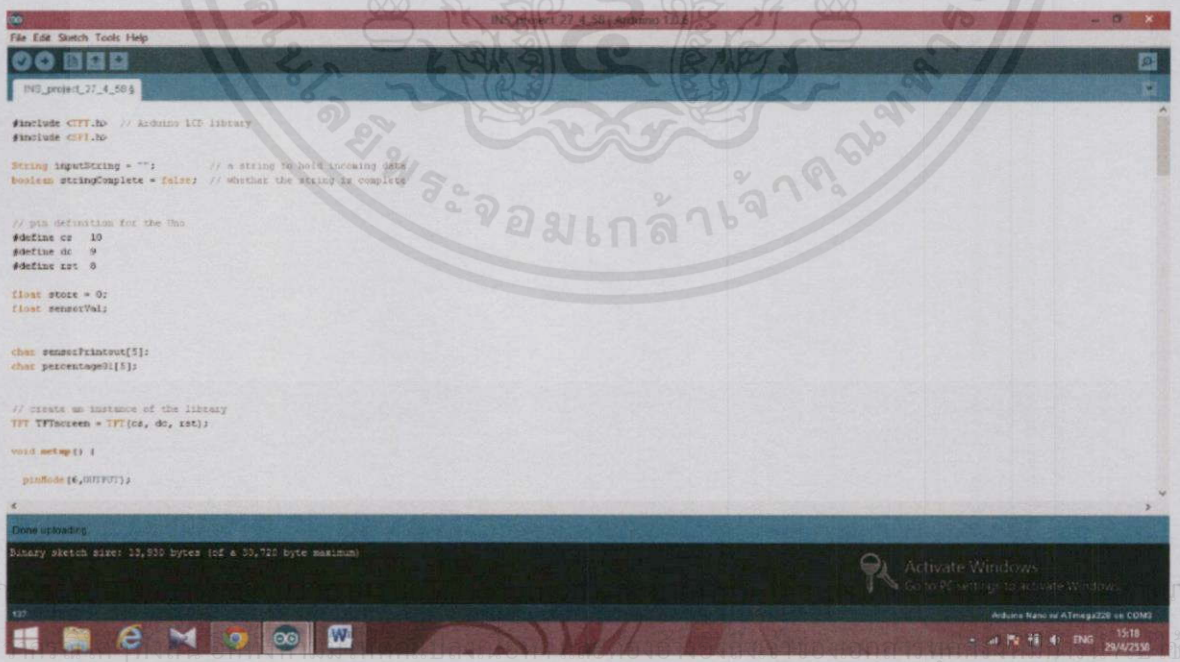
บทที่ 3
การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน

อธิบายภาพรวมของการทำงาน

โดยโครงงานนี้จะเป็นการจำลองการแสดงค่าที่อ่านได้ในระยะไกลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายโดยใช้ ไมโครคอนโทรเลอร์(Arduino nano 3.0) ซึ่งในขอบข่ายการทำการทดลองไม่ได้กำหนดชนิดของเซ็นเซอร์ที่จะใช้ในการทดลองชัดเจนเราจึงใช้สวิทช์ชนิดกดติดปล่อยดับ(Normally Open) จำนวน 2 ตัวเพื่อจำลองค่าเอาท์พุตที่ออกมาจากเซ็นเซอร์โดยสวิทช์ทั้งสองจะเป็นตัวเพิ่มและลดค่าตัวแปรใน Arduino เพื่อสังเกตค่า Output ที่ออกจาก Arduino และ แสดงบนจอ TFT และส่งด้วยระบบฮาร์ทเพื่อจำลองการสื่อสารระยะไกลไปยัง Computer ว่าเป็นไปดังที่ควรหรือไม่ โดยค่าที่อ่านได้จากสวิทช์จะเป็นการเพิ่ม/ลด ค่าที่ Arduino รับซึ่งจะเป็นค่าไม่เกิน 10 – bit (0-1023) โดย 1 พัลส์จะเพิ่ม/ลดค่าดังกล่าว 11 ซึ่งค่านี้จะถูกเก็บไว้ที่ตัวแปร store และนำไปทำการคำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นค่าอื่นๆที่ต้องการต่อไป ซึ่งจะอธิบายเพิ่มในส่วนของโค้ดต่อไป

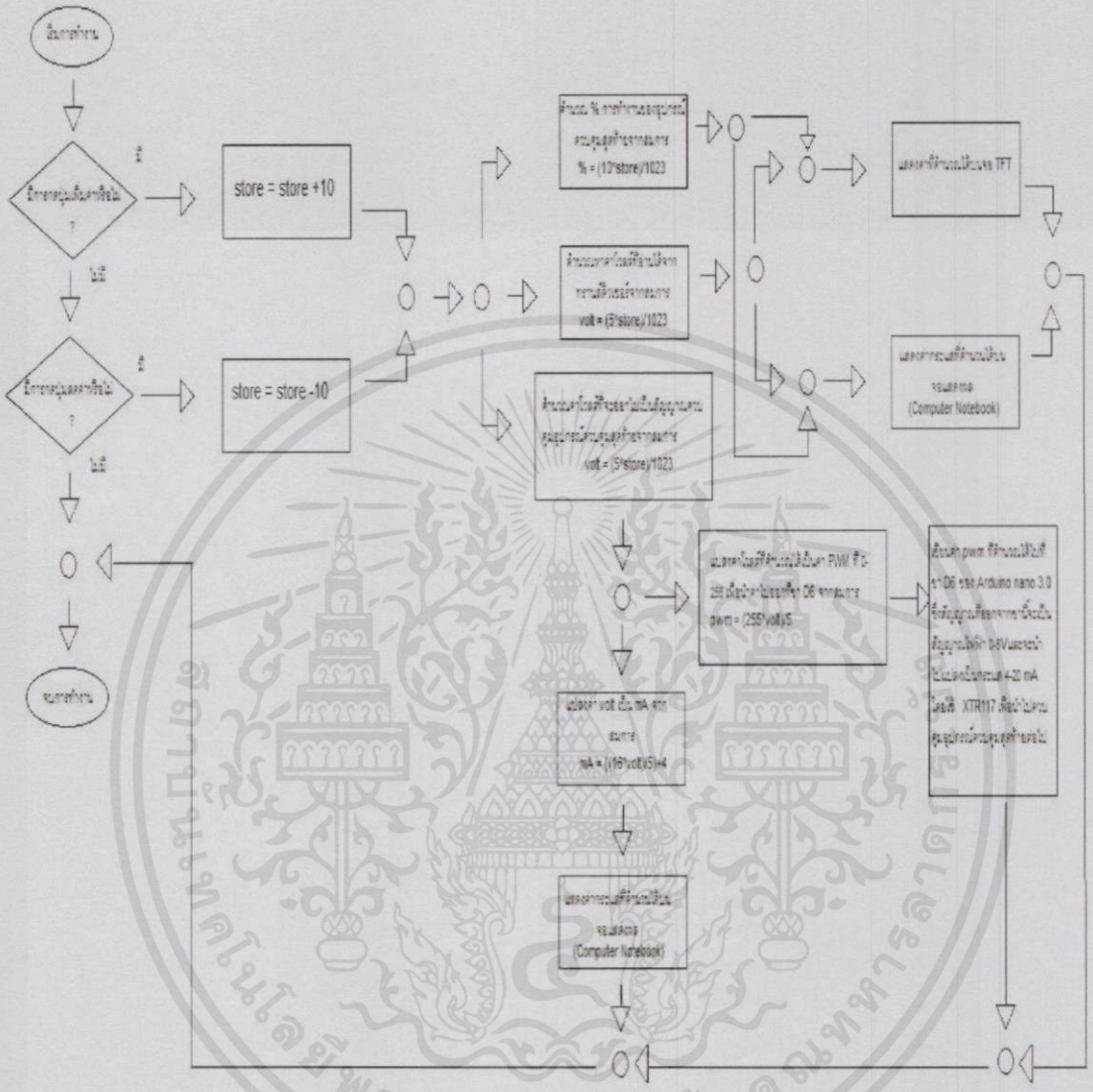
3.1 การออกแบบโปรแกรมในส่วนของการแปลงกระแส

