โครงงาน	เครื่องวัดค่า pH	
ผู้ดำเนินงาน	1. นางสาวมาลีวัลย์ อนุรักษ์	รหัสประจำตัว B5203604
	2. นางสาวลัดดาวัลย์ เพียรการ	รหัสประจำตัว B5208869
	3. นางสาวนุชยา ศรีบำรุง	รหัสประจำตัว B5213900
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ร.อ.ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ภาคการศึกษา	1/2555	

บทคัดย่อ

การจัดการและเก็บข้อมูลของค่า pH โดยใช้ pH Sensor KIT (ชนิด ISFET) กับบอร์ด FiO Std ในการวัดค่า pH ซึ่งได้มีการเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของ pH Sensor KIT (ชนิด ISFET) กับบอร์ด FiO Std ให้แสดงค่าออกที่ LCD และได้จัดเก็บข้อมูลลงใน Multimedia Cards (MMC) ตามที่ต้องการได้ และสามารถนำข้อมูลที่จัดเก็บลงใน MMC มาพล็อตกราฟและวิเคราะห์ผลการวัดค่า pH ได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานทางด้านวิจัยในการทดลองเกี่ยวกับการวัดค่า pH ทางด้านอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ทางด้านเกษตรกรรมในการวัดค่า pH ของดินและน้ำ หรือ ในการปลูกผัก Hydroponics (ไฮโดรโปนิกส์) ที่เป็นที่นิยมปลูกกันในปัจจุบันนี้ ดังนั้นเครื่องวัดค่า pH นี้สามารถทำให้งานต่างๆนี้ให้สะดวกง่ายดายยิ่งขึ้น และยังสามารถเก็บข้อมูลมาใช้วิเคราะห์ผลเพื่อวางแผนปรับปรุงและพัฒนางานดังกล่าวได้อีกด้วยเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานเรื่อง เครื่องวัดค่า pH นี้ได้ประสบความสำเร็จด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ ในระหว่างการดำเนินการจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์ (อาจารย์ที่ปรึกษาที่โครงงาน) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานในครั้งนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำโครงงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้คำแนะนำเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานในการใช้งานโปรแกรม ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวมาลีวัลย์ อนุรักษ์
นางสาวลัดดาวัลย์ เพียรการ
นางสาวนุชยา ศรีบำรุง
คณะผู้จัดทำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันค่า pH มีความสำคัญมาก ในทางด้านอุตสาหกรรม ผลิตน้ำตาล ผลิตน้ำดื่ม อาหารแปรรูป การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า รวมถึงการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องให้ได้ค่า pH ที่เหมาะสม ด้านเกษตรกรรม การปลูกพืชที่ใช้ดินหรือน้ำที่มีค่า pH เหมาะสม การเลี้ยงสัตว์น้ำที่ต้องควบคุมค่า pH อยู่ตลอด การเลี้ยงสัตว์ระดับค่า pH เลือดของสัตว์ควรอยู่ในระดับที่เหมาะสมเช่นกัน ด้านเครื่องสำอางและยารักษาโรคค่า pH ก็มีความจำเป็นเช่นกันในความปลอดภัยของเครื่องสำอางและยารักษาโรคนั้นๆ ดังนั้นการวัดค่า pH จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งกับงานด้านต่างๆอีกทั้งในการเก็บข้อมูลในการวัดค่า pH นี้ยังมีประโยชน์ต่อการศึกษาหรือใช้ในการวิเคราะห์งานอื่นๆได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดความยุ่งยากในการวัดค่า pH
2. เพื่อจัดเก็บข้อมูลค่า pH ที่วัดได้ในอุปกรณ์หน่วยความจำที่ง่ายต่อการวิเคราะห์และประมวณผลด้วยคอมพิวเตอร์
3. เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลที่จัดเก็บไว้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3 ขอบเขตงาน

1. ใช้ ISFET pH Sensor Kit เป็นเซนเซอร์ชิพชนิดสารกึ่งตัวนำ ช่วงการวัด (Range) pH 1 ถึง pH 14 สัญญาณ Output เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าช่วง 0-2 Volt
2. ใช้บอร์ด FiO Std ชุดทดลองระบบสมองกลฝังตัว ใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล STM32 (สถาปัตยกรรม 32-bits ARM Cortex-M3)
3. วัดค่า pH แสดงออกหน้าจอ LCD เก็บค่าที่ได้ลง Multimedia cards (MMC)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวัดค่า pH
2. ทำการจัดซื้ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ และศึกษาข้อมูลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้น ศึกษาภาษาซีและเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงาน โดยใช้ภาษาซีในการเขียน
3. ทดสอบโปรแกรมและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนการเตรียมเอกสาร จัดทำเอกสาร และนำเสนอโครงงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดความยุ่งยากในการวัดค่า pH
2. สามารถเก็บข้อมูลที่วัดได้ในอุปกรณ์หน่วยความจำที่ง่ายต่อการวิเคราะห์และประมวณผลด้วยคอมพิวเตอร์
3. สามารถนำข้อมูลที่จัดเก็บไว้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆได้สะดวก
4. มีแนวทางในการเลือกใช้วิธีการจัดการและการเก็บข้อมูลอีกทางหนึ่ง

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้เราจะกล่าวถึง ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM 32 บิต คุณสมบัติของ FiO Board และ RapidSTM32 Blockset คุณสมบัติและข้อมูลด้านเทคนิคของ IFSET pH Sensor Kit และชุดเชื่อมต่อหน่วยความจำ SD/MMC CARD

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM 32 บิต

ประวัติความเป็นมาของ ARM

สถาปัตยกรรมของ ARM (Advanced RISC Machine) เป็นพื้นฐานของไมโครคอนโทรเลอร์ 32 บิต ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดถูกใช้ในงานหลากหลายประเภท เนื่องจากประสิทธิภาพที่สูง การกินพลังงานที่ต่ำ และราคาถูก เริ่มมีการพัฒนา ARM ขึ้นในปี 1990 จากลงทุนของ Apple Computer, Acorn และ VLSI Technology ในปัจจุบัน ARM ถูกพัฒนาให้นำไปใช้กับไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับอุปกรณ์หลายชนิดเช่น โทรศัพท์เครื่องที่ออร์แกนไนเซอร์ โมเดม กล้องถ่ายรูป workstation ประสิทธิภาพสูง ฯลฯ

คุณสมบัติของ ARM

- จะต้องมีรีจิสเตอร์ให้สามารถใช้งานได้มากเพียงพอ
- ใช้รูปแบบคำสั่งแบบ load and store หมายความว่าก่อนการประมวลผลจะต้องทำการโหลดข้อมูลจากรีจิสเตอร์หรือหน่วยความจำก่อนหลังจากนั้นจึงการประมวลผล ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้อาจจะเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์เพื่อไปสู่กระบวนการถัดไปหรืออาจจะบันทึกกลับลงสู่หน่วยความจำ

- มีโหมดของการอ้างตำแหน่งแอดเดรสที่ไม่มากนัก โดยสามารถกระทำได้โดยอ้างตำแหน่งจากรีจิสเตอร์และคำสั่งเพียงคำสั่งเดียวเท่านั้น
- ขนาดของคำสั่งมีขนาดคงที่ (32 บิต)

ความสามารถเพิ่มเติมของ ARM

1. มี shifter หรือตัวเลื่อนบิตแยกต่างหากก่อนที่จะเข้า ALU (Arithmetic Logic Unit) เพื่อเพิ่มความเร็วในการประมวลผล

2. มีโหมดการอ้างตำแหน่งแบบ Auto-increment และ Auto-decrement เพื่อช่วยให้การทำงานแบบลูปง่ายขึ้น

3. สามารถเพิ่มเงื่อนไขภายในแต่ละคำสั่งเพื่อลดการสูญเสียจากการทำงานของ pipeline ซึ่งจะส่งผลให้การทำงานเร็วขึ้น จะเห็นว่า สถาปัตยกรรมของ ARM จะเพิ่มความสามารถของสถาปัตยกรรม RISC ทั่วๆไป เช่น ประสิทธิภาพสูงกว่า กินพลังงานต่ำกว่า และ มีขนาดของ die เล็กมาก นิยมใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ฝังตัวในปัจจุบัน

สถานะการทำงานของ ARM

การทำงานของ ARM จะต้องอยู่ภายในสภาวะใดสภาวะหนึ่งกล่าวคือ เมื่อเกิดเอ็กเซปชั่นขึ้น ARM จะหยุดการทำงานของคำสั่งปัจจุบันและย้ายตำแหน่งไปทำงานตาม เอ็กเซปชั่นเวกเตอร์ (exception vector) โดยระบบปฏิบัติการจะใส่การจัดการของแต่ละเอ็กเซปชั่นไว้ ซึ่งการที่จะเปลี่ยนสถานะสามารถทำได้โดยโปรแกรมหรือการเกิดอินเตอร์รัปท์ แบ่งเป็น 6 mode ได้แก่

1. User mode (usr)/System (sys) สำหรับโปรแกรมปรกติ ในโหมดนี้จะจำกัดสิทธิ์บางอย่างเช่นไม่สามารถดิสเอเบิลอินเตอร์รัปท์ได้

2. FIQ mode (fiq) สำหรับโปรแกรมอินเตอร์รัปท์ที่ต้องการความเร็วในการบริการสูง เนื่องจากลำดับความสำคัญของ FIQ จะสูงกว่าตัวอื่น

3. IRQ mode (irq) สำหรับโปรแกรมอินเตอร์รัปท์ทั่วไป

4. Supervisor (svc) สำหรับระบบปฏิบัติการ เนื่องจากในโหมดนี้จะไม่มีข้อจำกัดในการเข้าถึงระบบ เราสามารถเข้าถึงโหมดนี้ได้โดยทางซอฟท์แวร์อินเตอร์รัปท์ (SWI)

5. Abort (abt) เมื่อมีการการเข้าถึงหน่วยความจำที่ไม่มีอยู่จริงเพื่อป้องกันการทำงานของระบบ

6. Undefined (und) เมื่อมีการใช้คำสั่งที่ ARM ไม่รู้จัก เรามักนำคำสั่งส่วนนี้ไปใช้ในการติดต่อกับ co-processor ในแต่ละโหมดจะมีรีจิสเตอร์บางตัวที่มีการใช้งานร่วมกันแต่บางรีจิสเตอร์ก็จะแยกเป็นของใครของมัน ดังรูป

Modes					
	Exception Modes				
User/System	Supervisor	Abort	Undefined	Interrupt	Fast Interrupt
R0	R0	R0	R0	R0	R0
R1	R1	R1	R1	R1	R1
R2	R2	R2	R2	R2	R2
R3	R3	R3	R3	R3	R3
R4	R4	R4	R4	R4	R4
R5	R5	R5	R5	R5	R5
R6	R6	R6	R6	R6	R6
R7	R7	R7	R7	R7	R7
R8	R8	R8	R8	R8	R8_fiq
R9	R9	R9	R9	R9	R9_fiq
R10	R10	R10	R10	R10	R10_fiq
R11	R11	R11	R11	R11	R11_fiq
R12	R12	R12	R12	R12	R12_fiq
R13	R13_svc	R13_abt	R13_und	R13_irq	R13_fiq
R14	R14_svc	R14_abt	R14_und	R14_irq	R14_fiq
PC	PC	PC	PC	PC	PC
CPSR	CPSR	CPSR	CPSR	CPSR	CPSR
	SPSR_svc	SPSR_abt	SPSR_und	SPSR_irq	SPSR_fiq

รูปที่ 2.1 การจัดแบ่ง Register

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ARM registers

ARM มีรีจิสเตอร์ทั้งหมด 37 ตัว เป็นแบบ 32 บิต แบ่งเป็น

- รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป 30 ตัว
- รีจิสเตอร์แสดงสถานะ 6 ตัว

program counter 1 ตัว

ผู้ใช้สามารถใช้ได้ทั้งหมด 16 ตัว ตัวอื่นๆมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำเอ็กเซปชั่น (exception processing) พอสรุปได้ดังนี้

- **Stack pointer** รีจีสเตอร์ R13 ทำหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราว เช่น เวลาจะเรียกโปรแกรมย่อยเราจะทำการบันทึกค่าของรีจิสเตอร์เก็บไว้ในแสตก เพื่อป้องกันการเปลี่ยนค่าใน

รีจิสเตอร์ขณะประมวลผลโปรแกรมย่อยนั้น ดังนั้น เมื่อออกจากโปรแกรมย่อยก็จะนำค่าในแสตกคืนมาที่รีจิสเตอร์ใหม่

- **Link register** รีจีสเตอร์ R14 ทำหน้าที่ในการเก็บค่าที่อยู่ของคำสั่งถัดไปหลังจากคำสั่ง Branch with Link (BL) ที่ใช้เวลาเรียกโปรแกรมย่อยของ ARM

- **Program counter** รีจีสเตอร์ R15 ทำหน้าที่เป็น Program Counter ซึ่งใช้กับคำสั่งทุกคำสั่งในการชี้ไปที่คำสั่งนั้น ใน ARM คำสั่งหนึ่งๆจะมีขนาด 32 บิต

- **Other registers** รีจีสเตอร์ที่เหลือไม่มีหน้าที่พิเศษโดยเฉพาะเมื่อเกิดเอ็กเซปชั่น รีจีสเตอร์บางตัวจะถูกกำหนดให้เป็นรีจีสเตอร์ซึ่งเก็บค่าเฉพาะของเอ็กเซปชั่น ในทุกๆโหมดค่า R13 และ R14 เป็นของตัวเอง โดย R13 เก็บ stack pointer และ R14 เก็บ link register

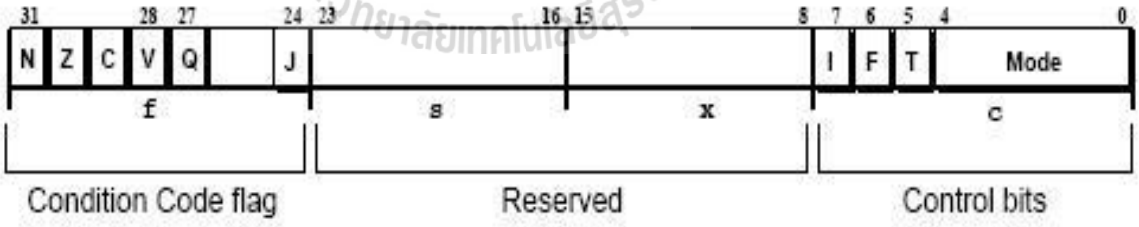
- **CPSR (Current Program Status Register)** เก็บค่า

• 4 condition code flags (Negative, Zero, Carry and Overflow)

• 2 interrupt disable bits (one for each type of interrupt)

• 5 bits which encode the current processor mode

- **SPSR (Saved Program Status Register)** เก็บค่าของ CPSR ก่อนจะเกิดเอ็กเซปชั่น ซึ่งในแต่ละโหมดจะมีรีจีสเตอร์ SPSR เป็นของตัวเองโดยใช้ CPSR ร่วมกัน



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ ARM registers

ARM Instruction set

แบ่งได้ 4 ประเภทคือ

- Branch Instruction
  - General branch instruction
  - Branch with Link
  - Software interrupt (SWI) ใช้เรียกเพื่อเข้าสู่การทำงานของระบบปฏิบัติการ
  - THUMB instruction (16 บิต)
- Data - processing Instruction
  - Arithmetic/logic instructions มี 16 คำสั่ง ซึ่งมีรูปแบบร่วมกัน
  - Multiply instructions มีแบบ 32 บิต และ 64 บิต
  - Status register transfer instruction โหลดหรือเก็บค่าจาก SPSR หรือ CPSR
- Load - store Instruction แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1. Load or store the value of a single register คือ ในการโหลดค่ามาเก็บไว้ในรีจีสเตอร์ สามารถทำได้ครั้งละ 32 บิต 16 บิต หรือ 8 บิต จาก memory ในการ store ก็เช่นเดียวกัน โดยแบ่งตาม addressing Mode ได้ 3 ประเภท คือ

   1.1 offset

   1.2 pre-indexed

   1.3 post-indexed

ในการอ้างแอดเดรสแบบ pre หรือ post – indexed จะแก้ไขข้อมูลใน base register ด้วยค่าออฟเซตที่เพิ่มเข้าไป

2. Load and store multiple register values สามารถโหลดหรือเก็บค่าในช่วงของ Memory โดยเพิ่มหรือลด address ได้โดยอัตโนมัติโดยแบ่งตาม addressing Mode ได้ 3 ประเภท

   1.1 pre – increment

   1.2 post – increment

   1.3 pre – decrement

   1.4 post – decrement

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในการอ้างแอดเดรสแบบ Increment หรือ decrement จะเป็นสิ่งที่ระบุว่าค่าของ pointer จะเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง และในส่วนของ pre หรือ post จะระบุว่าขณะนั้น pointer ชี้ในจุดที่มีข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้ามีอยู่ต้องเลื่อน point ก่อนแล้วค่อยใส่ค่าลงไป หรือถ้าไม่มีข้อมูลอยู่จะใส่ค่าก่อน แล้วจึงเลื่อน pointer ไป

3. Swap a register with the value of a memory location คือการสลับค่าระหว่าง register โดยผ่าน memory หรือสลับค่าระหว่าง memory กับ register ได้

- Co – processor Instruction

1. Data-processing instructions ใช้จัดการการจัดการภายในของโปรเซสเซอร์ร่วม

2. Register transfers ย้ายค่าภายในโปรเซสเซอร์ร่วมมายัง ARM รีจีสเตอร์ หรือจาก ARM รีจีสเตอร์ออกไป

3. Data-transfer instructions ย้ายข้อมูลของโปรเซสเซอร์ร่วมมายังหรือออกจาก memory โดยตำแหน่งจะถูกคำนวณโดย ARM

2.3 คุณสมบัติของ FiO Std Board และ RapidSTM 32 Blockset

2.3.1 FiO Std Board

รูปที่ 2.3 บอร์ด FiO Std

FiO Std Board เป็นชุดทดลองโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3 processors บอร์ด Fio Std นี้เป็นชุดทดลองที่สามารถทำงานร่วมกับ Matlab Simulink ได้ FiO Std เป็นบอร์ดทดลองอิเล็กทรอนิคส์ และเป็นบอร์ดที่ถูกออกแบบมาเพื่อการ

เรียนการสอนของนักเรียนระดับมหาวิทยาลัย และมัธยม ในรายวิชาด้านวิศวกรรมหลายๆ ด้าน เช่น ระบบควบคุม ระบบอัตโนมัติ หุ่นยนต์ ประมวลผลสัญญาณ Digital (DSP) ฯลฯ จุดเด่นของ FiO Std Board คือการใช้งานที่ง่ายโดยเฉพาะด้านการเขียนโปรแกรม เนื่องจากเป็นการเขียนโปรแกรมแบบ Graphic Programming ผ่าน Simulink ซึ่งติดตั้งมาพร้อมกัน Matlab ซึ่งเป็น Module หนึ่งที่อยู่ในโปรแกรม Matlab ทำให้สามารถทำความเข้าใจการทำงานของโครงงานทั้งในส่วนการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ อัลกอริทึม การเขียนโปรแกรม และอื่นๆ

แต่ส่วนที่สำคัญที่สุดสำหรับนักเรียนนักศึกษาที่ต้องทำโครงงานซึ่งบอร์ดนี้ถูกออกแบบมาอย่างเหมาะสมคือ การทำ Hardware In the Loop กล่าวคือ สามารถทดสอบอัลกอริทึม และโปรแกรมของตนได้ก่อนที่จะต้องซื้ออุปกรณ์ Sensor และ Actuator (เช่น มอเตอร์) โดยผ่านการทำ Simulate Sensor และ Actuator ผ่านโปรแกรม Simulink ซึ่งด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้เกิดการประหยัด ลดความเสี่ยง สร้างโครงงานได้อย่างรวดเร็ว และทำให้ทีมโครงงาน ทำความเข้าใจอัลกอริทึมได้พร้อมกันอย่างสมบูรณ์ ด้วยทีมนักวิจัยคนไทย (ระดับปริญญาเอก) ที่ทำงานด้านวิจัยพัฒนาบอร์ด STM32 อย่างต่อเนื่อง จึงทำให้สามารถออกแบบบอร์ด และ Library ที่เข้าใจปัญหาของการทำโครงงานของนักศึกษาไทย โดยเฉพาะโครงงานด้านวิศวกรรมต่างๆ ซึ่งนักศึกษาต้องการบอร์ดที่มีราคาถูก ใช้งานง่าย เรียนรู้ง่าย ใช้เวลาเขียนโปรแกรมน้อย และยืดหยุ่นต่อการใช้งานสูง จึงนำมาซึ่งการสร้าง Library สำเร็จรูปที่ช่วยการทำงานจำนวนมาก เช่น Kaman Filter, PWD, PID ฯลฯ ซึ่งเอื้อให้นักศึกษาไทยสามารถพัฒนาโครงงานที่มีประสิทธิภาพสูงโดยไม่ต้องเรียนรู้ใหม่ในทุกด้าน คุณสมบัติหลักของบอร์ด FiO Std มีดังนี้

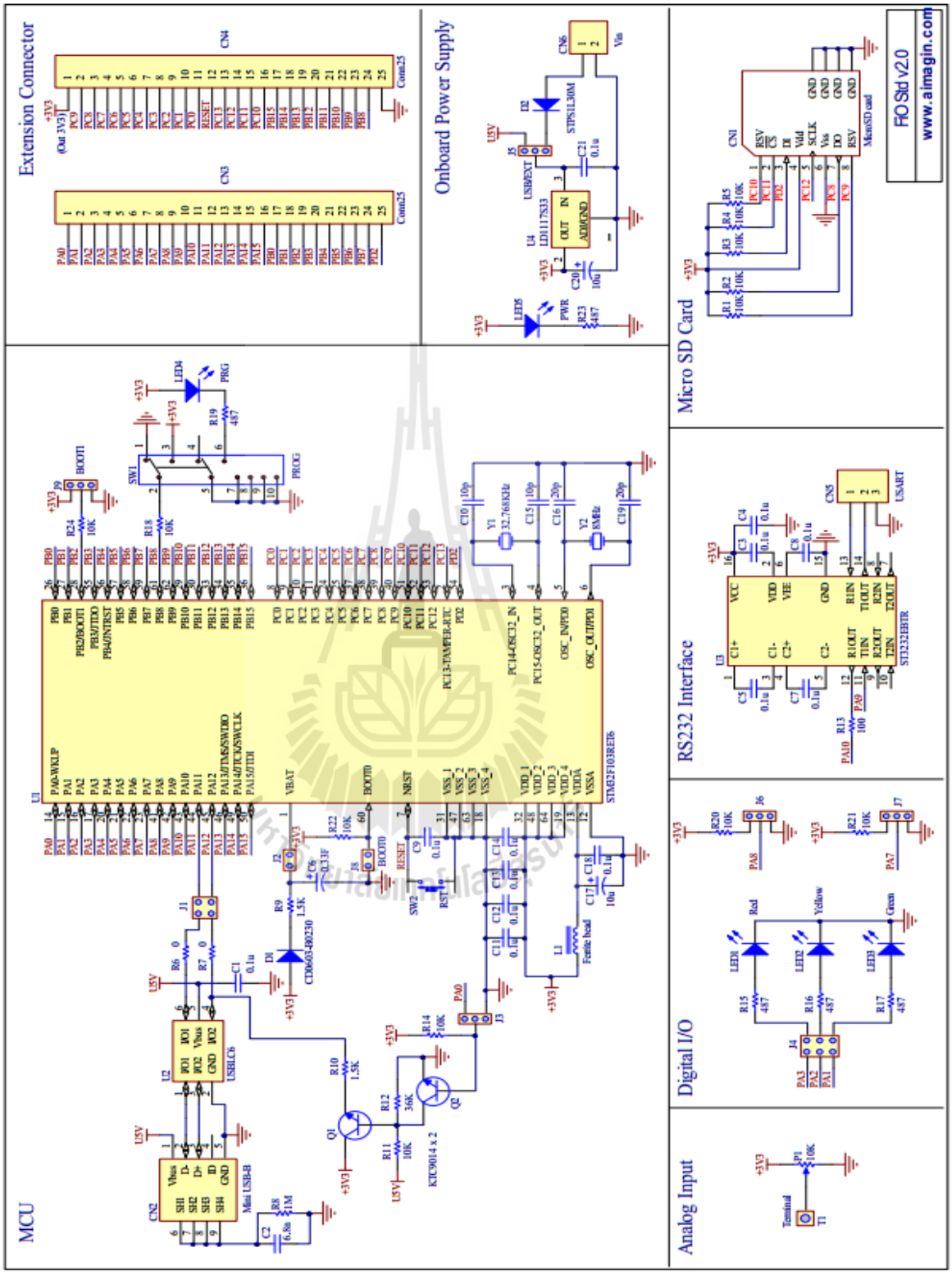
- Built-in RapidSTM32 Native-Support Bootloader.
- ARM 32-bits CortexTM M3 Processor (STM32F103RET6)
- ออสซิเลเตอร์ 2 ตัว
- แรงดันภายในบอร์ด 3.3 V regulator upto 800 mA
- หน่วยความจำ 496Kbytes available flash memory
- คอมไพล์และดาวโหลดอัตโนมัติเมื่อใช้ Blockset
- หลอด LED 3 ตัว คือ สีแดง สีเหลือง สีเขียว
- 2 user logic (H/L)input jumpersMode selection switch (see details under OPERATING MODES section)
- ความต้านทานปรับค่าได้ 10K

- IC เทียบสัญญาณเวลามาตรฐาน (0.33F) capacitor as RTC backup battery
- ช่องใส่ MicroSD
- Four built-in operating modes selectable via jumper settings
- RoSH compliant (Real Time Operating System)

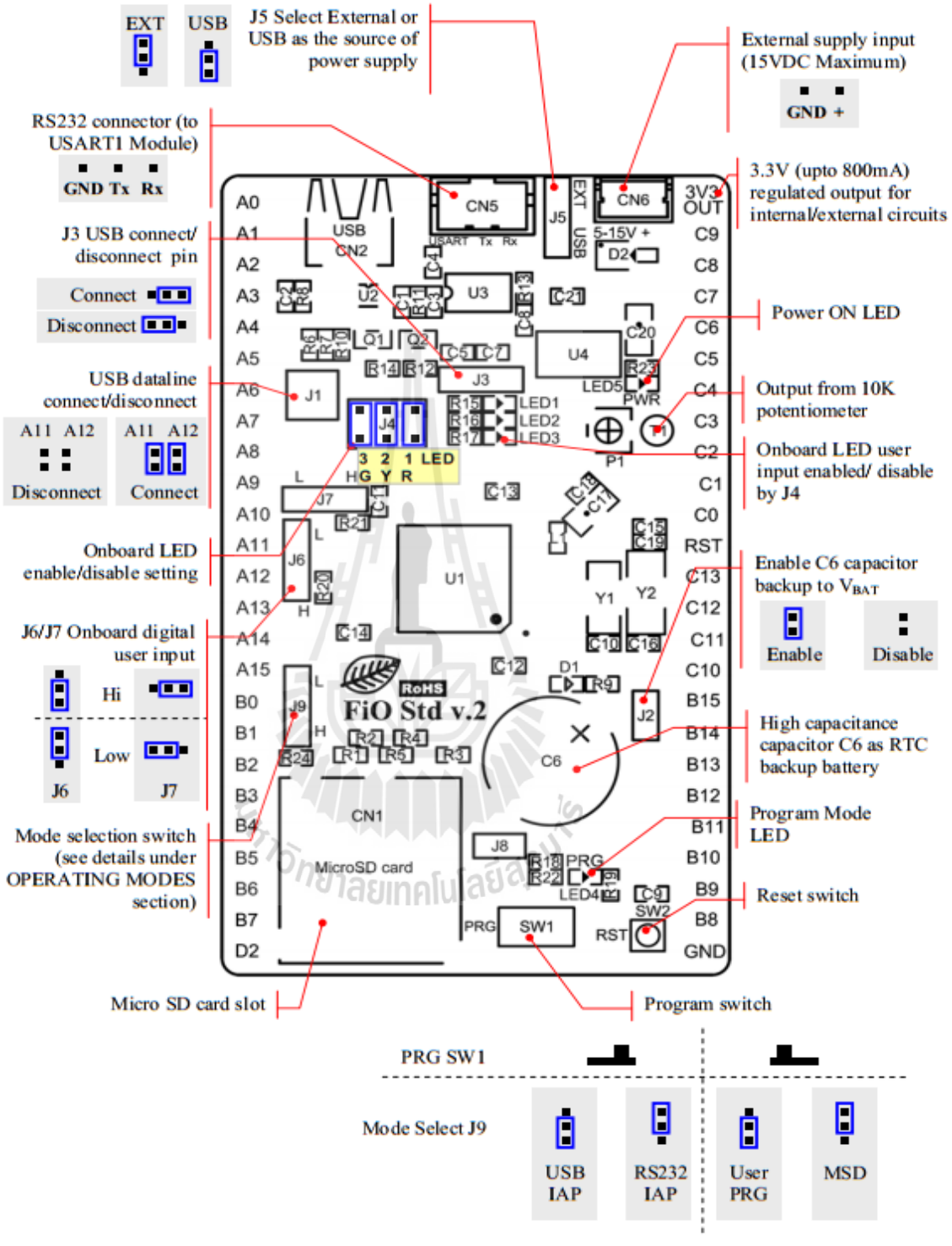
จุดเด่นของ FiO Boards และ RapidSTM32 Blockset

- ง่าย (Graphical Programming)
- เร็ว (Rapid Prototyping, Simulation & Model-Based Design)
- ไม่แพง (เริ่มต้นที่ 2,700 บาท)
- ซอฟต์แวร์มาตรฐานอุตสาหกรรม (Matlab, Keil)
- ฮาร์ดแวร์มาตรฐานอุตสาหกรรม (ARM-Architecture Processor)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.4 วงรจรไฟฟ้าบอร์ด FiO Std



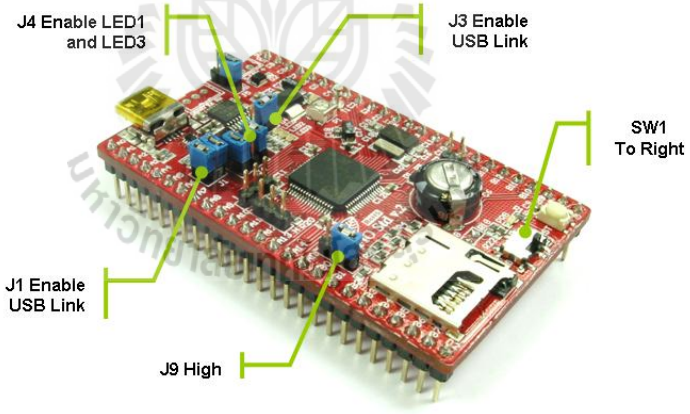
รูปที่ 2.5 แผนผังบอร์ด FiO Std

2.3.2 การเชื่อมต่อบอร์ด FiO Std

- เชื่อมต่อ บอร์ด FiO Std ไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์พีซี (Host PC)

รูปที่ 2.6 การเชื่อมต่อบอร์ด Fio Std กับเครื่องคอมพิวเตอร์

- ตั้งค่า FiO Std ให้อยู่ในโหมดโปรแกรมโดยในโหมดนี้ FiO board สามารถตั้งค่าโปรแกรมผ่านทาง USB และตั้งค่า FiO Std ให้อยู่ในโหมดโปรแกรม โดยตั้งค่า Switch (SW1) และ jumper (J1, J3, J9) ดังรูปที่ 2.7 และต้องกดปุ่ม Reset เมื่อตั้งค่าทุก Jumpers และ Switches แล้ว



รูปที่ 2.7 การตั้งค่าโหมดโปรแกรมบอร์ด FiO Std

2.3.3 Software MATLAB สำหรับพัฒนา Fio Board

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ชั้นสูง (High-level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข กราฟิกที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อให้มองเห็นภาพพจน์ได้ง่ายและชัดเจน ชื่อของ MATLAB ย่อมาจาก Matrix Laboratory เดิมโปรแกรม

MATLAB ได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทาง matrix หรือเป็น matrix software ที่พัฒนาจาก Project ที่ชื่อ LINKPACK และ EISPACK

MATLAB ได้พัฒนามาด้วยการแก้ปัญหาที่ส่งมาจากหลายๆ ผู้ใช้เป็นระยะเวลาหลายปีจึงทำให้โปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้มากมาย ในบางมหาวิทยาลัยได้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นหลักสูตรพื้นฐานในการศึกษาทางด้านคณิตศาสตร์ วิศวกรรม และวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆตลอดจนในด้านอุตสาหกรรมได้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในงานวิจัย พัฒนาและวิเคราะห์