การออกแบบโปรแกรมในส่วนของการแปลงกระแสจะใช้โปรแกรม Arduino ในการสั่งงานตัวไมโครคอนโทรลเลอร์(Arduino nano v3) เพื่อให้แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในดิสเพลย์ (TFT) โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่แสดงในดิสเพลย์ มาจากการเขียนโค้ดในลักษณะของสมการเส้นตรงระหว่างความต่างแรงดันไฟฟ้า เทียบกับ กระแส



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการเขียนโปรแกรมใน arduino

3.1.1 โฟลชาร์ดการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.2 โฟลชาร์ดการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 โค้ดการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด

ซึ่งหลักๆจะแบ่งโค้ดออกเป็น 5 ชนิด

1.โค้ดในส่วนการแสดงผลบนจอ TFT

2.โค้ดในส่วนการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

3.โค้ดในส่วนของการคำนวณ

4.โค้ดในส่วนใช้สื่อสารกับฮาร์ทโมเด็ม

5.โค้ดในส่วนรับค่าเพื่อเพิ่มและลด ค่าจำลองการทำงานของเซ็นเซอร์ (สวิทช์ปุ่มกด) และส่งค่าเอาท์พุตออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์

1.โค้ดในส่วนการแสดงผลบนจอ TFT

```
#include <TFT.h>  // Arduino LCD library
#include <SPI.h>
String inputString = "";         // a string to hold incoming data
boolean stringComplete = false;  // whether the string is complete
// pin definition for the Uno
#define cs   10
#define dc   9
#define rst  8

void setup() {
inputString.reserve(200);
// Put this line at the beginning of every sketch that uses the GLCD:
TFTscreen.begin();
// clear the screen with a black background
TFTscreen.background(0, 0, 0);
// write the static text to the screen
// set the font color to white
TFTscreen.stroke(0, 128, 255);
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(2);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("INS KMITL \n ", 30, 0);
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(2);
TFTscreen.stroke(0, 128, 255);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(1.9);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("Sensor Output Voltage \n ", 25, 25);
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(1.9);
TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(2);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("V \n ", 80, 40);
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(2);
TFTscreen.stroke(0, 128, 255);
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(1.9);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("Working Percentage \n ", 30, 65);
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(1.9);
TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(2);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("% \n ", 80, 90);
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(2);}

void loop() {
// set the font color
TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
// print the sensor value
TFTscreen.text(sensorPrintout, 15, 40);
// wait for a moment
delay(200);
// erase the text you just wrote
TFTscreen.stroke(0, 0, 0);
TFTscreen.text(sensorPrintout, 15, 40);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// set the font color
TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
// print the sensor value
TFTscreen.text(percentage01, 15, 90);
// wait for a moment
delay(200);
// erase the text you just wrote
TFTscreen.stroke(0, 0, 0);
TFTscreen.text(percentage01, 15, 90);}
```

2.โค้ดในส่วนของการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

```
void setup()
 {
// initialize serial:
Serial.begin(1200);
}
void loop()
{
Serial.print("INS KMITL \n");
 Serial.print("Sensor Output Voltage \n");
 Serial.print(sensorVal);
 Serial.print("V \n");
Serial.print("Working Percentage \n");
 Serial.print(percentage);
Serial.print("% \n");
Serial.print("Output Current to Final Control Element \n");
 Serial.print(mA);
Serial.print("\n\n");
delay(1000);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.โค้ดในส่วนของการคำนวณ

```
float store = 0;
float sensorVal;
char sensorPrintout[5];
char percentage01[5];

void loop
{
String sensorVal = String((5 * store) / 1023) ;
String percentage = String((((16 * store) / 1023)) * 6.25);
TFTscreen.text(percentage01, 15, 90);
float mA = (((16 * store) / 1023) + 4);
float outputVoltage = ((store * 5) / 1023);
float outputVoltage02 = ((255 * outputVoltage) / 5)
}
```

4.โค้ดในส่วนของการใช้สื่อสารกับฮาร์ทโมเด็ม

```
#include <SPI.h>
String inputString = "";         // a string to hold incoming data
boolean stringComplete = false;  // whether the string is complete

void serialEvent()
{
while (Serial.available()) {
// get the new byte:
char inChar = (char)Serial.read();
// add it to the inputString:
inputString += inChar;
// if the incoming character is a newline, set a flag
// so the main loop can do something about it:
if (inChar == '\n') {
stringComplete = true;
}
```

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.โค้ดในส่วนรับค่าเพื่อเพิ่มและลด ค่าจำลองการทำงานของเซ็นเซอร์ (สวิทช์ปุ่มกด) และส่งค่าเอาท์พุตออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์

```
float store = 0;
void setup()
{
pinMode(6,OUTPUT);
}
void loop()
{
if(digitalRead(3) == HIGH)
{store = store + 11;}
if(digitalRead(4) == HIGH)
{store = store - 11;}

analogWrite(6,outputVoltage02); //outputVoltage02
}
```

6.แสดงส่วนของโค้ดทั้งหมดโดยไม่แยกประเภท

```
#include <TFT.h>  // Arduino LCD library
#include <SPI.h>
String inputString = "";         // a string to hold incoming data
boolean stringComplete = false;  // whether the string is complete
// pin definition for the Uno
#define cs   10
#define dc   9
#define rst  8
float store = 0;
float sensorVal;
char sensorPrintout[5];
char percentage01[5];
// create an instance of the library
TFT TFTscreen = TFT(cs, dc, rst);
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void setup() {
pinMode(6,OUTPUT);
// initialize serial:
Serial.begin(1200);
// reserve 200 bytes for the inputString:
inputString.reserve(200);
// Put this line at the beginning of every sketch that uses the GLCD:
TFTscreen.begin();
// clear the screen with a black background
TFTscreen.background(0, 0, 0);
// write the static text to the screen
// set the font color to white
TFTscreen.stroke(0, 128, 255);
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(2);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("INS KMITL \n ", 30, 0);
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(2);
TFTscreen.stroke(0, 128, 255);
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(1.9);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("Sensor Output Voltage \n ", 25, 25);
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(1.9);
TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(2);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("V \n ", 80, 40);
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(2);
TFTscreen.stroke(0, 128, 255);
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(1.9);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("Working Percentage \n ", 30, 65);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

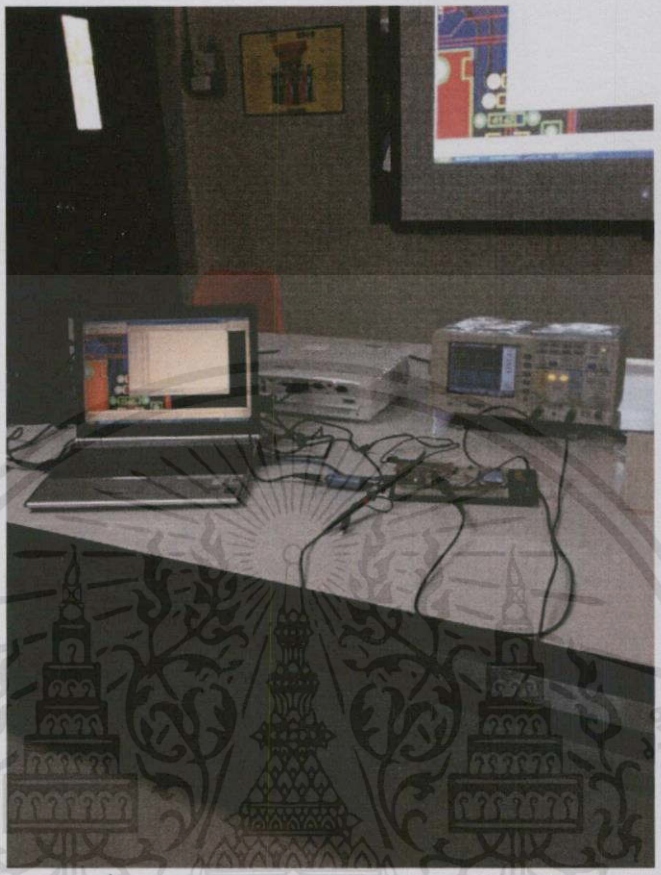
```
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(1.9);
TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
// set the font size
TFTscreen.setTextSize(2);
// write the text to the top left corner of the screen
TFTscreen.text("% \n ", 80, 90);
// ste the font size very large for the loop
TFTscreen.setTextSize(2);
}
void loop() {if(digitalRead(3) == HIGH)
{store = store + 11;}
if(digitalRead(4) == HIGH)
{store = store - 11;}
// Read the value of the sensor on A0
String sensorVal = String((5 * store) / 1023) ;
// convert the reading to a char array
sensorVal.toCharArray(sensorPrintout, 5);
// set the font color
TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
// print the sensor value
TFTscreen.text(sensorPrintout, 15, 40);
// wait for a moment
delay(200);
// erase the text you just wrote
TFTscreen.stroke(0, 0, 0);
TFTscreen.text(sensorPrintout, 15, 40);
String percentage = String((((16 * store) / 1023)) * 6.25);
// convert the reading to a char array
percentage.toCharArray(percentage01, 5);
// set the font color
TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
// print the sensor value
TFTscreen.text(percentage01, 15, 90);
// wait for a moment
delay(200);
// erase the text you just wrote
TFTscreen.stroke(0, 0, 0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TFTscreen.text(percentage01, 15, 90);
float mA = (((16 * store) / 1023) + 4);
float outputVoltage = ((store * 5) / 1023);
float outputVoltage02 = ((255 * outputVoltage) / 5) ;
analogWrite(6,outputVoltage02); //outputVoltage02
Serial.print("INS KMITL \n");
Serial.print("Sensor Output Voltage \n");
Serial.print(sensorVal);
Serial.print("V \n");
Serial.print("Working Percentage \n");
Serial.print(percentage);
Serial.print("% \n");
Serial.print("Output Current to Final Control Element \n");
Serial.print(mA);
Serial.print("\n\n");
delay(1000);
//Serial Event
if (stringComplete) {
Serial.println(inputString);
// clear the string:
inputString = "";
stringComplete = false;
}
}
void serialEvent() {
while (Serial.available()) {
// get the new byte:
char inChar = (char)Serial.read();
// add it to the inputString:
inputString += inChar;
// if the incoming character is a newline, set a flag
// so the main loop can do something about it:
if (inChar == '\n') {
stringComplete = true;
}
}
}
```

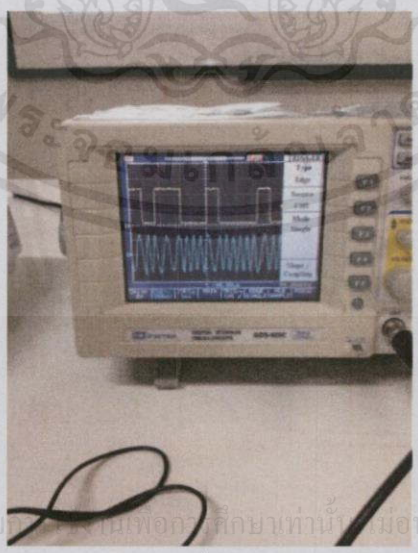
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์



รูปที่ 3.3 การต่อ arduino เข้ากับ ฮาร์ดโมเด็ม

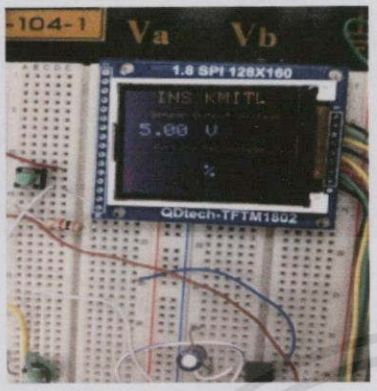
3.2.1 จากรูป เป็นการต่อ arduino เข้ากับ ฮาร์ดโมเด็ม และโมเด็มเพื่อทำการจำลองการรับและ ส่งข้อมูล



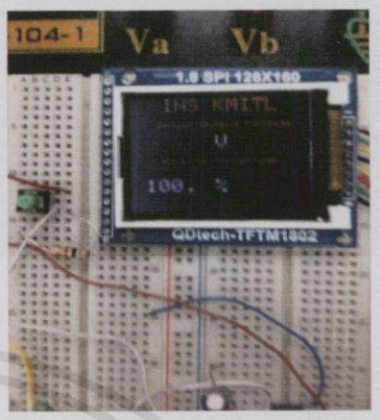
รูปที่ 3.4 เซ็คสัญญาณที่ฮาร์ดโมเด็มส่งออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 จากรูป เซ็คสัญญาณที่ฮาร์ดโมเด็มส่งออกมาว่าเป็นสัญญาณความถี่ (FSK) ตามทฤษฎี หรือไม่