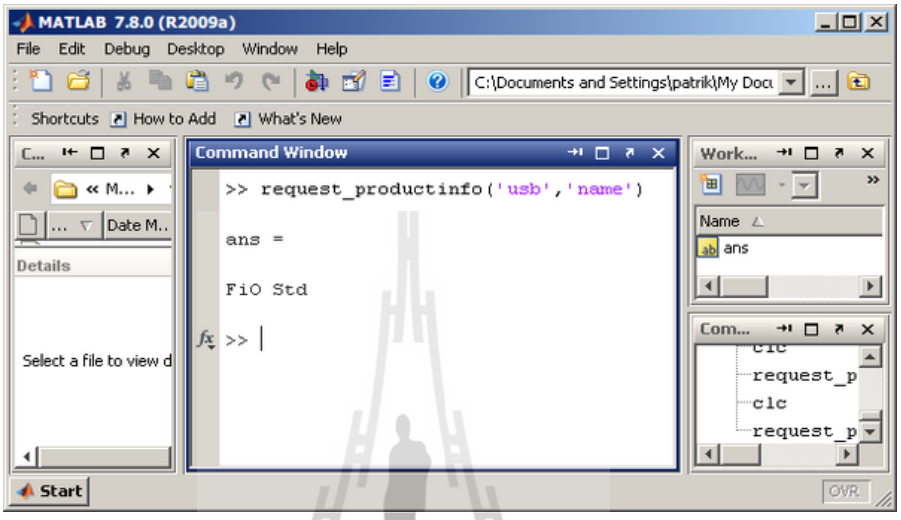
โปรแกรม MATLAB จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบเรียกว่า Toolbox โดยโปรแกรม MATLAB จะมี toolbox ในแต่ละสาขาเช่น การประมวลผลสัญญาณ (Signal processing toolbox) การประมวลผลภาพ (image processing toolbox) ระบบควบคุม (control system toolbox) โครงข่ายประสาท (neural networks toolbox) ฟัซซี่ลอจิก (fuzzy logic toolbox) เวฟเลท (wavelet toolbox) การติดต่อสื่อสาร (communication toolbox) สถิติ (Statistics toolbox) และสาขาอื่นๆ มากมาย ภายใน toolbox แต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

สาเหตุที่จำเป็นต้องใช้ MATLAB

คอมพิวเตอร์ได้สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในเชิงตัวเลขโดยมีภาษาทางคอมพิวเตอร์หลายตัวที่ช่วยในการแก้ปัญหา เช่น ภาษา C, Fortran , Pascal เป็นต้น การใช้โปรแกรมภาษา C, Fortran และ Pascal ในการแก้ปัญหาเชิงตัวเลข และกราฟิกที่มีความซับซ้อนค่อนข้างจะยุ่งยากและเสียเวลามาก เพราะต้องใช้คำสั่งเป็นจำนวนมาก และมีรูปแบบคำสั่งที่แน่นอน บริษัท MathWorksInc จึงได้พัฒนาโปรแกรมที่มีชื่อว่า MATLAB เพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข และกราฟิกที่ซับซ้อนให้ง่ายต่อการใช้งาน มีความรวดเร็ว และการเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยาก เนื่องจากโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่มีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง และเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อความเข้าใจ และเขียนโปรแกรมไม่ซับซ้อน และเมื่อนำไปใช้งานและสามารถเห็นผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้โปรแกรม MATLAB ถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางในสาขาต่าง ๆ

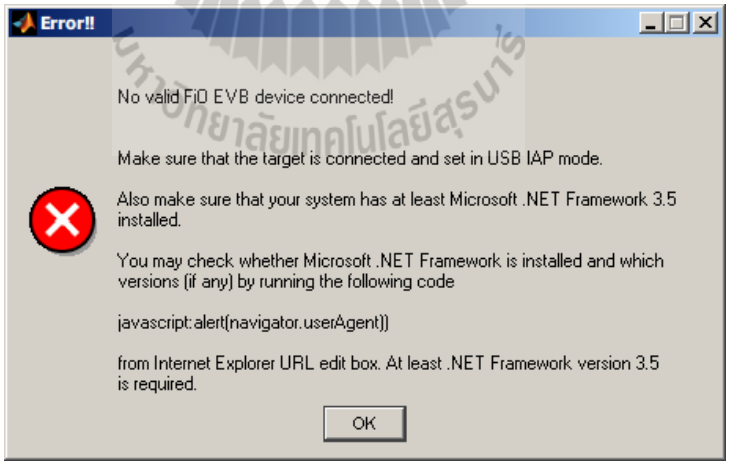
2.3.4 การทำงานโดยโปรแกรม Matlab

- ทดสอบการเชื่อมต่อ โดยตรวจว่ามีการเชื่อมต่อ โดยการพิมพ์ว่า request_productinfo('usb','name') หากบอร์ดมีการเชื่อมต่อจะปรากฏ FiO Std ดังรูป



รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อ MATLAB กับบอร์ด FiO Std

-ถ้าไม่พบบอร์ด จะปรากฏหน้าต่าง error ดังภาพ



รูปที่ 2.9 กรณีการเชื่อมต่อมีปัญหา

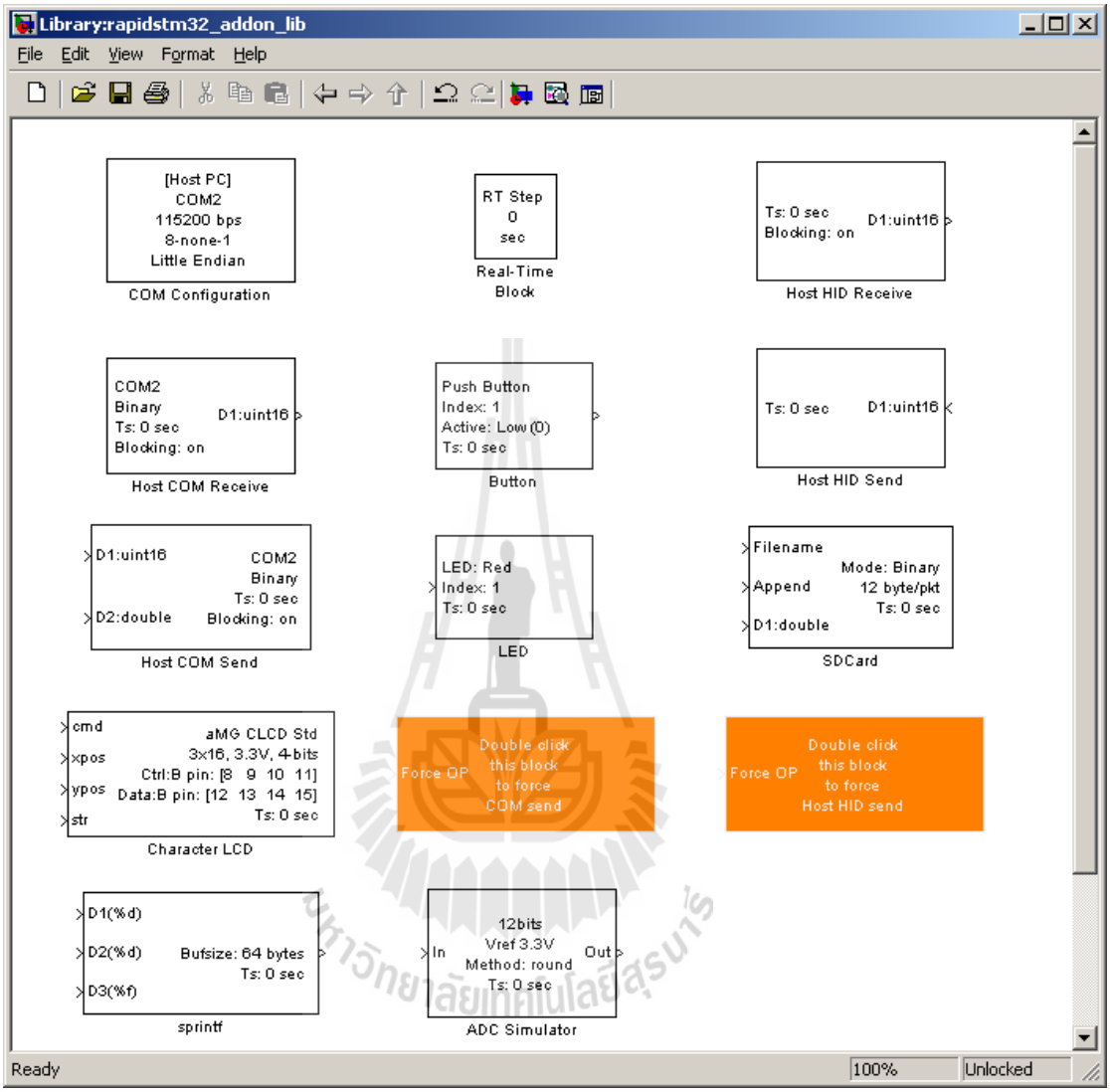
2.3.5 Simulink

โปรแกรม MATLAB มีเครื่องมือที่ใช้สาหรับการวิเคราะห์และทดสอบระบบโดยการจำลองขึ้นมาซึ่งก็คือ Simulink เป็นโปรแกรมที่ควบคู่กับ MATLAB ซึ่งเป็นระบบ Interactive สำหรับการจำลองและวิเคราะห์ระบบไดนามิกต่างๆ ที่เป็นระบบเชิงเส้น (Linear) ระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) Simulink เป็นโปรแกรม Mouse-Driver ที่ให้คุณใช้ระบบโมเดลโดยการวาดบล็อกไดอะแกรมบนจอภาพด้วยการใช้เมาส์ทำให้โปรแกรม MATLAB สามารถทำการจำลองระบบได้หลายรูปแบบ เชิงเส้น (Linear) ไม่เชิงเส้น (Nonlinear) เวลาต่อเนื่อง (Continuous-Times) เวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Time) และระบบหลายอัตรา (Multirate) ซึ่ งแต่ละรูปแบบที่นำมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์นี้ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของบล็อกแต่ละบล็อกได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเข้าใจระบบโดยรวมของงานที่จะกระทำ

Blocksets เป็นสิ่งที่เพิ่มเติมใน Simulink โดยจะเป็นไลบรารีของบล็อกสำหรับการประยุกต์เฉพาะ เช่น การติดต่อสื่อสาร (Communications) การประมวลผลข้อมูล (Signal Processing) และระบบไฟฟ้ากำลัง (Power Systems)

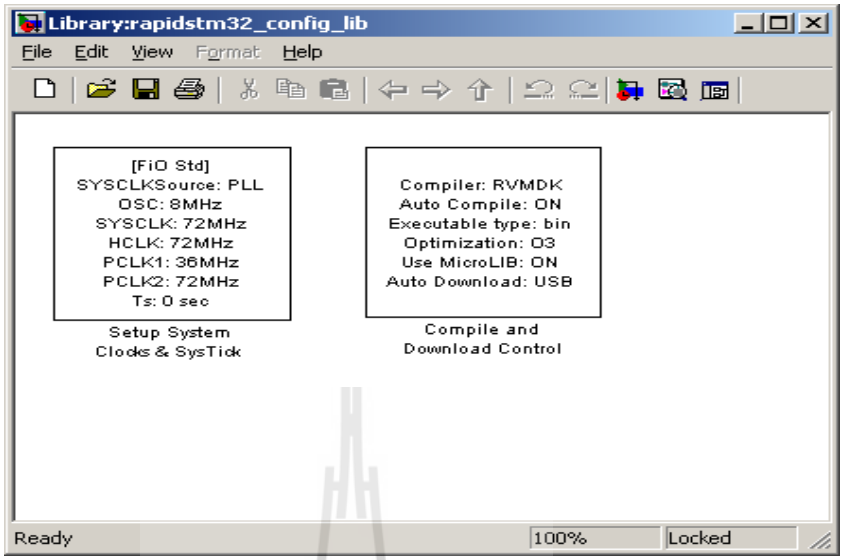
Real-time Workshop เป็นโปรแกรมที่ให้คุณสร้าง C Code จากบล็อกไดอะแกรมและสามารถกระทำกับบล็อกไดอะแกรมได้หลากหลายด้วยระบบเวลาจริง (Real-Time Systems) โปรแกรม MATLAB มีอยู่หลาย Version ซึ่ง Version ดั้งเดิมของโปรแกรม MATLAB จะใช้งานบน DOS ที่มีการคำนวณไม่ยุ่งยากเหมาะสำหรับผู้เริ่มศึกษา คอมพิวเตอร์ที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่หน่วยความจำมาก ใช้ได้กับ CPU ที่มีความเร็วต่ำ แต่มีข้อเสียคือฟังก์ชันที่นำมาใช้งานมีน้อยทำให้เขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควร เพราะมีประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลต่ำ ต่อมาเมื่อระบบเลือกใช้ได้มากมายจึงทำให้โปรแกรม MATLAB มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการประมวลผลที่เร็วขึ้น Version ใหม่ที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ให้ดีขึ้นนี้จะใช้งานบน Windows ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ข้อดีของ version ใหม่ นี้คือมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น การประมวลผลโปรแกรมที่ซับซ้อนมีความเร็วสูงขึ้นและมีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้ในการสาขาต่างๆ มากมาย แต่ก็ต้องใช้กับคอมพิวเตอร์ที่มีพื้นที่หน่วยความจำมาก CPU มีความเร็วสูง และต้องการ Co-Processor ในการช่วยคำนวณแต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลดีที่ได้ก็ถือว่าคุ้ม ใน Simulink จะมี Blocksets หลายรูปแบบ ซึ่งจะแบ่งได้เป็นดังนี้

- **Add-On Modules**



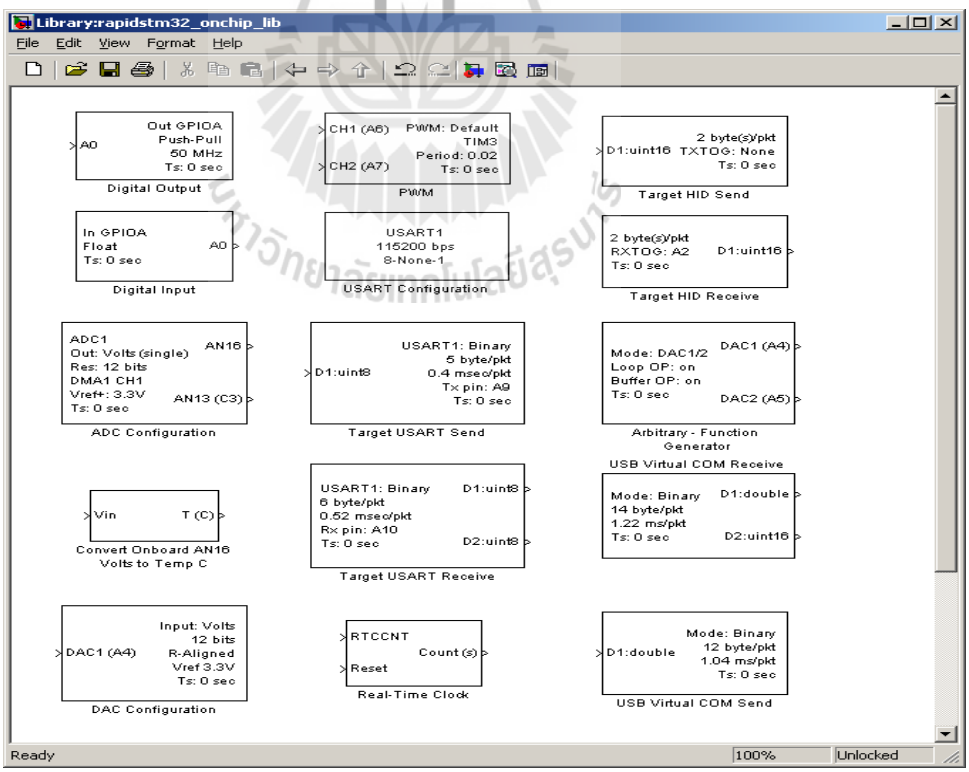
รูปที่ 2.10 Add-On Modules

- **List of Add-On Modules Blocks**



รูปที่ 2.11 List of Add-On Modules Blocks

- **On-Chip Peripherals**



รูปที่ 2.12 On-Chip Peripherals

2.4 คุณสมบัติและข้อมูลด้านเทคนิคของ IFSET pH Sensor Kit

pH (พีเอช) เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดจากปฏิกิริยาของอิออนของไฮโดรเจน (H+) สามารถทดสอบได้หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมและง่ายสุดคือทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจากการเปลี่ยนสี

สำหรับตัวเลขที่แสดงค่าพีเอช ถ้ามีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารนั้นเป็นกลางไม่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบส ถ้ามีค่าน้อยกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 แสดงว่าเป็นเบส

เครื่อง pH meter ใช้วัดค่า pH ของสารละลายด้วยหลักการของ potentiometry โดยการใช้ electrolytic cell ที่ประกอบด้วย electrode 2 ชนิด จุ่มลงไปในสารละลายที่ต้องการทดสอบทำการวัดที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ และวัดค่าความเข้มข้นของ H+ จากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่าง electrode ทั้งสองชนิดโดยปฏิกิริยาที่เกิดมีความสัมพันธ์ดังสมการ Nernst equation คือ

$$E = Eo + 2.303 \log A\ (RT/NF) \qquad (2.1)$$

โดยที่ E คือ ค่า electrode potential ที่วัดได้

Eo คือค่า electrode potential มาตรฐาน

A คือ ระดับกิจกรรมของไอออนที่วัดได้

R คือค่าคงที่ของแก๊ส = 8.313 J/degree/g.mol.wt

T คือ อุณหภูมิ (องศาเคลวิน)

N คือ จำนวนประจุของไอออน

F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ = 96,490 coulombs per g.equiv.wt

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4.1 รายละเอียดของอุปกรณ์

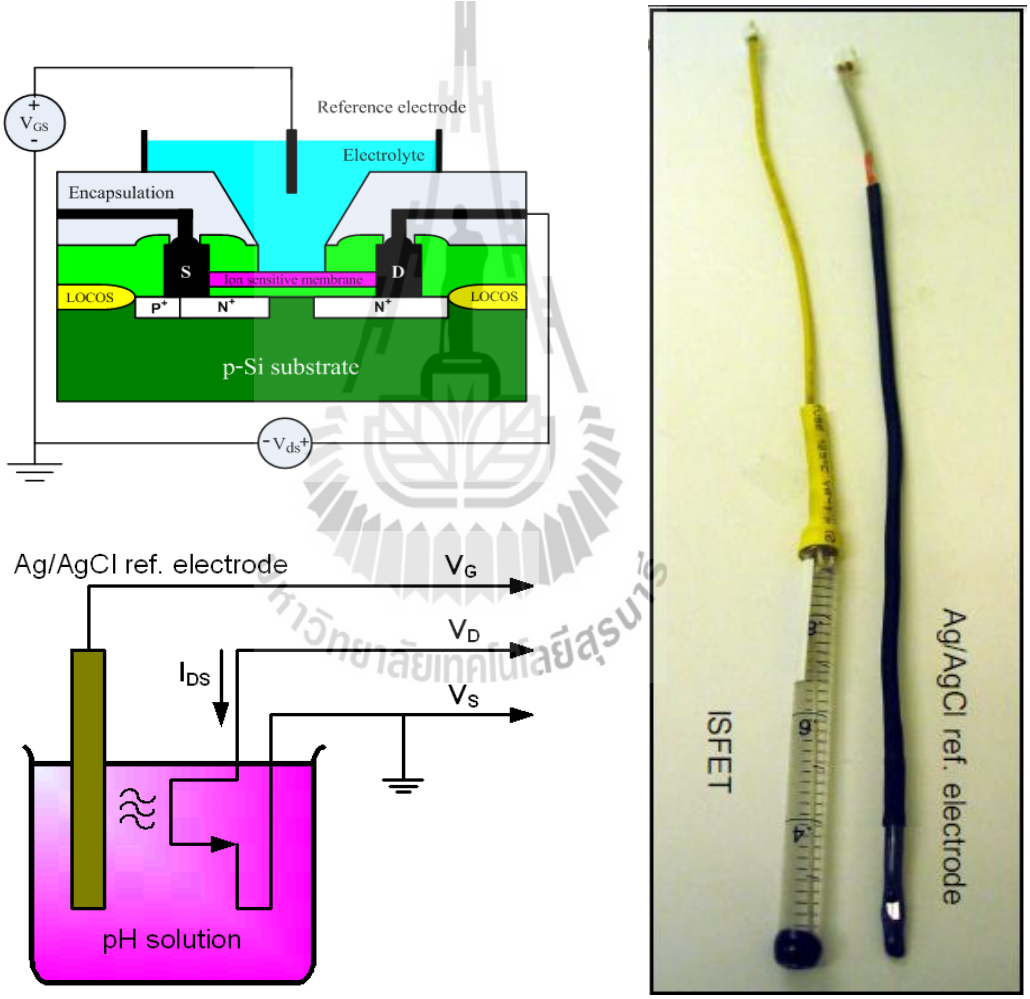
ส่วนประกอบของชุดทดสอบ

1.1) อุปกรณ์ Ion Sensitive Field-Effect Transistor (ISFET) เป็นการประยุกต์ใช้งานทรานสดิวเซอร์รูปแบบหนึ่ง โดยเปิดช่องบริเวณขาเกตให้สัมผัสกับสารละลายที่ต้องการวัดค่า pH หลักการทำงานง่ายๆ ของอุปกรณ์ชนิดนี้คืออิทธิพลจากไฮโดรเจนไอออน (ประจุบวก) ในสารละลาย ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในควบคุมสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้ซิลิคอนไนไตรด์ (Si_3N_4) เป็นเกตออกไซด์ทำหน้าที่เลือกจับเฉพาะไฮโดเจนไอออนหรือการตรวจวัดค่า pH นั่นเอง ISFET จึงเป็นอุปกรณ์ 3 ขาซึ่งประกอบด้วย

1. ขาเกต (G) ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl(Ag/AgCl ref.electrode) ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิดนี้ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวัด ทำให้ค่าความต่างศักดิ์ที่ตกคร่อมระหว่างขาเกตและซอสเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนสุทธิในสารละลายเพียงอย่างเดียว

2. ขาซอส (S) เป็นขาสัญญาณบนอุปกรณ์ pH เซนเซอร์ชนิด ISFET ขั้วไฟฟ้านี้ออกแบบให้เชื่อมต่อทางไฟฟ้ากับฐานรองรับของตัวอุปกรณ์

3. ขาเดรน (D) เป็นขาสัญญาณบนอุปกรณ์ pH เซนเซอร์ชนิด ISFET เวลาใช้งานต้องจุ่ม pH เซนเซอร์ชนิด ISFET และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl พร้อมกันในสารละลายที่ต้องการจะวัด ดังแสดงในรูปที่ 2.13

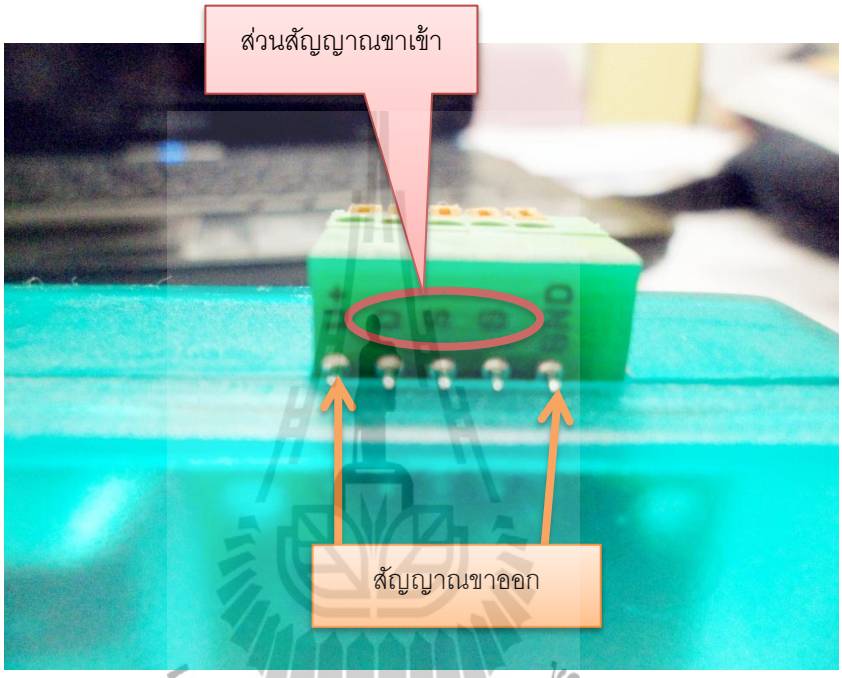


รูปที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้าง pH เซนเซอร์ชนิด ISFET ซึ่งเป็นอุปกรณ์ 3 ขาและใช้งานเหมือนอุปกรณ์ MOSFET เพียงแต่แยกขาเกตออกมาอยู่ด้านนอก และใช้ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl เป็นขาเกต

1.2) วงจรอ่านค่าสำเร็จรูป แบ่งเป็น 2 ส่วนหลักดังแสดงในรูปที่ 2.14 คือ

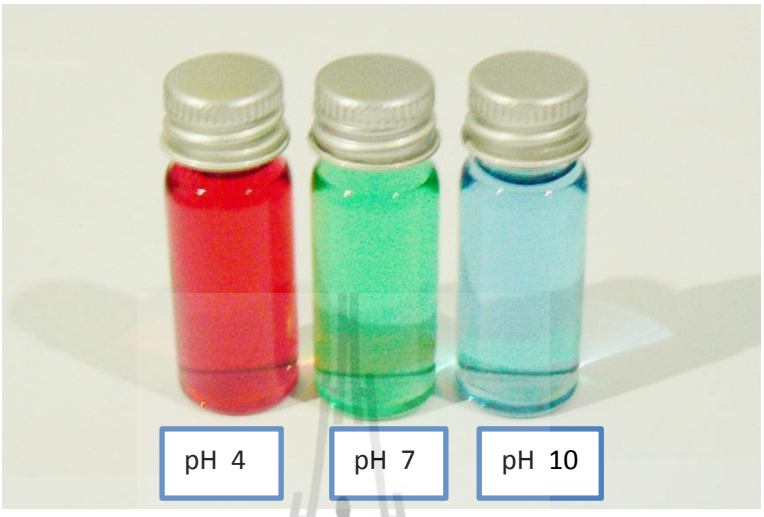
-ส่วนสัญญาณขาเข้า (Input) ต่อเข้ากับ pH เซนเซอร์ชนิด ISFET และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl (3 ขา S,D,G)

-ส่วนสัญญาณขาออก (Output) เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (2 ขา บวกและลบ) สามารถใช้มิเตอร์ตรวจวัดได้ทันทีหรือสามารถนำสัญญาณเชื่อมต่อกับ A/D ได้เลย



รูปที่ 2.14 ลักษณะวงจรอ่านค่า

1.3) pH บัฟเฟอร์มาตรฐาน ค่า pH 4, 7 และ 10 สำหรับสร้างสมการเส้นตรงทั้งด้านกรดและด่างดังแสดงในรูปด้านล่างหรือสามารถหาซื้อจากบริษัทเคมีได้ทั่วไป

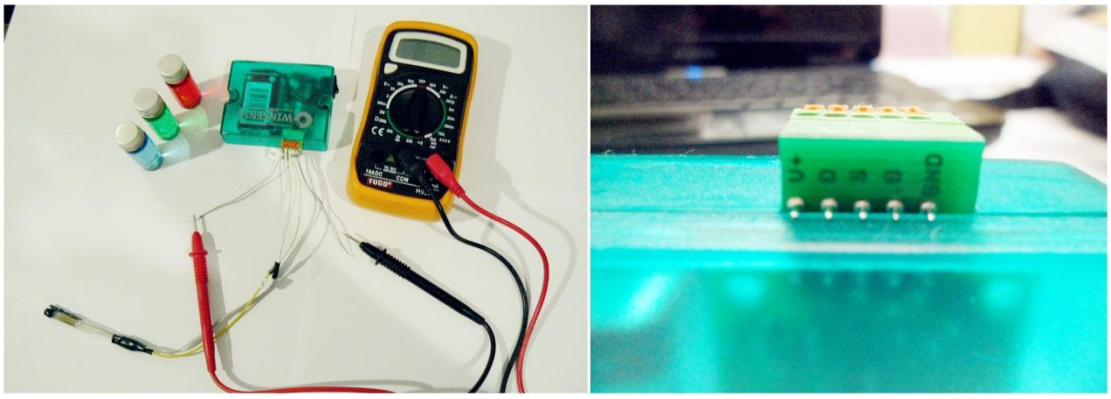


รูปที่ 2.15 pH บัฟเฟอร์มาตรฐาน ค่า pH 4, 7 และ 10

2.4.2 การทำงานของ ISFET pH Sensor Kit

ขั้นตอนการใช้งาน

1.) ต่ออุปกรณ์ตามรูปด้านล่าง ด้าน Input เชื่อมเข้ากับ pH เซนเซอร์ชนิด ISFET ตามฉลากที่ติดไว้ สำหรับด้าน Output เชื่อมต่อเข้ากับมัลติมิเตอร์ ต่อเข้ากับขั้วบวก ลบ ตามฉลากที่ติดไว้ ปรับโหมดมัลติมิเตอร์เป็นโหมดวัดแรงดันกระแสตรง



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์ใช้งาน

2.) เปิดสวิชต์วงจรอ่านค่าสำเร็จรูป อยู่ด้านข้างของกล่องวงจร สังเกต LED สีเขียวติด (ถ้า LED ติดสีแดง แสดงว่า แบตเตอรี่อ่อน)

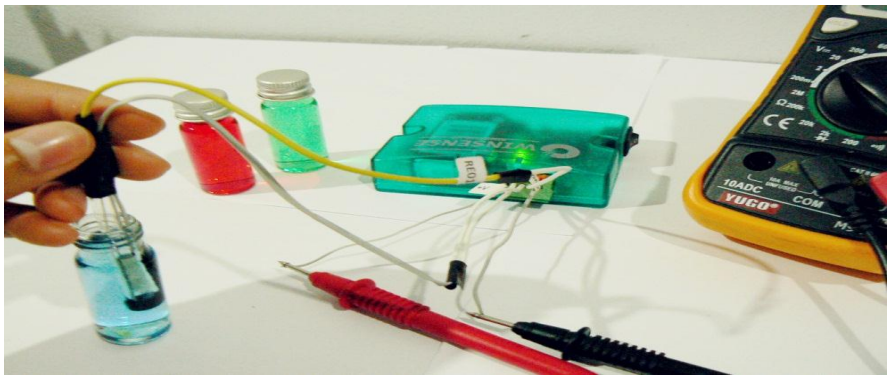
รูปที่ 2.17 วงจรอ่านค่าพร้อมใช้งานเมื่อ LED สีเขียวติด

3.) วัดค่าแรงดันขาออกในบัฟเฟอร์มาตรฐานค่า 10 , 7 , 4 (เนื่องจาก pH เซนเซอร์ชนิด ISFET ตอบสนองต่อแสง ฉะนั้น ขณะวัดควรวัดในที่มืด หรือหาอุปกรณ์ป้องกันการรบกวนจากแสง เช่น กระดาษฟอร์ยหุ้มภาชนะไว้)

-ล้างทำความสะอาดเซนเซอร์และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง -> จุ่มวัดใน buffer ค่า pH=10 -> บันทึกแรงดันขาออกเมื่อค่านิ่ง

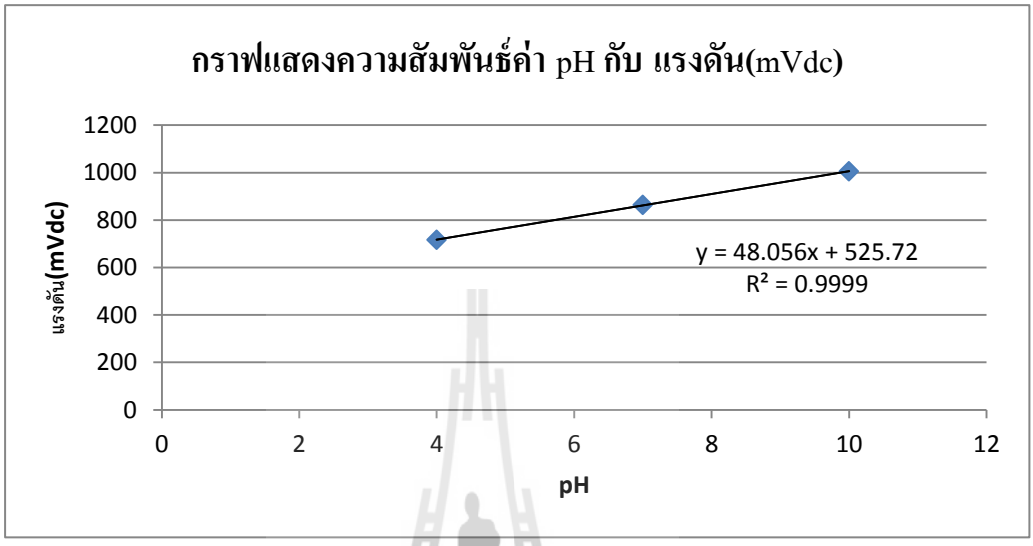
-ล้างทำความสะอาดเซนเซอร์และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง -> จุ่มวัดใน buffer ค่า pH=7 -> บันทึกแรงดันขาออกเมื่อค่านิ่ง

-ล้างทำความสะอาดเซนเซอร์และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง -> จุ่มวัดใน buffer ค่า pH=4 -> บันทึกแรงดันขาออกเมื่อค่านิ่ง



รูปที่ 2.18 ลักษณะการวัดค่าแรงดันขาออก ต้องจุ่ม ISFET และขั้วไฟฟ้าอ้างอิงสัมผัสสารละลายพร้อมกัน