รูป A



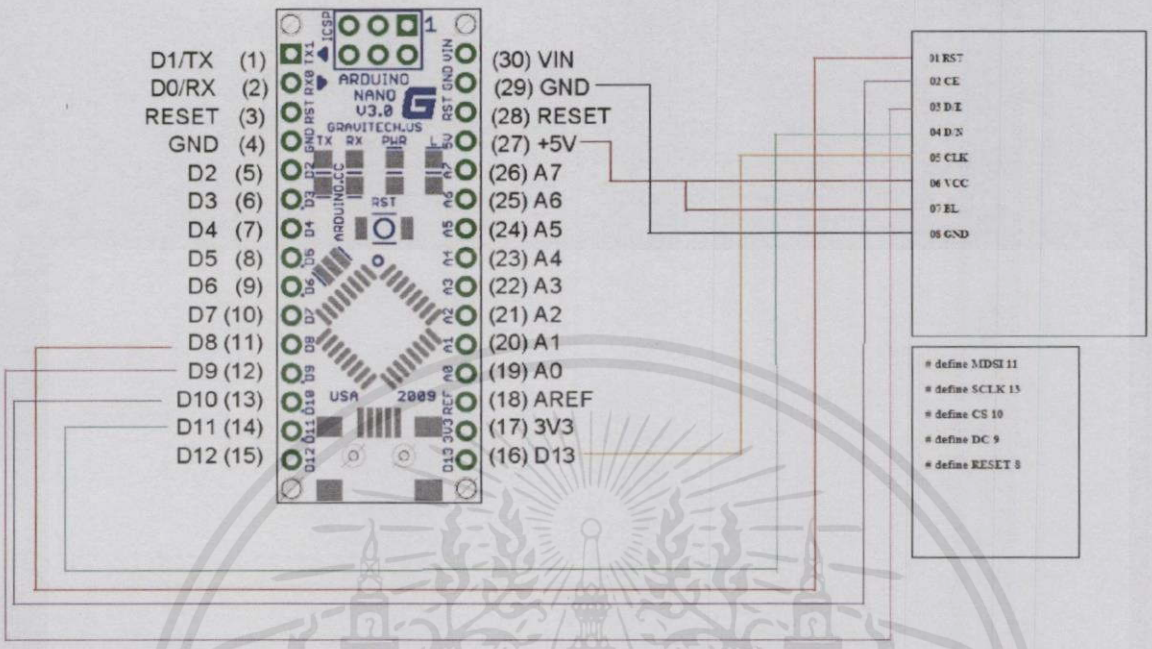
รูป B

รูป C

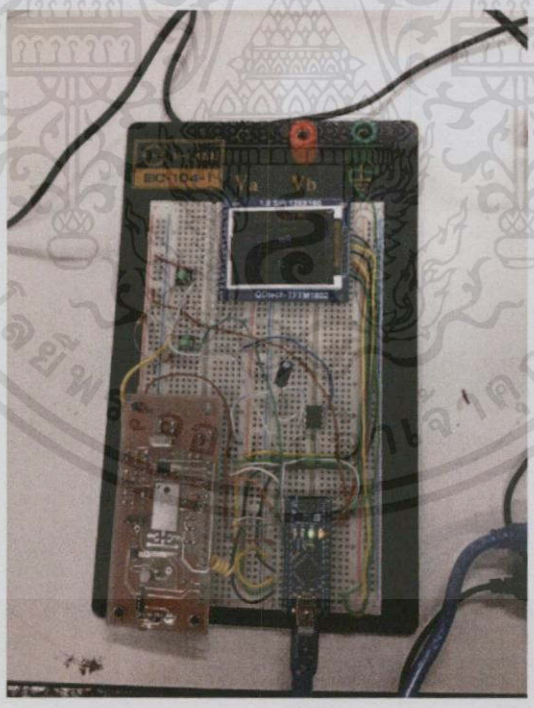
รูปที่ 3.5 การแสดงผลของTFT

3.2.3 จากรูปเป็นการแสดงผล รูป A เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าถึง 5 vdc ส่วนรูป B แสดงว่าการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายทำงานที่ 100 % เมื่อแรงดันไฟฟ้าถึง 5 vdc ส่วนรูป C วัดความต่างศักดิของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



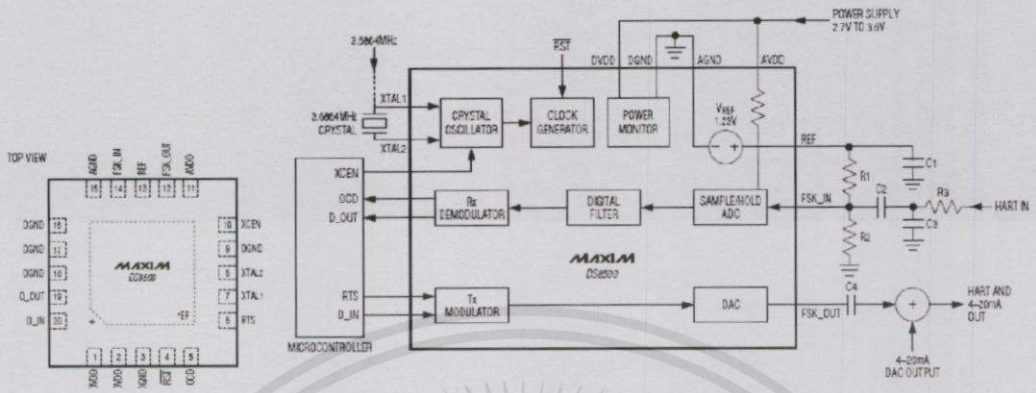
รูปที่ 3.6 การต่อ pin ขา arduino เข้ากับ ดิสเพล (LCD)



รูปที่ 3.7 การต่อ arduino เข้า ดิสเพล ตามแบบ pin ข้างบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 HART (Highway Addressable Remote Transducer) โมเดม DS8500



รูปที่ 3.8 ฮาร์ทโมเด็ม ds8500

dS8500 คือ โมเด็มชิพเดี่ยว โดย HART (Highway Addressable Remote Transducer) คือ ระบบควบคุมจากระยะไกล เป็นระบบที่โมดูเลท และดีมอดูเลทความถี่ออกมาเป็น 1200-2200 FSK เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานน้อย และต้องการแหล่งจ่ายภายนอกมาต่อร่วมส่งสัญญาณเป็นดิจิตอล สัญญาณอินพุทแสดงในรูปแบบตัวแปลง อนาลอก ทูดิจิตอล (ADC = Analog to digital converter) และแสดงค่าเอาท์พุทในรูปแบบ ดิจิตอล ทู อนาลอก (DAC = Digital to Analog converter) โดย เอาท์พุทแสดงในรูปแบบคลื่นไซเวฟ ที่จะเปลี่ยนระหว่างช่วงความถี่ ระหว่าง 1200-2200 Hz

3.2.4.1 การใช้งาน

4-20 mA ลูปเพาเวอทราสมิตเตอร์ สำหรับวัด อุณหภูมิ,ความดัน, อัตราการไหล และ ระดับ

Hart multiplexer

HART Modem Interface Connectivity

ย่านการวัดสูงสุด

Voltage Range on All Pins (including AVDD, DVDD) Relative to Ground -0.5V to +3.6V

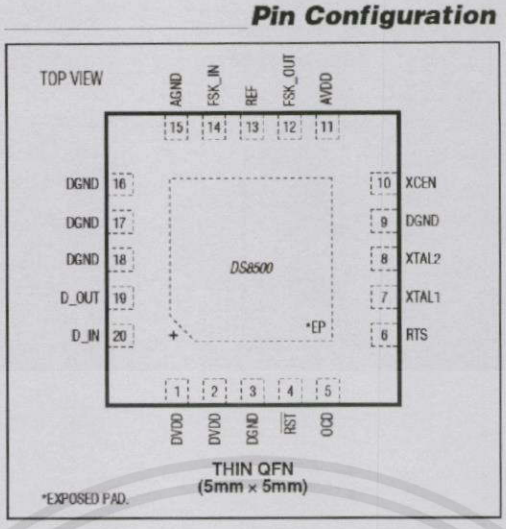
Voltage Range on Any Pin Relative to Ground except AVDD, DVDD .....-0.5V to (VDVDD + 0.5V)

Operating Temperature Range .....-40°C to +85°C

Storage Temperature Range .....-65°C to +150°C

Soldering Temperature.....Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 Specification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 PIN Layout ds8500

3.2.5 Arduino

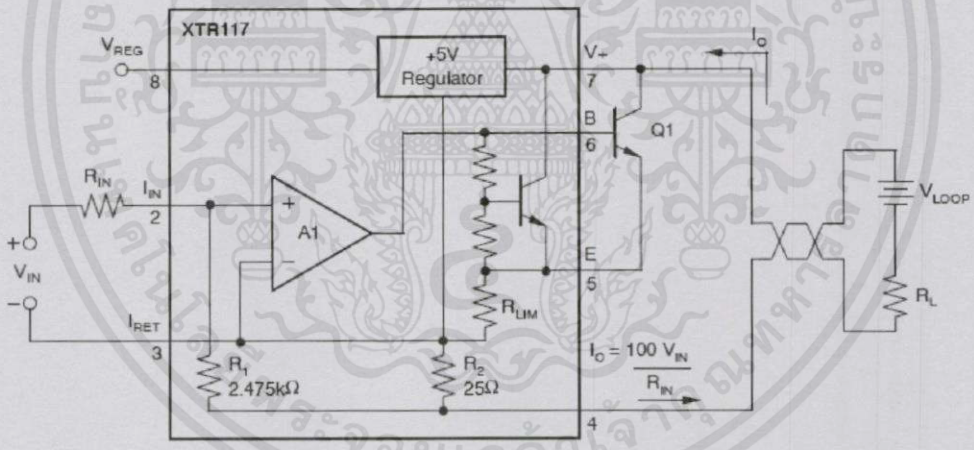
Arduino เป็นซอฟแวร์ที่ มีไว้สำหรับนักออกแบบมือสมัครเล่นและทุกคนที่สนใจในการสร้างโปรแกรมในการตอบสนองต่อสถาพแวดล้อม Arduino สามารถสัมผัสต่อสิ่งแวดล้อมโดยรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และตอบสนองสภาพแวดล้อมโดยการควบคุมแสง บนไมโครคอนโทลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอดใช้ภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรม

รูปที่ 3.10 Pin layout ของ Arduino nano V3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

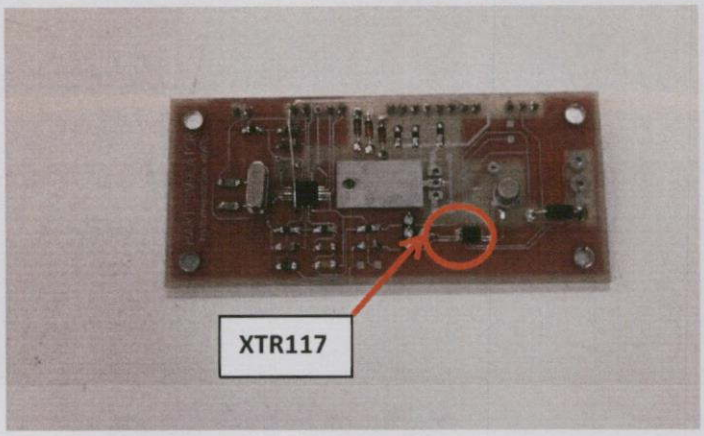
รายละเอียด Arduino nano v3

Microcontroller:	Atmel ATmega168 or ATmega328
Operating Voltage (logic level):	5 V
Input Voltage (recommended):	7-12 V
Input Voltage (limits):	6-20 V
Digital I/O Pins:	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins:	8
DC Current per I/O Pin:	40 mA
Flash Memory:	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
SRAM:	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM:	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed:	16 MHz
Dimensions:	0.73" x 1.70"



รูปที่ 3.11 ตัวแปลงกระแส XTR117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 บัดกรีตัวแปลงกระแส XTR117 เข้ากับ HART modem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

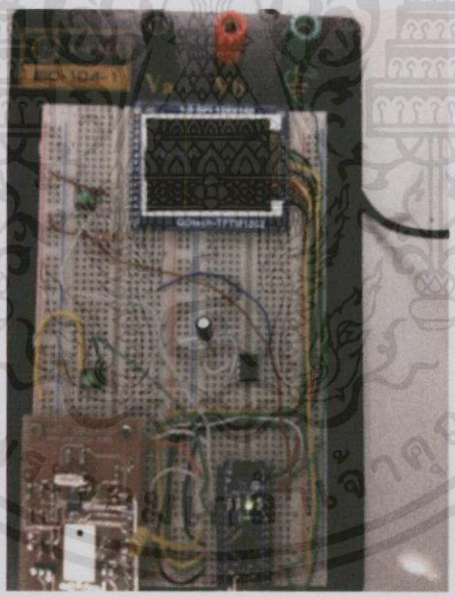
บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

จากการทดลองเรากำหนดค่าแรงดันเพื่อใช้สังเกตค่าที่คำนวณได้จาก arduino ว่าเป็นไปตามทฤษฎีที่คิดไว้หรือไม่ โดยกำหนดค่าแรงดันที่ 0, 1,2, 3, 4, 5 vdc เพื่อนสังเกตค่าที่ arduino คำนวณได้ คือค่ากระแส และ % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย ที่แสดงบนจอแสดงผล TFT และ serial monitor

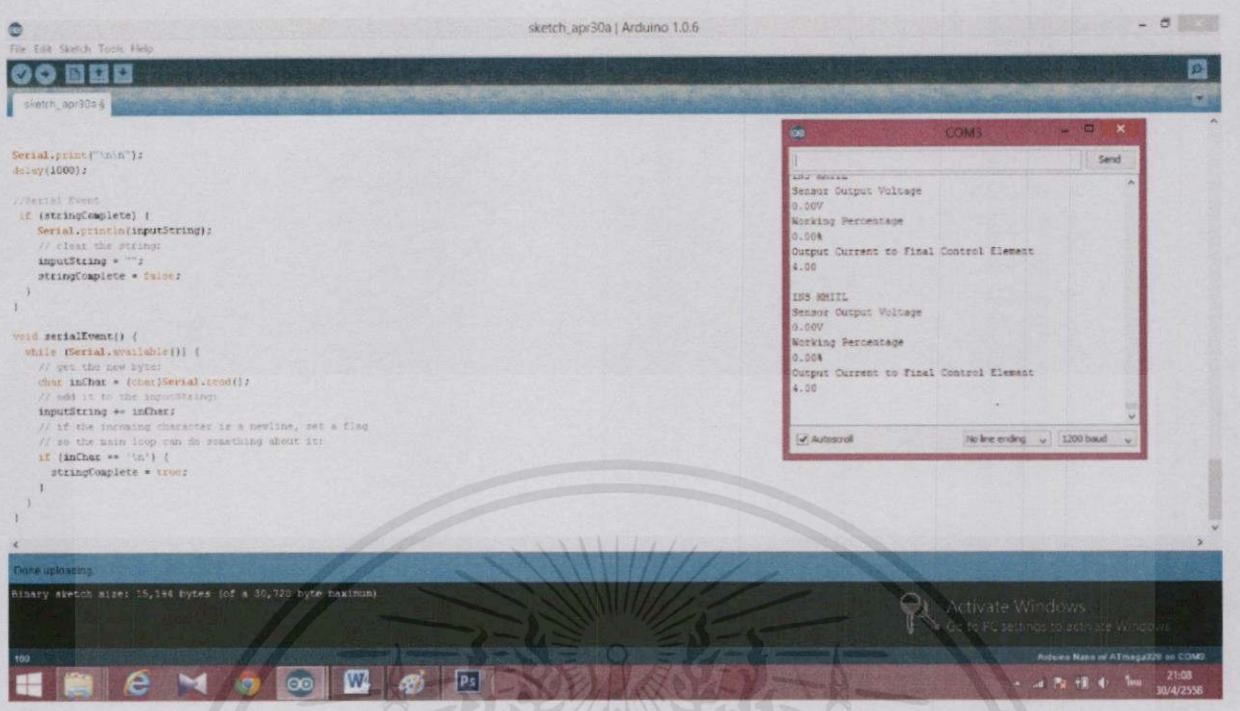
โดยจอแสดงผล TFT จะแสดงค่า ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ และ % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และ จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ และ % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไปควบคุมอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย

4.2 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 0 vdc



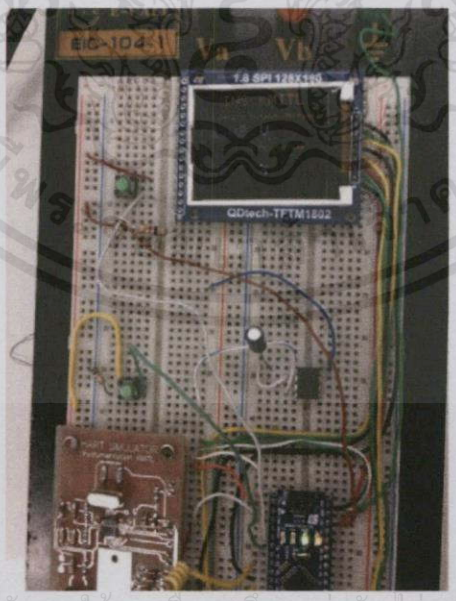
รูปที่ 4.1 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 0 VDC และ % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