4.) สร้างสมการเส้นตรง ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH กับแรงดันขาออก ดังแสดงดังกราฟด้านล่าง



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับแรงดันขาออกจาก pH เซนเซอร์ชนิด ISFET

2.5 ชุดเชื่อมต่อหน่วยความจำ SD/MMC CARD

รูปที่ 2.20 ชุดเชื่อมต่อหน่วยความจำ SD/MMC CARD

Memory card (เมมโมรี่การ์ด) เป็นสื่อจัดเก็บข้อมูลประเภทหน่วยความจำสำรองประเภทหนึ่ง ซึ่งผู้ใช้สามารถบันทึกข้อมูลลงไปได้โดยที่ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ ข้อมูลไม่มีการสูญหายเมื่อปิดสวิตซ์ มีความเร็วสูงในการขนถ่ายเคลื่อนย้ายข้อมูล ส่วนที่ใช้บันทึกข้อมูลของเมมโมรี่การ์ดจะเป็น

ชิป ซึ่งเรียกว่า solid state chips ซึ่งใช้กระบวนการทางไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูล และมีตัวควบคุมการอ่านและเขียนในตัวเอง

ปัจจุบันมีเมมโมรี่การ์ดมากมายหลากหลายแบรนด์และขนาดความจุ เช่น MultiMedia Cards (MMC) , Secure digital card (SD), MicroSD card, CompactFlash card (CF), Memory stick (MS), XD Picture Card

2.5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ SD/MMC CARD

คำว่า SD card หรือ SD ย่อมาจาก Secure Digital เป็นสื่อเก็บข้อมูลที่ได้รับความนิยมมาก ถึงแม้ว่ามันจะไม่ค่อยจะ secure แบบชื่อก็ตาม สำหรับ SD Card นั้นมันก็คือ NAND Flash memory

NAND Flash ถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อเป็นหน่วยเก็บข้อมูลขนาดกลาง มีราคาถูก เก็บข้อมูลได้มาก และมีอายุการใช้งานได้นานกว่า NOR Flash ROM แบบเดิมถึง 10 เท่า ในส่วนของข้อด้อยคือ มีความเร็วในการจัดการข้อมูลช้ากว่า เพราะเป็นโครงสร้างการจัดการแบบ execute in place (XIP) กล่าวคือ กระบวนการทำงานของเครื่องที่ใช้ NAND Flash ROM จำเป็นจะต้องอ่านข้อมูลจาก NAND Flash ROM ก่อน แล้วค่อยเรียกขึ้นไปทำงาน คล้าย ๆ กับการทำงานของฮาร์ดดิสในเครื่องพีซีเดสค์ทอปและ main memory ดังนั้นส่วนของ main memory ที่ใช้ NAND Flash ROM จำเป็นจะต้องมีขนาดค่อนข้างใหญ่ เพื่อใช้สำรองระบบการจัดการข้อมูลแบบนี้ จึงทำให้พื้นที่ของส่วนความจำเพื่อใช้เก็บโปรแกรมและข้อมูลอื่นๆจะเหลือน้อยลง

สำหรับข้อดีของ SD Card ก็คือ ไม่มีส่วนของการเคลื่อนไหวของกลไกต่างๆใน card จึงสามารถทำตกได้โดยไม่เสียหาย และไม่ต้องอาศัยพลังงานใดๆไปหล่อเลี้ยงเอาไว้ ไม่ว่าจะเป็น SD Card , Mini SD หรือ Micro SD มันก็คือหลักการเดียวกัน การทำงานเหมือนกันแต่จะต่างกันที่ขนาดรูปร่าง เพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่ของอุปกรณ์ที่จะใช้งานร่วม

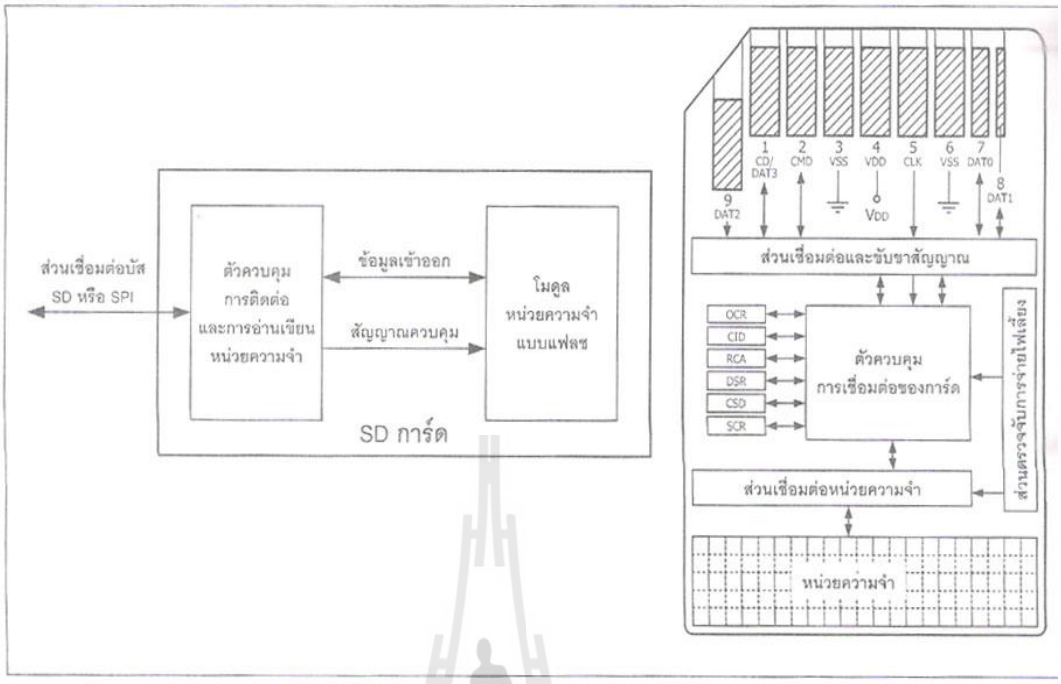
SD Card ในปัจจุบันมีการพัฒนาเรื่อง Speed ความเร็วของข้อมูล โดยจะเห็นว่าเวลาไปซื้อตามร้านจะมี SD Card แบบ Hi Speed ให้เลือกในราคาที่สูงกว่า โดยชื่อของ Card พวก Hi Speed เหล่านี้ก็ตั้งกันแล้วแต่จะเรียกไม่ว่าจะเป็น Ultra , 133x , High Speed ซึ่งมันไม่มีมาตราฐานใดๆ ออกมารับรองแล้วแต่ทางบริษัทของผู้จำหน่ายจะทำตลาดแล้วก็ตั้งชื่อให้ดูเหมือนว่ามันทำงานเร็วและแตกต่างกว่า SD Card แบบธรรมดา ดังนั้นคงไม่สามารถบอกได้ว่า Ultra จะเร็วกว่า High Speed หรือไม่ แต่ที่แน่ๆก็คือ หากเปรียบเทียบ SD Card แบบธรรมดากับพวก SD Card ความเร็วสูงนั้นมันทำงานต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เช่น หากการโอนถ่าย

ข้อมูลด้วย card ธรรมดาอาจจะใช้เวลา สัก 80 วินาที แต่พอมาใช้ SD card แบบความเร็วสูง การโอนถ่ายข้อมูลในขนาดความจุเดียวกันก็จะเหลือที่ประมาณ 30 วินาที

ข้อดีของ card ที่ทำงานด้วยความเร็วสูงก็คือ การแสดงผลต่างๆก็จะทำเร็วขึ้น การบันทึกข้อมูลก็เร็วขึ้น การโอนถ่ายข้อมูลก็เร็วขึ้น SD Card จะกินพลังงานไฟจากเครื่องก็ในช่วงที่มีการโอนถ่ายหรือเรียกใช้ข้อมูลภายใน card ดังนั้นข้อดีอีกอย่างสำหรับ Card ที่ความเร็วสูงก็คือ พอโอนถ่ายข้อมูลด้วยเวลาอันสั้นเครื่องก็จะพลังงานไปกับการอ่านข้อมูลสั้นไปด้วยทำให้ประหยัดไฟมากขึ้น

ภายใน SD card จะมี microcontroller ขนาดเล็กคล้ายกับการทำงานของ CPU ทำหน้าที่คอยดูแลและติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ SD Card ในขณะนั้น เช่น PDA Phone หรือโทรศัพท์มือถือ โดย microcontroller จะทำหน้าที่จัดการเรื่องข้อมูลต่างๆที่ถูกอ่านและถูกเขียนของใน Flash โดย CPU หรือ microcontroller จะทำงานเฉพาะในช่วงที่มีการใช้งานข้อมูลใน card เท่านั้น การทำงานของ SD Card จะเร็วหรือช้านั้นก็ขึ้นอยู่กับความเร็วของ CPU ในเครื่อง PDA Phone หรือ อุปกรณ์ต่างๆด้วย เช่น เมื่อมีการใช้งาน SD Card บน โทรศัพท์ ตัวโทรศัพท์จะส่งข้อมูลแจ้งไปยัง SD card ว่า microcontroller นั้นสามารถรองรับความเร็วสูงสุดที่เท่าไร ก็ให้ใช้ความเร็วนั้น เพราะฉะนั้นหาก clock ของโทรศัพท์ยิ่งเร็ว การทำงานของ card ก็จะเร็วตามไปด้วย โดยข้อมูลจะถูกส่งในแต่ละวินาทีได้รวดเร็วขึ้น

SD การ์ดเป็นหน่วยความจำแบบเขียนและลบใหม่ได้แบบหนึ่งที่ใช้เทคโนโลยีหน่วยความจำแบบแฟลช (Secure digital card) มีลักษณะการทำงานและการติดต่อคล้ายกับการ์ดหน่วยความจำแบบ MMC (Multimedia card) หากแต่ใน SD การ์ดได้บรรจุส่วนการรักษาข้อมูลเข้าไปเพิ่มเติม ในรูปที่ 2.21 แสดงไดอะแกรมการทำงานของ SD การ์ด จะเห็นว่า มีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือโมดูลหน่วยความจำแบบแฟลช และตัวควบคุม การติดต่อกับ SD หรือบัส SPI



รูปที่ 2.21 ไดอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของ SD การ์ด

2.5.2 คุณสมบัติเด่นของ SD การ์ด

SD การ์ดเกิดขึ้นจากความร่วมมือของ 3 บริษัทคือ Matsushita Electric Industrial (MEI), SanDisk Corporation (SanDisk) และ Toshiba Corporation (Toshiba) มีการกำหนดคุณสมบัติต่างๆรวมถึงมาตรฐานการติดต่อที่ชัดเจนภายใต้การกำกับดูแลโดย SD Card Association (www.sdcard.org)

ในปัจจุบัน SD การ์ดได้รับความนิยมสูงมากโดยเฉพาะในอุปกรณ์สารสนเทศสมัยใหม่ ไม่ว่าจะเป็นกล้องดิจิตอล โทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องเล่น MP3 เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจาก SD การ์ดได้รับการออกแบบให้มีความโดดเด่นในทุกด้านที่หน่วยความจำชั้นดีพึงมี 5 ประการ ดังนี้

คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ SD การ์ด

1. สามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 8 GB (ในขณะจัดทำเอกสารนี้)
2. รองรับการติดต่อแบบหนึ่งสายสัญญาณ และแบบ 4 สายสัญญาณ รวมทั้งแบบบัส SPI
3. สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลลิขสิทธิ์ได้
4. สามารถลบ-เขียนใหม่ในแต่ละเซกเตอร์ได้ 100,000 ครั้ง
5. สามารถเก็บรักษาข้อมูลได้นานมากกว่า 10 ปี

2.5.3 ระบบบัสที่ใช้ติดต่อกับ SD การ์ด

การติดต่อกับ SD การ์ดสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

1. ผ่านทางบัส SD
2. บัส SPI

ขาสัญญาณของ SD การ์ด

ขาสัญญาณมาตรฐานของ SD การ์ดมีทั้งสิ้น 9 ขา โดยมีลักษณะเป็นหน้าสัมผัสโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ส่วนการกำหนดชื่อ และหน้าที่ของขาสัญญาณจะแตกต่างกันตามรูปแบบของการติดต่อดังสรุปได้ในตารางที่ 2.2 และ 2.3 โดยในตารางที่ 2.2 เป็นการจัดขาเมื่อติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SD ส่วนตารางที่ 2.3 เป็นการจัดขาเมื่อทำงานผ่านบัส SPI

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อมูลสำคัญของการติดต่อกับ SD การ์ดทั้งแบบบัส SD และ SPI

การติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SD	**การติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SPI**
ใช้สายสัญญาณ 6 เส้น สัญญาณนาฬิกา สัญญาณคำสั่ง (Command) สัญญาณข้อมูล 4 สาย	ใช้สายสัญญาณอนุกรม 3 เส้น สัญญาณนาฬิกา สัญญาณข้อมูลเข้า (DI) สัญญาณข้อมูลออก (DO) สัญญาณเลือกการ์ด CS
มีการป้องกันความผิดพลาดในการถ่ายทอดข้อมูล	สามารถเลือกหรือไม่เลือกการป้องกันความผิดพลาดในการถ่ายทอดข้อมูล
สามารถถ่ายทอดข้อมูลได้ทั้งแบบล็อกเดี่ยวหรือหลายบล็อก	สามารถถ่ายทอดข้อมูลได้ทั้งแบบบล็อกเดี่ยวหือหลายบล็อก

ตารางที่ 2.2 เป็นการจัดขาเมื่อติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SD

หมายเลขขา	ชื่อขาสัญญาณ	ชนิด	คำอธิบาย
1	CD/DAT3	อินพุต/เอาต์พุต	ตรวจสอบการ์ด/สายข้อมูลบิต 3
2	CMD	อินพุต/เอาต์พุต	สัญญาณคำสั่ง/ตรวจสอบการตอบสนอง
3	Vss	สายแหล่งจ่ายไฟ	กราวด์
4	VDD	สายแหล่งจ่ายไฟ	ไฟเลี้ยง
5	CLK	อินพุต	สัญญาณนาฬิกา
6	Vss	สายแหล่งจ่ายไฟ	กราวด์
7	DAT0	อินพุต/เอาต์พุต	สายข้อมูลบิต0
8	DAT1	อินพุต/เอาต์พุต	สายข้อมูลบิต1
9	DAT2	อินพุต/เอาต์พุต	สายข้อมูลบิต2

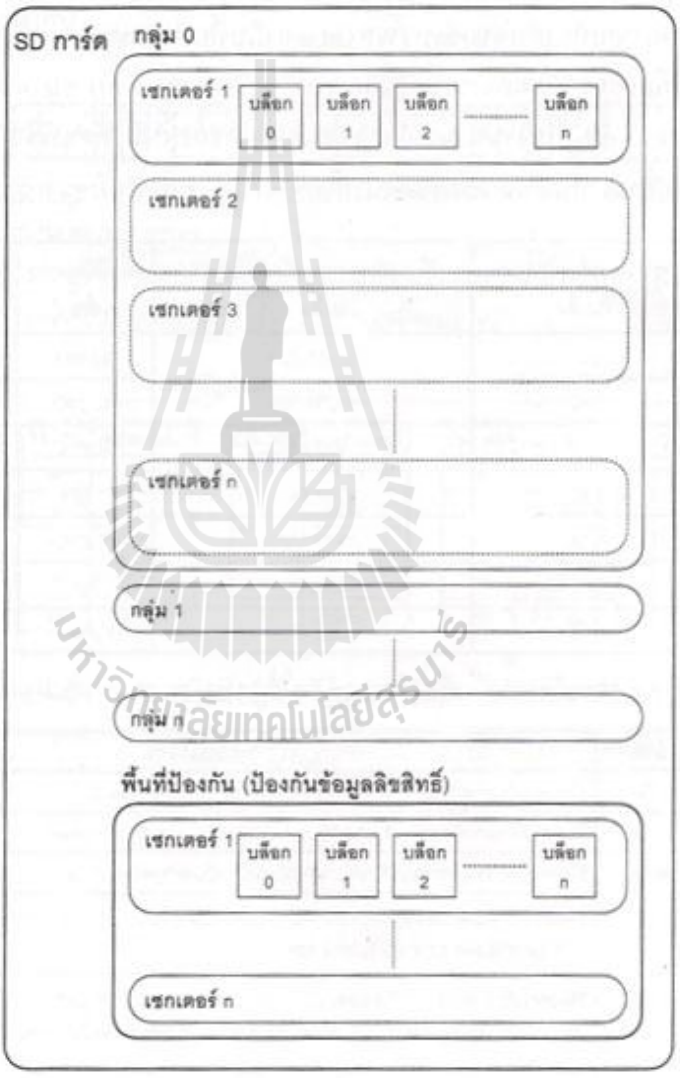
ตารางที่ 2.3 เป็นการจัดขาเมื่อติดต่อ SD การ์ดด้วยบัส SPI

หมายเลขขา	ชื่อขาสัญญาณ	ชนิด	คำอธิบาย
1	CS	อินพุต	สัญญาณเลือกติดต่อ (ลอจิก “0”)
2	DI	อินพุต	สัญญาณข้อมูลเข้าจากโฮสต์
3	Vss1	สายแหล่งจ่ายไฟ	กราวด์
4	VDD	สายแหล่งจ่ายไฟ	ไฟเลี้ยง
5	CLK	อินพุต	สัญญาณนาฬิกา
6	Vss2	สายแหล่งจ่ายไฟ	กราวด์
7	DO0	เอาต์พุต	สัญญาณข้อมูลส่งออกจากการ์ด
8	RSV	อินพุต	สำรองไว้
9	RSV	อินพุต	สำรองไว้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5.4 การจัดแบ่งพื้นที่ของ SD การ์ด

หน่วยที่เล็กสุดของการถ่ายทอดข้อมูลใน SD การ์ดคือ 1 ไบต์ (byte) ส่วนการถ่ายทอดข้อมูลจริงนั้น ควรกระทำในลักษณะบล็อกข้อมูล โดยสามารถกำหนดขนาดของบล็อกได้ โดยในแต่ละบล็อกสามารถบรรจุข้อมูลได้หลายๆ ไบต์ แต่โดยปกติแล้วมักจะเลือกใช้ที่บล็อกละ 512 ไบต์ ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับระบบ FAT (File Allocation Table) หรือตารางสำหรับจัดวางแฟ้มข้อมูลซึ่งใช้ในระบบคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.22 การจัดแบ่งพื้นที่ของ SD การ์ด

จากรูปที่ 2.22 มีการจัดสรรเป็น 3 ส่วนหลักคือ บล็อกข้อมูล เป็นกลุ่มของข้อมูลที่ได้รับการกำหนดขนาดจากผู้ใช้งาน และนำไปใช้ในคำสั่ง และเขียนบล็อกข้อมูล สำหรับการกำหนดและตรวจสอบขนาดของบล็อกข้อมูลสามารถกระทำได้ที่รีจิสเตอร์

เซกเตอร์ เป็นหน่วยของพื้นที่ข้อมูลใน SD การ์ดที่สัมพันธ์กับคำสั่งลบ ใน 1 เซกเตอร์มีหลายบล็อกข้อมูล โดยได้รับการกำหนดมาตายตัวจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบขนาดของเซกเตอร์ได้จากรีจิสเตอร์

กลุ่มป้องกันการเขียน (WP Group) เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำที่ได้รับการจัดแบ่งให้น้อยที่สุดใช้เพื่อบรรจุลิขสิทธิ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดการเขียนทับ ขนาดของพื้นที่จะ ได้รับการกำหนดมาตายตัวเช่นกันผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบขนาดของพื้นที่ได้จากรีจิสเตอร์ CSD

2.5.5 รีจีสเตอร์ของ SD การ์ด

มีทั้งหมด 6 ตัว โดยเป็นรีจิสเตอร์หลักที่ใช้ 4 ตัว รีจิสเตอร์พิเศษ 1 ตัว และรีจิสเตอร์เสริมอีก 1 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การแสดงรีจิสเตอร์ใน SD การ์ด

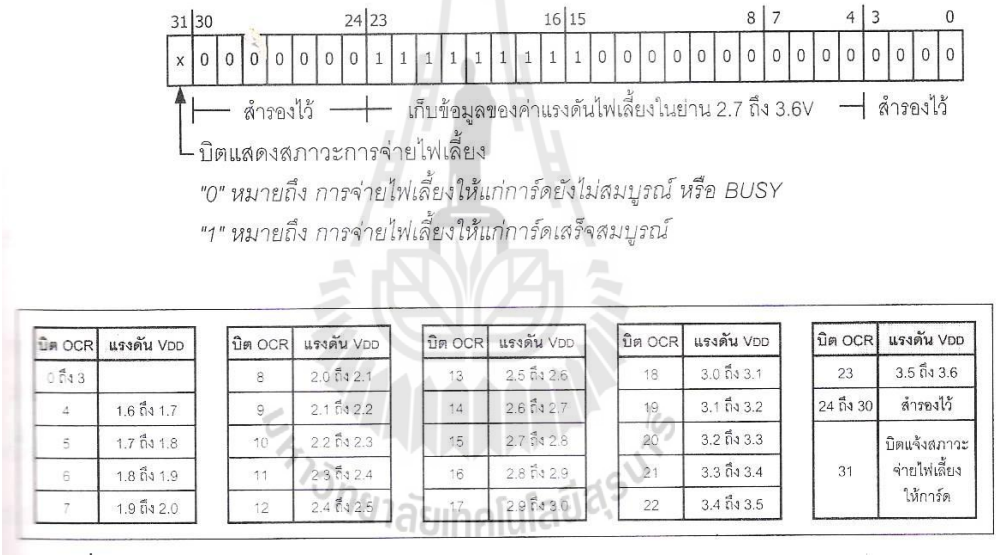
ชื่อริจิสเตอร์	ขนาด	รายละเอียด
OCR	32 บิต	รีจิสเตอร์เก็บสภาวะการทำงาน (Operation Condition Register)
CID	128 บิต	รีจิสเตอร์เก็บค่ารหัสเฉพาะตัวของ SD การ์ด (Card Identification number)
CSD	128 บิต	รีจิสเตอร์เก็บข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะของ SD การ์ด (Card Specific Data)
RCA	16 บิต	รีจิสเตอร์กำหนดค่าแอดเดรสแบบสัมพัทธ์ (Relative Card Address) สามารถกำหนดได้จากโฮสต์ไม่ใช่ในกรณีติดต่อ SD การ์ดในโหมด SPI
SCR	64 บิต	รีจิสเตอร์เก็บค่าคุณสมบัติพิเศษของ SD การ์ด (SD Configuration Register) เป็นรีจิสเตอร์พิเศษ ไม่มีใช้ใน MMC (เนื่องจาก MMC มีการติดต่อคล้ายกับ SD การ์ดมาก ดังนั้นใน MMC จะมีรีจิสเตอร์ 4 ตัว ให้ใช้งาน)
DSR	16 บิต	รีจิสเตอร์เสริมสำหรับเก็บค่าคุณสมบัติของไดรเวอร์ทางเอาต์พุต (Driver Stage Register) - ใช้กับSDIO การ์ด

➔รีจิสเตอร์ OCR (Operating condition register)

เป็นรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลของค่าแรงดันไฟเลี้ยงของ SD การ์ด สำหรับตรวจสอบแรงดันของ SD การ์ด ปกติแรงดันไฟเลี้ยงของ SD การ์ดอยู่ในช่วง 2.7 V ถึง 3.6 V ดังนั้นค่าของรีจิสเตอร์ OCR ควรเท่ากัน

➔รีจิสเตอร์ CID (Card identification register)

เป็นรีจิสเตอร์ที่มีความยาว 16 ไบต์ ใช้ในการเก็บข้อมูลเฉพาะของ SD การ์ด ซึ่งกำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้ โดยค่าและความหมายของข้อมูลในรีจิสเตอร์ CID ใน SD การ์ดจะแตกต่างจาก MMC



บิต OCR	แรงดัน VDD
0 ถึง 3	
4	1.6 ถึง 1.7
5	1.7 ถึง 1.8
6	1.8 ถึง 1.9
7	1.9 ถึง 2.0

บิต OCR	แรงดัน VDD
8	2.0 ถึง 2.1
9	2.1 ถึง 2.2
10	2.2 ถึง 2.3
11	2.3 ถึง 2.4
12	2.4 ถึง 2.5

บิต OCR	แรงดัน VDD
13	2.5 ถึง 2.6
14	2.6 ถึง 2.7
15	2.7 ถึง 2.8
16	2.8 ถึง 2.9
17	2.9 ถึง 3.0

บิต OCR	แรงดัน VDD
18	3.0 ถึง 3.1
19	3.1 ถึง 3.2
20	3.2 ถึง 3.3
21	3.3 ถึง 3.4
22	3.4 ถึง 3.5

บิต OCR	แรงดัน VDD
23	3.5 ถึง 3.6
24 ถึง 30	สำรองไว้
31	บิตแจ้งสภาวะจ่ายไฟเลี้ยงให้การ์ด

รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ของบิตข้อมูลในรีจิสเตอร์ OCR กับแรงดันของ SD การ์ด

➔รีจิสเตอร์ CSD (Card specific data)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 ไบต์ (128 บิต) ที่ใช้เก็บข้อมูลคุณสมบัติเฉพาะของ SD การ์ด ซึ่งมีรายละเอียดค่อนข้างมากเพราะรีจิสเตอร์นี้บรรจุข้อมูลเกี่ยวกับความจุ อัตราเร็วในการถ่ายทอดข้อมูล แรงดันและกระแสไฟฟ้า ในขณะอ่านและเขียนข้อมูล รูปแบบของไฟล์ การป้องกันข้อมูล การลบและข้อมูลเกี่ยวกับการเขียนข้อมูลลงใน SD การ์ด สำหรับในการทดลองนี้เลือกใช้ 2 ข้อมูลคือ C_SIZE (บิต 73: 62) และ C_SIZE_MUL(บิต 49:47) เพื่อนำมาคำนวณหาความจุของ SD การ์ดที่ติดต่อด้วย

ส่วนข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติมของรีจิสเตอร์ตัวนี้สามารถอ่านได้จากไฟล์ดาต้าชีทของ SD การ์ดในซีดีรอมที่จัดมาพร้อมกับบอร์ด JX-2148

➔รีจิสเตอร์ RCA (Relative card address)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตใช้เก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำแบบสัมพันธ์ ซึ่งทางโฮสต์ (หมายถึง คอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์) สามารถเลือกกำหนดได้ อย่างไรก็ตาม หากเลือกการติดต่อ SD การ์ดแบบ SPI จะไม่สามารถติดต่อกับรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้

➔รีจิสเตอร์ SCR (SD Configuration register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 64 บิต ที่ใช้เก็บค่าคุณสมบัติพิเศษของ SD การ์ด ที่เพิ่มเติมนอกเหนือไปจากที่เก็บในรีจิสเตอร์ CSD ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้ได้รับการกำหนดมาจากผู้ผลิตเช่นกัน มีทั้งสิ้น 5 ข้อมูล คือ ข้อมูลเวอร์ชันของ SCR (บิต 63:60 รวม 4 บิต) ข้อมูลเวอร์ชันของคุณสมบัติทางกายภาพของ SD การ์ด (บิต 59:56 รวม 4 บิต ใช้จริงบิตเดียว) ข้อมูลสถานะของข้อมูลหลังจากการลบ (1 บิตคือ บิต 55) ข้อมูลกำหนดระดับการป้องกัน (บิต 54 : 52 รวม 3 บิต) ข้อมูลแจ้งการรับรองขนาดของข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดได้ของ SD การ์ด (บิต 47:32) และสำรองสำหรับใช้เฉพาะผู้ผลิตอีก 32 บิต (บิต 31: 0)

➔รีจิสเตอร์ DSR (Drive stage register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต สำหรับเก็บค่าคุณสมบัติของไดร์เวอร์ทางเอาต์พุตของ SDIO การ์ดจะมีความแตกต่างกันไปในอุปกรณ์เอาต์พุตแต่ละตัว

ดังนั้น รีจิสเตอร์หลักๆที่ใช้จะมี 3 ถึง 4ตัวคือ OCR, CID, CSD และ RCA สำหรับการทดสอบเบื้องต้นจะใช้เพียง 2 ตัวคือ CID และ CSD

รีจิสเตอร์แสดงสถานะ การทำงานของ SD การ์ดมี 2 ตัว คือ Card status และ SD Status โดย Card status มีขนาด 32 บิตใช้แสดงสถานะ การทำงานปกติ มีการทำงานเหมือนกับของ MMC การ์ด SD Status มีขนาด 512 บิต สามารถแสดงสถานะ การทำงานพิเศษที่เพิ่มเติมไปจาก Card status โดยข้อมูลสถานะจะถูกส่งส่งลงไปบนสายนำสัญญาณ DAT พร้อมกับรหัสตรวจสอบ CRC 16 บิต

รีจิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้มีการจำแนกชนิดของสถานะ การทำงานออกเป็น 4 แบบ และสามารถเคลียร์บิตได้ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันอีก 3 เงื่อนไข สามารถสรุปได้ดังนี้

• ชนิดของของสถานะการทำงาน

E - บิตแจ้งความผิดพลาด

S - บิตแจ้งสถานะ

R - บิตแจ้งการตรวจจับและเซตเมื่อได้รับการตอบสนองคำสั่ง

X - บิตแจ้งการตรวจจับและเซตในขณะที่กำลังกระทำคำสั่ง หากต้องการอ่านบิตนี้ ซีพียูจะต้องส่งคำสั่งอ่านสถานะมายัง SD การ์ดก่อน

• เงื่อนไขในการเคลียร์บิตแจ้งสถานะ

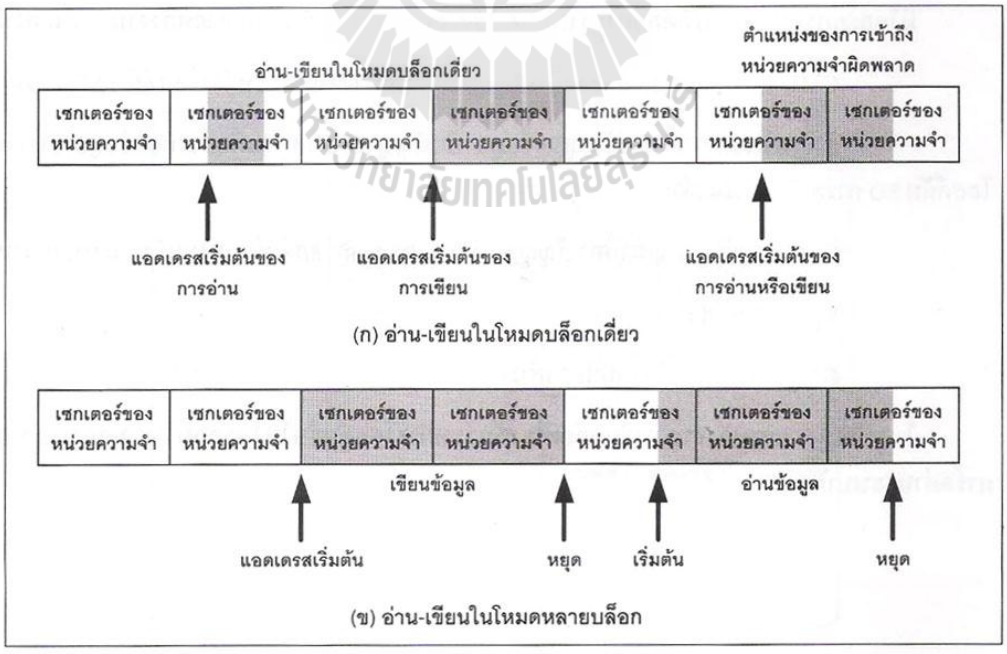
A - เคลียร์ด้วยกระบวนการทำงานตามปกติ

B - เคลียร์เนื่องจากผลของคำสั่งก่อนหน้า ดังนั้นบิตสถานะจะเคลียร์หลังจากทำงานผ่านไป 1 คำสั่ง หรือเป็นการสั่งเคลียร์บิตสถานะโดยตรง

C - เคลียร์ด้วยการอ่าน

2.5.6 กระบวนการอ่าน-เขียน SD การ์ด

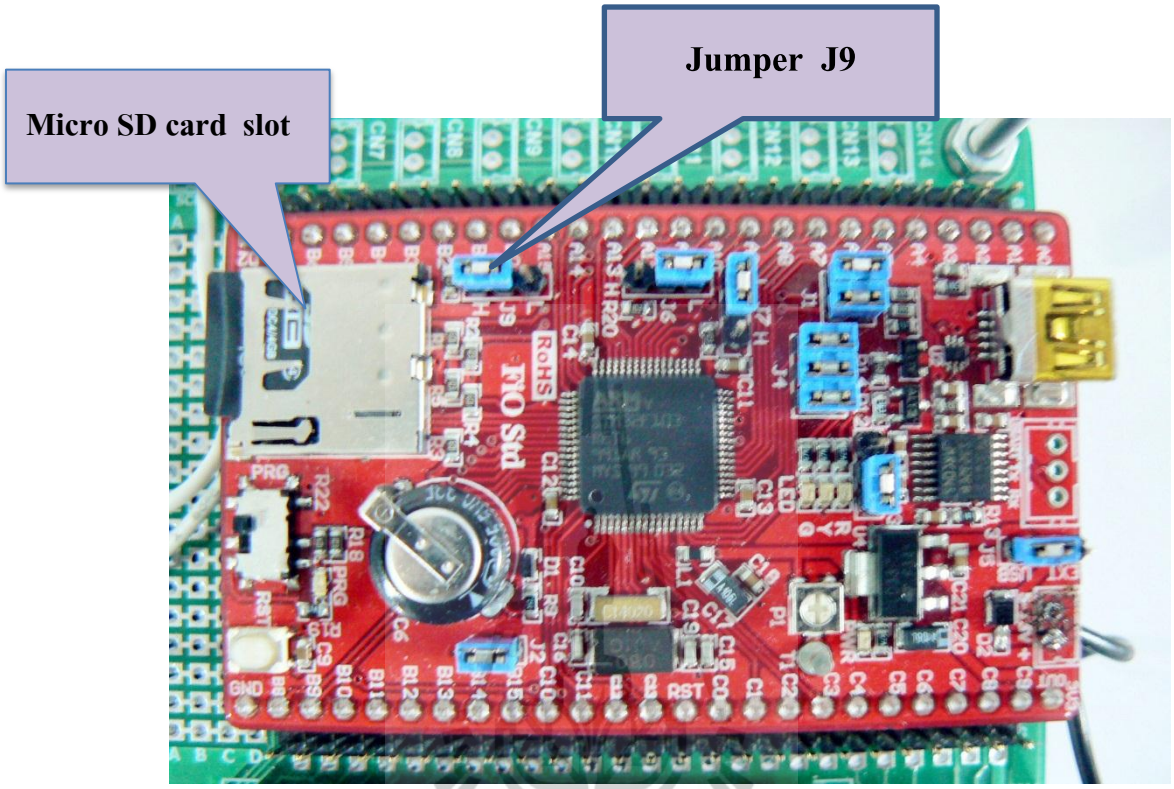
SD การ์ดมีกระบวนการอ่าน-เขียนข้อมูล 2 โหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.25 โดยมีอัตราการถ่ายทอดข้อมูล 25 เมกะบิตต่อวินาทีในกรณีใช้สายเดียว (ติดต่อแบบบัส SPI) และ 100 เมกะบิตต่อวินาทีในกรณีใช้สายข้อมูล 4 เส้น (ติดต่อแบบบัส SD)



รูปที่ 2.24 กระบวนการอ่าน-เขียนข้อมูลของ SD การ์ด

2.5.7 การติดต่อกับ SD Card กับบอร์ด FiO Std

การติดต่อกับ SD Card กับบอร์ด FiO Std แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.25 การติดต่อ SD Card กับ FiO Std board

1. เมื่อทำการรันโปรแกรมเสร็จ ทำการสับสวิตช์ (ไฟเขียวดับ) แล้วกด Reset ให้ทำการเปลี่ยนโหมด FiO board ไปอยู่ในโหมด SD Card reader โดยการย้าย Jumper J9 จาก Hight ไป Low แล้วกดปุ่ม Reset 1 ครั้ง (ถ้าเข้าโหมด SD Card ถูกต้อง ไฟแดงจะติด)

2. พร้อมบันทึกค่าโดยการย้าย Jumper J9 จาก Low ไป Hight แล้วกดปุ่ม Reset 1 ครั้ง

3. เปลี่ยนสวิตช์ ให้อยู่ในโหมดโปรแกรม (ไฟเขียวติด) แล้วกด Reset 1 ครั้ง

4. ทำการ Build โปรแกรม โดย การ update diagram ก่อน 2 ครั้ง

5. กดปุ่ม Ctrl+B เสร็จแล้ว ทำการรันโปรแกรม โปรแกรมก็จะทำการบันทึกค่า pH ลงใน SD Card

6. ถ้าต้องการดูข้อมูล ทำโดยการย้าย Jumper J9 จาก Hight ไป Low แล้วกดปุ่ม Reset 1 ครั้ง ซึ่งสามารถไปดูข้อมูลใน SD Card ได้

7. สามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และประมวณผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้

บทที่ 3
การออกแบบฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานของฮาร์ดแวร์ แผนภาพระบบทั้งหมด ซอฟต์แวร์ แผนภาพ(Flow chart) ของโปรแกรมที่ใช้งาน Rapids TM 32 Block set (การวาด simulink ใน math lab) การคำนวณค่า pH และสรุป

3.2 ฮาร์ดแวร์

ฮาร์ดแวร์ หมายถึง อุปกรณ์ต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเป็นโครงร่างสามารถมองเห็นด้วยตาและสัมผัสได้ (รูปธรรม) เช่น จอภาพ คีย์บอร์ด เครื่องพิมพ์ เมาส์ เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ตามลักษณะการทำงาน ได้ 4 หน่วย คือ หน่วยรับข้อมูล (Input Unit) หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) หน่วยแสดงผล (Output Unit) หน่วยเก็บข้อมูลสำรอง (Secondary Storage) โดยอุปกรณ์แต่ละหน่วยมีหน้าที่การทำงานแตกต่างกัน

1. หน่วยรับข้อมูล (Input) หมายถึงกระบวนการป้อนข้อมูล คำสั่ง โปรแกรมเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนการโต้ตอบของผู้ใช้โปรแกรม กับเครื่องคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้คำว่า input ยังหมายถึงอุปกรณ์ซึ่งสามารถป้อนข้อมูลและคำสั่ง หรือโปรแกรมเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ได้

2. หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) หรือไมโครโพรเซสเซอร์ของไมโครคอมพิวเตอร์ มีหน้าที่นำคำสั่งและข้อมูลที่เก็บไว้ใน หน่วยความจำมาแปลความหมายและกระทำตามคำสั่งพื้นฐานของไมโครโพรเซสเซอร์ ซึ่งแทนด้วยรหัสเลขฐานสอง การทำงานของคอมพิวเตอร์ ใช้หลักการเก็บคำสั่งไว้ที่หน่วยความจำ ซีพียูอ่านคำสั่งจากหน่วยความจำมาแปล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ความหมาย และกระทำตามเรียงกันไปทีละคำสั่ง หน้าที่หลักของซีพียู คือควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ทั้งระบบ ตลอดจนทำการประมวลผล

3.2.1 กลไกการทำงานของซีพียู

กลไกการทำงานของซีพียู มีความสลับซับซ้อน ผู้พัฒนาซีพียูได้สร้างกลไกให้ทำงานได้ดีขึ้น โดยแบ่งการทำงาน เป็นส่วน ๆ มีการทำงานแบบขนาน และทำงานเหลื่อมกันเพื่อให้ทำงานได้เร็วขึ้น

รูปที่ 3.1 กลไกการทำงานของซีพียู

ประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 4 ส่วน คือ

1. หน่วยควบคุม (Arithmetic and logic unit)

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน ควบคุมการเขียนอ่านข้อมูลระหว่างหน่วยความจำของซีพียู ควบคุมกลไกการทำงาน ทั้งหมดของระบบ ควบคุมจังหวะเวลา โดยมีสัญญาณนาฬิกา เป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงาน

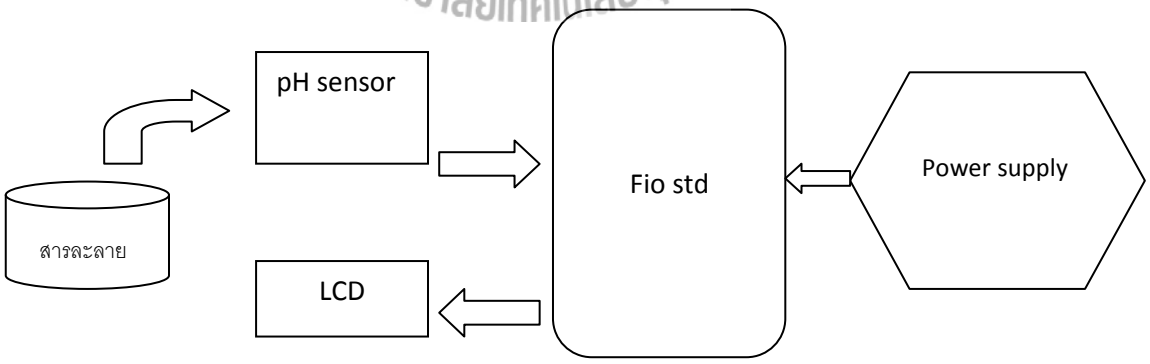
2. หน่วยคำนวณ (Control Unit)

เป็นหน่วยที่มีหน้าที่นำเอาข้อมูลที่เป็นตัวเลขฐานสองมาประมวลผลทางคณิตศาสตร์ และตรรกะ เช่น การบวก การลบ การเปรียบเทียบ และ การสลับตัวเลข เป็นต้นการคำนวณทำได้เร็วตามจังหวะการควบคุมของหน่วยควบคุม

3. หน่วยแสดงผล (Output Unit) คือ มีอุปกรณ์ส่งออก (output device) ทำหน้าที่แสดงผลจากการประมวลผล โดยนำผลที่ได้ออกจาก หน่วยความจำหลักแสดงให้ผู้ใช้ได้เห็นทาง อุปกรณ์ส่งออก อุปกรณ์ส่งออกที่นิยมใช้ส่วนใหญ่คือ จอภาพ LCD และเครื่องพิมพ์

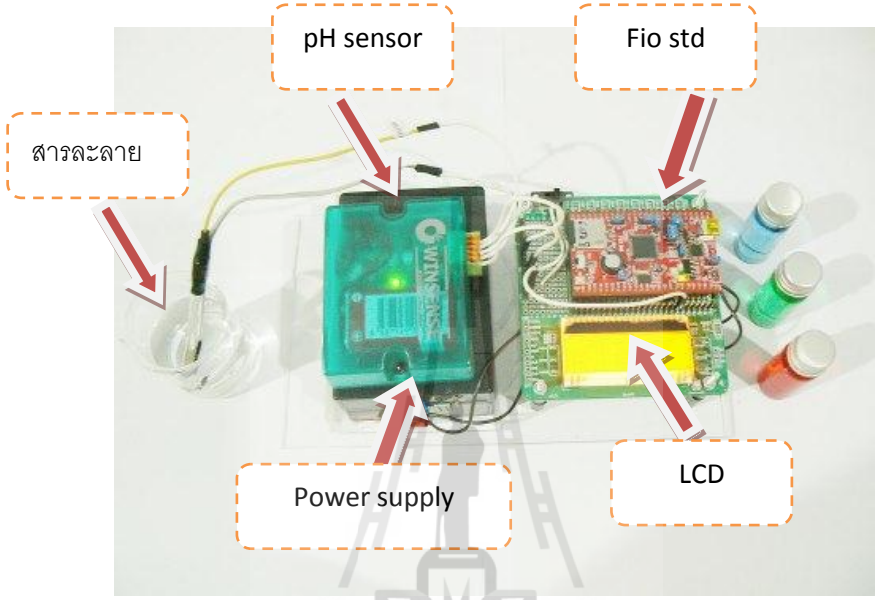
4. หน่วยเก็บข้อมูลสำรอง (Secondary Storage) ทำหน้าที่เป็นหน่วยเก็บข้อมูลและโปรแกรมชั่วคราว (temporary storage)เมื่อปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ข้อมูลหรือโปรแกรมทุกอย่าง ที่เก็บในแรมจะหายไป เนื่องจากไม่มีกระแสไฟฟ้าหล่อเลี้ยง หน่วยเก็บข้อมูลประเภทนี้จึงเรียกว่า volatile ดังนั้นจัดเก็บข้อมูลอย่างถาวร ไว้ใช้งานในภายหลัง จึงจำเป็นจะต้องมีหน่วยเก็บข้อมูลภายนอกที่เรียกว่า external storage หรือ secondary storage หรือ auxiliary storage ซึ่งสามารถจัดเก็บข้อมูลสำหรับการประมวลผลไว้ได้ถึงแม้ว่าจะไม่มีกระแสไฟฟ้าหล่อเลี้ยงก็ตาม กระบวนการในการเก็บข้อมูล เรียกว่า การเขียนหรือการบันทึกข้อมูล (writing หรือ recording data) เนื่องจากว่า อุปกรณ์เก็บข้อมูลสำรอง จะบันทึกข้อมูลในรูปของสื่อต่างๆที่สามารถนำมาเรียกในภายหลังได้ กระบวนการดึงข้อมูลมาใช้เรียกว่า retrieving data และถ้าเป็นการอ่านข้อมูลจะเรียกว่า reading data เพราะอุปกรณ์เก็บข้อมูลสำรองจะอ่านข้อมูลและถ่ายโอนไปยังหน่วยความจำหลัก เพื่อการประมวลผลต่อไป

3.2.2 แผนภาพระบบทั้งหมด



รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของเครื่องวัดค่า pH

ระบบของเครื่องวัดค่า pH มีหลักการทำงานดังนี้คือ เครื่อง pH sensor รับค่าสารละลายมา แล้วส่งค่าไปที่ Fio std ทำการประมาณผล โดยมี Power supply ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟแล้ว Fio std ทำการแสดงผล ออกทางหน้าจอ LCD ดังได้แสดงในแผนภาพรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การทำงานของเครื่องวัดค่า pH

3.3 ซอฟต์แวร์ (Software)

ซอฟต์แวร์ (Software) หมายถึง ส่วนที่มนุษย์สัมผัสไม่ได้โดยตรง (นามธรรม) เป็นโปรแกรมหรือชุดคำสั่งที่ถูกเขียนขึ้นเพื่อสั่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงาน ซอฟต์แวร์จึงเป็นเหมือนตัวเชื่อมระหว่างผู้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้าไม่มีซอฟต์แวร์เราก็ไม่สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำอะไรได้เลย ซอฟต์แวร์สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น

1. ซอฟต์แวร์สำหรับระบบ (System Software) คือ ชุดของคำสั่งที่เขียนไว้เป็นคำสั่งสำเร็จรูป ซึ่งจะทำงานใกล้ชิดกับคอมพิวเตอร์มากที่สุด เพื่อคอยควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ทุกอย่าง และอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ในการใช้งาน ซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมระบบที่รู้จักกันดีก็

คือ DOS, Windows, Unix, Linux รวมทั้งโปรแกรมแปลคำสั่งที่เขียนในภาษาระดับสูง เช่น ภาษา Basic, Fortran, Pascal, Cobol, C เป็นต้น นอกจากนี้โปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบระบบเช่น Norton's Utilities ก็นับเป็นโปรแกรมสำหรับระบบด้วยเช่นกัน

2. ซอฟต์แวร์ประยุกต์ (Application Software) คือ ซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมที่มาให้คอมพิวเตอร์ทำงานต่างๆ ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ไม่ว่าจะด้านเอกสาร บัญชี การจัดเก็บข้อมูล เป็นต้น ซอฟต์แวร์ประยุกต์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1 ซอฟต์แวร์สำหรับงานเฉพาะด้าน คือ โปรแกรมซึ่งเขียนขึ้นเพื่อการทำงานเฉพาะอย่างที่เราต้องการ บางที่เรียกว่า User's Program เช่น โปรแกรมการทำบัญชีจ่ายเงินเดือน โปรแกรมระบบเช่าซื้อ โปรแกรมการทำสินค้าคงคลัง เป็นต้น ซึ่งแต่ละโปรแกรมก็มักจะมีเงื่อนไขหรือแบบฟอร์มแตกต่างกันออกไปตามความต้องการ หรือกฎเกณฑ์ของแต่ละหน่วยงานที่ใช้ ซึ่งสามารถดัดแปลงแก้ไขเพิ่มเติม (Modifications) ในบางส่วนของโปรแกรมได้ เพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ และซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่เขียนขึ้นนี้โดยส่วนใหญ่มักใช้ภาษาระดับสูงเป็นตัวพัฒนา

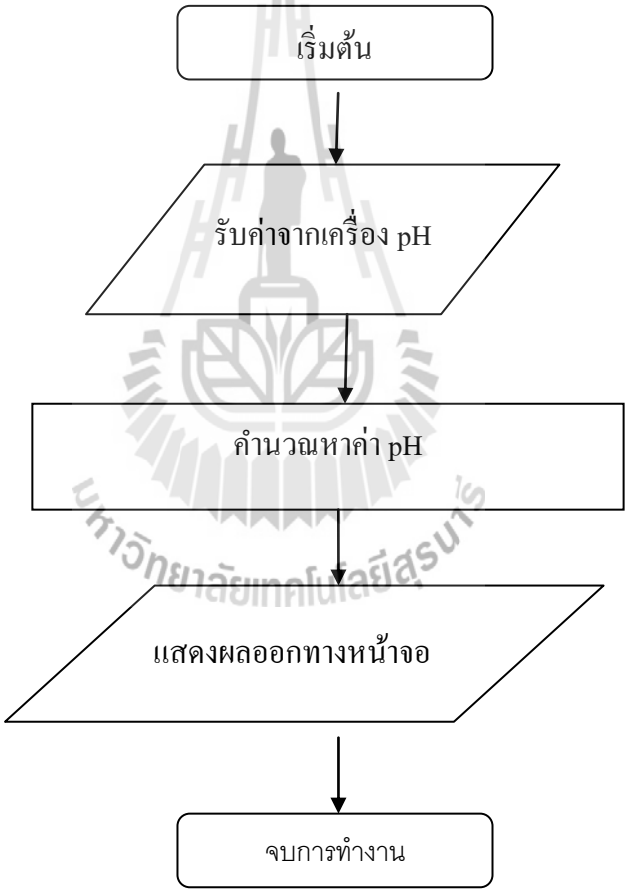
2.2 ซอฟต์แวร์สำหรับงานทั่วไป เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่มีผู้จัดทำไว้ เพื่อใช้ในการทำงานประเภทต่างๆ ทั่วไป โดยผู้ใช้คนอื่นๆ สามารถนำโปรแกรมนี้ไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลของตนได้ แต่จะไม่สามารถทำการดัดแปลง หรือแก้ไขโปรแกรมได้ ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมเอง ซึ่งเป็นการประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการเขียนโปรแกรม นอกจากนี้ ยังไม่ต้องเวลามากในการฝึกและปฏิบัติ ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูปนี้ มักจะมีการใช้งานในหน่วยงานมราขาดบุคลากรที่มีความชำนาญเป็นพิเศษในการเขียนโปรแกรม

โดยในการทำโครงงานในครั้งนี้ ได้ประกอบด้วยซอฟต์แวร์ ดังนี้

3.3.1 แผนภาพ (Flow chart)

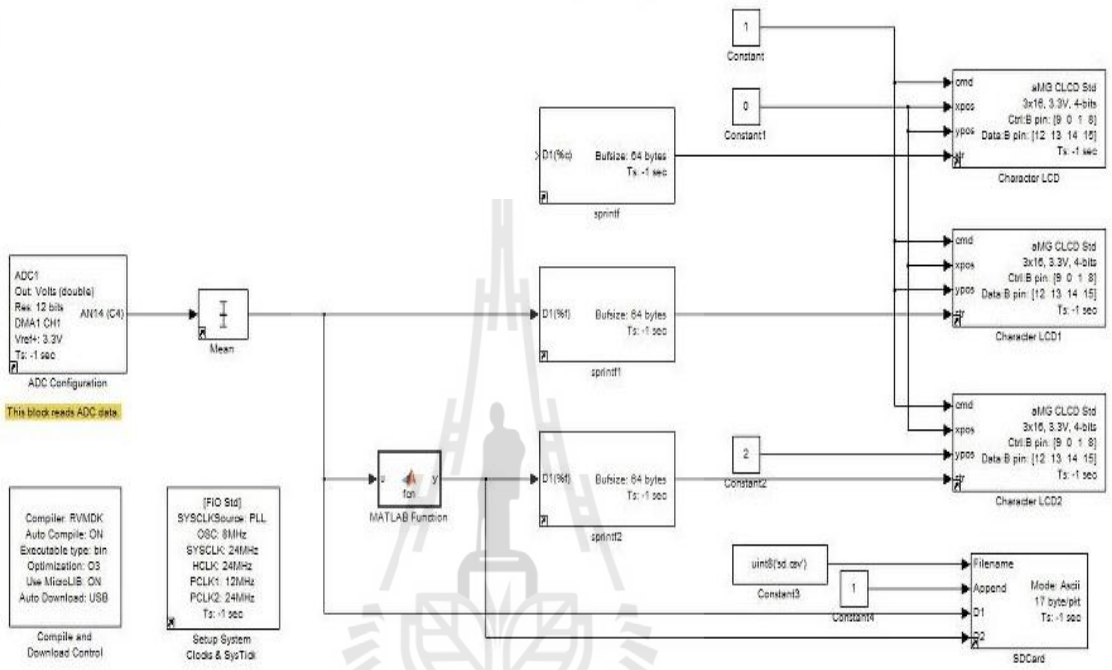
3.3.1.1 แผนภาพ Flow chart การทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมที่ป้อนลงบอร์ดจะทำการรับค่ามาจากเครื่อง pH sensor ผ่าน Fio std แล้วส่งมาที่โปรแกรม จากนั้นทำการคำนวณค่าแรงดันที่เข้าบอร์ด แปลงเป็นค่า pH จากนั้นแสดงผลที่คำนวณได้ ในหน้าจอ LCD ของบอร์ด Fio std ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แผนภาพ Flow chart การทำงานของโปรแกรม

3.3.1.2 แผนภาพโปรแกรม MATLAB แสดงเป็น Simulink

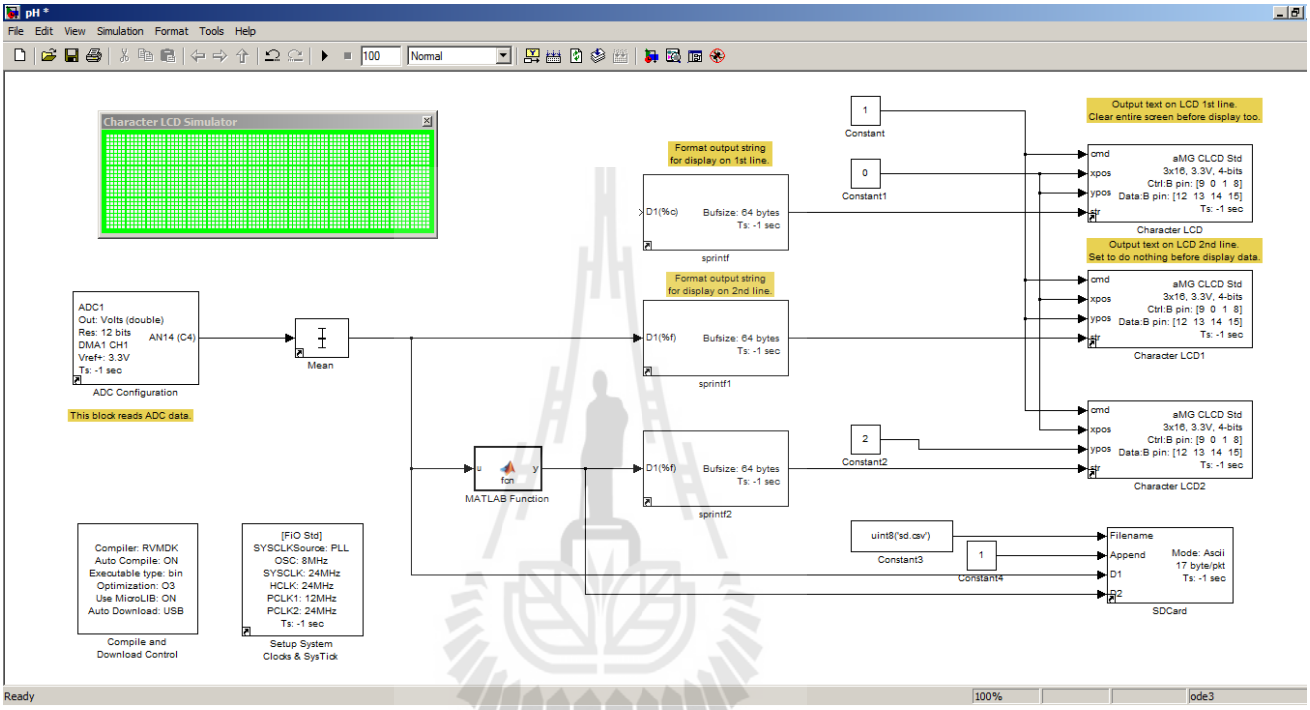


รูปที่ 3.5 แผนภาพโปรแกรม MATLAB แสดงเป็น simulink

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3.2 Rapids TM 32 Block set

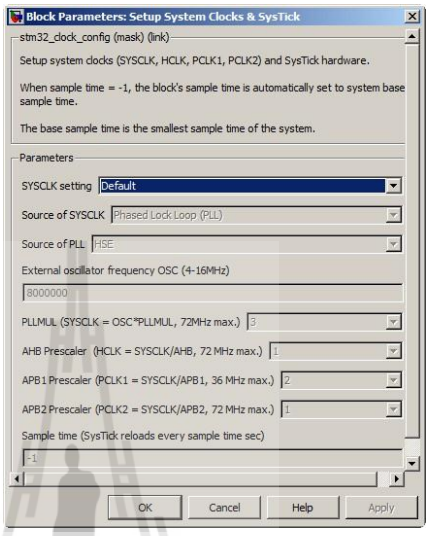
- Block Simulink



รูปที่ 3.6 Simulink ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดค่า pH

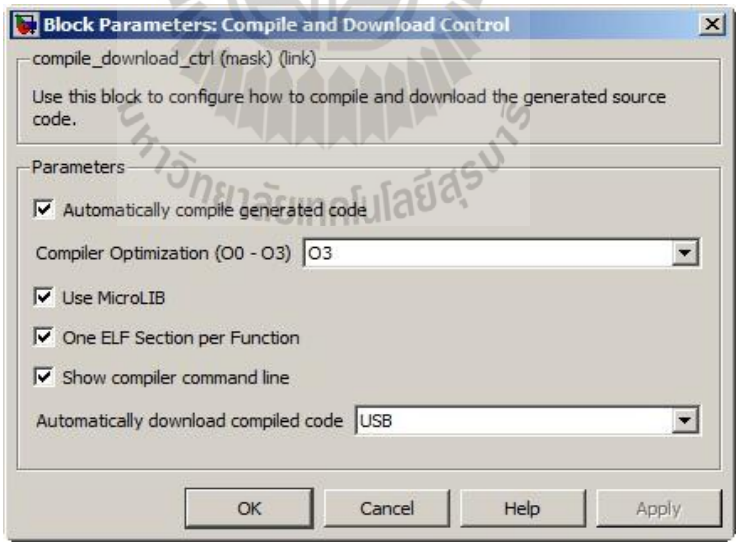
สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ทำการสร้าง Device Configuration บล็อก Setup System Clocks & SysTick มีการตั้งพารามิเตอร์ Default ตามรูปที่ 3.7



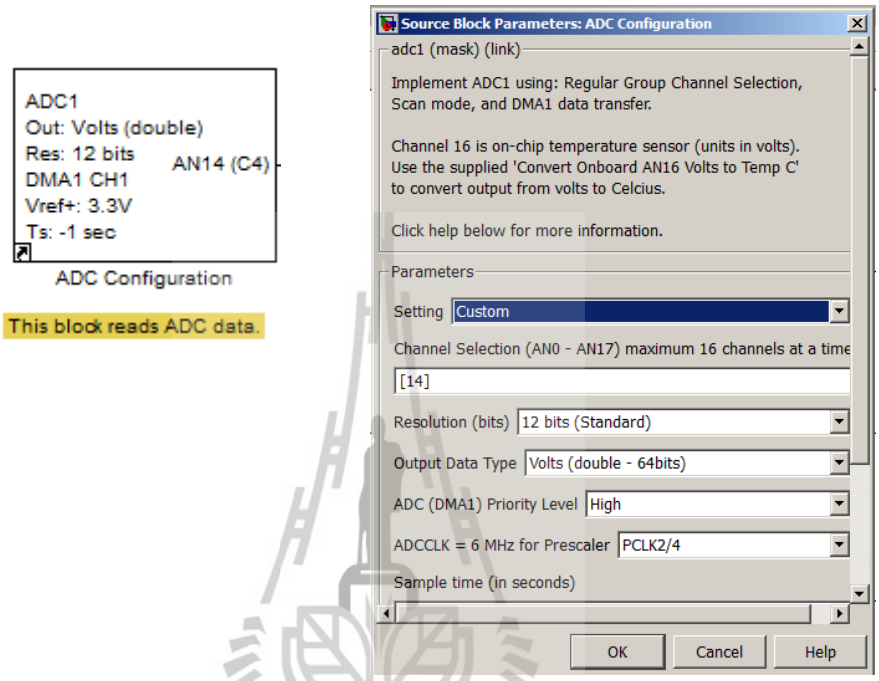
รูปที่ 3.7 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดใน Setup System Clocks & Systick

บล็อก Compile and Download Control มีการตั้งพารามิเตอร์ตามรูปที่ 3.8



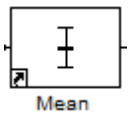
รูปที่ 3.8 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดใน Compile and Download Control

2. บล็อก ADC Configuration มีการตั้งพารามิเตอร์เพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล และใช้ช่องสัญญาณเข้าช่องที่ 14 ตามรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดใน ADC Configuration

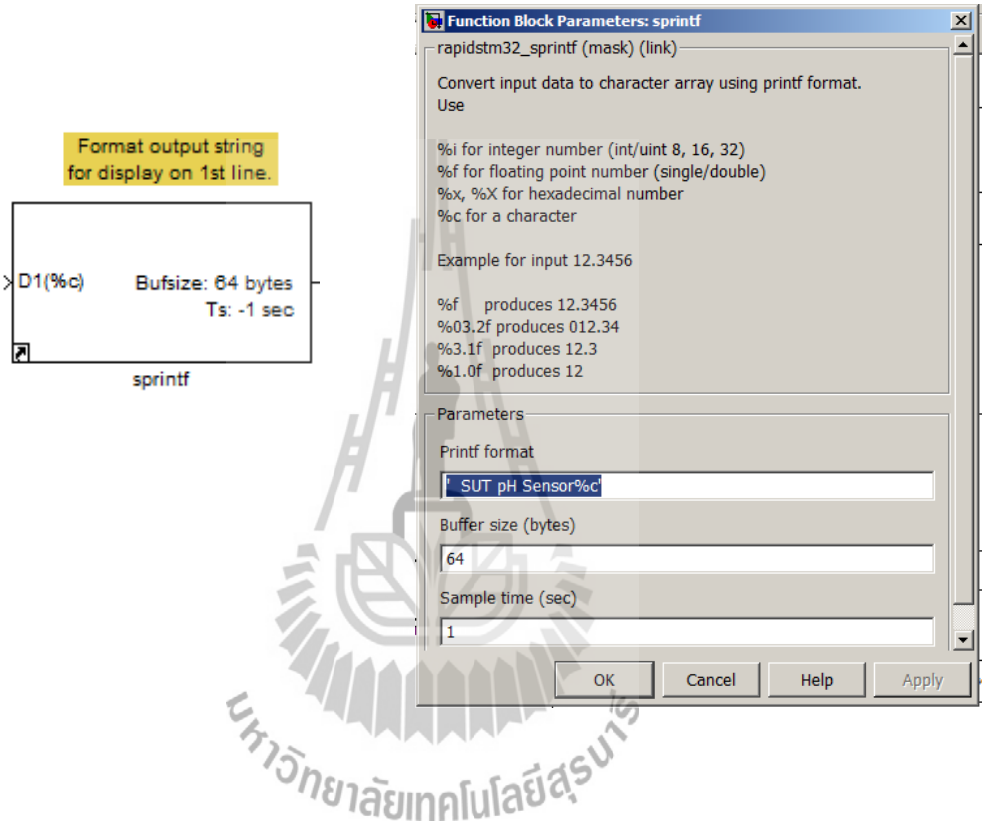
3. บล็อก Mean ใช้ในการหา ค่าเฉลี่ย คือ ค่ากลาง ซึ่งคำนวณจากผลบวกของข้อมูลและหารด้วยจำนวนของข้อมูล



รูปที่ 3.10 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดใน Mean

4. บล็อก sprintf ใช้เชื่อมต่อกับ บล็อก Character LCD เพื่อแสดงตัวอักษรที่กำหนดในบรรทัดต่างๆ บนจอ LCD ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