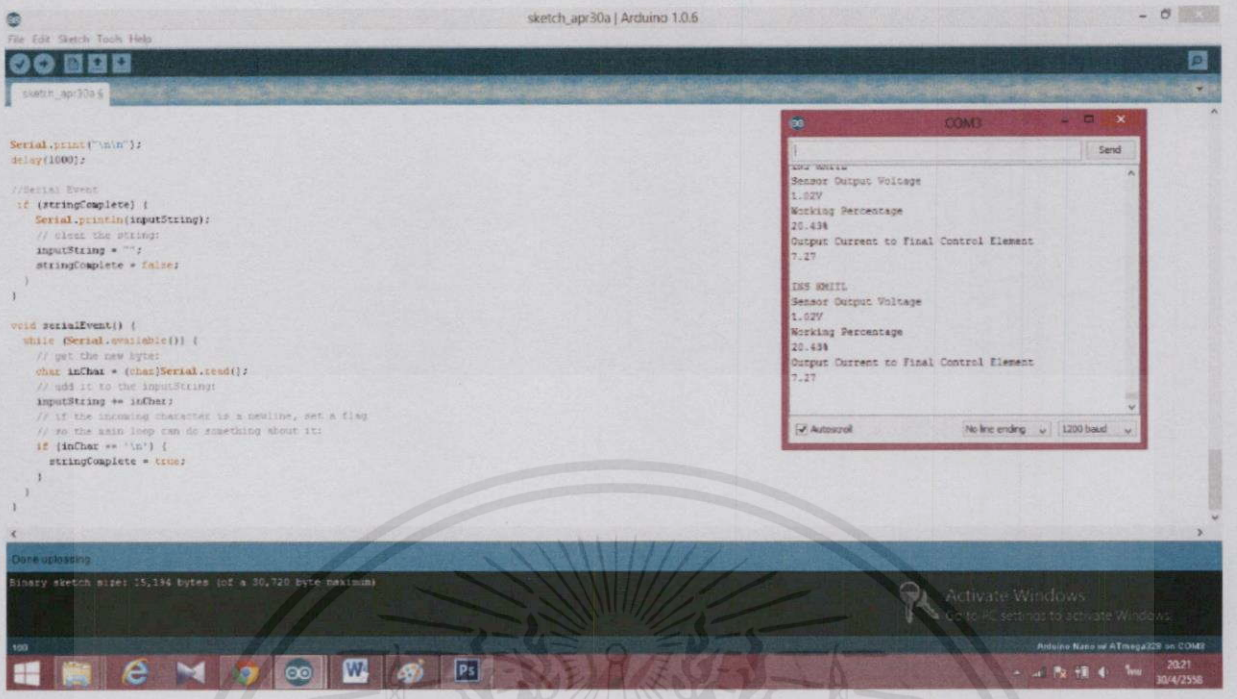
รูปที่ 4.2 จอซีเรียลโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 0 vdc และ 0 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และค่ากระแส 4.00 mA

4.3 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 1.02 VDC



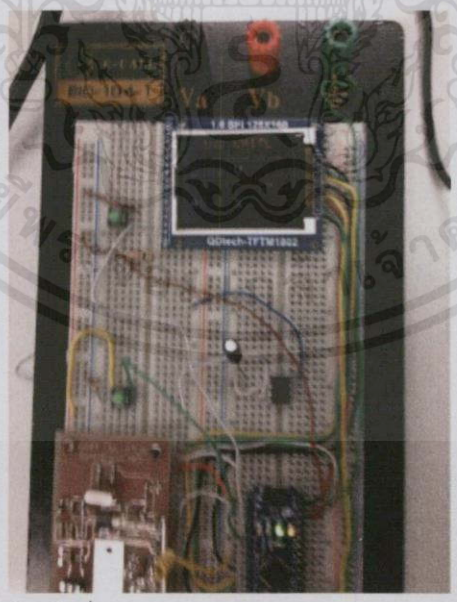
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 1.02 VDC และ 20.4% การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย



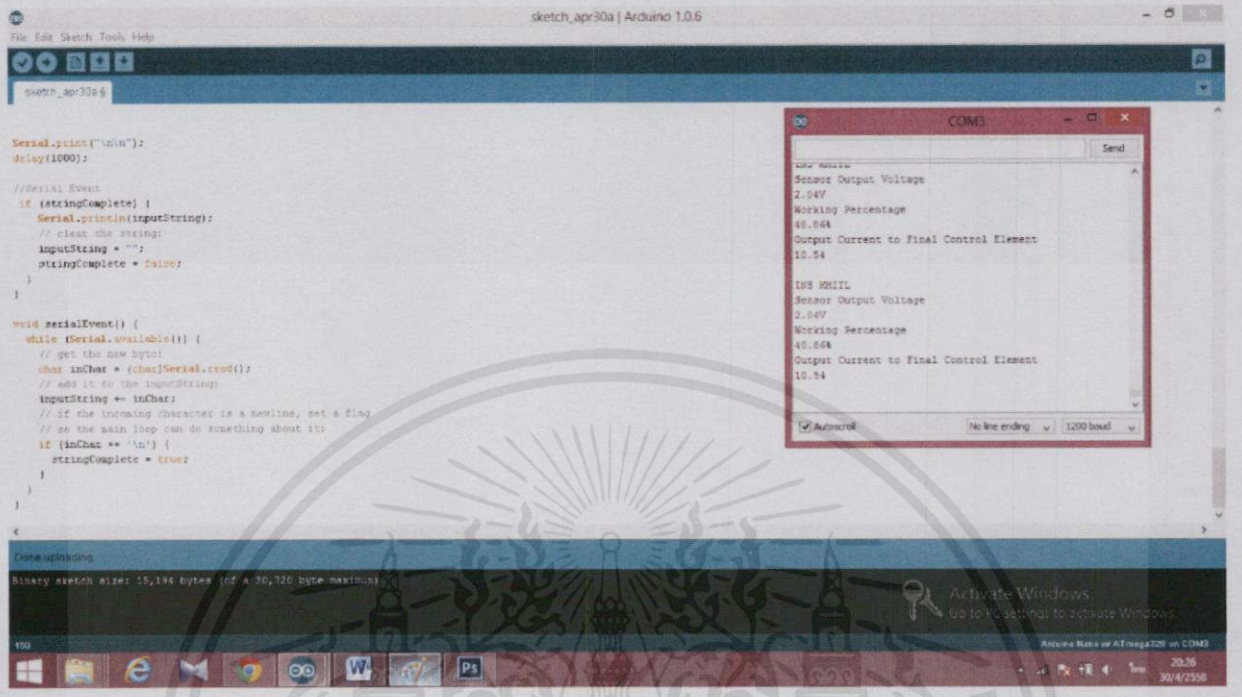
รูปที่ 4.4 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 1.02 VDC และ 20.43 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และค่ากระแส 7.27 mA

4.4 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 2.04 VDC



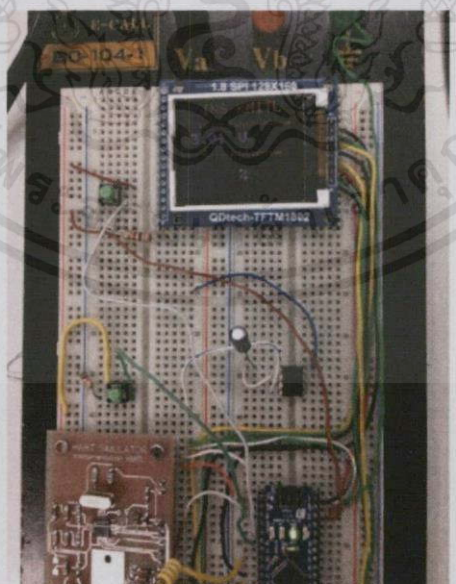
รูปที่ 4.5 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 2.04 VDC และ 40% การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