Sprintf รับค่าที่เป็นตัวเลขออกมา แล้วมาจัดรูปให้อยู่ในรูปประเภท string



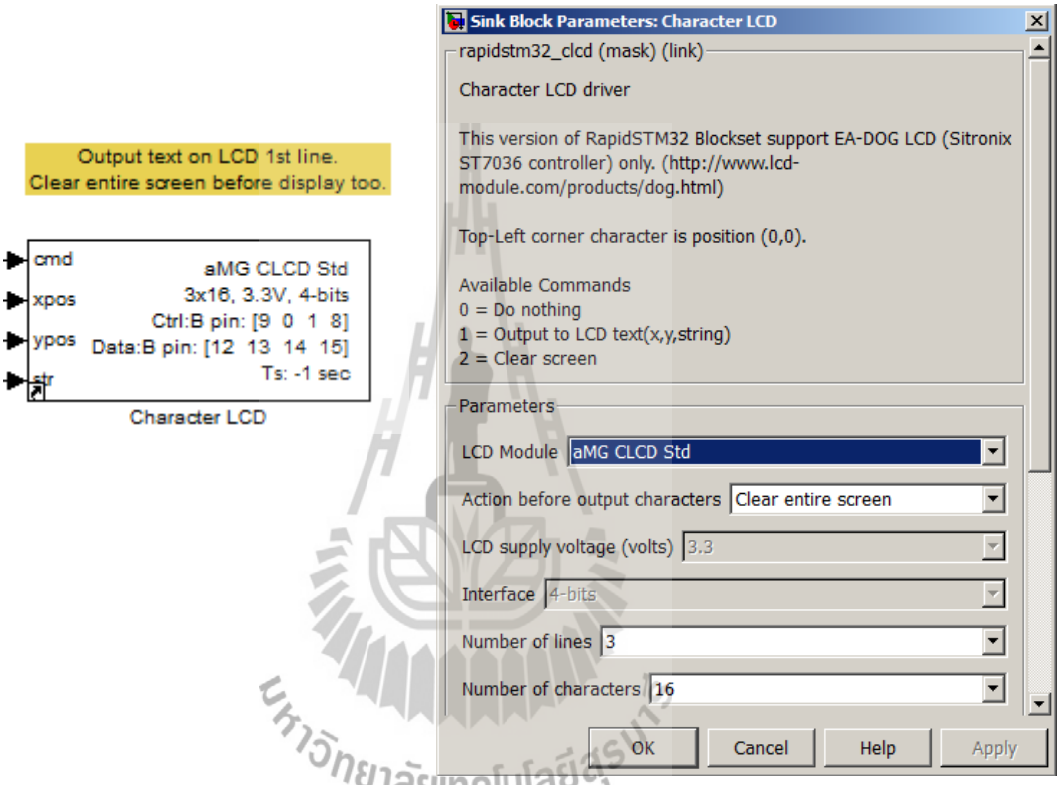
รูปที่ 3.11 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดใน sprintf

5. บล็อก Character LCD ทำหน้าที่รับ string แล้วไปแสดงผล

Cmd : Commands ตั้งค่าให้เป็น 1 เพื่อแสดงผล

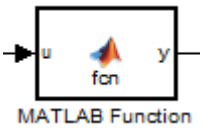
Xpos: X position ตำแหน่งแถว

Ypos: Y position ตำแหน่งคอลัมน์



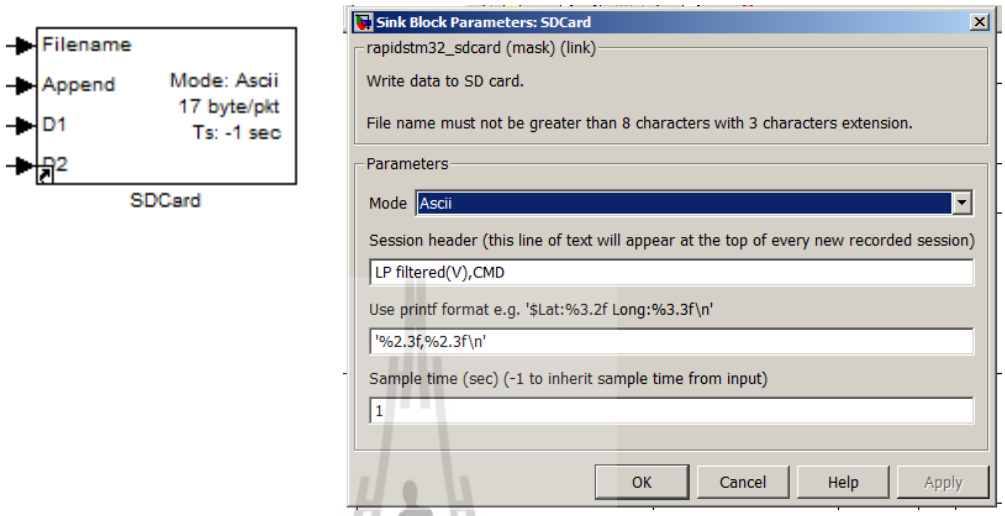
รูปที่ 3.12 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดใน Character LCD

6. บล็อก MATLAB Function ทำการประมวลผลระบบโดยสมการ



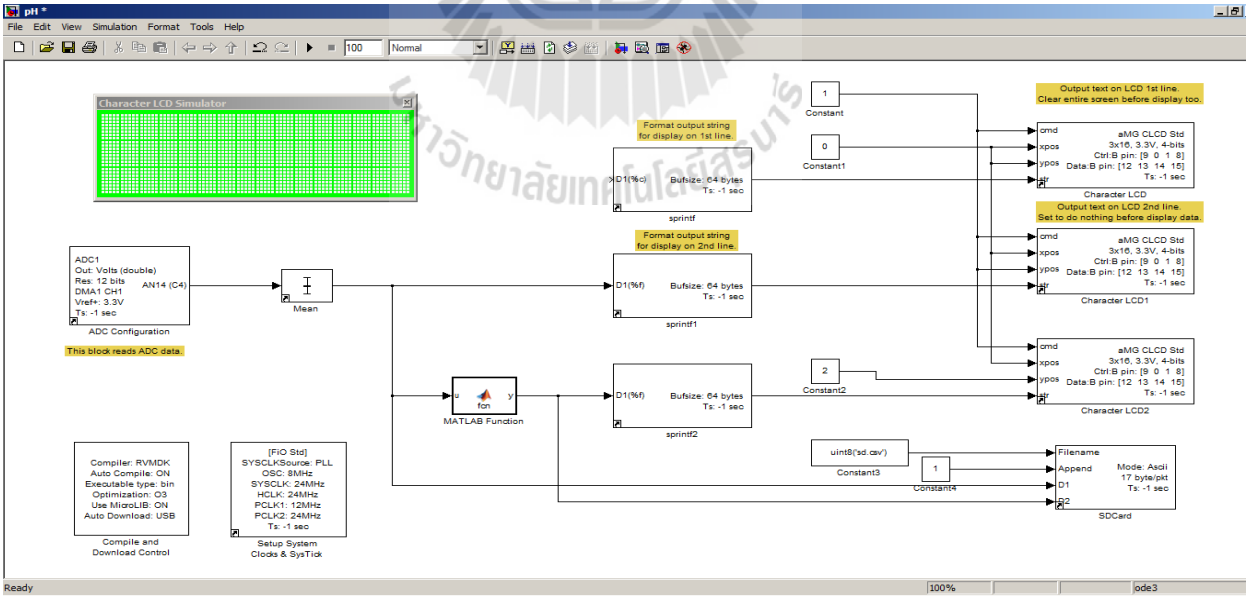
รูปที่ 3.13 บล็อก MATLAB Function

7. บล็อก SD Card ใช้ในการบันทึกข้อมูล



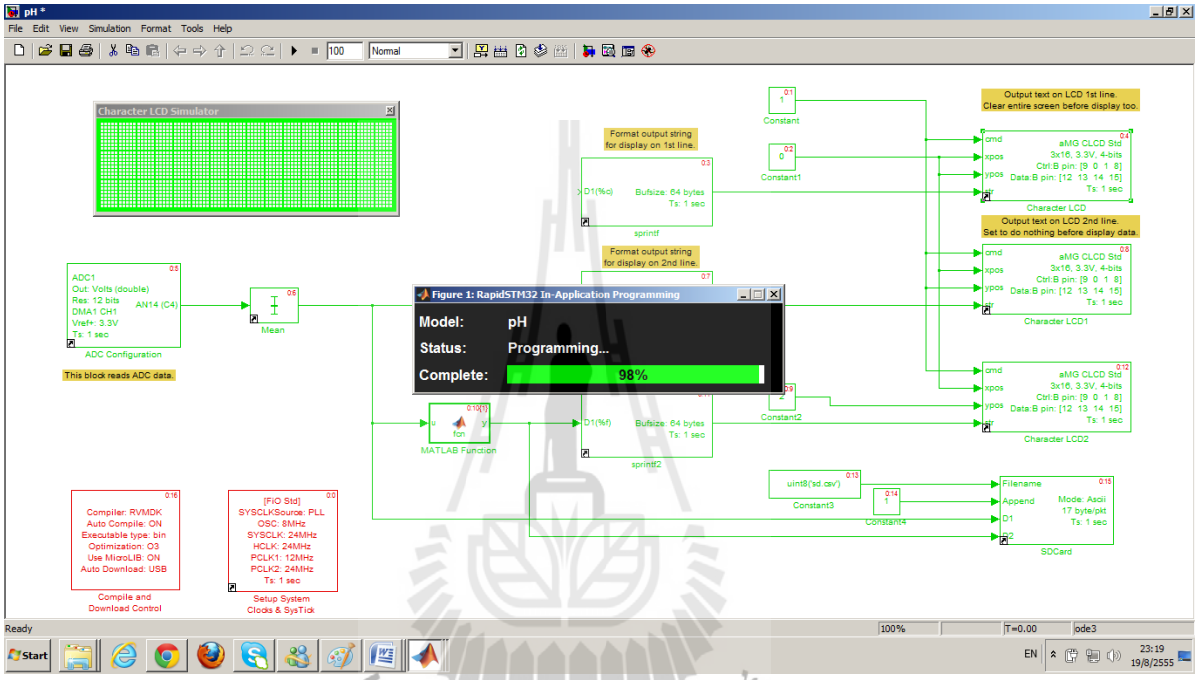
รูปที่ 3.14 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดใน SD Card

8. เชื่อมต่อทุกบล็อก ดังภาพ



รูปที่ 3.15 โมเดลที่เชื่อมต่อ

9. เพื่อให้ชัดเจนว่าโมเดลนี้คือ target ให้ Save โมเดลเป็น pH Sensor (เพื่อ run บน FiO board) จากนั้นอัพเดต blocks ทั้งหมดและ blocks ควรแสดง sample time ที่ 1 second ทำการ Build โปรแกรม โดย การ update diagram ก่อน 2 ครั้ง แล้วกดปุ่ม Ctrl+B เสร็จแล้ว ทำการรันโปรแกรม