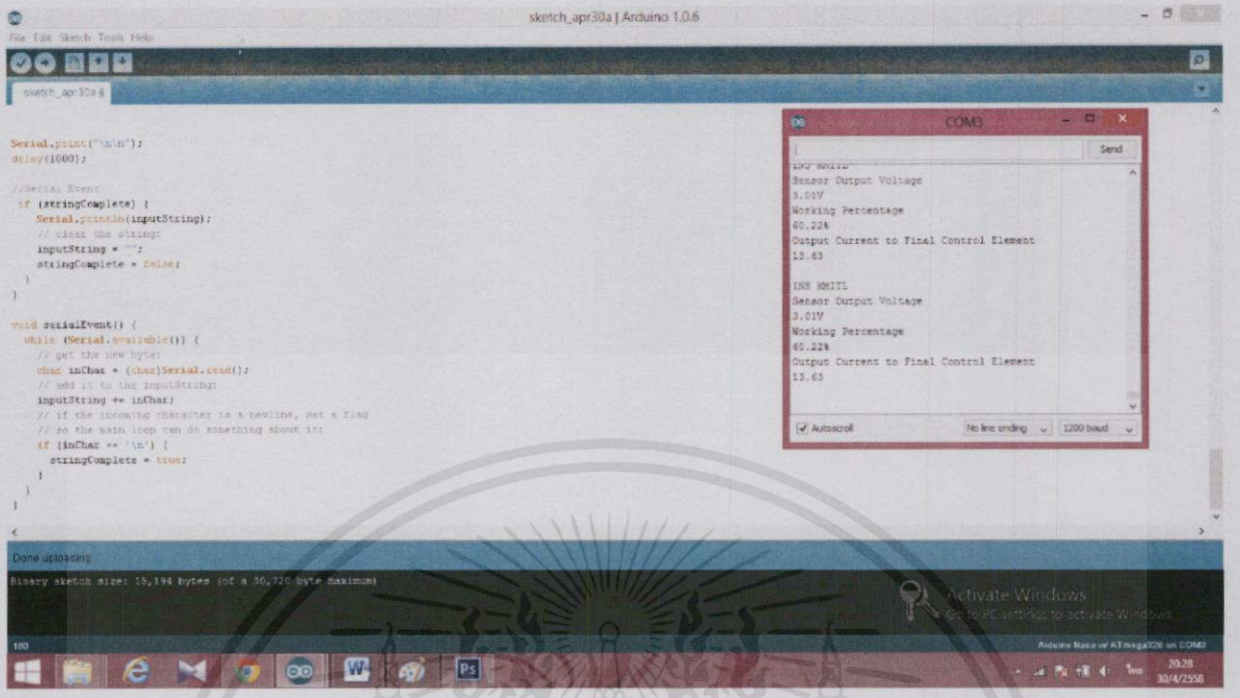
รูปที่ 4.6 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 2.04 VDC และ 40 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และค่ากระแส 10.54 mA

4.5 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 3.01 VDC



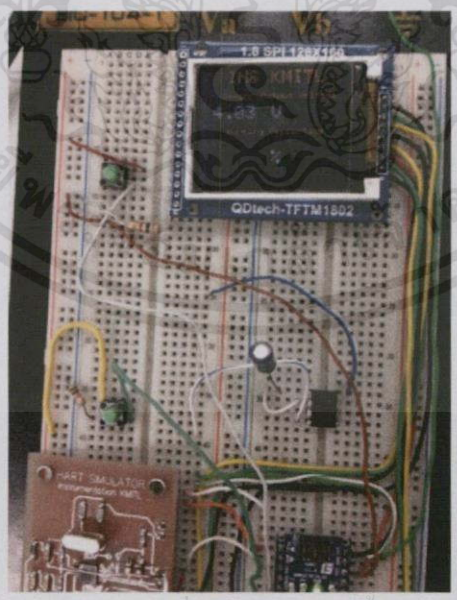
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 3.01 VDC และ 60% การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย



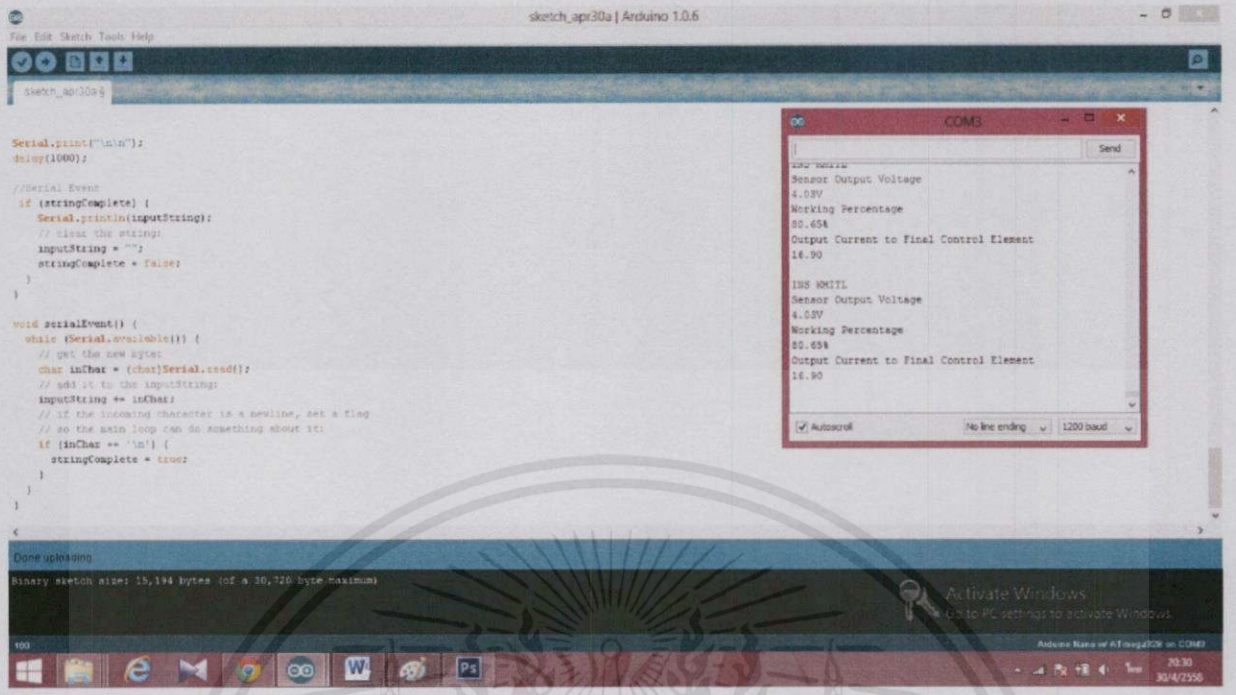
รูปที่ 4.8 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 3.01 VDC และ 60.22 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และค่ากระแส 13.63 mA

4.6 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 4.03 VDC



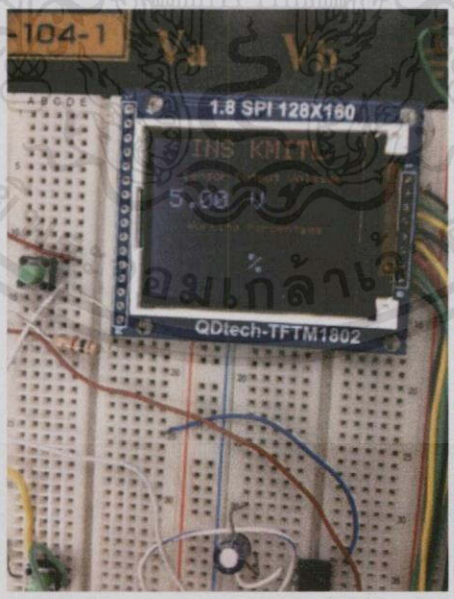
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 4.03 VDC และ 80% การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย



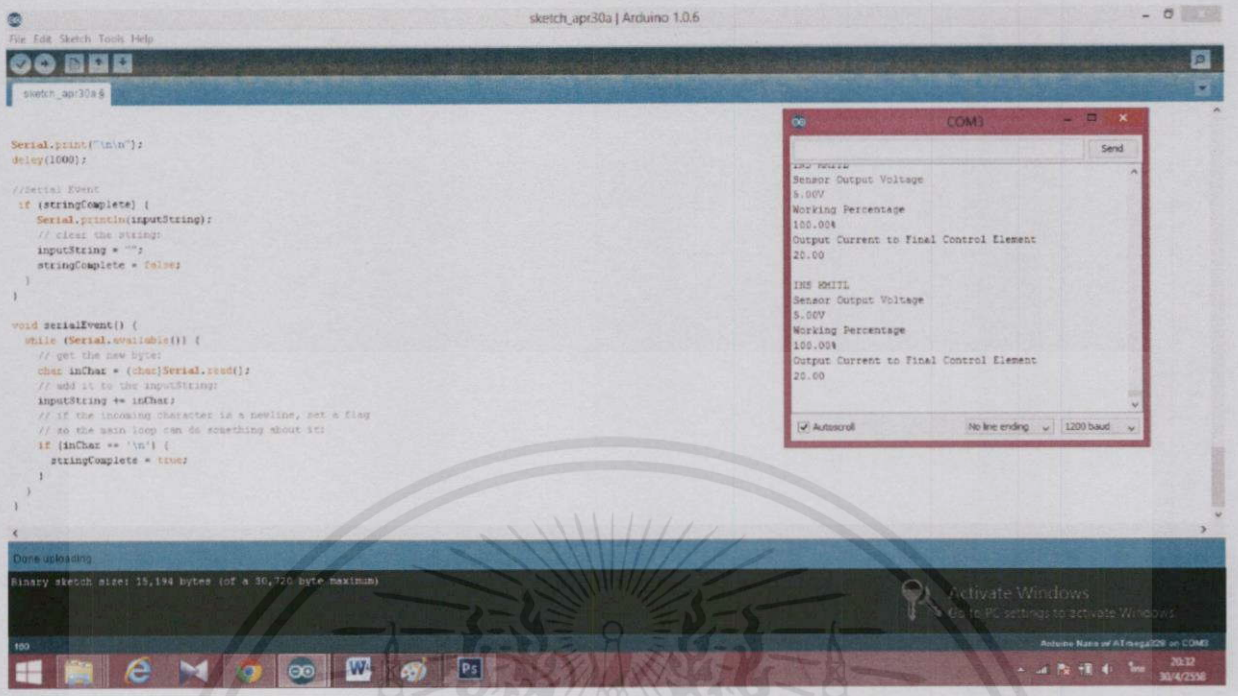
รูปที่ 4.10 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์ที่ 4.03 VDC และ 80.65 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และค่ากระแส 16.90 mA

4.7 แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์5.00 VDC



รูปที่ 4.11 TFT แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 5.0 VDC และ 100 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 จอซีเรียนโมนิเตอร์จะแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากทรานส์ดิวเซอร์5.00 VDC และ 100 % การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย และค่ากระแส 20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเราพบว่าการทำงานของอุปกรณ์เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่รับค่าเข้ามาโดย arduino สามารถแปลงและส่งเป็นสัญญาณเพื่อนำไปใช้ควบคุมและแสดงผลบนจอแสดงผล TFT และ Serial monitor โดยสัญญาณที่แปลงได้มีความสัมพันธ์แบบเป็นเชิงเส้นตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ถูกเขียนไว้ในส่วนของโค้ดใน arduino

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองนี้ไม่ได้มีทรานส์ดิวเซอร์ที่เฉพาะเจาะจงในการทดลองแต่ใช้สวิทช์ปุ่มกดเพื่อการจำลองการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันอินพุทที่ arduino รับค่า ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงจำเป็นจะต้องปรับสมการของการคำนวณในส่วนของโค้ดเพื่อปรับให้โปรแกรมสามารถนำค่าไปใช้ในการควบคุมและแสดงผลได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินงาน

1) การประกาศตัวแปรเริ่มต้น

```
float store = 0;

float sensorVal;

char sensorPrintout[5];

char percentage01[5];
```

2) โปรแกรมส่วนที่ใช้ในการคำนวณค่า

```
String sensorVal = String((5 * store) / 1023) ;
String percentage = String((((16 * store) / 1023)) * 6.25);
float mA = (((16 * store) / 1023) + 4);
  float outputVoltage = ((store * 5) / 1023);
float outputVoltage02 = ((255 * outputVoltage) / 5) ;
```

3) โปรแกรมส่วนที่ใช้ในการเชื่อมต่อและส่งข้อมูลไปยัง TFT Display

```
#define cs   10

#define dc   9

TFT TFTscreen = TFT(cs, dc, rst);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void setup()

{
inputString.reserve(200);
  TFTscreen.begin();

  TFTscreen.background(0, 0, 0);

  TFTscreen.stroke(0, 128, 255);

  TFTscreen.setTextSize(2);

  TFTscreen.text("INS KMITL \n ", 30, 0);

   TFTscreen.setTextSize(2);

  TFTscreen.stroke(0, 128, 255);

  TFTscreen.setTextSize(1.9);

  TFTscreen.text("Sensor Output Voltage \n ", 25, 25);

  TFTscreen.setTextSize(1.9);

  TFTscreen.stroke(255, 255, 255);

  TFTscreen.setTextSize(2);

  TFTscreen.text("V \n ", 80, 40);

  TFTscreen.setTextSize(2);

  TFTscreen.stroke(0, 128, 255);

  TFTscreen.setTextSize(1.9);

  TFTscreen.text("Working Percentage \n ", 30, 65);

  TFTscreen.setTextSize(1.9);

  TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  TFTscreen.setTextSize(2);
  TFTscreen.text("% \n ", 80, 90);
  TFTscreen.setTextSize(2);
}

void loop()
{
  sensorVal.toCharArray(sensorPrintout, 5);
  TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
  TFTscreen.text(sensorPrintout, 15, 40);
  delay(200);
  TFTscreen.stroke(0, 0, 0);
  TFTscreen.text(sensorPrintout, 15, 40);
  TFTscreen.stroke(255, 255, 255);
  TFTscreen.text(percentage01, 15, 90);
  delay(200);
  TFTscreen.stroke(0, 0, 0);
  TFTscreen.text(percentage01, 15, 90);
}
```

4) โปรแกรมส่วนที่ใช้ในการส่งข้อมูลไปยัง Serial monitor

```
analogWrite(6,outputVoltage02); //outputVoltage02
Serial.print("INS KMITL \n");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Serial.print("Sensor Output Voltage \n");

Serial.print(sensorVal);

Serial.print("V \n");

Serial.print("Working Percentage \n");

Serial.print(percentage);

Serial.print("% \n");

Serial.print("Output Current to Final Control Element \n");

Serial.print(mA);

Serial.print("\n\n");

delay(1000);
```

5) โปรแกรมส่วนรับค่าจาก switch button

```
void loop()

 {

if(digitalRead(3) == HIGH)

{store = store + 11;}

if(digitalRead(4) == HIGH)

{store = store - 11;

}
```

6) โปรแกรมส่วนที่ใช้เชื่อมต่อกับ HART Modem

```
tring inputString = "";

boolean stringComplete = false;  complete
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void setup()
{
}
Void loop()
{
if (stringComplete) {
    Serial.println(inputString);
    inputString = "";
    stringComplete = false;
  }
  }
void serialEvent() {
  while (Serial.available()) {
    char inChar = (char)Serial.read();
    inputString += inChar;
    if (inChar == '\n') {
      stringComplete = true;
  }
  }
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] www.Arduino.cc

[2] *ชวพร บำรุงพฤกษ์*,http://tgiautonomous.blogspot.com/2012/03/simatic-s7-hart-analogmodules-1-hart.html

[3]SAMSON,http://www.samson.de/pdf_en/l452en.pdf

[4]เกรียงไกร ภูมิสิงหราช ,
http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Telemetering_System_for_Irrigation/index.php

[5] Alexander Bolshev, http://www.slideshare.net/dark_k3y/hart-insecurity-how-one-transmitter-can-compromise-whole-plant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้