รูปที่ 3.16 โมเดลที่เชื่อมต่อและรันโปรแกรมเสร็จสิ้น

3.4 การคำนวณค่า pH

โค้ดการคำนวณค่า pH ใน MATLAB

```
if u>=1.375
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.286;
elseif u>=1.25
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.3519;
elseif u>=1.125
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.4172;
elseif u>=1
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.4824;
elseif u>=0.875
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.5477;
elseif u>=0.75
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.6131;
elseif u>=0.625
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.6779;
elseif u>=0.5
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.7433;
elseif u>=0.375
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.8084;
elseif u>=0.125
        y = 20.809056*u - 11.39373697-0.9389;
else
        y = 20.809056*u - 11.39373697-1.0046;
end
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อค่าแรงดันอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.375 V ขึ้นไป จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.2860
เมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 1.250 - 1.374 V จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.3519
เมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 1.125 – 1.249 V จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.4172
เมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 1.000 – 1.124 V จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.4824
เมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 0.875 – 0.999 V จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.5477
เมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 0.750 – 0.874 V จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.6131
เมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 0.625 – 0.750 V จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.6779
เมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 0.500 – 0.624 V จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.7433
เมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 0.375 – 0.499 V จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.8084
เมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วง 0.125 – 0.374 V จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 0.9389
และเมื่อมีค่าแรงดันอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.125 V ลงไป จะต้องลบค่าที่สมการ 4.3 ออกไป 1.0046

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.5 สรุป

บทนี้ได้นำเสนอรายละเอียดการทำงานของฮาร์ดแวร์ ฮาร์ดแวร์ แผนภาพระบบทั้งหมด ซอฟต์แวร์ แผนภาพ (Flow chart) ของโปรแกรมที่ใช้งาน Rapids TM 32 Block set (การวาด simulink ใน MATLAB) การคำนวณค่า pH

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้เราจะกล่าวถึง การทดลองเก็บข้อมูลค่าแรงดันและค่า pH เพื่อนำไปวิเคราะห์พัฒนาเครื่องที่เราออกแบบขึ้นมา และหาแนวทางที่ทำให้ผลการวัดค่า pH ใกล้เคียงกับค่า pH จริง โดยทำการปรับเทียบเครื่องวัดที่ออกแบบขึ้นกับเครื่องวัดค่า pH มาตรฐาน

4.2 การทดลองที่ 1 การวัดค่าแรงดันเอาท์พุตของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit

การทดลองนี้เป็นการทดสอบเก็บค่าแรงดันที่ขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit โดยใช้ DMM ในการวัด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแรงดันและค่า pH ของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit และนำมาประยุกต์หาสมการเพื่อนำไปพัฒนาเครื่องที่ออกแบบ

4.2.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้ชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit
2. เพื่อศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับค่าpH
3. เพื่อสามารถวิเคราะห์ค่าแรงดันเพื่อนำไปพัฒนาอุปกรณ์ได้

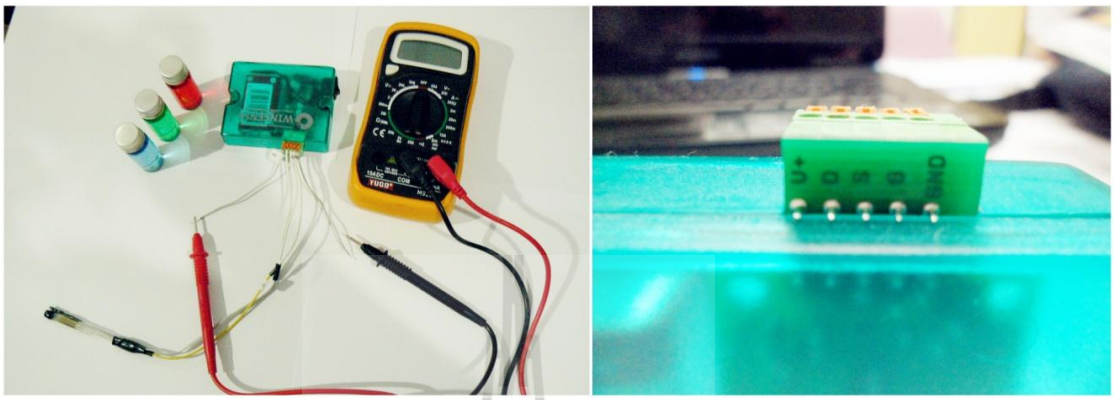
4.2.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit	1
2. Digital multimeter (DMM)	1
3. ชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4,7,10)	1
4. น้ำกลั่น (pH = 7) + ทิชชู	1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

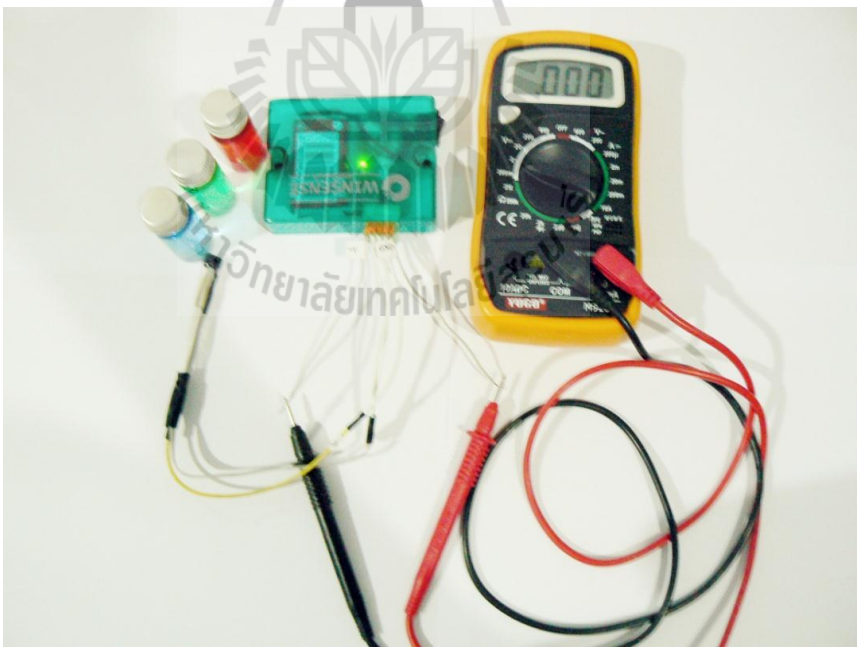
4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เชื่อมต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.1 และเชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) เข้ากับวงจรภายใน และสายสัญญาณขาออก (V+ และ GND) เข้ากับโวลต์มิเตอร์



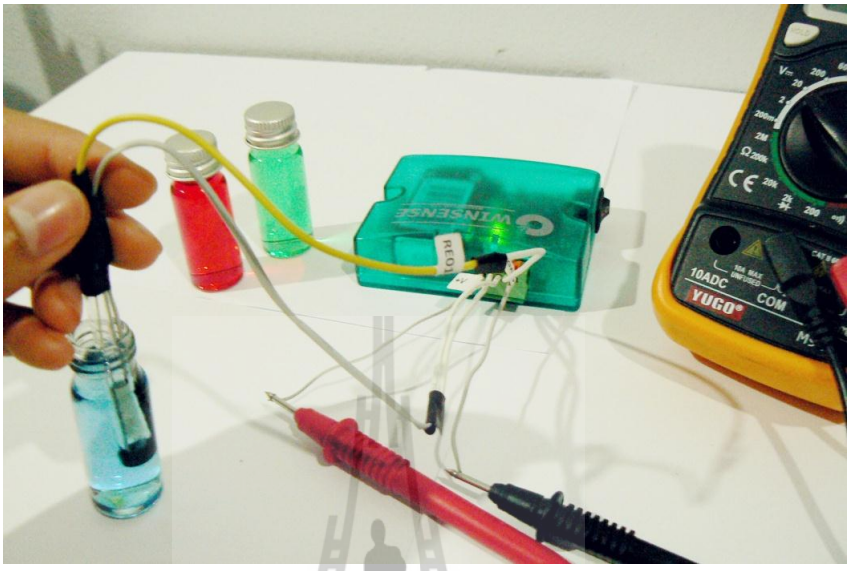
รูปที่ 4.1 การเชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) พร้อมสายสัญญาณ (V+ และ GND)

2. เปิดสวิตช์ที่อยู่ด้านข้างกล่องวงจรสังเกต LCD สีเขียวติดตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สถานะของการเปิดสวิตช์เมื่อ LED สีเขียวติด และเปิดโวลต์มิเตอร์

3. วัดค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่าpH = 4 , 7 และ 10 ดังรูปที่ 4.3 และบันทึกผลลงตารางที่ 4.2.1



รูปที่ 4.3 การวัดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐานด้วย pH sensor

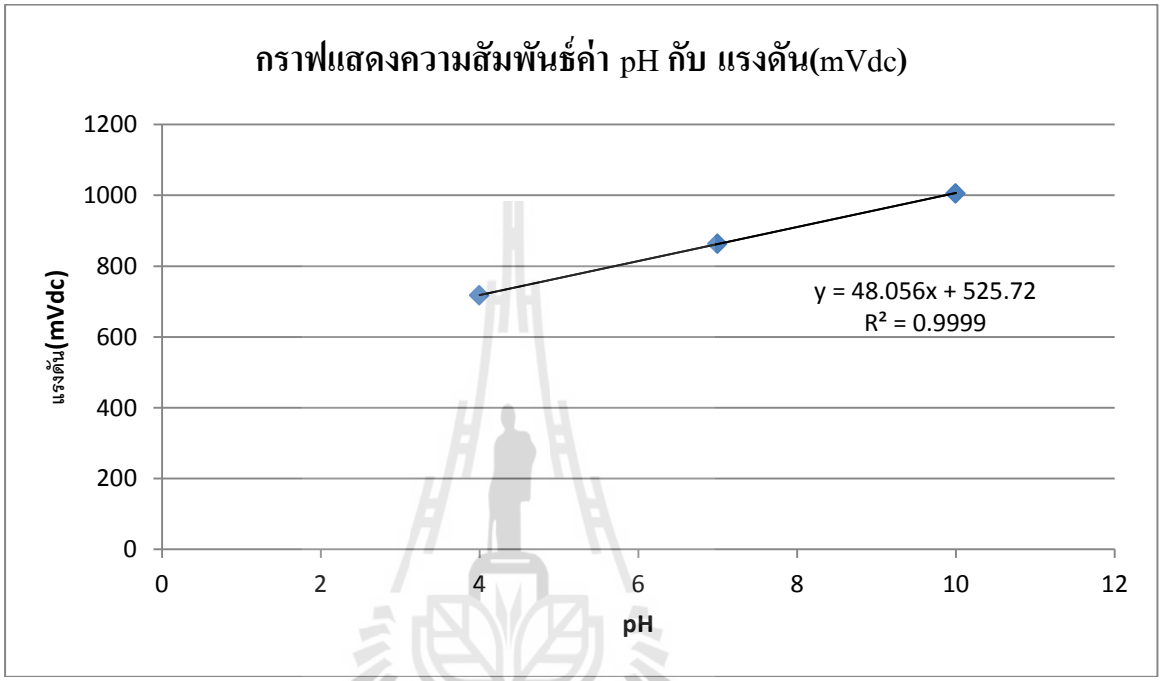
หมายเหตุ : เนื่องจากขั้ว ISFET ตอบสนองต่อแสงควรหาอุปกรณ์ป้องกันจากแสง และควรล้างทำความสะอาดเซนเซอร์และขั้วไฟฟ้าอ้างอิงด้วยน้ำกลั่นก่อนการวัดทุกครั้ง

ตารางที่ 4.2.1 แสดงค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ที่วัดในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) โดยการวัดจากโวลต์มิเตอร์

pH	ครั้งที่ 1 (mV)	ครั้งที่ 2 (mV)	ครั้งที่ 3 (mV)	ค่าเฉลี่ย (mV)
4	720.000	717.000	715.000	717.333
7	865.000	863.000	862.000	863.333
10	1007.000	1004.000	1006.000	1005.667

จากตารางที่ 4.2.1 แสดงผลการวัดค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ที่วัดในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) จากการวัดโวลต์มิเตอร์โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแรงดัน

4.นำค่าแรงดันเฉลี่ยของน้ำยาบัฟเฟอร์ที่ค่า pH = 4 , 7 และ 10 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit โดยนำค่าที่ได้มาพลอตกราฟเพื่อหาสมการเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit จะได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า pH ของบัฟเฟอร์มาตรฐานกับแรงดันที่วัดได้

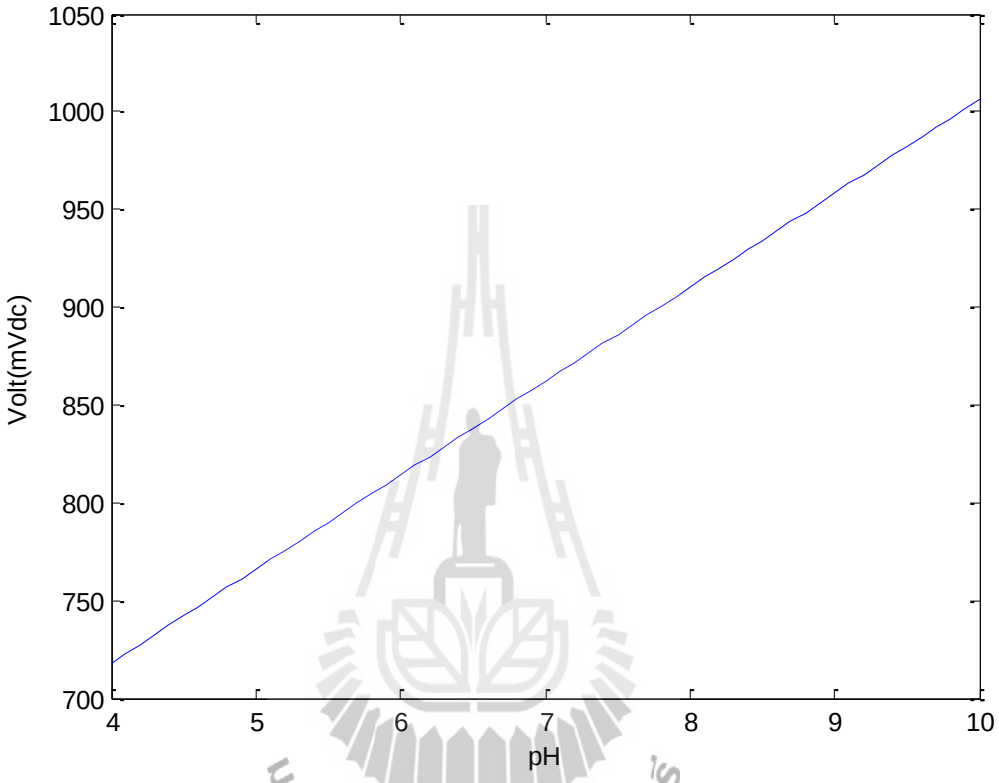
จะได้สมการของแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit กับค่า pH สำหรับโพรบวัดชนิด RE010012 และ ISFET Sensor IS010005 ตามสมการที่ 4.1

$$\text{Volt (mVdc)} = 48.056\ (\text{pH}) + 525.72 \qquad (4.1)$$

จะได้สมการของแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit กับค่า pH สำหรับโพรบวัดชนิด RE030072 และ ISFET Sensor IS010045 ตามสมการที่ 4.2

$$\text{Volt (mVdc)} = 48\ (\text{pH}) - 123 \qquad (4.2)$$

5. นำสมการความสัมพันธ์ของแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit กับค่า pH ที่ได้มาพลอตกราฟใหม่ โดยกำหนดให้แกน x เป็นค่า pH = { 4 , 4.1 , 4.2 , … , 10 } และแกน y เป็นค่าแรงดันขาออก จะได้กราฟดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟของสมการที่หาได้จากความสัมพันธ์ของค่า pH ของบัฟเฟอร์มาตรฐานกับแรงดันที่วัดได้

6. บันทึกค่าแรงดันขาออกที่ pH = 4 , 7 และ 10 ลงในตารางที่ 4.2.2 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเฉลี่ยขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ที่ได้จากการวัดโดยโวลต์มิเตอร์ในตารางที่ 4.2.1

ตารางที่ 4.2.2 แสดงค่าแรงดันขาออกที่อ่านได้จากกราฟรูปที่ 4.5 กับแรงดันเฉลี่ยขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ที่ได้จากการวัดโดยโวลต์มิเตอร์

pH	แรงดัน(จากกราฟที่ 4.5) (mV)	แรงดัน(จากโวลต์มิเตอร์) (mV)
4	717.944	717.333
7	862.112	863.333
10	1006.280	1005.667

จากตารางที่ 4.2.2 แสดงค่าการอ่านค่าแรงดันจากกราฟรูปที่ 4.5 กับค่าแรงดันที่วัดได้โดยโวลต์มิเตอร์ (DMM) ที่คำนวณค่าเฉลี่ยแล้ว

4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.2.1 สังเกตได้ว่าการวัดค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ทั้ง 3 ครั้งมีความใกล้เคียงกันมาก เมื่อนำค่าเฉลี่ยมาพลอตกราฟเพื่อหาสมการพบว่ากราฟมีความเป็นเส้นตรงสูง ซึ่งดูได้จากค่า $R^2 = 0.9999$ ต่อมานำสมการที่ได้ไปพลอตกราฟใหม่โดยให้ค่า pH มีความละเอียดขึ้น pH = {4 , 4.1 , 4.2 , … , 10} เมื่ออ่านค่า pH = 4 , 7 และ 10 ที่กราฟที่ 4.5 พบว่าค่าแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการวัดค่าด้วยโวลต์มิเตอร์ (DMM)

4.2.5 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit พบว่า สามารถนำค่าแรงดันของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) มาหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกของชุด Winsense - ISFET pH Sensor Kit กับค่า pH ได้ และสามารถนำมาพลอตเพื่อให้ค่าละเอียดได้ จากสมการที่ได้

$$\text{Volt (mVdc)} = 48.056\ (\text{pH}) + 525.72$$

หรือ $$\text{Volt (mVdc)} = 48\ (\text{pH}) - 123$$

สรุปได้ว่าค่าแรงดันแปรผันตามค่า pH เมื่อ pH เพิ่มขึ้นแรงดันก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย

4.3 การทดลองที่ 2 การวัดค่าแรงดันเอาท์พุตของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit โดยแสดง ค่าผ่านบอร์ด FiO Std

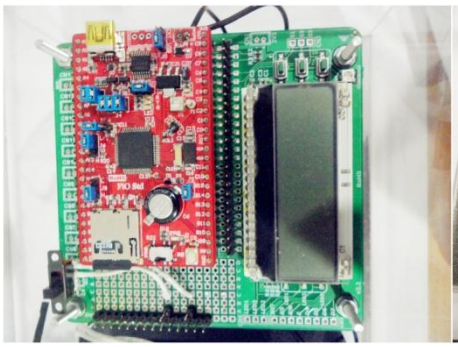
การทดลองนี้เป็นการทดสอบเก็บค่าแรงดันที่ขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit โดยผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลของบอร์ด FiO Std และแสดงผลออกทางจอ CLCD เพื่อนำผลไปวิเคราะห์หาแนวทางในการพัฒนาเครื่องที่ออกแบบ

4.3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้งานบอร์ด FiO Std
2. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB แบบ Simulink model
3. เพื่อสามารถเข้าใจการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลของบอร์ด FiO Std ได้
4. เพื่อสามารถแสดงสัญญาณดิจิตอลออกจอ CLCD ของบอร์ด FiO Std ได้
5. เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางในการพัฒนาเครื่องที่ออกแบบได้

4.3.2 อุปกรณ์การทดลอง

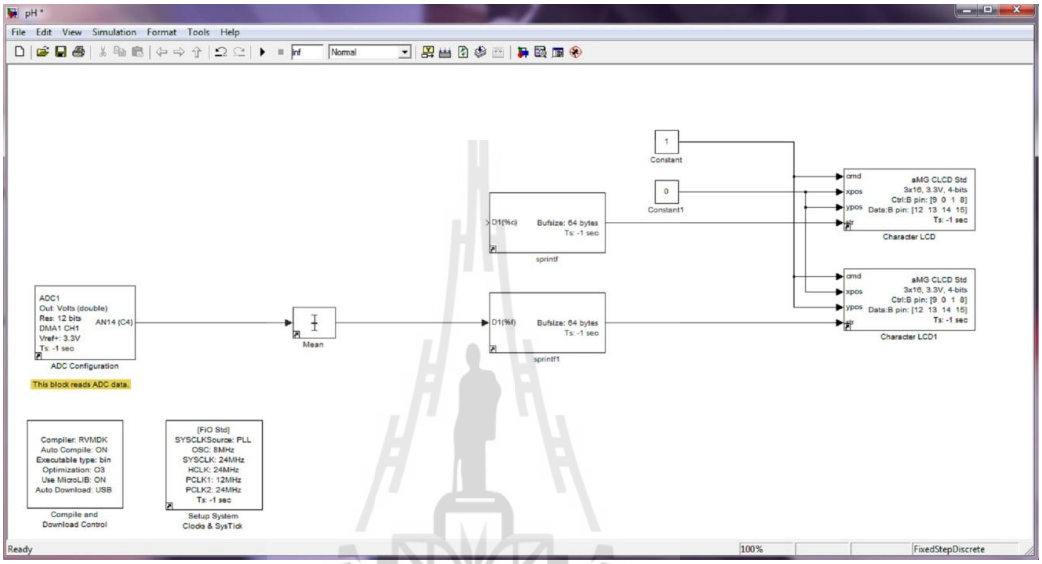
1. ชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit	1
2. ชุดบอร์ด FiO Std	1
3. ชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 ,7 ,10)	1
4. น้ำกลั่น (pH = 7) + ทิชชู	1



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

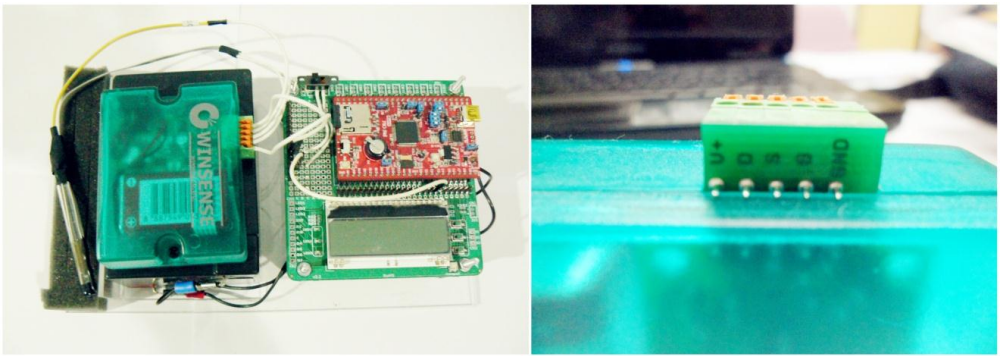
1. เปิดโปรแกรม MATLAB แล้วเลือกที่ Simulink library browser ต่อมาเลือกที่ New model แล้วเลือกบล็อกต่างๆมาวางและกำหนดค่าที่ดังรูปที่ 4.6 จากนั้นโหลดโปรแกรมลงบอร์ด FiO Std



รูปที่ 4.6 แผนภาพโปรแกรม MATLAB SIMULINK ที่แสดงค่าแรงดันผ่านบอร์ด Fio Std

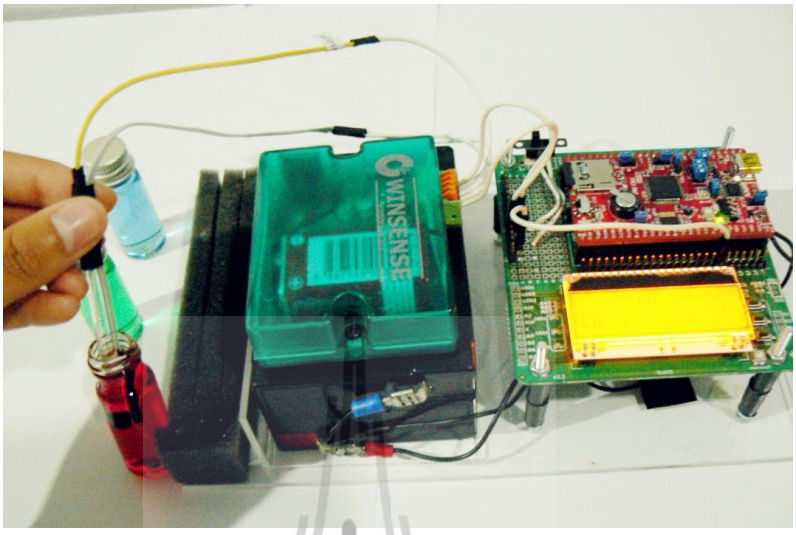
2. เชื่อมต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.7 และเชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) เข้ากับวงจรภายใน และสายสัญญาณขาออก (V+ และ GND) เข้ากับบอร์ด FiO Std

หมายเหตุ : ต้องติดตั้งสวิตช์ที่บอร์ด FiO Std เพื่อป้องกันแรงดันเข้าบอร์ด FiO Std เกิน 3.3 V



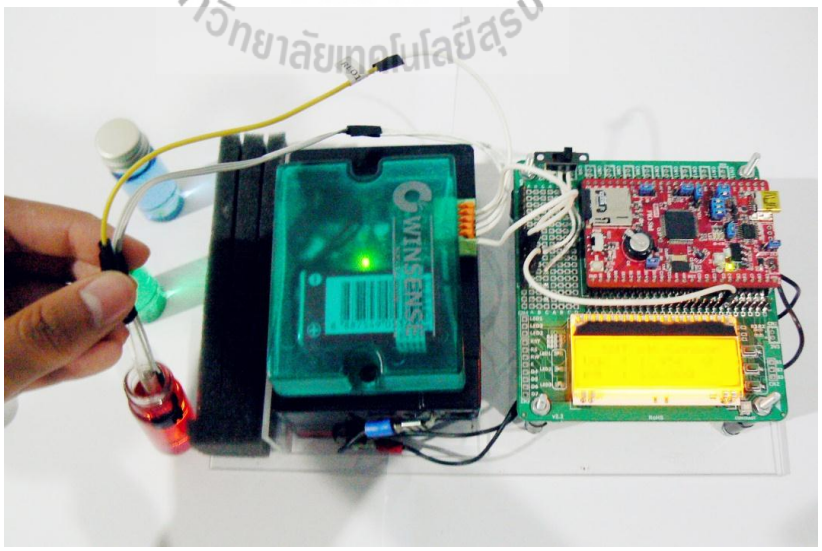
รูปที่ 4.7 เชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) พร้อมสายสัญญาณ (V+ และ GND) เข้ากับบอร์ด FiO Std

3. นำโพรบไปจุ่มที่น้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่า pH = 4 , 7 และ 10 แต่ยังไม่เปิดสวิตช์ ตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การจุ่มโพรบในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน แต่ยังไม่ได้เปิดสวิตช์

4. เปิดสวิตช์ที่อยู่ด้านข้างกล่องวงจรสังเกต LCD สีเขียวติดกับสวิตช์ที่ติดตั้งที่บอร์ด FiO Std วัดค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่า pH = 4 , 7 และ 10 ดังรูปที่ 4.9 และบันทึกผลลงตารางที่ 4.3.1



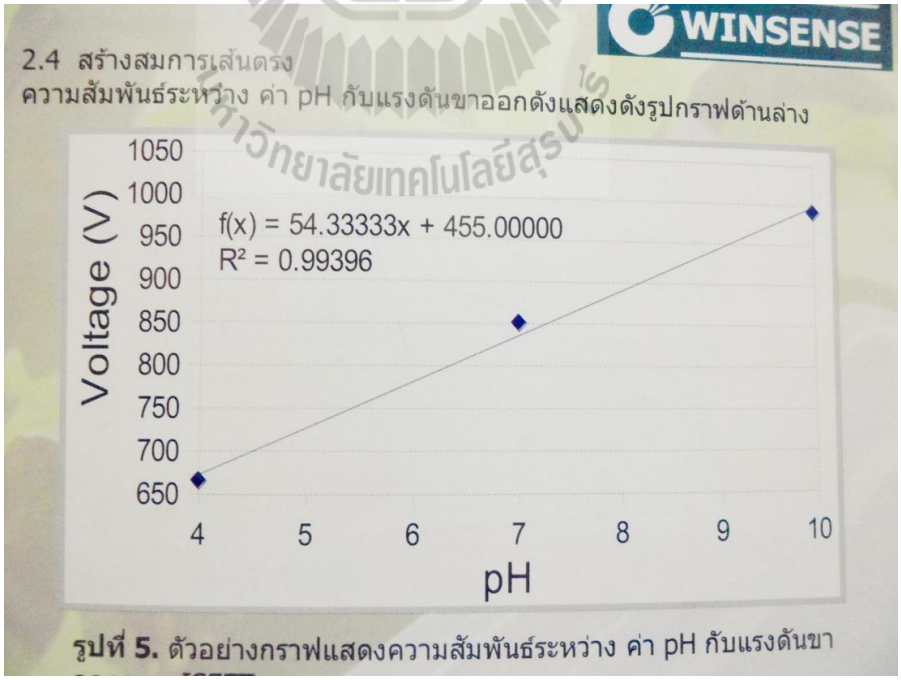
รูปที่ 4.9 การวัดค่า pH ของน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.3.1 แสดงค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ที่วัดในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) โดยการวัดจากบอร์ด FiO Std

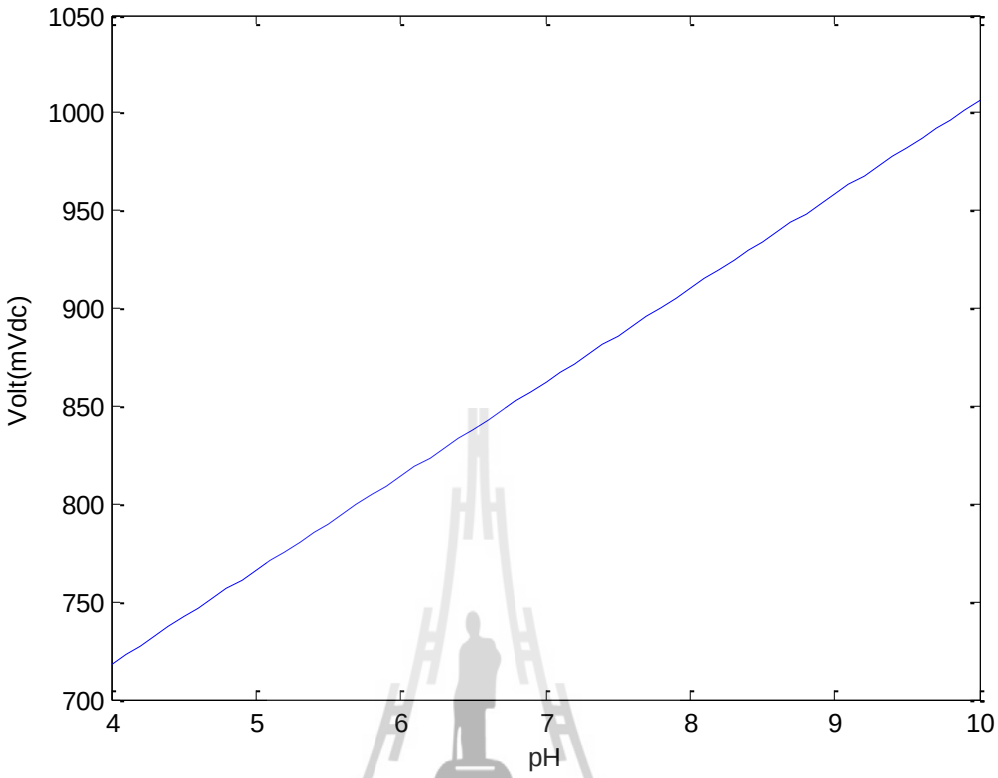
pH	ครั้งที่ 1 (mV)	ครั้งที่ 2 (mV)	ครั้งที่ 3 (mV)	ค่าเฉลี่ย (mV)
4	736.000	732.000	732.000	733.333
7	885.000	882.000	881.000	882.667
10	1037.000	1039.000	1027.000	1034.333

จากตารางที่ 4.3.1 ผลการวัดค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ที่วัดในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) โดยวัดจากอุปกรณ์ที่ออกแบบขึ้นร่วมกับบอร์ด FiO Std ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแรงดัน

5. นำค่าแรงดันเฉลี่ยที่ได้ไปอ่านค่าpHที่กราฟมาตรฐานจากชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit และนำไปอ่านค่าpHที่กราฟรูปที่ 4.5 ในการทดลองตอนที่ 1 บันทึกผลลงในตารางที่ 4.3.2



รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานจากชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit



รูปที่ 4.11 กราฟที่พลอตจากสมการที่ 4.1 ในการทดลองตอนที่ 1

ตารางที่ 4.3.2 แสดงค่า pH ที่ได้จากค่าแรงดันที่บอร์ด FiO Std

pH	แรงดันเฉลี่ย (mV)	ค่า pH (อ่านจากกราฟมาตรฐาน)	ค่าpH (อ่านจากกราฟในตอนที่ 1)
4	733.333	5.120	4.320
7	882.667	7.8673	7.428
10	1034.333	10.658	10.584

จากตารางที่ 4.3.2 แสดงผลการวัดค่าแรงดันของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4,7,10) โดยวัดจากอุปกรณ์ที่ออกแบบขึ้นร่วมกับบอร์ด FiO Std และแสดงผลของการอ่านกราฟจากบริษัท winsense จำกัด และ กราฟที่ได้จากสมการที่ 4.1 ในการทดลองตอนที่ 1

4.3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.3.1 สังเกตได้ว่าการวัดค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit ทั้ง 3 ครั้งมีความใกล้เคียงกันมาก เมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาอ่านค่าจากกราฟที่รูปที่ 4.10 และกราฟรูปที่ 4.11 พบว่าที่แรงดันเท่ากันค่า pH ของกราฟจากบริษัท winsense จำกัด มีค่าสูงกว่ากราฟที่พลอตได้จากสมการที่ 4.1 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่า pH ของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH =4,7, 10) แล้วพบว่าค่า pH จากกราฟรูปที่ 4.10 มีความใกล้เคียงกว่า

4.3.5 สรุปผลการทดลอง

ในการที่จะแสดงค่าต่างๆผ่านบอร์ด FiO Std จะต้องเป็นสัญญาณดิจิตอลดั้งนั้นจึงเชื่อมต่อสัญญาณอินพุตที่เป็นอะนาลอกเข้าทางพอร์ต C4เพื่อจะแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล เพราะที่พอร์ต C4 มี ADC อยู่ซึ่ง ACD จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลทำให้สามารถนำข้อมูลไปแสดงผลออกหน้าจอ CLCD ได้ และค่าแรงดันเมื่อเทียบกับการทดลองตอนที่ 1 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น อาจมีผลมาจากการต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเพิ่มขึ้นแต่ค่า pH ที่อ่านค่าจากรูปที่ 4.11 มีความใกล้เคียงค่า pH ของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) กว่า จึงควรนำสมการที่ 4.1 ไปพัฒนาต่อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4 การทดลองที่ 3 การวัดค่า pH จากเครื่องที่ออกแบบ และการปรับเทียบ

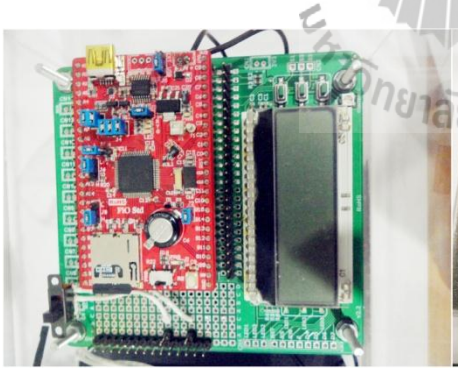
การทดลองนี้เป็นการทดสอบเก็บค่า pH ในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) ด้วยเครื่องที่ออกแบบในการวัด โดยการนำเอาสมการความสัมพันธ์แรงดันและค่า pH ของชุด Winsense -ISFET pH Sensor Kit ในการทดลองตอนที่ 1 มาเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงแรงดันให้เป็นค่า pH

4.4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB แบบ Simulink model function
2. เพื่อสามารถแปลงค่าแรงดันให้เป็นค่า pH ได้
3. เพื่อสามารถปรับปรุงค่า pH ให้ใกล้เคียงค่ามาตรฐานได้

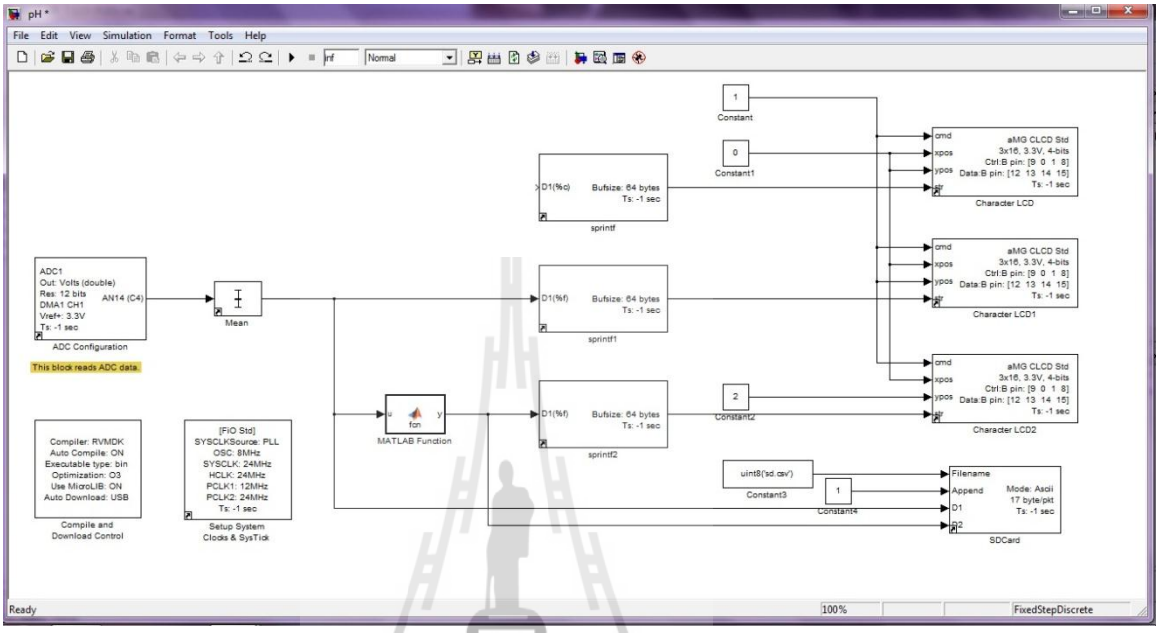
4.4.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit	1
2. ชุดบอร์ด FiO Std	1
3. ชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4,7,10)	1
4. น้ำกลั่น (pH = 7) + ทิชชู	1



4.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดโปรแกรม MATLAB แล้วเลือกที่ Simulink library browser ต่อมาเลือกที่ New model แล้วเลือกบล็อกต่างๆมาวางและกำหนดค่าที่ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แผนภาพโปรแกรม MATLAB SIMULINK ที่แสดงค่าแรงดันและค่า pH ผ่านบอร์ด Fio Std

2. นำสมการที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 มาคำนวณเพื่อหาค่า pH

<u>คำนวณ</u>

จากสมการที่ 4.1 Volt (mVdc) = 48.056 (pH) + 525.72

pH = (Volt (mVdc) - 525.72) / 48.056

pH = 0.020809056 (Volt (mVdc)) - 10.93973697

ทำให้หน่วยเป็น Vdc pH = 20.809056 (Volt (Vdc)) - 10.93973697 (4.3)

จากสมการที่ 4.2 Volt (mVdc) = 48 (pH) - 123

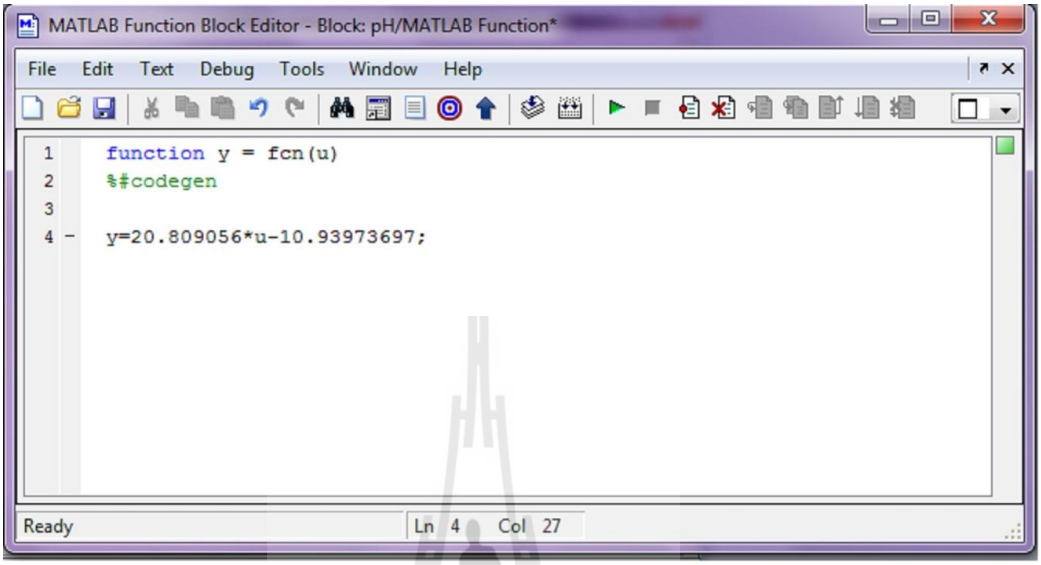
pH = (Volt (mVdc) + 123) / 48

pH = 0.020833333 (Volt (mVdc)) – 2.5625

ทำให้หน่วยเป็น Vdc pH = 20.833333 (Volt (Vdc)) – 2.5625 (4.4)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

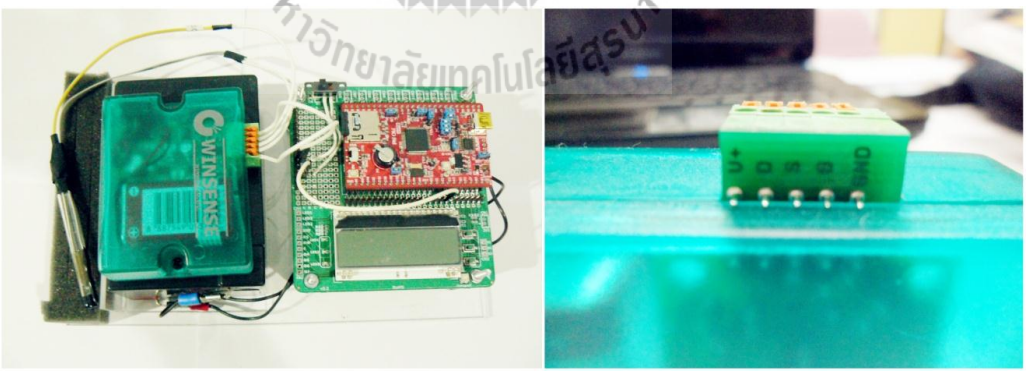
3. นำสมการที่ 4.2 ไปใส่ในบล็อกฟังก์ชันของ Simulink model ดังรูปที่ 4.13 แล้วโหลดโปรแกรมลงบอร์ด FiO Std



รูปที่ 4.13 สมการที่ใช้ใน Block MATLAB Function

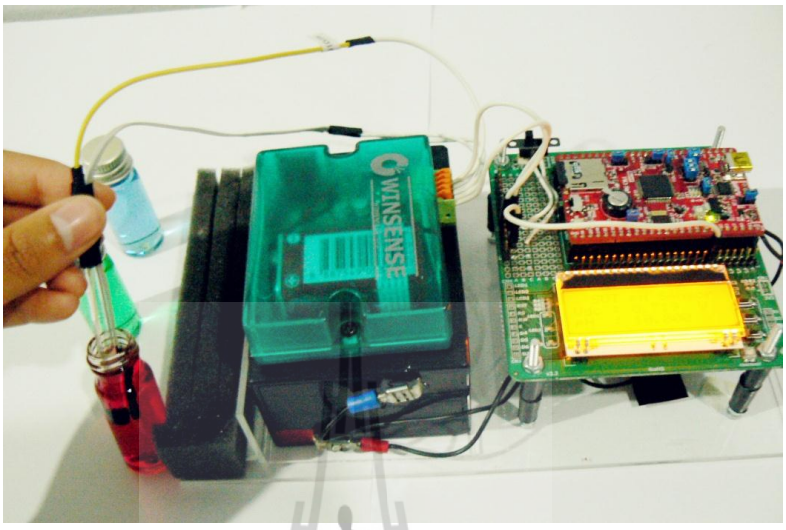
4. เชื่อมต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.14 และเชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) เข้ากับวงจรภายใน และสายสัญญาณขาออก (V+ และ GND) เข้ากับบอร์ด FiO Std

หมายเหตุ : ต้องติดตั้งสวิตช์ที่บอร์ด FiO Std เพื่อป้องกันแรงดันเข้าบอร์ด FiO Std เกิน 3.3 V



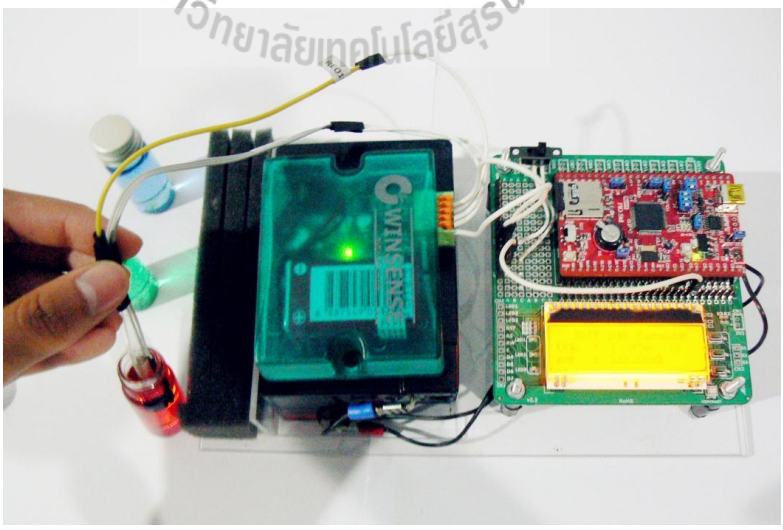
รูปที่ 4.14 เชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) พร้อมสายสัญญาณ (V+และGND) เข้ากับ บอร์ด FiO Std

5. นำโพรบไปจุ่มที่น้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่า pH = 4 , 7 และ 10 แต่ยังไม่เปิดสวิตช์ ตามรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การจุ่มโพรบในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน แต่ยังไม่ได้เปิดสวิตช์

6. เปิดสวิตช์ที่อยู่ด้านข้างกล่องวงจรสังเกต LCD สีเขียวติดกับสวิตช์ที่ติดตั้งที่บอร์ด FiO Std วัดค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit และค่า pH ในน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่า pH = 4 , 7 และ 10 โดยจะแสดงผลออกตรงจอ CLCD ดังรูปที่ 4.16 และบันทึกผลลงตารางที่ 4.4.1



รูปที่ 4.16 การวัดค่า pH ของน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.4.1 แสดงค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit และค่า pH ที่แสดงที่จอ CLCD ของเครื่องที่ออกแบบ

pH	Volt (mVdc)	pH
4	729.000	4.230
7	886.000	7.497
10	1020.000	10.286

จากตารางที่ 4.4.1 แสดงผลของการวัดค่าแรงดันและค่า pH โดยวัดจากอุปกรณ์ที่ออกแบบขึ้นซึ่งวัดจากชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10)

7. จากตารางที่ 4.4.1 นำค่า pH และค่าแรงดันที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐานของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit จะได้ดังตารางที่ 4.4.2

ตารางที่ 4.4.2 แสดงผลของค่า pH ที่ได้จากตารางที่ 4.4.2 กับค่า pH ที่ได้จากราฟมาตรฐานของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit

แรงดัน (Vdc)	pH (จากกราฟมาตรฐาน)	pH (เครื่องที่ออกแบบ)
0.729	5.043	4.230
0.886	7.933	7.497
1.020	10.399	10.286

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า pH ที่แรงดันเท่ากัน ระหว่าค่า pH จากเครื่องที่ออกแบบขึ้นกับ การอ่านค่า pH จากกราฟมาตรฐานของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

8. จากตารางที่ 4.4.2 คำนวณการปรับปรุงค่า pH ได้ดังนี้

<u>คำนวณ</u>

หาผลต่างค่า pH แต่ละแรงดัน

ที่ แรงดันเท่ากับ 0.729 Vdc มีค่าผลต่าง pH = 5.043 – 4.230 = 0.813

ที่ แรงดันเท่ากับ 0.886 Vdc มีค่าผลต่าง pH = 7.933 – 7.497 = 0.436

ที่ แรงดันเท่ากับ 10.399 Vdc มีค่าผลต่าง pH = 10.399 – 10.286 = 0.113

นำค่าผลต่างทั้งหมดมาเฉลี่ยจะได้

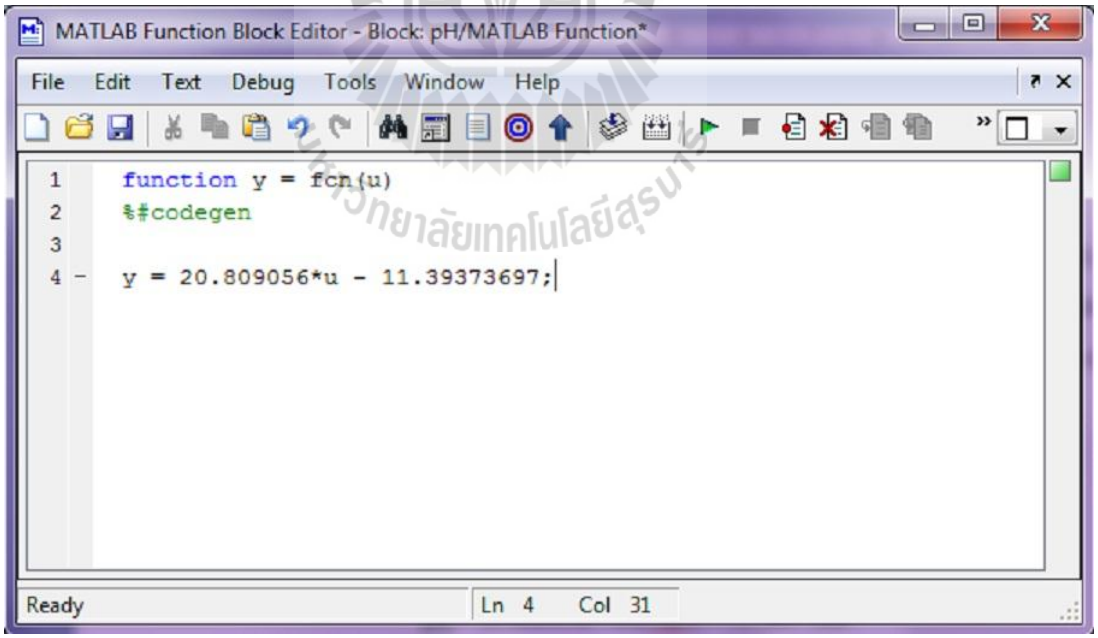
(0.813 + 0.436 + 0.113) / 3 = 0.454

นำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปลบออกจากสมการที่ 4.2 เพื่อให้ค่า pH เพิ่มขึ้นจะได้

pH = 20.809056 (Volt (Vdc)) – 10.93973697 – 0.454

pH = 20.809056 (Volt (Vdc)) – 11.39373697 (4.5)

9. นำสมการที่หาค่า pH ใหม่ที่ได้จากข้อที่ 8. ไปใส่ในบล็อกฟังก์ชันของ Simulink model ดังรูปที่ 4.17 แล้วโหลดโปรแกรมลงบอร์ด FiO Std



รูปที่ 4.17 สมการที่คำนวณได้ในข้อที่ 8. ใน Block MATLAB Function

10. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 4 – 5 บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.4.3 และคำนวณ % ความผิดพลาดตามสมการดังนี้

$$\% \text{ ความผิดพลาด} = \frac{(\text{ค่าที่วัดได้จากเครื่องที่ออกแบบ} - \text{ค่าของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน})}{\text{ค่าของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน}} \text{ X } 100\%$$

ตารางที่ 4.4.3 แสดงผลของค่า pH ของเครื่องที่ออกแบบที่ได้ปรับเทียบแล้ว

ชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน	แรงดัน (V)	pH	Error (%)
4	0.729	3.776	5.6
7	0.886	7.043	0.61
10	0.1020	9.832	1.68

จากตารางที่ 4.4.3 แสดงผลของการวัดค่าแรงดันและค่า pH โดยวัดจากเครื่องที่ออกแบบขึ้นที่ได้ผ่านการปรับเทียบแล้ว ซึ่งวัดจากชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10)

4.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองตารางที่ 4.4.1 พบว่าเมื่อทำการทดลองจุ่มชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) ค่าแรงดันที่ได้เมื่อผ่านการคำนวณโดยผ่านการเขียนโปรแกรมแล้วจะได้ค่า pH ซึ่งเมื่อค่าแรงดันเพิ่มขึ้น ค่า pH ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่จากค่า pH ที่ได้ยังไม่ใกล้เคียงกับค่า pH ของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) จึงต้องทำการปรับเทียบค่า pH กับชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) โดยการนำค่าผลต่างเฉลี่ยมาลบออกจากสมการที่ 4.2 จะได้ดังสมการที่ 4.3 แล้วทำการวัดค่าใหม่พบว่า เมื่อทำการเทียบแล้วทำให้ได้ค่า pH ใกล้เคียงกับค่า pH ของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) มากยิ่งขึ้น และค่า pH ก็ยังแปรผันตามค่าแรงดันเช่นเดิม

4.4.5 สรุปผลการทดลอง

จากสมการที่ 4.1 พบว่าสามารถหาสมการการหาค่า pH ได้ โดยวิธีการย้ายข้างของสมการและป้อนสมการเข้าไปในบล็อกฟังก์ชันก็สามารถคำนวณหาค่า pH ได้และค่า pH ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่า pH ของน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐานอยู่ในระดับหนึ่งแต่ยังไม่ละเอียดพอ จึงทำการปรับเทียบกับค่า pH ของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (pH = 4 , 7 , 10) ทำให้ได้ค่า pH ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานยิ่งขึ้นกว่าเดิม

4.5 การทดลองที่ 4 การวัดค่า pH ของสารละลายตัวอย่าง โดยเครื่องที่ออกแบบขึ้น

การทดลองนี้เป็นการทดสอบเก็บค่า pH ของสารละลายตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง โดยการวัดจากเครื่องที่ออกแบบขึ้นมา เพื่อทดสอบการใช้งานของเครื่องที่ออกแบบ

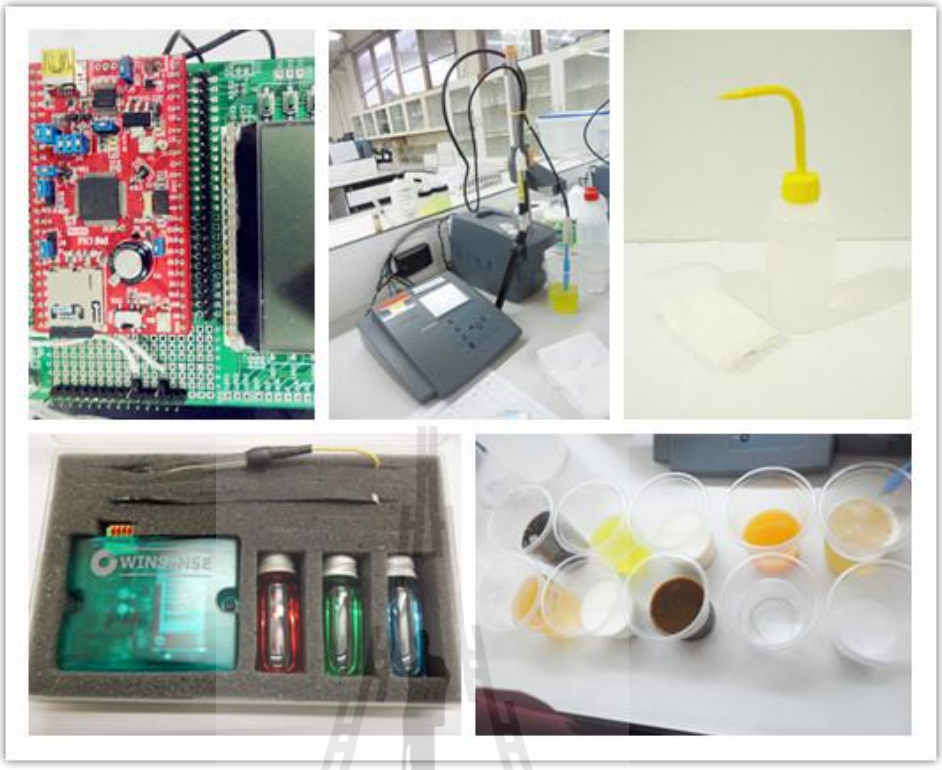
4.5.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบความสามารถของเครื่องวัดค่า pH ที่ออกแบบขึ้น
2. เพื่อสำรวจค่า pH ของสารละลายในชีวิตประจำวันและนำมาวิเคราะห์
3. เพื่อเปรียบเทียบค่า pH จากเครื่องที่ออกแบบขึ้น กับค่า pH ของเครื่องวัดมาตรฐาน

4.5.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit 1
2. ชุดบอร์ด FiO Std 1
3. เครื่องวัดค่า pH ยี่ห้อ WTW inoLab Multi 720 1
4. ตัวอย่างสารละลาย
    - Coke
    - น้ำส้มสายชู(ตราภูเขาทอง)
    - Vitamix
    - นมเปรี้ยว(ดัชมิลล์รสผลไม้รวม)
    - น้ำส้ม(มินิเมท)
    - เบียร์(เบียร์ช้าง)
    - โซดา(ตราสิงห์)
    - ชาเขียว(อิชิตันรสดั้งเดิม)
    - นมจืด(โฟร์โมท)
    - น้ำดื่ม(ตราคริสตัล)
    - กาแฟ(เบอร์ดี้โรบัสต้า)
    - น้ำยาล้างคอนแทคเลนส์(OPIT FREE)
5. น้ำกลั่น (pH = 7) + ทิชชู 1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



4.5.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทดลองวัดค่า pH ที่เครื่องวัดค่า pH WTW inoLab Multi 720 ที่อาคารเครื่องมือ 3 ดังรูปที่ 4.18

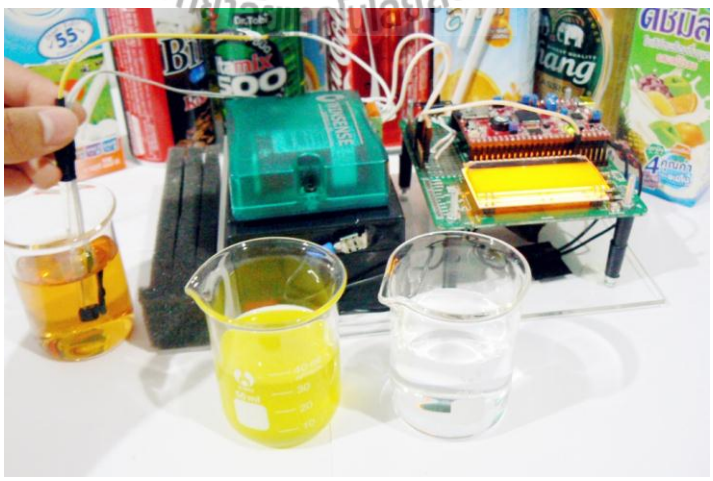
รูปที่ 4.18 การวัดค่า pH ของเครื่องวัดค่า pH มาตรฐาน

2. เชื่อมต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.19 และเชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) เข้ากับวงจรภายใน และสายสัญญาณขาออก (V+ และ GND) เข้ากับบอร์ด FiO Std

หมายเหตุ : ต้องติดตั้งสวิตช์ที่บอร์ด FiO Std เพื่อป้องกันแรงดันเข้าบอร์ด FiO Std เกิน 3.3 V

รูปที่ 4.19 เชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) พร้อมสายสัญญาณ (V+ และ GND) เข้ากับบอร์ด FiO Std

3. นำโพรบไปจุ่มที่สารละลายตัวอย่าง แต่ยังไม่เปิดสวิตช์ตามรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การจุ่มโพรบในสารละลายตัวอย่าง แต่ยังไม่ได้เปิดสวิตช์

4. เปิดสวิตช์ที่อยู่ด้านข้างกล่องวงจรสังเกต LCD สีเขียวติดกับสวิตช์ที่ติดตั้งที่บอร์ด FiO Std วัดค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit และค่า pH ในสารละลายตัวอย่าง โดยจะแสดงผลออกตรงจอ CLCD ดังรูปที่ 4.21 และบันทึกผลลงตารางที่ 4.5.1

รูปที่ 4.21 การวัดค่า pH ของสารละลายตัวอย่าง

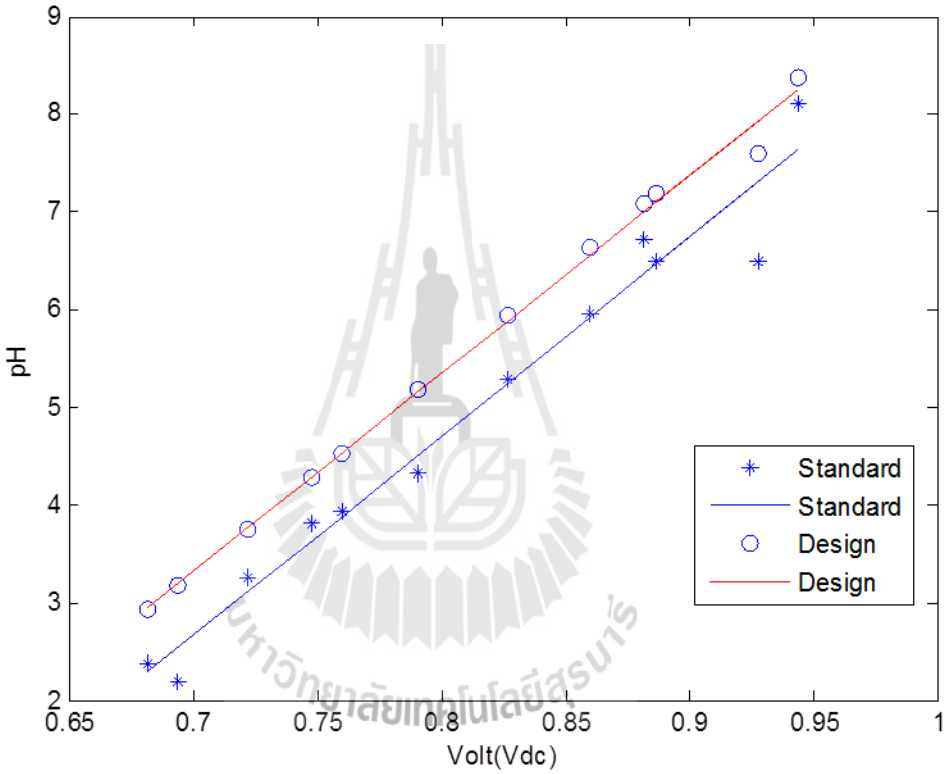
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.5.1 แสดงค่าแรงดันและค่าpH ของสารละลายตัวอย่างที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและเครื่องที่ออกแบบ

สารละลาย	ค่า pH (จากเครื่องวัดค่า pH มาตรฐาน)				ค่า pH (จากเครื่องวัดค่าที่ออกแบบ)								Error (%)
					ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	pH	Volt	pH	Volt	pH	Volt	pH	Volt	
Coke	2.20	2.24	2.12	2.187	3.158	0.694	3.191	0.695	3.158	0.694	3.169	0.694	44.90
น้ำส้มสายชู	2.26	2.44	2.42	2.373	2.923	0.682	2.906	0.682	2.940	0.683	2.923	0.682	23.18
Vitamix	3.15	3.33	3.31	3.263	3.778	0.723	3.744	0.722	3.744	0.722	3.755	0.722	15.08
นมเปรี้ยว	3.78	3.84	3.81	3.810	4.281	0.748	4.281	0.748	4.398	0.748	4.287	0.748	12.52
น้ำส้มมินิเมท	3.95	4.02	3.83	3.933	4.599	0.763	4.516	0.759	4.499	0.758	4.538	0.760	15.38
เบียร์ช้าง	4.34	4.19	4.41	4.313	5.220	0.793	5.136	0.789	5.169	0.790	5.175	0.791	25.27
โซดา	5.16	5.35	5.35	5.287	5.991	0.830	5.907	0.826	5.907	0.826	5.935	0.827	12.56
ชาเขียว	5.90	5.99	6.02	5.970	6.728	0.865	6.594	0.859	6.561	0.857	6.628	0.860	11.02
นมจืด	6.73	6.71	6.71	6.717	7.097	0.883	7.064	0.881	7.081	0.882	7.081	0.882	5.42
น้ำดื่ม	6.72	6.29	6.45	6.487	7.533	0.914	8.170	0.935	7.164	0.886	7.592	0.928	17.03
กาแฟ	6.79	6.85	6.92	6.853	7.181	0.887	7.198	0.888	8.153	0.934	7.181	0.887	4.79
น้ำยาล้างคอนแทคเลนส์	8.13	8.11	8.10	8.113	8.388	0.945	8.388	0.945	8.338	0.943	8.371	0.944	3.18
										ค่าเฉลี่ย Error(%)=15.86			

หมายเหตุ : % ความผิดพลาด = % ความผิดพลาด = $\frac{(\text{ค่าที่วัดได้จากเครื่องที่ออกแบบ} - \text{ค่าของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน})}{\text{ค่าของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน}}$ X 100 %

จากตารางที่ 4.5.1 แสดงผลการวัดค่าแรงดันและค่า pH โดยแสดงชื่อสารละลายทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ซึ่งสารละลายที่เป็นกรด 5 ตัวอย่าง เป็นเบส 1 ตัวอย่าง และเป็นกลาง 6 ตัวอย่าง โดยแสดงค่าการวัดจากเครื่องมือที่ออกแบบขึ้นและเครื่องวัดค่า pH มาตรฐานยี่ห้อ WTW inoLab Multi 720 ได้ทำการทดลองวัดค่าทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทำการคำนวณค่าเฉลี่ย แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่า pH ที่วัดจากเครื่องมือที่ออกแบบขึ้นกับเครื่องวัดค่า pH มาตรฐาน แสดงในกราฟดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า pH ของเครื่องมาตรฐานกับเครื่องที่ออกแบบ

4.5.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.5.1 ผลการทดลองจากสารละลาย 12 ตัวอย่าง ในสารละลายประเภทกรดจะมีค่า pH อยู่ในช่วงน้อยกว่า 4 สารละลายประเภทเบสจะมีค่า pH มากกว่า 8 ขึ้นไป ส่วนค่า pH ที่อยู่ในช่วง 4 – 8 เป็นสารละลายประเภทกลาง ค่าจากเครื่องมาตรฐานจะแสดงค่า pH เท่านั้น ส่วนเครื่องที่ออกแบบขึ้นจะแสดงทั้งค่าแรงดันและค่า pH ซึ่งเมื่อนำค่า pH จากทั้งสองเครื่องมาพลอตกราฟดังรูปที่ 4.22 เปรียบเทียบกันพบว่า ค่า pH ของเครื่องที่ออกแบบมีค่าสูงกว่า pH มาตรฐานแต่ยังเป็นค่าเชิงเส้นอยู่

4.5.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เครื่องที่ออกแบบขึ้นสามารถนำไปวัดสารละลายได้จริง แต่ค่าที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สามารถแสดงค่าได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.6 การทดลองที่ 5 การวัดค่า pH ของสารละลายตัวอย่าง โดยเครื่องที่ปรับเทียบมาตรฐาน

การทดลองนี้เป็นการทดสอบเก็บค่า pH ของสารละลายตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง โดยการวัดจากเครื่องที่ออกแบบขึ้นมาที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว เพื่อทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ที่ออกแบบที่ผ่านการปรับปรุงแล้วให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐานมากที่สุด

4.6.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสามารถปรับปรุงค่า pH ให้ใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐานมากที่สุด

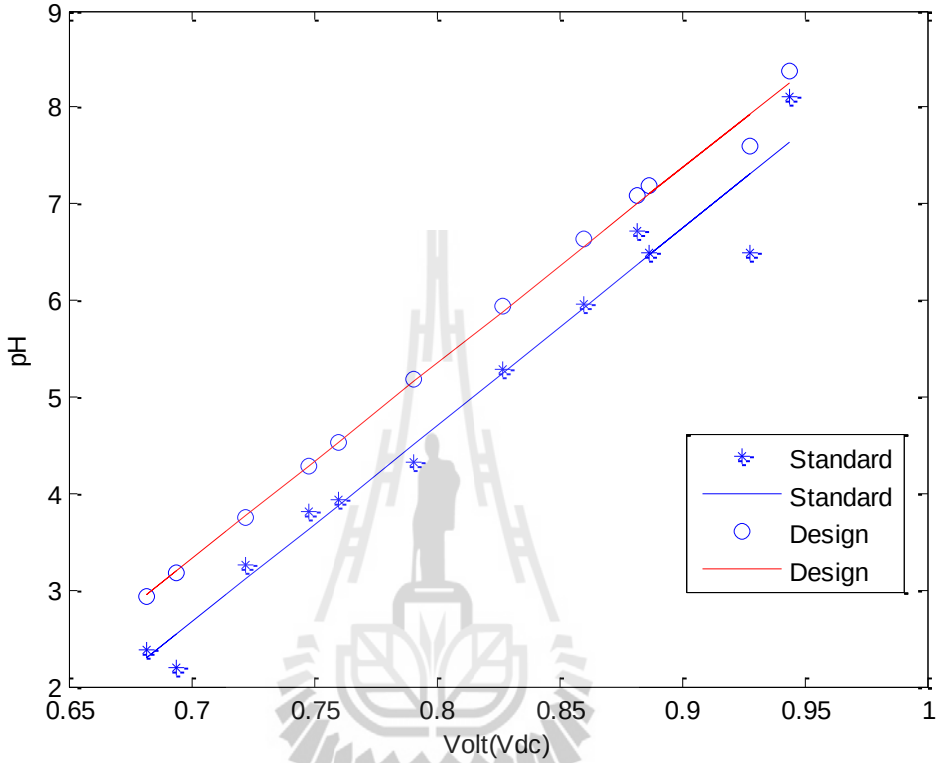
4.6.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit 1
2. ชุดบอร์ด FiO Std 1
3. ตัวอย่างสารละลาย
   - Coke
   - น้ำส้มสายชู (ตราภูเขาทอง)
   - Vitamix
   - นมเปรี้ยว (ดัชมิลล์รสผลไม้รวม)
   - น้ำส้ม (มินิเมท)
   - เบียร์ (เบียร์ช้าง)
   - โซดา (ตราสิงห์)
   - ชาเขียว (อิชิตันรสดั้งเดิม)
   - นมจืด (โฟร์โมท)
   - น้ำดื่ม (ตราคริสตัล)
   - กาแฟ (เบอร์ดี้โรบัสต้า)
   - น้ำยาล้างคอนแทคเลนส์ (OPIT FREE)
4. น้ำกลั่น (pH = 7) + ทิชชู 1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.6.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำกราฟรูปที่ 4.23 มาคำนวณหาผลต่างของค่า pH ที่วัดจากเครื่องมาตรฐานกับเครื่องที่ออกแบบ ในแต่ละช่วงได้ดังนี้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่า pH ของเครื่องมาตรฐานกับเครื่องที่ออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<u>คำนวณ</u>

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 0 – 0.125 V มีค่าผลต่างเท่ากับ -9.566 – (-10.5706) = 1.0046

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 0.125 – 0.25 V มีค่าผลต่างเท่ากับ -7.039 – (-7.9779) = 0.9389

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 0.25 – 0.375 V มีค่าผลต่างเท่ากับ -4.511 – (-5.3851) = 0.8741

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 0 .375– 0. 5 V มีค่าผลต่างเท่ากับ -91.984– (-2.7924) = 0.8084

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 0.5 – 0.625 V มีค่าผลต่างเท่ากับ 0.5437 – (-0.1996) = 0.7433

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 0.625 – 0.75 V มีค่าผลต่างเท่ากับ 3.074 – 2.3931 = 0.6779

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 0.75 – 0.875 V มีค่าผลต่างเท่ากับ 5.599 – 4.9859 = 0.6131

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 0.875 – 1 V มีค่าผลต่างเท่ากับ 8.1263 – 7.5786 = 0.5477

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 1 – 1.125 V มีค่าผลต่างเท่ากับ 10.6538 – 10.1714 = 0.4824

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 1.125 –1.25 V มีค่าผลต่างเท่ากับ 13.1813 – 12.7641 = 0.4172

ที่แรงดันอยู่ในช่วง 1.25 – 1.375V มีค่าผลต่างเท่ากับ 15.7088 – 15.3569 = 0.3519

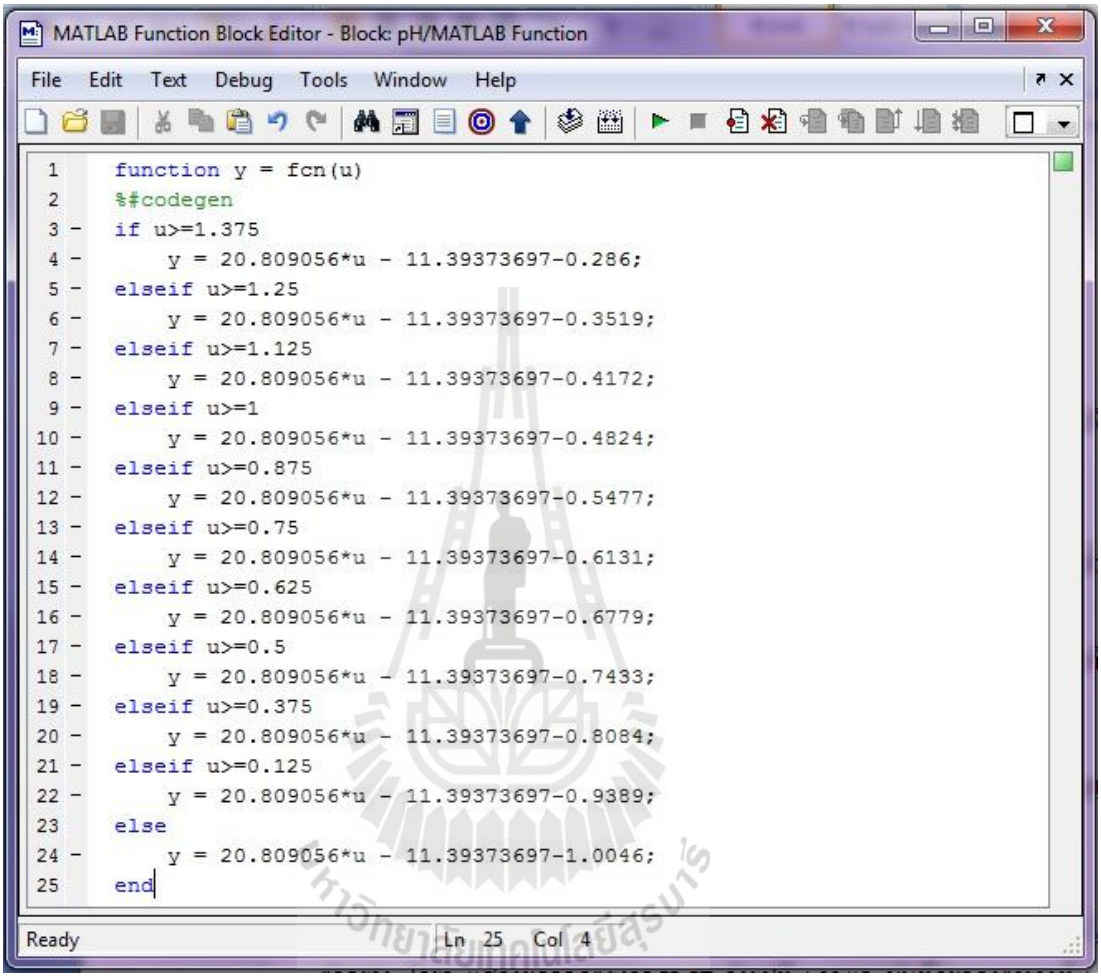
ที่แรงดันอยู่ในช่วง 1.375 – 1.5 V มีค่าผลต่างเท่ากับ 18.2363 – 17.9496 = 0.2867

แล้วนำมาเขียนฟังก์ชันได้ดังนี้

```
if u>=1.375
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.2860;
elseif u>=1.25
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.3519;
elseif u>=1.125
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.4172;
elseif u>=1
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.4824;
elseif u>=0.875
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.5477;
elseif u>=0.75
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.6131;
elseif u>=0.625
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.6779;
elseif u>=0.5
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.7433;
elseif u>=0.375
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.8084;
elseif u>=0.125
    y = 20.809056*u - 11.39373697-0.9389;
else
    y = 20.809056*u - 11.39373697-1.0046;
end
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. นำฟังก์ชันที่หาได้ในข้อที่ 1. มาใส่ในบล็อกฟังก์ชันใน Simulink ได้ดังรูปที่ 4.24 แล้วโหลดลงบอร์ด FiO Std



รูปที่ 4.24 สมการที่คำนวณได้ในข้อที่ 1.ใน Block MATLAB Function

3. เชื่อมต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 4.25 และเชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) เข้ากับวงจรภายใน และสายสัญญาณขาออก(V+ และ GND) เข้ากับบอร์ด FiO Std

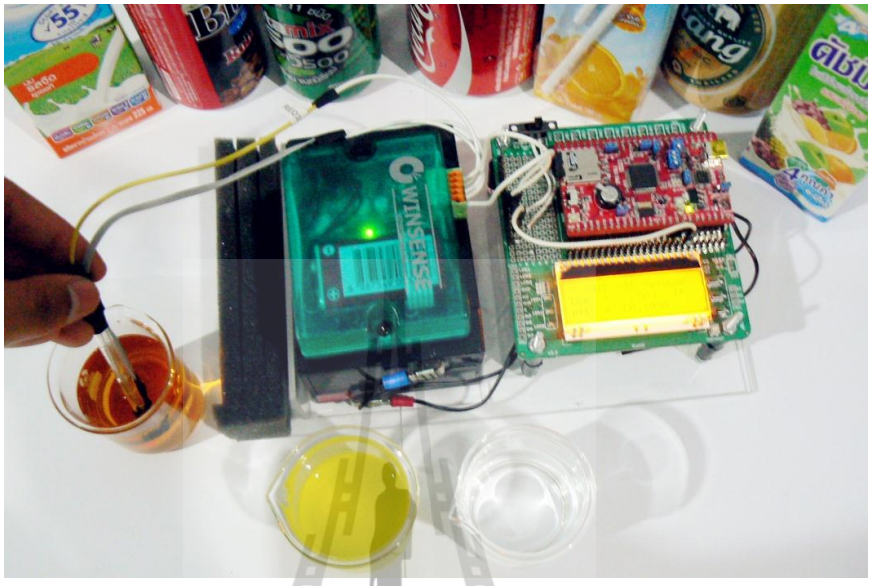
หมายเหตุ : ต้องติดตั้งสวิตช์ที่บอร์ด FiO Std เพื่อป้องกันแรงดันเข้าบอร์ด FiO Std เกิน 3.3 V

รูปที่ 4.25 เชื่อมต่อสายสัญญาณ (D,S) และขั้วอ้างอิง (G) พร้อมสายสัญญาณ (V+ และ GND) เข้ากับบอร์ด FiO Std

4. นำโพรบไปจุ่มที่สารละลายตัวอย่าง แต่ยังไม่เปิดสวิตช์ตามรูปที่ 4.26

รูปที่ 4.26 การจุ่มโพรบในสารละลายตัวอย่าง แต่ยังไม่ได้เปิดสวิตช์

5. เปิดสวิตช์ที่อยู่ด้านข้างกล่องวงจรสังเกต LCD สีเขียวติดกับสวิตช์ที่ติดตั้งที่บอร์ด FiO Std วัดค่าแรงดันขาออกของชุด Winsense ISFET pH Sensor Kit และค่า pH ในสารละลายตัวอย่าง โดยจะแสดงผลออกตรงจอ CLCD ดังรูปที่ 4.27 และบันทึกผลลงตารางที่ 4.6.1



รูปที่ 4.27 การวัดค่า pH ของสารละลายตัวอย่าง

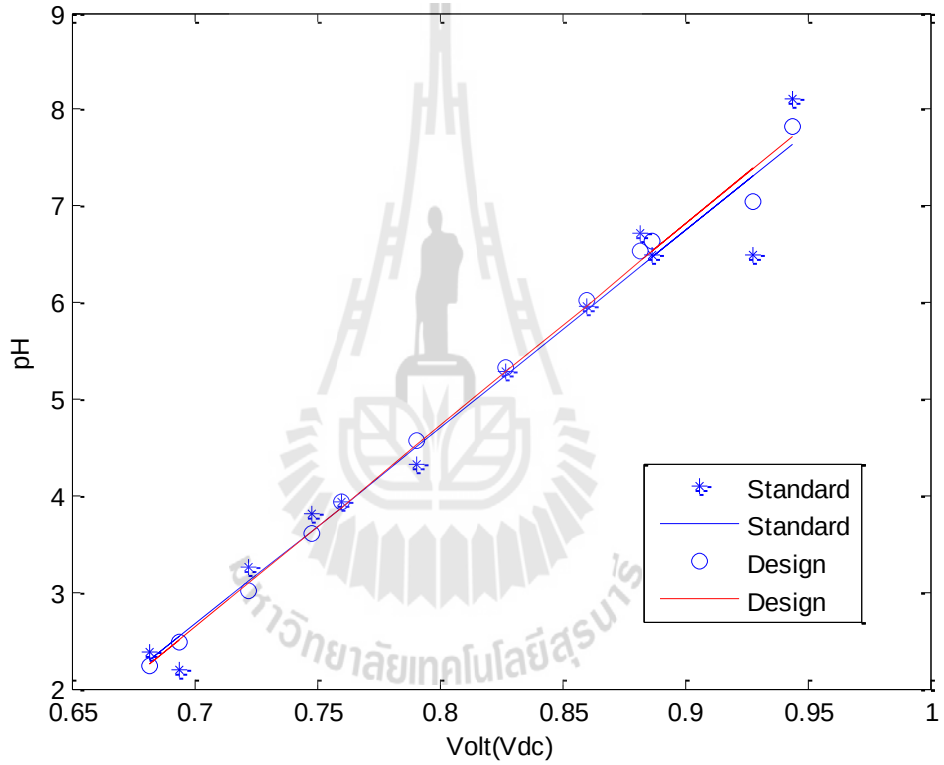
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.6.1 แสดงค่าแรงดันและค่าpH ของสารละลายตัวอย่างที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและเครื่องที่ออกแบบ

สารละลาย	ค่า pH (จากเครื่องวัดค่า pH มาตรฐาน)				ค่า pH (จากเครื่องวัดค่าที่ออกแบบ)								Error (%)
					ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	pH	Volt	pH	Volt	pH	Volt	pH	Volt	
Coke	2.20	2.24	2.12	2.187	2.245	0.688	2.245	0.688	2.245	0.688	2.245	0.688	2.65
น้ำส้มสายชู	2.26	2.44	2.42	2.373	2.491	0.670	2.491	0.670	2.491	0.670	2.491	0.670	4.97
Vitamix	3.15	3.33	3.31	3.263	3.077	0.728	3.077	0.728	3.077	0.728	3.077	0.728	5.70
นมเปรี้ยว	3.78	3.84	3.81	3.810	3.609	0.753	3.609	0.753	3.609	0.753	3.609	0.753	5.28
น้ำส้มมินิเมท	3.95	4.02	3.83	3.933	3.925	0.765	3.925	0.765	3.925	0.765	3.925	0.765	0.20
เบียร์ช้าง	4.34	4.19	4.41	4.313	4.562	0.796	4.562	0.796	4.562	0.796	4.562	0.796	5.77
โซดา	5.16	5.35	5.35	5.287	5.322	0.833	5.322	0.833	5.322	0.833	5.322	0.833	0.66
ชาเขียว	5.90	5.99	6.02	5.970	6.015	0.866	6.015	0.866	6.015	0.866	6.015	0.866	0.75
นมจืด	6.73	6.71	6.71	6.717	6.533	0.888	6.533	0.888	6.533	0.888	6.533	0.888	2.74
น้ำดื่ม	6.72	6.29	6.45	6.487	6.633	0.892	6.633	0.892	6.633	0.892	6.633	0.892	2.25
กาแฟ	6.79	6.85	6.92	6.853	7.044	0.912	7.044	0.912	7.044	0.912	7.044	0.912	2.79
น้ำยาล้างคอนแทคเลนส์	8.13	8.11	8.10	8.113	7.823	0.949	7.823	0.949	7.823	0.949	7.823	0.949	3.57
											ค่าเฉลี่ย Error (%) = 3.11		

หมายเหตุ : % ความผิดพลาด = % ความผิดพลาด = $\frac{(\text{ค่าที่วัดได้จากเครื่องที่ออกแบบ} - \text{ค่าของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน})}{\text{ค่าของชุดน้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน}}$ X 100 %

จากตารางที่ 4.6.1 แสดงผลการวัดค่าแรงดันและค่า pH โดยแสดงชื่อสารละลายทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ซึ่งสารละลายที่เป็นกรด 5 ตัวอย่าง เป็นเบส 1 ตัวอย่าง และเป็นกลาง 6 ตัวอย่าง โดยแสดงค่าการวัดจากเครื่องมือที่ออกแบบขึ้นที่ได้ผ่านการปรับปรุงแล้วและเครื่องวัดค่า pH มาตรฐานยี่ห้อ WTW inoLab Multi 720 ได้ทำการทดลองวัดค่าทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทำการคำนวณค่าเฉลี่ยแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่า pH ที่วัดจากเครื่องมือที่ออกแบบขึ้นที่ได้ผ่านการปรับปรุงแล้วกับเครื่องวัดค่า pH มาตรฐาน แสดงในกราฟดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่า pH ของเครื่องมาตรฐานกับเครื่องที่ออกแบบที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

4.6.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.6.1 ผลการทดลองจากสารละลาย 12 ตัวอย่าง ค่าจากเครื่องมาตรฐานจะแสดงค่า pH เท่านั้น ส่วนเครื่องที่ออกแบบขึ้นจะแสดงทั้งค่าแรงดันและค่า pH ซึ่งเมื่อนำค่า pH จากทั้งสองเครื่องมาพลอตกราฟรูปที่ 4.23 เปรียบเทียบกันพบว่า ค่า pH ของเครื่องที่ออกแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่า pH มาตรฐานดูได้จากกราฟรูปที่ 4.28 ซึ่งเส้นของเครื่องที่ออกแบบแทบจะทับเส้นของเครื่องมาตรฐาน

4.6.5 สรุปผลการทดลอง

ในการปรับปรุงแก้ไขนี้สามารถทำให้ค่า pH ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากๆ เนื่องจากเป็นการแบ่งช่วงในการปรับปรุงแก้ไขทำให้ได้ค่าที่ละเอียดยิ่งขึ้น จึงสามารถปรับปรุงให้เครื่องวัดค่า pH ที่ออกแบบขึ้นมีค่าใกล้เคียงมากๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้งหมด ว่าสามารถพัฒนาเครื่องวัดค่า pH มาได้อย่างไร และสามารถนำเครื่องวัดค่า pH นี้ไปใช้งานในด้านใดบ้าง พร้อมข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาเครื่องวัดค่า pH นี้ต่อไป

5.2 สรุปผลการทดลอง

โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาพัฒนาเครื่องวัดค่า pH โดยการนำเอา pH เซนเซอร์ที่แสดงผลเอาท์พุตออกมาเป็นแรงดันมาทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นคือ บอร์ด FiO Std และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MATLAB SIMULINK เพื่อประมวลผลทำให้ค่าแรงดันเป็นค่า pH สามารถแสดงค่าออกจอ CLCD ได้ แล้วได้ทำการทดลองกับสารละลายต่างๆ และปรับปรุงจนได้ผลการทดลองมีค่า pH ใกล้เคียงหรือเสมือค่ามาตรฐานจากเครื่องวัดค่า pH มาตรฐานที่สุด

จากผลการทดลอง ทำให้ทราบค่า pH ของสารละลายต่างๆในชีวิตประจำวัน แสดงถึงความเป็นกรดเป็นเบสของสารละลายผ่านทางตัวเลขที่แสดงค่าของค่า pH ผ่านจอ CLCD ซึ่งสามารถแยกการเป็นกรดเป็นเบสได้ดังนี้

ถ้าค่า pH = 7 แสดงว่าเป็นกลางคือไม่มีความเป็นกรดเป็นเบส

ถ้าค่า pH > 7 แสดงว่าเป็นเบส

ถ้าค่า pH < 7 แสดง่าเป็นกรด

จากการทดลองทำให้ทราบถึงความสำคัญของค่า pH ในชีวิตประจำวันและยังมีประโยชน์นำไปใช้งานในด้านต่างๆอีกมากมาย เช่น ทางด้านการเกษตร ในการเพาะปลูกพืชควรให้ค่า pH ของดินอยู่ที่ 6-7 หรือจะเป็นการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ที่ต้องใช้น้ำสะอาดที่ค่า pH อยู่ที่ 5.5-6.5 ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำค่า pH ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์มีค่า pH อยู่ที่ 6.5-9 ทางด้านสิ่งแวดล้อม ในการบำบัดน้ำเสียจะต้องควบคุมให้ค่า pH ใกล้ 7 ที่สุด และร่วมถึงทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆค่า pH ก็มีบทบาทเป็นอย่างมาก

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ pH เซนเซอร์เมื่อใช้ไปเป็นเวลานาน สาร KCl ที่อยู่ในขั้วอ้างอิงอาจลดน้อยลงและหมดไป
2. อุณหภูมิมีผลกระทบอย่างมากในการละลายของสาร KCl ที่อยู่ในขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และแสงมีผลในการตอบสนองของ ISFET ทำให้อาจได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง
3. สารละลายที่ใช้ในการวัดยังจำกัดอยู่ที่ประเภทของเหลว และไม่สามรถวัดสารที่เป็นอันตรายรุนแรงได้ เนื่องจากอาจจะทำให้โพรบในการวัดเสียหาย

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเลือกใช้ pH เซนเซอร์ที่มีคุณภาพมากกว่านี้ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาสาร KCl ลดน้อยลง
2. ควรวัดค่า pH และเก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง หรือกำหนดค่าอุณหภูมิที่สามารถวัดได้
3. ในการวัดควรหาอุปกรณ์ในการป้องกันแสงเพื่อให้ได้ค่า pH ที่แม่นยำของค่า pH
4. หาวิธีการวัดค่า pH ของสารต่างๆนอกเหนือจากของเหลว
5. ควรใช้โพรบที่ทำจากวัสดุที่มีคุณภาพสามารถวัดในสารอันตรายที่มีความเป็นกรดเป็นเบสสูงๆได้
6. ในการพัฒนาควรหาวิธีการควบคุมค่า pH ได้ เพื่อจะได้เครื่องวัดค่า pH ที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวมาลีวัลย์ อนุรักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2534
ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนราชสีมาวิทยา 2
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
จังหวัดนครราชสีมา

นางสาวลัดดาวัลย์ เพียรการ เกิดเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2533
ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลแก อำเภอรัตนบุรี จังหวัดสุรินทร์
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนรัตนบุรี
อำเภอรัตนบุรี จังหวัดสุรินทร์
ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
จังหวัดนครราชสีมา

นางสาวนุชยา ศรีบำรุง เกิดเมื่อวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2533
ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลมะค่า อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนโนนไทยคุรุอุปถัมภ์
อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา
ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
จังหวัดนครราชสีมา

บรรณานุกรม

[1] http://www.aimagin.com/learnth/index.php/

[2] http://winsense.co.th/products/ISFETSensorKit-WinsenseISFETpHSensorKit

[3] http://www.embeddedcraft.org/keilsetup.html

[4] http://ist.njit.edu/software/documentation/matlab2009a.php

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การติดตั้งโปรแกรมต่างๆที่ใช้ในโครงงาน

1. การติดตั้งโปรแกรม MATLAB

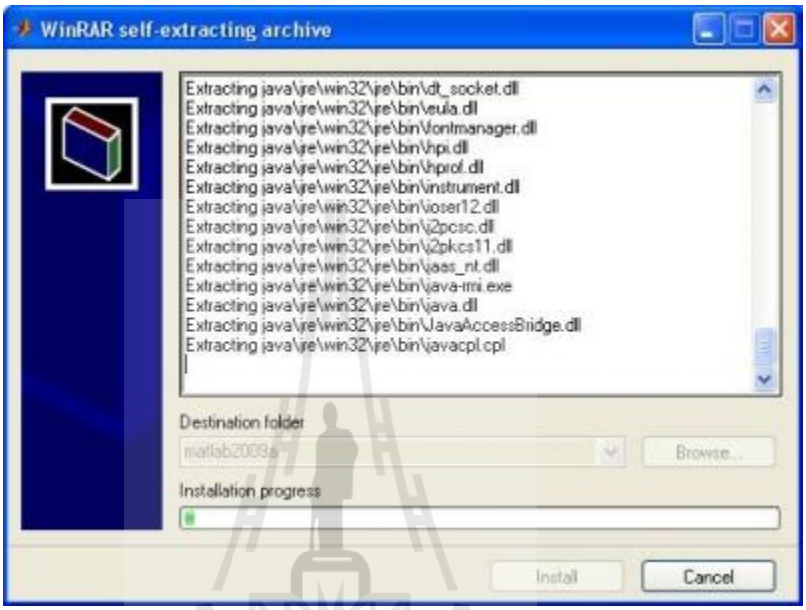
1. ทำการดาวน์โหลดโปรแกรม

รูปที่ ก.1 หน้าต่างดาวน์โหลด

2. หลังจากที่มีการได้รับสิ่งที่ต้องการจากขั้นตอนที่ 1 หาไฟล์ที่คุณดาวน์โหลดในแฟ้มงานที่เลือกไว้ แล้วดับเบิลคลิกที่ไอคอนไฟล์ หน้าต่าง (ด้านล่าง) ปรากฏ คลิกที่**ติดตั้ง**ปุ่มเพื่อเริ่มต้นการแยกไฟล์ที่จำเป็นในการติดตั้งโปรแกรม MATLAB

รูปที่ ก.2 หน้าต่างติดตั้งโปรแกรม

3. หลังจากที่มีการคลิกติดตั้งปุ่มจากขั้นตอนก่อนหน้าจะเห็นกระบวนการสกัดไฟล์เริ่มต้น โปรดรอสักครู่จนกว่าการติดตั้งความคืบหน้าเติมขึ้นทั้งหมดด้วยสีฟ้านี้อาจใช้เวลาหลายนาที เมื่อทุกอย่างถูกสกัดการตั้งค่าสำหรับ Mat lab 2009a / b โดยอัตโนมัติจะเริ่มต้นโลโก้ Mat lab จะกระพริบบนหน้าจอแล้วจะเห็นหน้าต่างด้านล่างขั้นตอนต่อไปจะปรากฏ



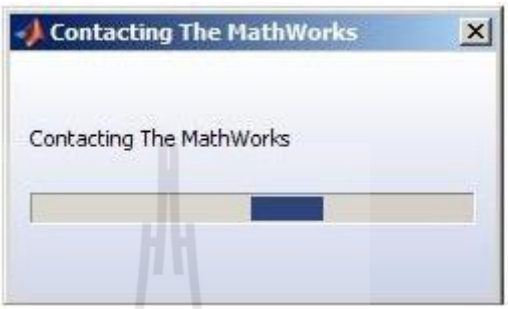
รูปที่ ก.3 หน้าต่างโปรแกรมที่กำลังโหลดข้อมูลในการติดตั้ง

4. เมื่อโลโก้ MATLAB หายไปจะเห็นหน้าต่างต่อไปนี้ (ด้านล่าง) ตอนนี้พร้อมที่จะเริ่มต้นการติดตั้ง MATLAB 2009a / b สำหรับ Windows

รูปที่ ก.4 หน้าต่างเริ่มต้นการติดตั้งโปรแกรม

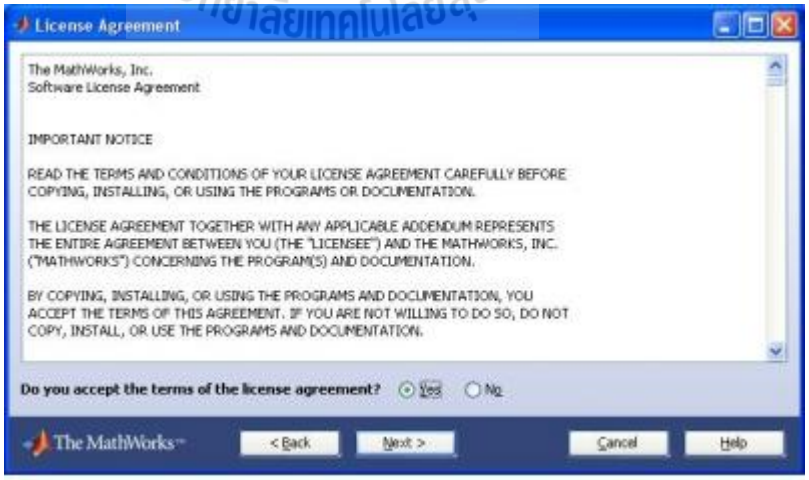
5. ในหน้าจอ shot ข้างต้นออกจากตัวเลือกสำหรับติดตั้งโดยอัตโนมัติโดยใช้อินเทอร์เน็ต (แนะนำ) แล้วคลิกถัดไป>ปุ่มเพื่อดำเนินการต่อไป

6. ให้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตจะเห็นหน้าต่างปรากฏขึ้น (ดูด้านล่าง) แจ้งให้ทราบว่ามันติดต่อ Math worksหน้าต่างนี้คล้ายจะปรากฏในเวลาอื่น ๆ ต่าง ๆ ระหว่างการติดตั้ง



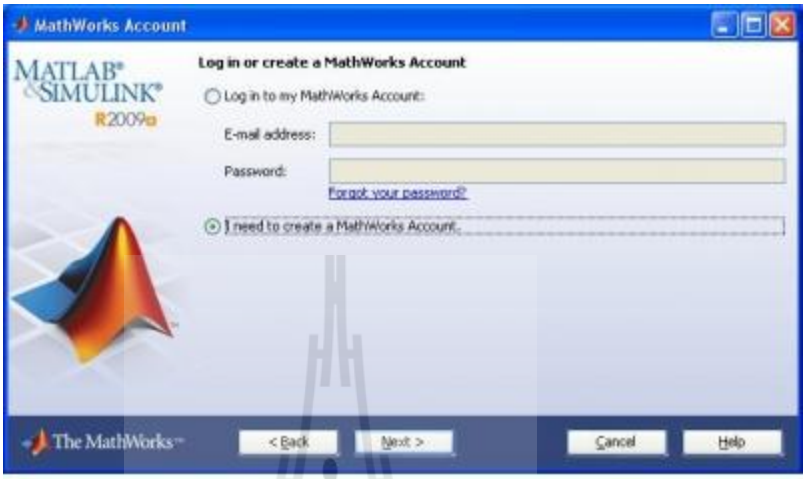
รูปที่ ก.5 หน้าต่างแจ้งว่ากำลังติดต่อ mathworks

7. หลังจากเซิร์ฟเวอร์ Math works ได้รับการติดต่อ ข้อตกลงใบอนุญาตจะปรากฏ (ดูด้านล่าง) หลังจากที่มีการระมัดระวังอ่านข้อตกลงใบอนุญาตให้เลือกใช่ตัวเลือกหรือถ้าไม่ต้องการที่จะดำเนินการสามารถคลิกไม่มี หลังจากเลือกแล้วให้คลิกที่ถัดไป >ปุ่ม



รูปที่ ก.6 หน้าต่างข้อตกลงใบอนุญาต

8. หน้าต่างถัดไป (ดูด้านล่าง) จะเกี่ยวกับบัญชี Math Works เลือกตัวเลือกที่จำเป็นต้องสร้างบัญชีผู้ใช้ Math Works. แล้วคลิกถัดไป>ปุ่ม มีบัญชี Math works ใช้ตัวเลือก " เข้าสู่ระบบเพื่อ Math Works บัญชี " ให้ข้อมูลที่ถูกต้องเข้าสู่ระบบ ตรวจสอบครั้งเดียวโปรดข้ามไปขั้นตอนที่ 10

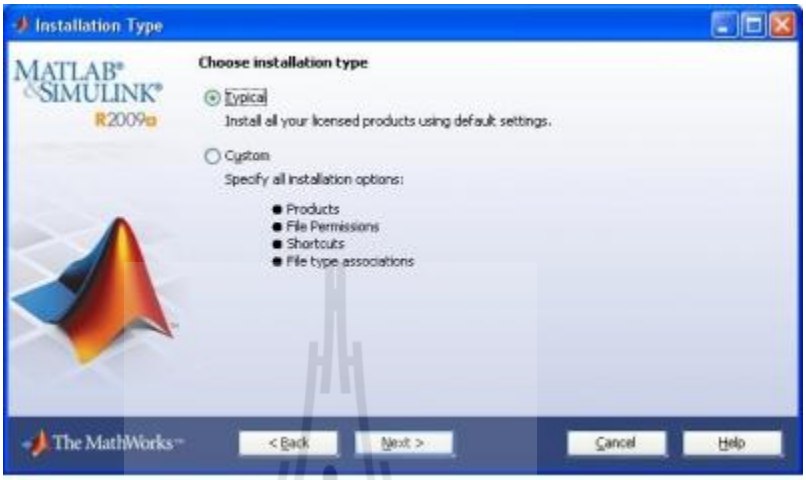


รูปที่ ก.7 หน้าต่างเกี่ยวกับบัญชี

9. ในบัญชีสร้างคุณจะต้องให้ ที่อยู่อีเมล์ที่ถูกต้อง ชื่อและที่สำคัญการเปิดใช้งานที่ควรจะได้รับการตรวจแล้วถ้าไม่โปรดคลิก "ขอ Product Key" ปุ่มบนหน้าดาวน์โหลด แล้วคลิกถัดไป>ปุ่มเพื่อดำเนินการต่อ

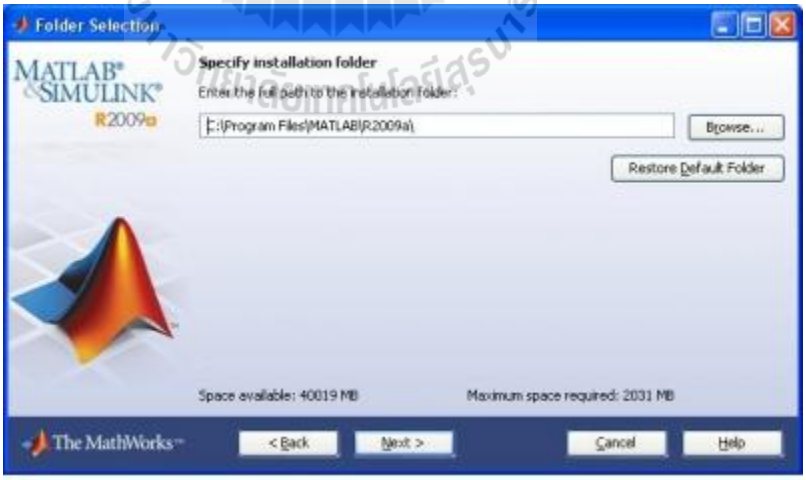
รูปที่ ก.8 หน้าต่างกรอกชื่อเพื่อติดตั้งโปรแกรม

10. ขณะนี้อยู่ในประเภทการติดตั้งหน้าต่าง (ดูด้านล่าง) เลือก Typical ตัวเลือกจากนั้น คลิกถัดไป>ปุ่มเพื่อดำเนินการต่อไป



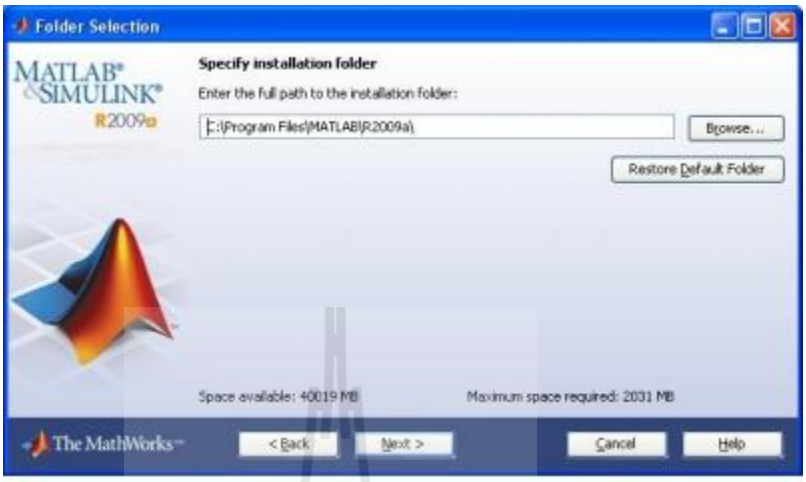
รูปที่ ก.9 หน้าต่างประเภทการติดตั้งโปรแกรม

11. ขณะนี้จะอยู่ในหน้าต่างเกี่ยวกับการเลือกโฟลเดอร์ที่ Mat lab เป็นที่จะติดตั้ง ออกจาก เส้นทางเป็นC: \ Program Files \ MATLAB \ R2009a \ แล้วคลิกถัดไป>ปุ่มและป๊อปอัพจะปรากฏ ขึ้นถัดอย่าตกใจ



รูปที่ ก.10 หน้าต่างการเลือกโฟลเดอร์ที่ Mat lab เป็นที่จะติดตั้ง

12. ในข้อความเตือนป๊อปอัพ (ดูด้านล่าง) จะบอกว่าต้องการที่จะสร้างเส้นทางการติดตั้ง Mat lab คลิกใช่ปุ่ม



รูปที่ ก.11 หน้าต่างการสร้างเส้นทางการติดตั้ง

13. ตอนนี้ควรจะอยู่ในการยืนยันหน้าต่าง ตรวจสอบให้แน่ใจจำนวนใบอนุญาตสำหรับอาจารย์ บุคลากรเป็น 277,254 สำหรับนักเรียนมันเป็น 353,732 กรุณาตรวจสอบให้แน่ใจว่าคุณมีจำนวนใบอนุญาตที่ถูกต้องและใช้เวลาดูรายการของผลิตภัณฑ์เพื่อให้แน่ใจว่าทุกสิ่งที่คุณต้องการที่จะติดตั้งจะมีจากนั้นคลิกติดตั้ง >ปุ่มเพื่อเริ่มการติดตั้ง

14. ตอนนี้จะต้องรอประมาณ 20 นาทีสำหรับการติดตั้งให้เสร็จสมบูรณ์ในขณะเดียวกันก็สามารถดูแถบความคืบหน้าสีฟ้าเติม (ดูด้านล่าง)

รูปที่ ก.12 หน้าต่างกำลังโหลดเพื่อการติดตั้ง

15. หลังจากการติดตั้งเป็น 99% เสร็จสมบูรณ์อาจได้รับข้อความเกี่ยวกับการเตือนภัยการขยายไฟล์ ถ้าได้รับนี้ pop-up ให้คลิกใช่ทั้งหมดตัวเลือก

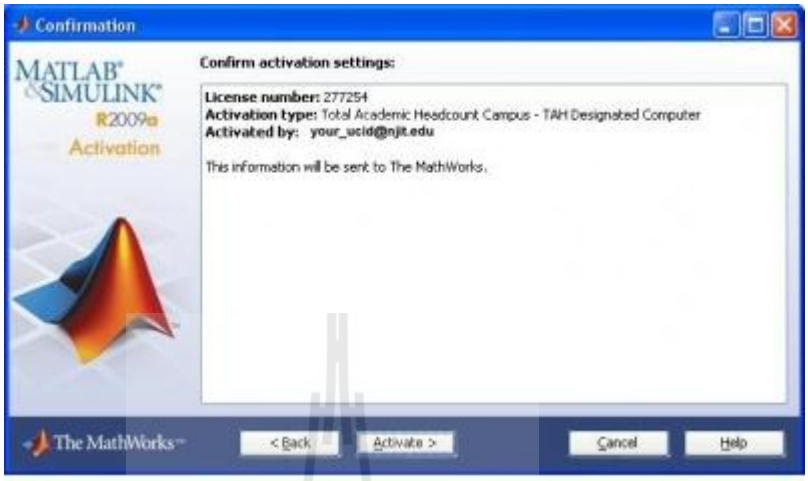
16. ตอนนี้การติดตั้งจะเสร็จสมบูรณ์ 100% และหน้าต่างใหม่จะปรากฏขึ้น (ดูด้านล่าง) แจ้งให้ทราบว่าการติดตั้งที่เสร็จสมบูรณ์ ตอนนี้ต้องเปิดใช้งานสำเนาของ Matlab, ออกจากตัวเลือกเปิดใช้งาน MATLABเลือกและคลิกถัดไป>ปุ่ม

รูปที่ ก.13 หน้าต่างแจ้งให้ทราบว่าการติดตั้งที่เสร็จสมบูรณ์

17. หน้าต่างสิทธิการเปิดใช้งานยินดีต้อนรับในขณะนี้จะปรากฏขึ้นเพียงแค่คลิกถัดไป>ปุ่ม (ดูด้านล่าง)

รูปที่ ก.14 หน้าต่างสิทธิการเปิดใช้งานยินดีต้อนรับ

18. ขณะนี้จะอยู่ในการยืนยันหน้าต่าง คลิกที่เปิดใช้งาน>ปุ่มเพื่อเปิดใช้งานสำเนาของ Matlab (ดูด้านล่าง)



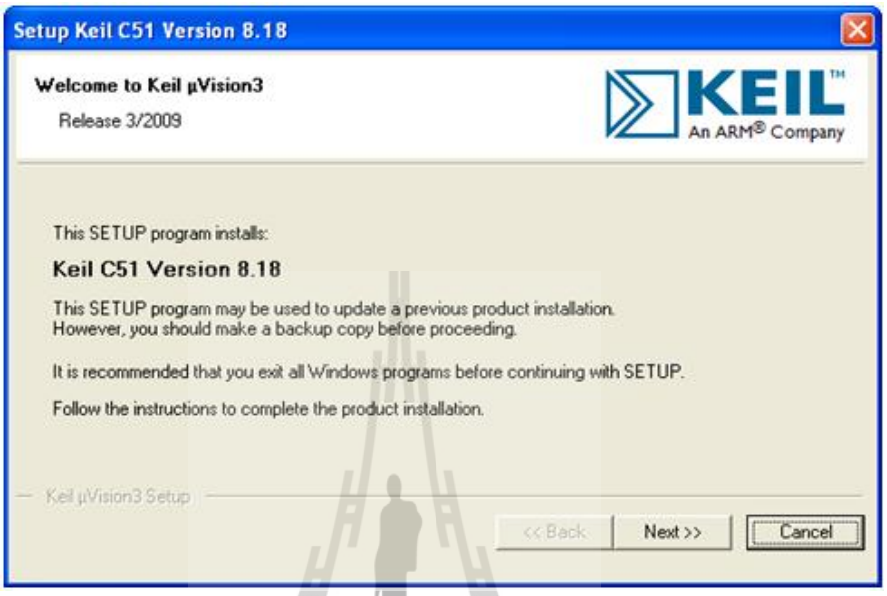
รูปที่ ก.15 หน้าต่างการยืนยัน

19. ในขณะนี้เสร็จเรียบร้อยแล้วการติดตั้งและเปิดใช้งาน MATLAB ถ้าต้องการที่จะเรียก MATLAB ทันทีที่กล่องที่อยู่ด้านซ้ายของ MATLAB เริ่ม (ดูด้านล่าง) แล้วคลิกถัดไป>ปุ่มเพื่อออกจากการติดตั้ง

รูปที่ ก.16 หน้าต่างเสร็จเรียบร้อยแล้วการติดตั้ง

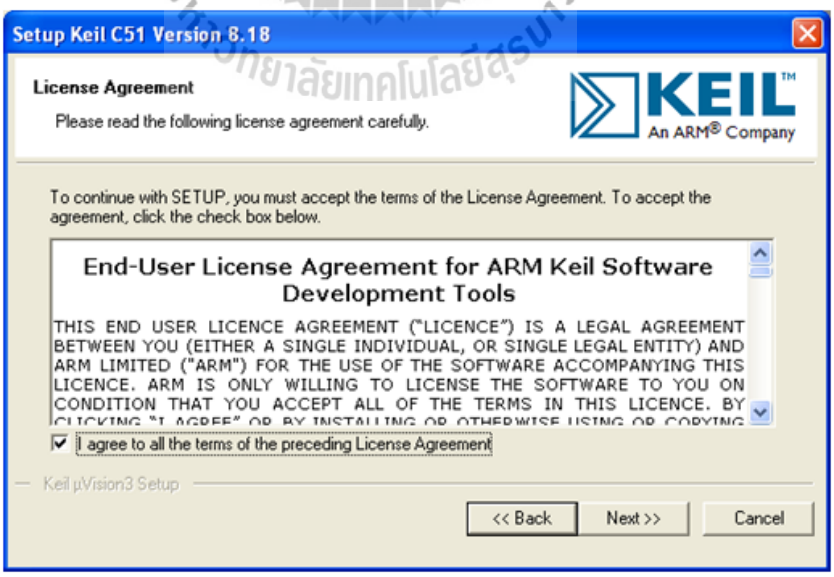
2. การติดตั้งโปรแกรม KEIL

1. หลังจากคลิกดาวน์โหลดที่ปฏิบัติการ แล้วจะเห็นหน้าจอดังต่อไปนี้



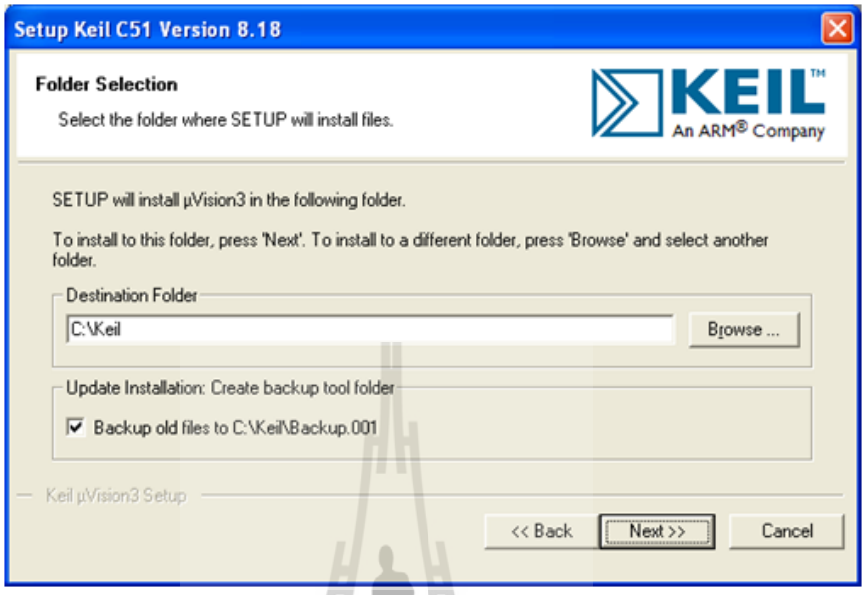
รูปที่ ก.17 หน้าต่างเริ่มติดตั้งโปรแกรม

2. คลิกที่ถัดไป หลังจากที่หน้าต่างข้อตกลงใบอนุญาตจะปรากฏบนหน้าจอ



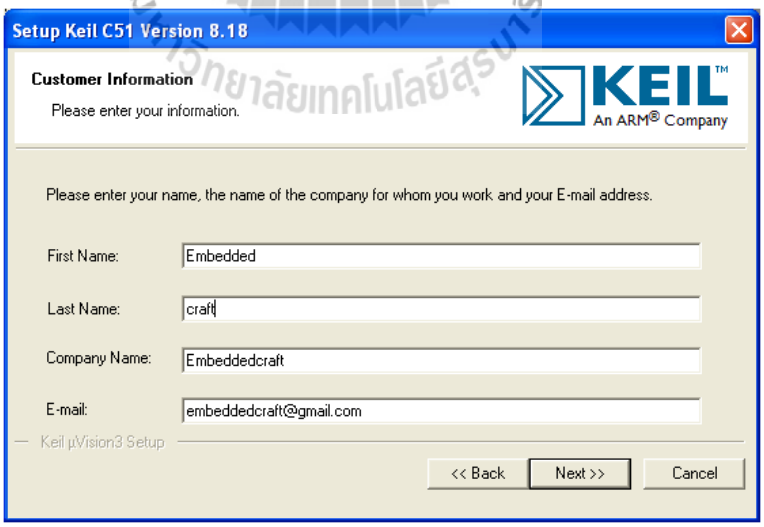
รูปที่ ก.18 หน้าต่างข้อตกลง

3. ยอมรับใบอนุญาตและดำเนินการสำหรับถัดไป



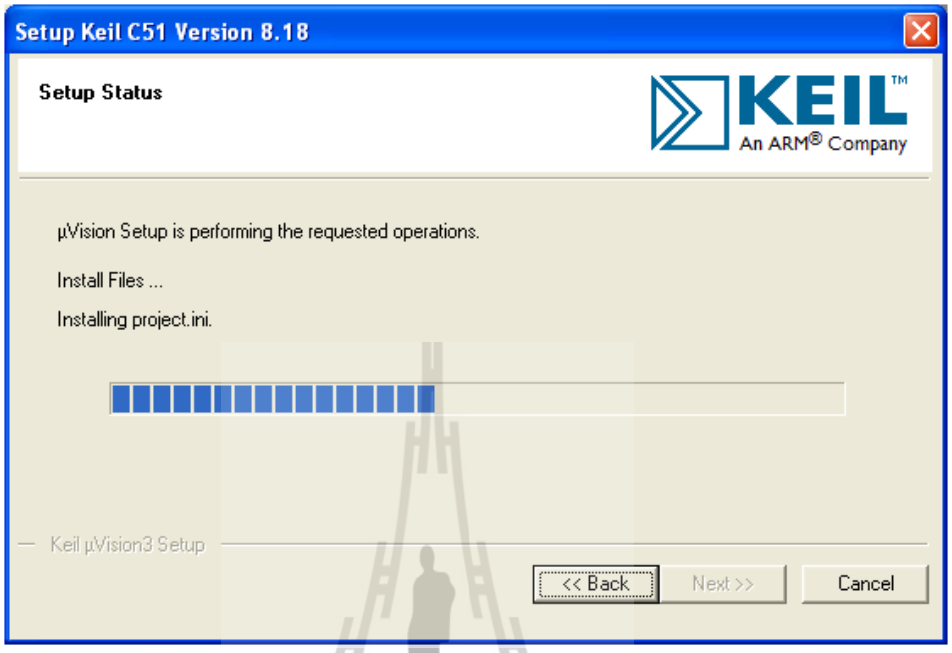
รูปที่ ก.19 หน้าต่างยอมรับใบอนุญาต

4. ตอนนี้เลือกโฟลเดอร์ปลายทางที่ต้องการติดตั้ง KEIL เลือก C: \ Keil คลิกถัดไป



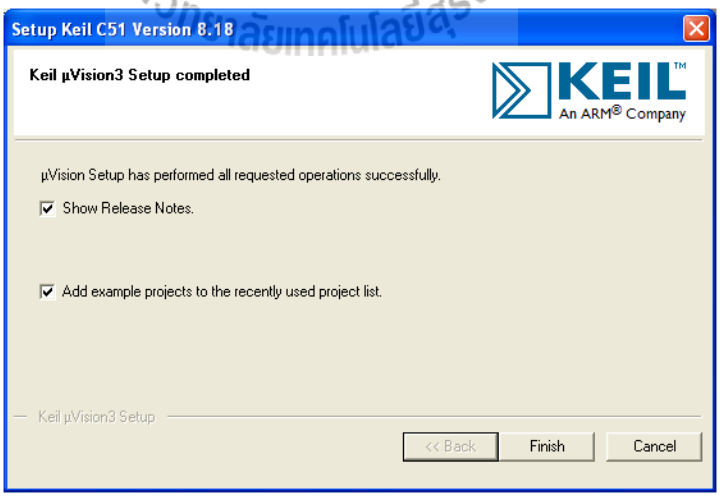
รูปที่ ก.20 หน้าต่างเลือกโฟลเดอร์ปลายทางที่ต้องการติดตั้ง KEIL

5. นี่คือหน้าต่างข้อมูล ใส่ข้อมูลที่นี่และดำเนินการต่อไปสำหรับ



รูปที่ ก.21 หน้าต่างกระบวนการติดตั้ง

6. ดังนั้นกระบวนการติดตั้งจะเริ่มต้น ปล่อยให้มันจบ หลังจากเสร็จสิ้นหน้าต่างต่อไปนี้จะปรากฏบนหน้าจอ



รูปที่ ก.22 หน้าต่างเสร็จสิ้นการติดตั้งโปรแกรม

7. คลิกที่ Finish หลังจากที่ทราบรุ่นที่และหน้าต่าง Keil จะปรากฏ

นอกจากนี้ยังจะสร้างไอคอนบนเดสก์ทอป สุดท้ายหากหลังจากคลิกที่ทางลัด KEIL ที่บนเดสก์ทอปตามหน้าต่าง KEIL IDE ควรจะปรากฏขึ้นบนหน้าจอ

ภาคผนวก ข.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณค่า pH

โค้ดการคำนวณค่า pH ในmath lab

```
f u>=1.375
y = 20.809056*u - 11.39373697-0.286;
elseif u>=1.25
y = 20.809056*u - 11.39373697-0.3519;
elseif u>=1.125

y = 20.809056*u - 11.39373697-0.4172;
elseif u>=1
y = 20.809056*u - 11.39373697-0.4824;
elseif u>=0.875
y = 20.809056*u - 11.39373697-0.5477;
elseif u>=0.75
y = 20.809056*u - 11.39373697-0.6131;
elseif u>=0.625
y = 20.809056*u - 11.39373697-0.6779;
elseif u>=0.5
y = 20.809056*u - 11.39373697-0.7433;
elseif u>=0.375
y = 20.809056*u - 11.39373697-0.8084;
elseif u>=0.125
y = 20.809056*u - 11.39373697-0.9389;
else
y = 20.809056*u - 11.39373697-1.0046;
end
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี