สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์มารดา

Fetal Monitor

โดย

นายจิระศักดิ์ เวชญาสิทธิ์

นายชาญชัย กิตติสรนันท์

นายไชยวัฒน์ โพธิ์ทอง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 61858

วัน,เดือน,ปี 24 ก.ค. 2549

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์มารดา

Fetal Monitor

โดย

นายจิระศักดิ์ เวชญาสิทธิ์ 45015272

นายชาญชัย กิตติสรนันท์ 45015274

นายไชยวัฒน์ โพธิ์ทอง 45015275

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.กิตติพล ชิตสกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์มารดา

FETAL MONITOR

ผู้จัดทำ

1.นายจิระศักดิ์	เวชญาสิทธิ์	รหัสประจำตัว	45015272
2.นายชาญชัย	กิตติสรนันท์	รหัสประจำตัว	45015274
3.นายไชยวัฒน์	โพธิ์ทอง	รหัสประจำตัว	45015275

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.กิตติพล ชิตสกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์มารดา

FETAL MONITOR

1.นายจิระศักดิ์	เวชญาสิทธิ์	รหัสประจำตัว	45015272
2.นายชาญชัย	กิตติสรนันท์	รหัสประจำตัว	45015274
3.นายไชยวัฒน์	โพธิ์ทอง	รหัสประจำตัว	45015275

รายงานนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

.....

(ดร.ถิติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์มารดา

จิระศักดิ์ เวชญาสิทธิ์
ชาญชัย กิตติสรนันท์
ไชยวัฒน์ โพธิ์ทอง
ดร. กิติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเกี่ยวกับแนวคิด และการสร้างเครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความดันเป็นตัวตรวจจับสัญญาณการดิ้นของทารกแผ่นทางแถบรัดหน้าท้อง แล้วนำสัญญาณที่ได้มาขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณ เพื่อจะได้นำสัญญาณนี้เข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ซึ่งเป็นตัวทำหน้าที่ในการติดต่อนำสัญญาณการเคลื่อนไหวที่ได้ไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB เพื่อแสดงผลของสัญญาณที่ได้ออกมาผ่านทางจอของคอมพิวเตอร์ ซึ่งโครงงานนี้สามารถบันทึกและแสดงผลเป็นความแรงของการดิ้นและความถี่ในการดิ้นของทารกในครรภ์ ทำให้เราสามารถทราบถึงปกติของทารกในครรภ์ของมารดาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FETAL MONITOR

Mr. Jirasak Wetyasit
Mr. Chanchai Kittisoranan
Mr. Chaiwat Phothong
Dr. Kittiphon Chitsakul (Advisor)
Education Year 2004

Abtract

This thesis presents concept and implementation of a fetal movement monitor. The device uses a pressure sensor placed in an abdominal cuff. An differential amplifier is used as a font end of an analog to digital converter of a microcontroller (PIC16C745). The digital data of any movements occurred on the abdominal movement including respiration, fetal movement and artifacts are sent to an PC for recording and monitoring.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กิติพล ชิตสกุล ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นและแนวทางในการปฏิบัติงานและการแก้ไขปัญหาที่เป็นอุปสรรคต่างๆ เกี่ยวกับโครงการนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกๆท่านที่ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับการทำงาน คุณสมบัติของอุปกรณ์ รวมทั้งการประยุกต์ในการใช้งานด้านต่างๆ ซึ่งช่วยให้ผู้จัดทำสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้ และทำให้การจัดทำโครงงานฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำโครงงานฉบับนี้ขอระลึกถึงด้วยความขอบพระคุณยิ่ง

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 แนวคิดของโครงงาน	1
1.3 วิธีดำเนินงาน	1
1.4 โครงสร้างรายงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับมารดาในครรภ์และมารดา	3
- วิวัฒนาการทารกในครรภ์และการเปลี่ยนแปลงของมารดา	3
- ความผิดปกติต่างๆ ของการตั้งครรภ์ ที่มักเกิดขึ้นบ่อยครั้ง	6
2.2 เซ็นเซอร์ตระกูล MPX 2010	7
2.2.1 จุดเด่นเฉพาะตัว	7
2.2.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน	7
2.2.3 การประยุกต์ความต่างของแรงดัน	7
2.2.4 กราฟสัญญาณเอาท์พุทของตัวเซ็นเซอร์	9
2.2.5 โครงสร้างพื้นฐานของเซ็นเซอร์	10
2.3 พอร์ต USB	10
2.3.1 รู้จักกับพอร์ต USB	10
2.3.2 จุดกำเนิดของ USB	11
2.3.3 การส่งข้อมูลภายในบัส USB 1.0/1.1	11
2.3.4 ส่วนประกอบทางด้านซอร์ฟแวร์	13
2.3.5 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์	14
2.3.6 โครงสร้างการเชื่อมต่อ	16
2.3.7 การติดต่อระหว่างอุปกรณ์และโฮสต์	17
2.3.8 การส่งสัญญาณในบัส USB	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.3.9 กระบวนการกำหนดการทำงานของอุปกรณ์	18
2.3.10 สายเชื่อมต่อและคอนเน็กเตอร์ของพอร์ต USB	19
2.3.11 สายนำสัญญาณ USB	20
2.3.12 การจัดการด้านพลังงาน	22
2.3.13 ชนิดของการถ่ายทอดสัญญาณ	27
2.3.14 โครงสร้างระดับล่างของการรับส่ง	32
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	35
3.1 การออกแบบวงจร เซ็นเซอร์	36
3.2 การออกแบบวงจร ขยายสัญญาณ	36
3.2.1 DIFFERENTAIL AMPLIFIER	36
3.2.2 NON-INVERTING AMPLIFIER	36
3.3 การออกแบบไมโครคอนโครลเลอร์	37
3.2.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์	37
3.2.2 การออกแบบด้านซอร์ฟแวร์	38
3.4 การออกแบบหน้าจอแสดงผล	41
3.4.1 หลักการออกแบบหน้าจอแสดงผล	41
3.4.2 ขั้นตอนการออกแบบ	42
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	43
4.1 การทดลองในส่วนวงจรเซ็นเซอร์	43
4.1.1 ทดสอบความไวของเซ็นเซอร์	43
4.1.2 การทดลองวัดสัญญาณการกระเพื่อมของหน้าท้องในคนปกติ	44
4.1.3 การทดลองวัดสัญญาณโดยการเคาะถุงลมด้านนอกขณะวัดในคนปกติ	46
4.2 การทดลองเรื่องการติดต่อกับอุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB	47
4.2.1ขั้นตอนการทดลอง	47
4.2.2 ผลการทดลองโดยการจ่ายศักย์ดาที่ต่างกันเข้าใน CH4	48
4.3 การทดลองเครื่องวัดกับเครื่องจำลองครรภ์มารดา	50
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	52
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรไฟฟ้าภายในตัวเซ็นเซอร์แรงดัน	8
รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของเซ็นเซอร์	10
รูปที่ 2.3 การจัดลำดับการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละตัว	12
รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมการทำงานของ USB รูทฮับอย่างง่าย	15
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างการเชื่อมต่อของ USB	17
รูปที่ 2.6 คอนเน็กเตอร์USB ในอนุกรม A	19
รูปที่ 2.7 คอนเน็กเตอร์ USB ในอนุกรม B	19
รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างสายสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อพอร์ต USB	20
รูปที่ 2.9โครงสร้างภายในของสาUSBแบบความเร็วต่ำ	20
รูปที่ 2.10โครงสร้างภายในของสาย USB แบบความเร็วเต็มที่	20
รูปที่ 2.11ข้อจำกัดด้านแรงดันที่จุดเชื่อมต่อ	22
รูปที่ 2.12 การจัดการพลังงานของฮับที่มีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง	23
รูปที่ 2.13 การใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฮบริด	25
รูปที่ 2.14 แสดงรายละเอียดของแต่ละสเตจของการถ่ายทอดสัญญาณควบคุม	31
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของแต่ละทรานแซกชั่น	32
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของข้อมูลในแต่ละแพ็กเก็ต	33
รูปที่ 2.17 ลำดับข้อมูลเพื่อการซิงโครไนซ์	33
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมเครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์	35
รูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบวงจรเซ็นเซอร์	36
รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบวงจร AMPLIFIER	37
รูปที่ 3.4 แสดงการออกแบบวงจรบอร์ด USB	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราแรงดันสูงสุด	8
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติการทำงาน	8
ตารางที่ 2.3 แสดงอัตราการหน่วงเวลาของสาย USB เมื่อกับความยาวสายอากาศ	22
ตารางที่ 4.1 แสดงแรงศักดาไฟฟ้าเมื่อกดถุงลมที่แรงดันต่างๆ	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ได้เจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็ว ได้มีการพัฒนาเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์เพื่อส่งเสริมสุขภาพอนามัยของมนุษย์มากมาย เครื่องมือวัดการดิ้นของทารกในครรภ์นี้ ก็เป็นอีกหนึ่งการพัฒนาในด้านนี้ ด้วยเล็งเห็นถึงผลที่จะทำให้เกิดความปลอดภัยกับทารกและมารดาให้ได้มากที่สุด จึงได้มีความคิดที่จะสร้างเครื่องมือนี้เกิดขึ้น

ช่วงระยะที่มารดาตั้งครรภ์เป็นช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงต่ออันตรายในหลายๆด้านสูงมาก อาทิเช่น การคลอดก่อนกำหนด การเสียชีวิตของทารกในท้องซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมารดาผู้ตั้งครรภ์ได้ สุขภาพของทารกที่ไม่แข็งแรงสมบูรณ์ ฯลฯ เครื่องมือนี้จะช่วยให้เราทราบถึงอาการต่างๆเหล่านี้ ซึ่งทำให้สามารถที่จะรักษาและช่วยเหลือทารกและมารดาได้ทันท่วงที

1.2 แนวคิดของโครงงาน

เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์มีหลักการโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความแรงของการเคลื่อนไหวของทารกในครรภ์ มาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยใช้เซ็นเซอร์แรงดันเป็นตัวเปลี่ยนระดับความแรงของการเคลื่อนไหวของทารกมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้ยังมีค่าที่น้อยมาก (4-20 mV) จึงต้องมีวงจรขยายแรงดัน เพื่อขยายสัญญาณนี้ให้มีปริมาณมากเพียงพอแล้วนำสัญญาณที่ได้นี้เข้าไปยังไมโครคอนโครลเลอร์ ซึ่งเป็นตัวที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของสัญญาณนี้ไว้ และยังเป็นตัวที่ติดต่อกับพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะสามารถส่งสัญญาณนี้ไปยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์จะมีหน้าที่ในการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้นี้ และแสดงผลของสัญญาณออกมาในรูปแบบที่คนทั่วไปสามารถเข้าใจผลของการวัดและสามารถที่จะวิเคราะห์การดิ้นของทารกได้ง่าย

เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์มารดานี้ จะสามารถแสดงผลของการวัดออกมาในรูปของกราฟเส้นสัญญาณและค่าตัวเลขที่บอกถึงระดับความแรงของการดิ้นของทารกในครรภ์ เราสามารถจะศึกษาถึงระดับความแรงและจำนวนครั้งของการดิ้นของทารกในครรภ์ แล้วนำค่าที่ได้นี้ไปศึกษาเปรียบเทียบกับทฤษฎีทางการแพทย์ที่เกี่ยวกับการดิ้นของทารกในครรภ์ เพื่อให้ทราบถึงสุขภาพของทารกที่ได้รับการวัดโดยเครื่องมือชิ้นนี้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

- ตัวเครื่องเป็นแบบพกพา มีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก
- แสดงผลการวัดสัญญาณออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถบันทึกเก็บค่าที่ได้จากการวัดลงในคอมพิวเตอร์
- แหล่งจ่ายไฟฟ้าของตัวเครื่องสามารถใช้ศักดาจากพอร์ต USB ได้เลย

1.3 วิธีดำเนินงาน

- ศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของทารกในครรภ์
- ศึกษาหลักการและการใช้งาน เซ็นเซอร์ความดัน MPX 2010
- ศึกษาหลักการและการใช้งาน ไมโครคอนโครลเลอร์ PIC16C75
- ศึกษาวงจรต่างๆที่ต้องนำมาใช้ในโครงงาน
- ออกแบบโครงงานและออกแบบวงจร
- ประกอบชิ้นงานและวิเคราะห์สัญญาณที่ได้
- ทดสอบการทำงานและปรับปรุงแก้ไข

1.4 โครงสร้างของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รวบรวมรายละเอียด ความเป็นมา แนวคิด การสร้างและทดสอบโครงงาน โดยได้แบ่งรายละเอียดออกเป็นบทต่างๆทั้งนี้เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและเข้าใจ ในแต่ละบท ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

บทที่ 1 ได้กล่าวถึงความเป็นมาของโครงงานนี้ แนวคิดของโครงงาน และการดำเนินงานของโครงงาน

บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับความรู้เรื่องของทารกในครรภ์ และมารดา อุปกรณ์และวงจรที่ได้นำมาใช้ในโครงงาน

บทที่ 3 กล่าวถึง การออกแบบและสร้างส่วนต่างๆ ที่ประยุกต์ใช้ในโครงงานนี้

บทที่ 4 กล่าวถึง การทดลองและผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบการทำงานจริงของโครงงานนี้

บทที่ 5 กล่าวถึง ผลสรุปที่ได้จากการทดลองและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

ในบทนี้ได้กล่าวทฤษฎีของชิ้นส่วนอุปกรณ์สำคัญๆ ที่นำมาใช้ในการออกแบบโครงงาน เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจต่อระบบที่ได้ออกแบบมา

2.1 ทฤษฎีทารกในครรภ์และมารดา

-วิวัฒนาการของทารกในครรภ์ และลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางร่างกายของมารดา

ตั้งครรภ์ 1 เดือน

ในเดือนแรกของการตั้งครรภ์ บางครั้งหรือส่วนมาก ไม่ทราบว่าตนเองตั้งครรภ์ ประจำเดือนที่ขาดหายไป อาจจะบอกไม่ได้ชัดเจน ถ้าเป็นผู้ที่สนใจตัวเองจะทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น คือ เต้านมจะใหญ่แข็งมากขึ้น คัดและเจ็บ อารมณ์จะเปลี่ยนไป หงุดหงิด ความไร้เหตุผลมีมากขึ้น ใน 1เดือนแรกของการตั้งครรภ์นี้ ทารกในครรภ์จะมีขนาดเล็กมาก เพียงเท่าเมล็ดข้าว อยู่ในถุงน้ำคร่ำเล็กๆ ที่มีรกเกาะอยู่ผนังมดลูก ขณะนี้ตัวทารกน้อย ที่มีขนาดเล็กเท่าเมล็ดข้าวจะมีตุ่มยื่นออกมาที่กำลังพัฒนา เป็นแขนขา ระบบประสาทเริ่มเกิด และใกล้เคียงกับระบบไหลเวียนโลหิต ก็กำลังเริ่มสร้างเครือข่ายไปทั่วร่างกายของทารก

เมื่อมีความผิดปกติของระดู ควรจะตรวจสอบการตั้งครรภ์ เพื่อให้ทราบผลที่แน่นอน และถ้าท่านตั้งครรภ์ก็ควรละเลิกพฤติกรรมที่จะมีผลกระทบต่อสุขภาพของทารก เช่น การสูบบุหรี่ การดื่มกาแฟ และสุรา เป็นต้น

ตั้งครรภ์ 2 เดือน

ในเดือนที่ 2 ของการตั้งครรภ์นั้น เป็นเดือนที่สำคัญ เพราะเป็นเวลาที่ตัวอ่อนหรือทารกน้อยๆ จะมีการพัฒนา เจริญเติบโตของระบบประสาทและหลอดเลือด ขณะเดียวกันอวัยวะที่สำคัญก็เริ่มเป็นรูปเป็นร่าง ทำให้ระยะเวลาดังกล่าวนี้ ทารกจะเสี่ยงต่อการเกิดความพิการ ถ้าได้รับสารพิษเข้าไป ในเดือนที่ 2 นี้ตัวทารกจะมีความยาวประมาณ 1 นิ้วฟุต ซึ่งแม้จะมีขนาดเล็ก แต่ทารกก็จะมี แขน ขา หน้า รูปร่างเหมือนมนุษย์ขนาดจิ๋ว ขณะเดียวกันก็จะมีหัวใจที่เต้นทำงานบีบเลือดไปเลี้ยงร่างกาย ผู้ตั้งครรภ์ในเดือนที่ 2 นี้ ก็จะมีอาการแพ้ท้อง เช่นเดียวกับเดือนแรก คือจะมีอาการแสบท้องอ่อนเพลีย หน้าอกโตขยายใหญ่ขึ้น ฮอร์โมนที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้การย่อยอาหารช้าลง จะทำให้ผู้ตั้งครรภ์มักจะมีอาการท้องอืดเฟ้อ ท้องผูก และผู้ที่ตั้งครรภ์จะรู้สึกหน้ามืด เป็นลมบ่อยๆ

ตั้งครรภ์ 3 เดือน

ในเดือนที่ 3 ของการตั้งครรภ์ อาการแพ้ท้องอาจจะยังมีอยู่หรือเริ่มจะดีขึ้น อารมณ์ของผู้เป็นแม่จะเริ่มคงเส้นคงวา ในช่วงเดือนที่ 3 นี้ ด้วยเครื่องมือตรวจการทำงานของหัวใจ อาจจะได้ยินเสียงเต้นของหัวใจ ซึ่งถ้าผู้เป็นแม่ได้ยินแล้วจะรู้สึกว่าเป็นประสบการณ์ที่น่าตื่นเต้น และน่าประทับใจ ในวัยนี้ทารกจะมีขนาดโดยประมาณ 3 นิ้วฟุต อวัยวะต่างๆ จะเกิดจนครบและกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนามากขึ้นเรื่อยๆ อวัยวะต่างๆ ก็เริ่มทำงานได้แล้ว สำหรับวัยขนาดครรภ์ 3 เดือนนี้เครื่องตรวจคลื่นเสียงความถี่สูง ยังไม่สามารถบอกเพศได้ว่าเป็นหญิงหรือชาย

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของร่างกายนั้น จะเริ่มพบว่ามีอาการบวมของฝ่ามือ ฝ่าเท้า รวมทั้งเส้นเลือดก็จะเริ่มโป่งให้เห็นเป็นลักษณะเส้นเลือดขอดได้ง่ายขึ้น

ตั้งครรภ์ 4 เดือน

การตั้งครรภ์ในระยะนี้ นับเป็นเดือนแรกของไตรมาสที่สอง อาการแพ้ท้องในเดือนนี้มักจะหายไป เริ่มทานอาหารได้มาก ทำให้น้ำหนักเริ่มมากขึ้น อารมณ์เข้าสู่สภาพปกติ แต่ยังอาจจะมีสภาพใจลอย อาการตกขาวอาจจะมีมากขึ้น เส้นเลือดขอดและ ริดสีดวงทวารจะเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าคนทั่วไป จากการขยายตัวของมดลูกอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงต่อระบบไหลเวียนของโลหิต

ในปลายเดือนที่ 4 นี้ ผู้เป็นแม่อาจจะรู้สึกได้ถึงการดิ้นของทารกในครรภ์ ถ้าเคยมีประสบการณ์ในการตั้งครรภ์มาก่อน จะมีความรู้สึกว่าลูกดิ้นจะมีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งตรงข้ามกับหญิงตั้งครรภ์แรกทารกในครรภ์ขณะนี้จะยาวประมาณ 4 นิ้วฟุต ทารกสามารถจะดูด กลืน เคลื่อนไหวได้คล้ายกับมนุษย์ทั่วไปที่ตัวเล็กๆ นั่นเอง แต่ก็ยังอ่อนแอไม่สามารถมีชีวิตอยู่นอกโพรงมดลูกได้

ตั้งครรภ์ 5 เดือน

ขณะนี้ผู้เป็นแม่มักจะมีความรู้สึกถึงการดิ้นของทารกได้ การดิ้นครั้งแรกๆ จะรู้สึกเบาและห่าง ซึ่งจะค่อยๆ ดิ้นแรงขึ้นๆ และถี่ขึ้นๆ ขณะนี้ผู้เป็นแม่มักจะมีอารมณ์ดี ไม่ซึมเศร้า ทารกในขณะเดือนที่ 5 จะมีขนาดประมาณ 10 นิ้วฟุต ศีรษะทารกยังค่อนข้างโต มีการเคลื่อนไหวของแขนขาและคอได้ดี นิ้วมือและนิ้วเท้าแยกกันชัดเจน อวัยวะเพศสามารถแยกได้ชัดเจนว่าเพศหญิงหรือเพศชาย ทารกจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ผู้เป็นแม่ก็มีการเปลี่ยนแปลงที่อาจจะสร้างความวิตกกังวลให้แก่ตนเองได้ คือ การเปลี่ยนแปลงของผิวหนัง จะมีผิวสีเกิดขึ้น ทั้งที่ใบหน้าหรือหน้าท้อง ที่หน้าจะทำให้เกิดสิว ฝ้า ซึ่งจะค่อยๆ จางหายไปหลังคลอด ขอให้คุณแม่ทั้งหลายที่ตั้งครรภ์มาถึงขณะนี้ ได้มีความอดทนต่อภาวการณ์ตั้งครรภ์ต่อไป อีกไม่นานนักท่านจะได้เห็นลูกน้อยที่น่ารักออกมาจากครรภ์

ตั้งครรภ์ 6 เดือน

เดือนที่ 6 เป็นเดือนที่ทารกจะดิ้นได้ดี บางครั้งก็จะเกิดความเจ็บปวดจากการดิ้นได้ ถ้าทารกดิ้นเข้าไปกระแทกกระเพาะปัสสาวะ หรือ ชายโครง สำหรับในเดือนที่ 6 นี้ มดลูกจะขยายใหญ่มากขึ้น จนก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวหนังหน้าท้อง คือจะเกิดผิวหนังแตกเป็นลาย ที่เรียกว่าหน้าท้องลาย จะมีอาการคันตามมา ในช่วงเดือนนี้ อาจจะมีภาวะแทรกซ้อนเกิดขึ้นกับการตั้งครรภ์ เช่น การเกิดเบาหวานขณะตั้งครรภ์ อาการพิษแห่งครรภ์ การอักเสบติดเชื้อราจะพบได้ง่ายมาก และการอักเสบในระบบทางเดินปัสสาวะพบได้บ่อยขึ้น ซึ่งจะต้องได้รับการรักษาอย่างทันท่วงที ในส่วนของทารก ขณะนี้มีขนาดยาวประมาณ 13 นิ้วฟุต น้ำหนักประมาณ 700-800 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาทารกเริ่มลืมและนิ้วมือเริ่มมีลายนิ้วมือ แต่ผิวหนังยังไร้ไขมัน ถ้าทารกคลอดก่อนกำหนดในเดือนดังกล่าวนี้ โอกาสจะเลี้ยงรอดยากมาก

ตั้งครรภ์ 7 เดือน

เป็นการเข้าสู่ไตรมาสสุดท้ายของการตั้งครรภ์ ท้องโตมากขึ้น คุณแม่จะรู้สึกได้ดีถึงการเคลื่อนไหวของทารก ท้องที่โตมากขึ้นทำให้คุณแม่หายใจเร็วขึ้น เพราะมดลูกที่โตจะมาดันกระบังลมทำให้หายใจได้สั้น ๆ คุณแม่จะรู้สึกถึงความอุ้ยอ้าย เคลื่อนไหวไม่คล่องแคล่ว นอนหลับไม่ได้เต็มที่จากการที่ทารกในครรภ์จะตื่น และตัวมดลูกเองก็จะบีบตัวเป็นระยะห่าง ๆ กัน เป็นการเริ่มต้นการหดรัดตัวของมดลูก ซึ่งจะรุนแรงมากขึ้นแต่ก็ไม่ถึงกับมีการเจ็บปวดเกิดขึ้น และจะบีบรัดตัวครั้งละไม่นานเกิน 30 วินาที ในระยะนี้คุณแม่ควรจะได้เข้าอบรมเรียนรู้ขั้นตอนการเตรียมคลอดเพื่อจะได้ปฏิบัติตัวได้ถูกต้องเมื่อเจ็บครรภ์คลอดและเข้าสู่กระบวนการคลอด ในช่วงระยะนี้คุณแม่จะมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเพิ่มสัปดาห์ละ ครึ่งกิโลกรัม ทารกในครรภ์ขณะนี้จะมีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม โดยประมาณ ทารกในครรภ์จะมีการเคลื่อนไหวและปฏิกิริยาในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การจาม ดูดมือ ดูดนิ้วเท้า

ตั้งครรภ์ 8 เดือน

ขณะนี้ท้องจะใหญ่มากขึ้นจนคุณแม่จะรู้สึกถึงความอึดอัด ท้องที่โตขึ้นทำให้พื้นที่ปอดขยายลดลง คุณแม่จะเหนื่อยง่าย หายใจเร็วสั้น กระเพาะปัสสาวะจะถูกกด ทำให้ต้องลุกขึ้นมาปัสสาวะบ่อย ๆ โดยเฉพาะเวลานอนก็จะถูกรบกวนได้จากการที่ต้องลุกไปปัสสาวะ และจากการดิ้นที่รุนแรงของเด็กทารกในครรภ์ ซึ่งขณะนี้การเจริญเติบโตของระบบกล้ามเนื้อมากขึ้น อาการท้องอืด ท้องเฟ้อ เรอบ่อย ๆ จะพบได้ เพราะการย่อยอาหารถูกกระทบกระเทือนไป จะมีอาการของหลอดอาหารอักเสบตามมา มือเท้า จะบวม เริ่มเป็นตะคริวบ่อยขึ้น ท้องผูกจะเป็นสิ่งปกติของคุณแม่ระยะนี้ ตกขาวจะมีมากขึ้น ในบางคนจะมีน้ำนมไหลออกมา ซึ่งเป็นหัวน้ำนมก็ว่าได้ เพราะมีคุณค่าทางอาหารสูง ทารกขณะนี้จะมีน้ำหนักโดยประมาณ 2 กิโลกรัม คุณแม่ควรจะต้องเรียนรู้กระบวนการคลอด และสังเกตถึงความผิดปกติที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น น้ำเดิน เป็นต้น ควรจะได้เตรียมเครื่องใช้สำหรับการเข้าอยู่ในโรงพยาบาลไว้ให้พร้อม

ตั้งครรภ์ 9เดือน

สำหรับท่านที่ตั้งครรภ์มาจนถึงเดือนที่ 9 พอเข้าเดือนที่ 9 คุณก็เริ่มนับถอยหลังได้แล้ว วันเวลาแห่งการรอคอยจะมาถึงในไม่ช้าไม่นาน ท้องที่โตขึ้นจะลดลงจนคุณแม่รู้สึกได้ เพราะตัวเด็กทารกในครรภ์เริ่มลงสู่เชิงกราน คุณแม่จะรู้สึกโล่งขึ้นและหายใจได้ดีขึ้น คล่องแคล่วขึ้น แต่จะหน่วงในช่วงเชิงกรานมากขึ้น เพราะส่วนนำของทารกจะลงไปกดอวัยวะในช่องเชิงกราน อาจจะปวดที่หัวเหน่า ปวดที่โคนขาจากการกดทับเส้นประสาทขา ปัสสาวะจะบ่อยขึ้นมาก ทารกในครรภ์จะดิ้นน้อยลงบ้างแต่ไม่มากนัก การสังเกตการดิ้นของทารก ถือเป็นการเฝ้าระวังต่อสุขภาพเด็กทารกที่ดีที่ผู้เป็นแม่ควรปฏิบัติ *โดยสังเกตดูใน 1 ชั่วโมงหลังอาหาร เด็กทารกในครรภ์ต้องดิ้นไม่น้อยกว่า*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ครั้ง ถ้าน้อยกว่าให้สังวรว่า อาจจะมีความผิดปกติเกิดแก่ทารก ควรเข้าพบแพทย์โดยเร็ว ทารกในครรภ์ขณะนี้จะมีน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยประมาณ 2.5 กิโลกรัม ในอีกไม่ช้าไม่นาน ไม่แน่ว่ากลางวันหรือกลางคืน คุณจะมีสมาชิกใหม่ของครอบครัวเพิ่มขึ้น

- ความผิดปกติต่างๆของการตั้งครรภ์ ที่มักเกิดขึ้นได้บ่อย

<u>ทารกในครรภ์ที่ไม่ค่อยดิ้น</u>

สามารถพิสูจน์ได้จากการใช้เครื่องตรวจพิเศษ แต่จะไม่แรงพอที่จะทำให้ผู้เป็นมารดารู้สึกได้ จะรู้สึกถึงการเคลื่อนไหวก็เมื่อเข้าสู่ไตรมาสที่สองตอนกลาง ๆ แต่ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในคนที่เคยมีบุตรมาก่อน จะรู้สึกถึงการเคลื่อนไหวหรือเด็กดิ้นได้ เมื่อตั้งครรภ์ได้ 18 สัปดาห์ หรือ 4 เดือนครึ่ง ในสตรีที่ตั้งครรภ์แรก จะรับรู้ถึงการดิ้นของทารก เมื่อ 20 สัปดาห์ หรือ 5 เดือน การดิ้นหรือการเคลื่อนไหวเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งต้องอาศัยระบบประสาทควบคุมซึ่งมาจากสมอง และสมองจะพัฒนาและทำงานได้ ทารกในครรภ์จะเริ่มมีพัฒนาการของระบบกล้ามเนื้อ เมื่อ 6 สัปดาห์ แขน ขา จะเริ่มเคลื่อนไหวได้ โดยได้รับออกซิเจนและอาหารพอเพียงเพื่อให้ระบบประสาทสั่งงาน และให้กล้ามเนื้อใช้พลังงานในการหดรัดตัวได้ ดังนั้นการเคลื่อนไหวของทารกจึงเป็นขบวนการซึ่งแสดงถึงความสมบูรณ์ของทารกได้ โดยปกติทารกจะดิ้นไม่น้อยกว่า 10 ครั้งต่อวัน ถ้ามีเหตุใด ๆ ก็ตามที่จะลดการส่งออกซิเจนและสารอาหารไปสู่ทารก ทารกจะดิ้นลดลง เช่นสภาวะรกเสื่อมหน้าที่ สายรกพันกัน เลือดออกหลังรก ในส่วนของสาเหตุจากแม่ เช่น แม่เป็นโรคเบาหวาน แม่เป็นโรคหัวใจ หอบหืด แม่ขาดสารอาหาร แม่เป็นโรคครรภ์พิษ เป็นต้น

ดังนั้นถ้าหากทารกในครรภ์ไม่ค่อยดิ้นเหมือนปกติ ถ้าหากสังเกตได้หรือมีข้อสงสัยประการใดเกี่ยวกับการดิ้นของเด็ก กรุณาปรึกษาสูติแพทย์

<u>การคลอดก่อนกำหนด</u>

การคลอดที่เกิดขึ้นก่อนการตั้งครรภ์ครบ 37 สัปดาห์ จัดเป็นการคลอดก่อนกำหนด ทารกในวัยขนาดดังกล่าวจะยังมีระบบการทำงานของระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะปอดที่ยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ อันเป็นสาเหตุของการตายในทารกคลอดก่อนกำหนด คือระบบการหายใจล้มเหลว ดังนั้น แพทย์จึงพยายามที่จะชะลอการคลอดที่จะเกิดในช่วงดังกล่าวให้ยาวออกไป เพราะทุกวันที่ผ่านไปโอกาสรอดของทารกจะสูงขึ้น ๆ ตามลำดับ สภาวะที่อาจจะก่อให้เกิดการคลอดก่อนกำหนดบางกรณีก็สามารถป้องกันได้ เช่น การติดเชื้อในระบบใดระบบหนึ่ง การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ การใช้ยาเสพติด สภาวะทุโภชนา การออกกำลังอย่างหักโหม แต่ในบางสภาวะก็ไม่สามารถจะป้องกันได้ เช่น มารดาที่มีโรคเรื้อรังประจำตัว การตั้งครรภ์แฝด ทารกมีความพิการแต่กำเนิด และมีประวัติการคลอดก่อนกำหนดในการตั้งครรภ์ก่อนๆ สำหรับสภาวะคลอดก่อนกำหนดนั้นเป็นอันตรายต่อทารกมาก และเป็นสาเหตุการตายสูงมากของทารกที่เกิดจากการทำงานของปอดไม่สมบูรณ์ แต่ปัจจุบันมีแนวโน้มที่ดีขึ้นมาก โดยประสพความสำเร็จในการดูแลรักษาทารกที่คลอดก่อนกำหนดให้รอดชีวิตและเจริญเติบโตต่อไปโดยมีภาวะแทรกซ้อนน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครรภ์แก่เกินกำหนดคลอด

การตั้งครรภ์เกิน 42 สัปดาห์ ถือเป็นการตั้งครรภ์ที่เกินกำหนด แพทย์จะพยายามสิ้นสุดการตั้งครรภ์ก่อนหน้านี้ ทั้งนี้เพราะรกที่จะทำหน้าที่เป็นโรงงานส่งข้าวส่งน้ำและออกซิเจนให้ทารกนั้น ธรรมชาติกำหนดไว้ให้ทำงานเพียง 9 เดือนเท่านั้น เมื่อเกินรกก็จะทำหน้าที่ได้ไม่สมบูรณ์ จะก่อผลต่อทารกคือ ทำให้ได้สารอาหารและออกซิเจนไม่เพียงพอ ทารกจะเกิดสภาวะเครียดและขาดแคลนสารอาหาร การเจริญเติบโตจะเริ่มช้าและอาจจะเสื่อมสภาพไป จะทำให้ทารกไม่สามารถทนต่อสภาวะความเครียดจากขบวนการคลอดได้ หรือแม้แต่ทนต่อการขาดสารอาหารในการตั้งครรภ์ต่อไปไม่ได้ จนอาจจะเสียชีวิตได้ ดังนั้นเมื่อแพทย์พบว่าการตั้งครรภ์เกินเกณฑ์ปกติคือ 40 สัปดาห์ไปแล้ว แพทย์จะต้องตรวจติดตามดูสภาพความสมบูรณ์ของทารกในครรภ์ ซึ่งมีกรรมวิธีการตรวจหลากหลายเพื่อตรวจติดตามดูการเจริญเติบโต ถ้าพบว่าทารกมีความผิดปกติในการเจริญเติบโต การสิ้นสุดการตั้งครรภ์ก็จะได้รับการพิจารณาจากสูติแพทย์ต่อไป

2.2 เซ็นเซอร์แรงดันตระกูลอนุกรม MPX 2010

อุปกรณ์เซ็นเซอร์แรงดันชนิดซิลิกอนเปโซรีซิสทีฟอนุกรม MPX 2010 เป็นอุปกรณ์ที่ให้ความถูกต้องสูงและให้แรงดันเอาท์พุทที่เป็นลิเนียร์ โดยเป็นสัดส่วนกับแรงดันที่เข้ามา เซ็นเซอร์เหล่านี้ภายในแท่งสี่เหลี่ยมจะประกอบด้วย เกจวัดความเครียด และฟิล์มความต้านทานรวมไว้ในชิพภายใน

2.2.1จุดเด่นเฉพาะตัว

- ทำงานที่อุณหภูมิช่วง 0 C ถึง + 85 C
- แรงจ่ายศักย์คาสามารถเปลี่ยนแปลง แล้วเอาท์พุทออกมาเป็นสัดส่วน
- มีเกทที่แตกต่างหลายแบบให้เลือก

2.2.2ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน

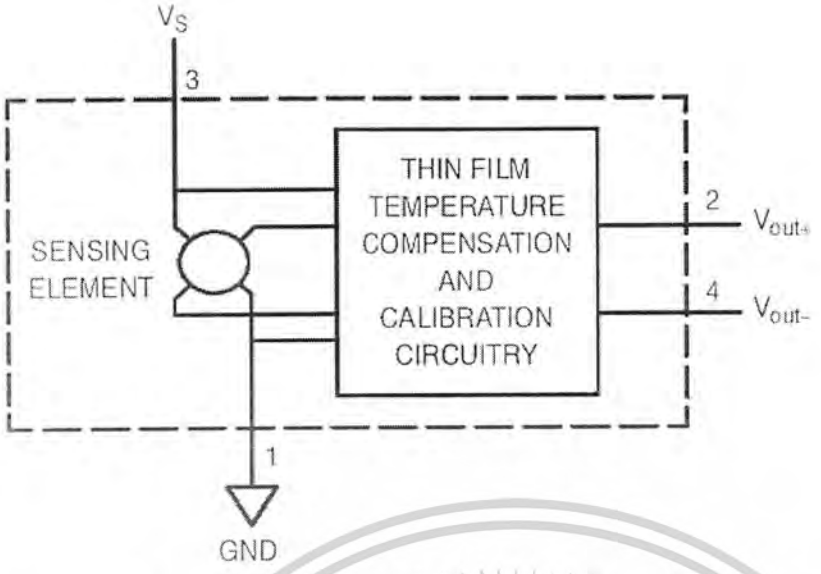
- การวินิจฉัยการหายใจ
- การควบคุมการเคลื่อนที่
- เป็นสวิทช์แรงดัน

2.2.3การประยุกต์ความต่างของแรงดัน

ความต่างของศักย์คาเอาท์พุทที่เพิ่มขึ้น จะขึ้นอยู่กับการเพิ่มของแรงดันที่เข้ามาจะสัมพันธ์กันระหว่างขนาดของแรงดัน P 1 กับขนาดของสุญญากาศ P2

ในทางคล้ายคลึงกัน การเพิ่มของศักย์คาด้วยการเพิ่มของขนาดสุญญากาศจะสัมพันธ์(P2) กับขนาดของแรงดัน (P1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรไฟฟ้าภายในตัวเซ็นเซอร์แรงดัน

ตารางคุณสมบัติการทำงาน (V=10 Vdc ,Ta = 25 C ,P1> P2)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range	Pop	0	-	10	kPa
Supply Voltage	Vs	-	10	16	Vdc
Supply Current	Io	-	6.0	-	mAdc
Full Scale Span	Vfss	24	24	26	mV
Offset	Voff	-1.0	-	1.0	mV
Sensitivity	V/P	-	2.5	-	mV/kPa
Linearity	-	-1.0	-	1.0	%Vfess
Pressure Hysteresis(0to10 kPa)	-	-	+0.1	-	%Vfess
Temperature Hystersis(-40C to +125 C)	-	-	+0.5	-	%Vfess
Temperature Effect on Full Scale Span	TCVfess	-1.0	-	1.0	%Vfess
Temperature Effect on Offset	TCVoff	-1.0	-	1.0	mV
Input Impedance	Zin	1000	-	2550	
Out Impedance	Zout	1400	-	3000	
Response Time (10% to 90%)	Tr	-	1.0	-	ms
Warm-Up	-	-	20	-	ms
Offset Stability	-	-	+0.5	-	%Vfess

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติการทำงานของเซ็นเซอร์วัดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

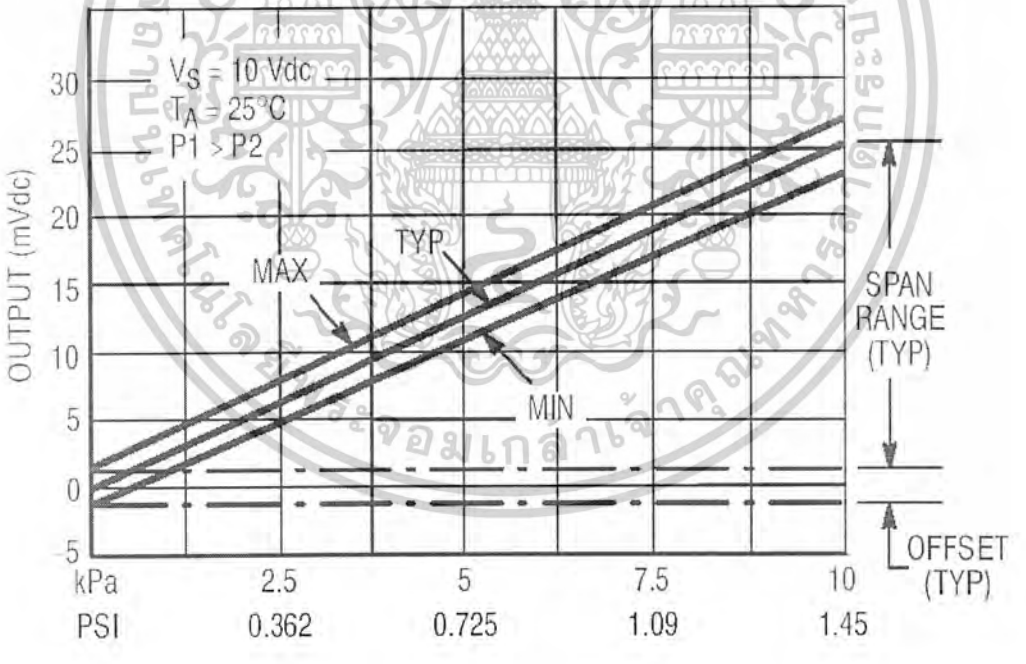
ตารางอัตราแรงดันสูงสุด

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure (P1 > P2)	Pmax	75	kPa
Storage Temperature	Tstg	-40 to +125	C
Operating Temperature	Ta	-40 to +125	C

ตารางที่ 2.2 แสดงอัตราแรงดันสูงสุด

Note: ตารางแสดงค่าสูงสุดที่จำกัดไว้ หากมีการให้ค่าที่มากกว่านี้อาจเป็นเหตุให้เซ็นเซอร์พังหรือเกิดการเสื่อมสภาพ

2.2.4 กราฟสัญญาณเอาท์พุทของเซ็นเซอร์

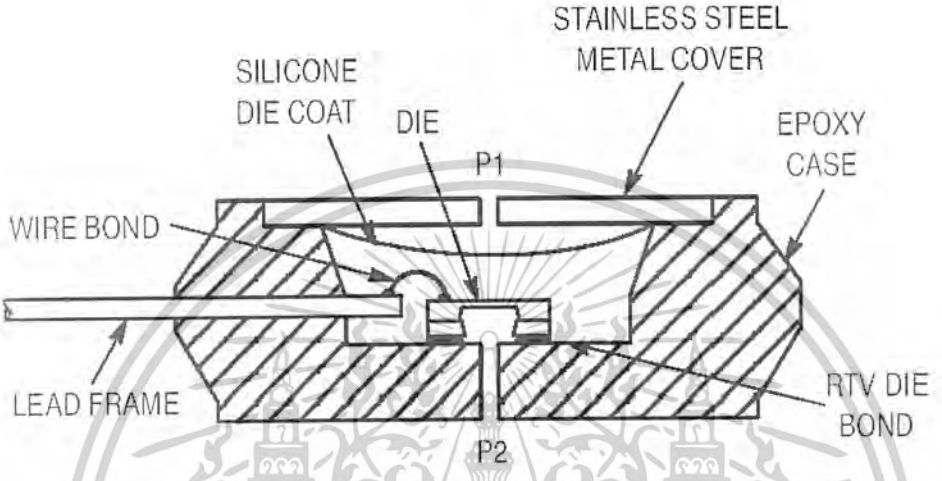


จากรูปเป็นกราฟที่แสดงคุณสมบัติทางเอาท์พุทที่อุณหภูมิ 25 C เอาท์พุทที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับความต่างของแรงดันที่เข้าไปในเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาของอุณหภูมิบนช่วงเต็มสเกลและออฟเซ็ทมีค่าน้อยมาก หากปฏิบัติงานที่อุณหภูมิที่มากกว่านี้จะมีกราฟที่เปลี่ยนไปเกิดจากความเครียด ความตึงของเกจ และความต้านทานไฟฟ้าจากแผ่นไดอะแกรมซิลิกอน การที่จะได้ค่าที่ถูกต้อง จะต้องมีการปรับออฟเซ็ทและการชดเชยอุณหภูมิ

2.2.5 โครงสร้างพื้นฐานของเซ็นเซอร์



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของเซ็นเซอร์

จากรูปที่แสดงเป็นโครงสร้างพื้นฐานของเซ็นเซอร์ ที่แผ่นซิลิกอนไดอะแฟรมจะมีสายต่อไปยังภายนอก แรงดันที่เข้ามาจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยแผ่นซิลิกอนไดอะแฟรม

2.3) พอร์ต USB

2.3.1 รู้จักกับพอร์ต USB

นับจากวันแรกที่มีการคิดค้นเครื่องคอมพิวเตอร์ขึ้นมาจนถึงทุกวันนี้ก็เป็นเวลานานหลายทศวรรษแล้ว จากจุดเริ่มต้นของเครื่องจักรขนาดใหญ่กับห้องถูกพัฒนาต่อเนื่องมาเรื่อยๆจนในทุกวันนี้ขนาดเล็กเท่ากับฝ่ามือ แน่นอนว่าระยะเวลาการพัฒนาที่ยาวนานบวกกับความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีย่อมจะพัฒนาส่วนประกอบทั้งหมดไปพร้อมๆกัน และเมื่อคอมพิวเตอร์โดยอาศัยความสามารถในการประมวลผลที่รวดเร็วของมัน

เมื่อมีอุปกรณ์ที่ต้องนำมาเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ก็ต้องหาช่องทางสำหรับรับและส่งข้อมูลจากตัวเครื่อง ช่องทางการส่งหรือรับข้อมูลต่างๆจากเครื่องคอมพิวเตอร์ถูกตั้งชื่อเรียกว่าพอร์ต(port) โดยพอร์ตแต่ละชนิดก็จะถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลเฉพาะได้อย่างเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นพอร์ตอนุกรม(serial port) ซึ่งใช้ในการรับส่งความเร็วต่ำแบบอนุกรมในระยะทางที่ไกล มักนำใช้กับเมาส์หรือโมเด็ม พอร์ตขนาน(parallel port) ใช้รับส่งข้อมูลความเร็วปานกลางแบบขนานได้ในระยะทางที่ไม่ไกลมากนัก ถูกนำมาใช้กับเครื่องพิมพ์และสแกน เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิเศษ อาทิ พอร์ตรับส่งข้อมูลผ่านแสงอินฟราเรดหรือที่เรียกว่า IrDA และ พอร์ต USB อันเป็นพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบอเนกประสงค์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการพัฒนาอุปกรณ์เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ถัดจากการใช้พอร์ตอนุกรมและขนาน ซึ่งจะได้ทำความรู้จักและทดลองเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกต่อไป

2.3.2 จุดกำเนิดของ USB

พอร์ตแต่ละชนิดของคอมพิวเตอร์ได้รับการออกแบบมาเพื่องานเฉพาะ ทำให้อุปกรณ์แต่ละตัวต้องเลือกพอร์ตต่างๆมาเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเรื่องที่ต้องให้ความสนใจ เนื่องจากอุปกรณ์แต่ละชนิดก็จะมีคอนเน็กเตอร์ที่ใช้เชื่อมต่อแตกต่างกันไปตามชนิดของพอร์ต เช่น พอร์ตอนุกรมที่ใช้ต่อคีร์บอร์ดและเมาส์ (ทั้งแบบ PS/2 และพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน) พอร์ตขนานสำหรับต่อเครื่องพิมพ์ พอร์ตเชื่อมต่อของจอภาพ ฯลฯ ทำให้ผู้ใช้ที่ไม่มีความรู้ในการติดตั้งหรือที่เรียกกันว่า เอ็นด์ยูสเซอร์ (end user) พบกับความยากลำบากในการเรียนรู้เรื่องราวเหล่านี้

นอกจากนั้นการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มเข้าไปในเครื่องจะเกิดปัญหาการแย่งกันใช้สัญญาณ IRQ (Interrupt Request) ซึ่งเป็นตัวจำกัดจำนวนอุปกรณ์ที่จะมาต่อ ทำให้เกิดแนวความคิดที่กำหนดมาตรฐานเพื่อสร้างเป็นพอร์ตที่ทำให้การเชื่อมต่อทั้งหมดอยู่ในรูปแบบเดียวกันง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้ทั่วๆ ไป และไม่มีข้อจำกัดในการใช้ IRQ คำตอบแนวคิดนี้คือ พอร์ต USB นั่นเอง

USB ย่อมาจาก Universal Serial Bus ถ้าแปลแบบตรงตัวก็ได้ความหมายว่า *บัสอนุกรมอเนกประสงค์* คุณสมบัติต่างๆ ที่ให้สามารถกำหนดชื่อนี้ให้กับพอร์ตชนิดนี้มีดังนี้

- คอนเน็กเตอร์เพียงตัวเดียว ซึ่งมี 2 รูปแบบ สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ทุกๆชนิดเข้ากับคอมพิวเตอร์
- สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายๆ ชนิดรวมเข้าสู่คอนเน็กเตอร์ตัวเดียว สูงสุด 127 ตัว
- ไม่เกิดการขัดแย้งกันของการเข้าใช้ทรัพยากรของระบบ (IRQ)
- ตรวจสอบการเชื่อมต่อและตั้งค่าการทำงานต่างๆอัตโนมัติ ระหว่างที่เครื่องกำลังทำงานอยู่ (hot attachment)
- ความเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลจะขึ้นอยู่กับมาตรฐาน อันมีรายละเอียดดังนี้

มาตรฐาน USB 1.0/1.1 มีอัตราในการถ่ายทอดข้อมูลความเร็วต่ำ (low speed) เท่ากับ 1.5 เมกะบิตต่อวินาที (Mbit/sec) และความเร็วเต็มที่ (full speed) เท่ากับ 12 เมกะบิตต่อวินาที (Mbit/bit)

มาตรฐาน USB 2.0 จะมีอัตราเร็วในการถ่ายทอดเพิ่มอีก 1 ระดับ คือ ความเร็วสูง (high speed) ซึ่งมีความเร็วสูงถึง480 เมกะบิตต่อวินาที

- ที่ขาพอร์ต USB มีแรงดันไฟตรง +5 V จ่ายออกมาด้วย ทำให้อุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้พลังงานไม่มากนัก สามารถใช้แรงดันจากพอร์ต USB นี้เป็นไฟเลี้ยงเพื่อทำงานได้ โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากภายนอกเพิ่มเติมอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การส่งข้อมูลภายในบัส USB 1.0/1.1

USB เป็นการส่งข้อมูลที่มีรูปแบบการเชื่อมต่อในระบบบัสคือ อุปกรณ์ทุก ๆ ตัวต้องส่งสัญญาณรวมกันไปในสายส่งสัญญาณเพียงคู่เดียว ดังนั้นอุปกรณ์ทุก ๆ ตัวที่เชื่อมต่อกับบัสจะต้องส่งข้อมูลเรียงลำดับกันไปเพื่อไม่ให้เกิดการชนกันของข้อมูล และเนื่องจาก USB เป็นระบบบัสที่ใช้สายส่งสัญญาณเพียงคู่เดี่ยว (2 เส้น) ทำให้ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ จะมีข้อมูลวิ่งไปได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ไม่สามารถเกิดการรับและส่งข้อมูลไปในเวลากันได้หรือที่เรียกกันว่า การส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (half duplex)

จังหวะการรับส่งข้อมูลของระบบบัส USB ทั้งหมดจะถูกควบคุมจากโฮสต์ (host) ซึ่งก็คือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นจุดรวมของอุปกรณ์ทุกตัวที่เชื่อมต่ออยู่นั่นเอง ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องให้รับหรือส่งข้อมูลถึงกันได้โดยตรง เพราะถ้าคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องทำหน้าที่เป็นโฮสต์ทั้งคู่จะเกิดการชนกันของข้อมูลภายในบัส เนื่องจากแต่ละเครื่องก็จะพยายามกำหนดจังหวะในการรับส่งของตัวเองขึ้นมา ดังนั้นจะเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องเข้าด้วยกันผ่าน USB จะต้องมีอุปกรณ์ที่เป็นตัวกลางเพื่อซิงโครไนซ์ตัวเองเข้ากับโฮสต์ทั้งสองให้ได้

การรับส่งข้อมูลจะถูกจะถูกกำหนดเป็นเฟรม โดยทุก ๆ 1 มิลลิวินาที (ms) จะเกิดการรับส่งข้อมูลขึ้น 1 เฟรม ในแต่ละเฟรมจะแบ่งย่อย ออกเป็นแพ็กเก็ต (packet) เริ่มต้นการทำงานของแต่ละเฟรมโดยโฮสต์จะส่งสัญญาณเริ่มต้นเฟรมหรือ SOF (Start Of Frame) ออกไปเพื่อให้อุปกรณ์ทุกตัวรู้

รูปที่2.3 การจัดลำดับการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละตัว

จังหวะการเริ่มเฟรม หลังจากนั้น โฮสต์ก็จะเริ่มส่งหรือรับข้อมูลต่าง ๆ ตามที่ได้จัดลำดับความสำคัญไว้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายในบัสจะต้องทำงานตามจังหวะที่โฮสต์กำหนดเท่านั้น การส่งข้อมูลกลับไปยังโฮสต์จะสามารถทำได้ก็เมื่อได้รับการถามหรือร้องขอจากโฮสต์

แต่เนื่องจากแต่ละเฟรมข้อมูลจะต้องรับส่งเสร็จภายใน 1 มิลลิวินาที นั่นหมายความว่าข้อมูลของอุปกรณ์ทุกๆ ตัวที่เชื่อมต่อกับบัสจะต้องถูกกำหนดขนาดไม่ใหญ่เกินกว่าที่จะสามารถรับส่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน 1 มิลลิวินาที และเล็กพอที่จะทำให้อุปกรณ์ทุก ๆ ตัวสามารถในด้านนี้ และยังต้องอาศัยฮาร์ดแวร์ที่จะคอยกระจายการส่งและรวบรวมการรับข้อมูลอุปกรณ์ทุก ๆ ตัวในระบบ ซึ่งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นสำหรับระบบ USB มีดังนี้

ส่วนซอฟต์แวร์

- ไดรเวอร์อุปกรณ์ USB (USB device drivers)
- ไดรเวอร์ USB (USB driver)
- ไดรเวอร์โฮสต์คอนโทรลเลอร์ (USB host controller driver)

ส่วนฮาร์ดแวร์

- USB โฮสต์คอนโทรเลอร์ (USB host controller) รูตฮับ (root hub)
- USB ฮับ (USB hub)
- อุปกรณ์ USB (USB device)

2.3.4 ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์

-ไดรเวอร์อุปกรณ์ USB

ไดรเวอร์อุปกรณ์ USB คือโปรแกรมเก็บข้อมูลที่จำเป็นในการติดต่อไปยังอุปกรณ์แต่ละตัว เมื่อโปรแกรมใดมีความต้องการจะติดต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ จะต้องแจ้งความต้องการนั้น ๆ มายังไดรเวอร์อุปกรณ์ USB เนื่องจากตัวไดรเวอร์นี้จะรู้ว่าถ้าต้องการติดต่อกับอุปกรณ์จะต้องติดต่อผ่านเอ็นด์พอยต์ (Endpoint) ไหน ด้วยรูปแบบใด (การทำงานของอุปกรณ์ USB จะติดต่อสั่งงานผ่านเอ็นด์พอยต์ของตัวอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ จะมีชนิดและจำนวนเอ็นด์พอยต์ที่ต่างกัน ดังนั้นอุปกรณ์แต่ละตัวก็จะมีไดรเวอร์อุปกรณ์ USB เฉพาะตัว ซึ่งเมื่อถึงคราวต้องนำอุปกรณ์นั้นมาต่อใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์จริง ๆ ก็จะต้องนำไดรเวอร์ตัวเดียวกันมาติดตั้งเพิ่มเข้ากับระบบปฏิบัติการในคอมพิวเตอร์เพื่อให้ระบบรู้จักและติดต่อใช้งานอุปกรณ์ที่ติดตั้งเข้ามาใหม่นี้ได้ เช่น ถ้าต้องการติดต่อเพื่อรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด ตัวไดรเวอร์อุปกรณ์ USB จะรู้ว่าต้องรับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วต่ำ (slow speed) โดยใช้รูปแบบการถ่ายทอดข้อมูลแบบอินเตอร์รัปต์ (interrupt transfer type) ผ่านเอ็นด์พอยต์ตัวหนึ่งของคีย์บอร์ด และตรวจสอบข้อมูลการกดเป็นช่วงระยะห่างค่าหนึ่ง (รายละเอียดของแต่ละส่วนจะกล่าวอย่างละเอียดในส่วนหลัง)

แต่ในบางอุปกรณ์ที่เป็นอุปกรณ์พื้นฐานของเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น เมาส์และคีย์บอร์ดจะมีการบรรจุไดรเวอร์อุปกรณ์ USB ของอุปกรณ์เหล่านี้ไว้ภายในไบออสของเครื่องคอมพิวเตอร์เรียบร้อยแล้ว จึงไม่ต้องตั้งไดรเวอร์เพิ่มเติมสำหรับอุปกรณ์เหล่านี้ เพียงแต่เข้าไปเปิดการทำงาน ไบออสก็จะทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์รู้จักอุปกรณ์นี้ได้

-ไดรเวอร์ USB

การทำงานของ USB นั้นเป็นการต่อร่วมกันของอุปกรณ์หลาย ๆ ชนิดบนสายสัญญาณเพียงคู่เดียว ดังนั้นการส่งข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละชนิดจะต้องมีการแบ่งสันปันส่วนกันไปอย่างพอเหมาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอดี เพื่อใช้อุปกรณ์ทุกตัวสามารถทำงานไปได้พร้อม ๆ กัน และแน่นอนว่าต้องมีซอฟต์แวร์ที่เข้ามาทำหน้าที่นี้ ซึ่งก็คือไดรเวอร์ USB นั่นเอง

ไดรเวอร์อุปกรณ์ USB ของอุปกรณ์แต่ละตัวจะส่งการร้องรอเพื่อการติดต่อ (request) ลงมายังไดรเวอร์ USB และไดรเวอร์ USB รับทราบความต้องการการติดต่อของอุปกรณ์ครบทุก ๆ ตัวที่เชื่อมต่ออยู่กับบัสแล้ว ก็จะพิจารณาว่า ในรอบการรับส่งข้อมูลหนึ่ง ๆ นั้นอุปกรณ์แต่ละตัวสามารถรับส่งข้อมูลได้มากเท่าใด หากปริมาณข้อมูลที่ต้องการรับส่งมีขนาดมากก็จะตัดแบ่งออกเป็นส่วน ๆ แล้วเก็บไว้เพื่อรอส่งในรอบถัดไป โดยปริมาณข้อมูลที่ส่งได้ของอุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกพิจารณาจากชนิดของการถ่ายทอดข้อมูล (transfer type) ว่าอุปกรณ์ใดใช้การถ่ายทอดข้อมูลแบบใดและการรับส่งข้อมูลชนิดนั้นมีลำดับความสำคัญมากน้อยเพียงใด

-ไดรเวอร์โฮสต์คอนโทรลเลอร์

หลังจากไดรเวอร์ USB พิจารณาแล้วว่าอุปกรณ์แต่ละตัวส่งข้อมูลได้เท่าใดบ้าง มันจะส่งข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละตัวที่จะติดต่อในรอบการติดต่อนั้น ๆ มายังไดรเวอร์โฮสต์คอนโทรลเลอร์ จากนั้นไดรเวอร์โฮสต์คอนโทรลเลอร์จะจัดเรียงลำดับของมูลของอุปกรณ์แต่ละชนิดลงเป็นเฟรมข้อมูล เพิ่มเติมส่วนประกอบต่าง ๆ ของเฟรมข้อมูลให้ครบตามมาตรฐานการถ่ายทอดข้อมูลแบบ USB แล้วส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังฮาร์ดแวร์ USB โฮสต์คอนโทรลเลอร์เพื่อส่งข้อมูลทั้งหมดออกไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ

2.3.5 ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์

จากส่วนประกอบ 3 ส่วนที่ผ่านมาเป็นส่วนประกอบด้วยซอฟต์แวร์ ซึ่งจะคอยควบคุมจัดการทำงานของอุปกรณ์ที่มาต่อร่วมกันทั้งหมดให้เป็นไปอย่างราบรื่น ในส่วนถัดไปจะเป็นหน้าที่ของส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณกับอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยส่วนประกอบตัวแรกที่จะกล่าวถึงคือ USB โฮสต์คอนโทรลเลอร์ (USB controller) และ USB รูตฮับ (USB root hub)

-USB โฮสต์คอนโทรลเลอร์/ USB รูตฮับ

USB โฮสต์คอนโทรลเลอร์มีหน้าที่สร้างสัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้า แล้วส่งต่อไปยังรูตฮับเพื่อกระจายไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยมันจะสร้างสัญญาณข้อมูลการติดต่อรูปแบบต่าง ๆ ตามที่ไดรเวอร์โฮสต์คอนโทรลเลอร์กำหนดมาให้ จากนั้นแปลงข้อมูลที่จะส่งจากแบบขนานเป็นแบบอนุกรมเพื่อใช้ในการส่งต่อไป เมื่อสัญญาณที่ต้องการส่งมาถึงรูตฮับ รูตฮับจะส่งสัญญาณนั้นออกไปยังบัสเพื่อส่งต่อไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากนั้นรูตฮับยังมีหน้าที่สำคัญอีก 4 อย่างคือ

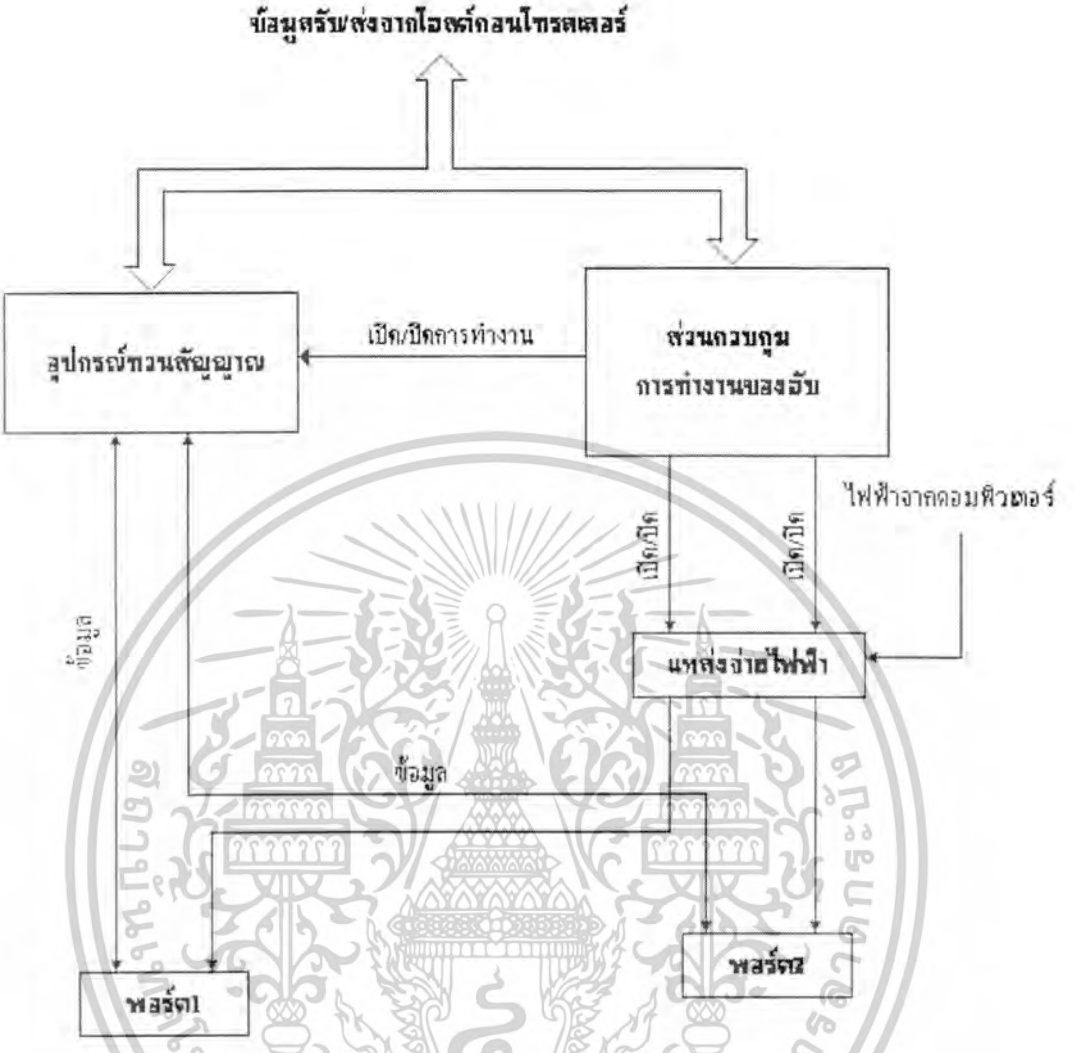
1 .ควบคุมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่มาต่อ

2 .ตรวจสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ว่ามีอุปกรณ์ต่ออยู่หรือไม่

3 .เปิดหรือเอ็นเอเบิลการใช้งานพอร์ตเมื่อมีอุปกรณ์ต่ออยู่ และปิดหรือดิสเอเบิลการใช้งานเมื่อปลดอุปกรณ์ออกไปแล้ว

4. รายงานสถานะของแต่ละพอร์ตเมื่อไดรเวอร์โฮสต์คอนโทรลเลอร์ร้องขอมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในรูปที่ 2.4 ไดอะแกรมการทำงานของ USB รูทฮับอย่างง่าย

-USB ฮับ

หน้าที่หลัก ๆ ของ USB ฮับคือ ขยายการเชื่อมต่อให้อุปกรณ์จำนวนมาๆ สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบบัสได้ โดยการทำงานหลักของ USB ฮับนั้นมีอยู่ 2 ส่วนคือ ทำหน้าที่เป็นตัวทวนสัญญาณ (repeater) และตัวจัดการพลังงาน (power management)

ในส่วนของการทวนสัญญาณ USB ฮับจะต้องรับสัญญาณจากโฮสต์ แล้วส่งกระจายไปยังพอร์ตทุก พอร์ต และรับสัญญาณจากแต่ละพอร์ต แล้วจับมารวมกับเพื่อส่งกลับไปที่โฮสต์สำหรับส่วนของการจัดการพลังงานนั้นมีหน้าที่เหมือนกับรูตฮับก็คือ ตรวจสอบว่ามีการต่ออยู่ของอุปกรณ์ที่พอร์ตใดบ้าง หากมีอุปกรณ์ต่ออยู่ก็เปิดการใช้งานพอร์ตนั้นๆ หากไม่มีอุปกรณ์ต่ออยู่ก็ปิดการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบการเชื่อมต่อหรือปลดออกของอุปกรณ์เพื่อรายงานผลเมื่อโฮสต์คอนโทรลเลอร์ร้องขอ และป้องกันอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในแต่ละพอร์ตไม่ให้ดึงกระแสไฟฟ้าเกินกว่าที่กำหนด

-อุปกรณ์ USB

ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ส่วนสุดท้ายที่ต้องรู้จักคือ อุปกรณ์ USB ซึ่งก็คืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์พอร์ต USB นั่นเอง สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดตามความเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลคือ

1. อุปกรณ์ความเร็วต่ำ (low-speed devices) ถ่ายทอดข้อมูลด้วยความเร็ว 1.5 เมกะบิตต่อวินาที (Mb/s)

2. อุปกรณ์ความเร็วเต็มที่ (full-speed devices) รับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 12 เมกะบิตต่อวินาที่ (Mb/s)

ปัจจุบันนี้อุปกรณ์ USB ที่มีจำหน่ายอยู่ท้องในตลาดมีอยู่จำนวนมาก อาทิ คีย์บอร์ด,เมาส์, จอยสติก เหล่านี้คืออุปกรณ์ USB ความเร็วต่ำ ส่วนจอมอนิเตอร์, ลำโพง, เครื่องพิมพ์,กล้องถ่ายรูปดิจิตอล,ซีดีรอมไดร์ฟ,เครื่องเล่น MP3 จัดเป็นอุปกรณ์USB ความเร็วสูง อุปกรณ์บางตัวจะบรรจุความสามารถของ USB ฮับเข้าไปด้วย ทำให้สามารถนำอุปกรณ์อื่น ๆ มาเชื่อมต่อได้ เหมือนการต่อเข้ากับฮับ อุปกรณ์ลักษณะนี้เรียกว่า Compound USB Device ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่มีฮับอยู่ภายในได้แก่ จอมอนิเตอร์ หรือเครื่องพิมพ์ เป็นต้น

นอกจากการแบ่งชนิดของอุปกรณ์ตามความเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลแล้ว อาจจะแบ่งกลุ่มตามการใช้พลังงานของตัวอุปกรณ์เองก็ได้ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงจากบัส (bus powered device) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าเลี้ยงจากบัสโดยตรง ไม่ต้องมีแหล่งจ่ายไฟภายนอกเพิ่มเติม

2. อุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงจากตัวเอง (self powered device) คือ อุปกรณ์ที่มีแหล่งจ่ายไฟในตัว ไม่ต้องอาศัยไฟเลี้ยงจากบัส

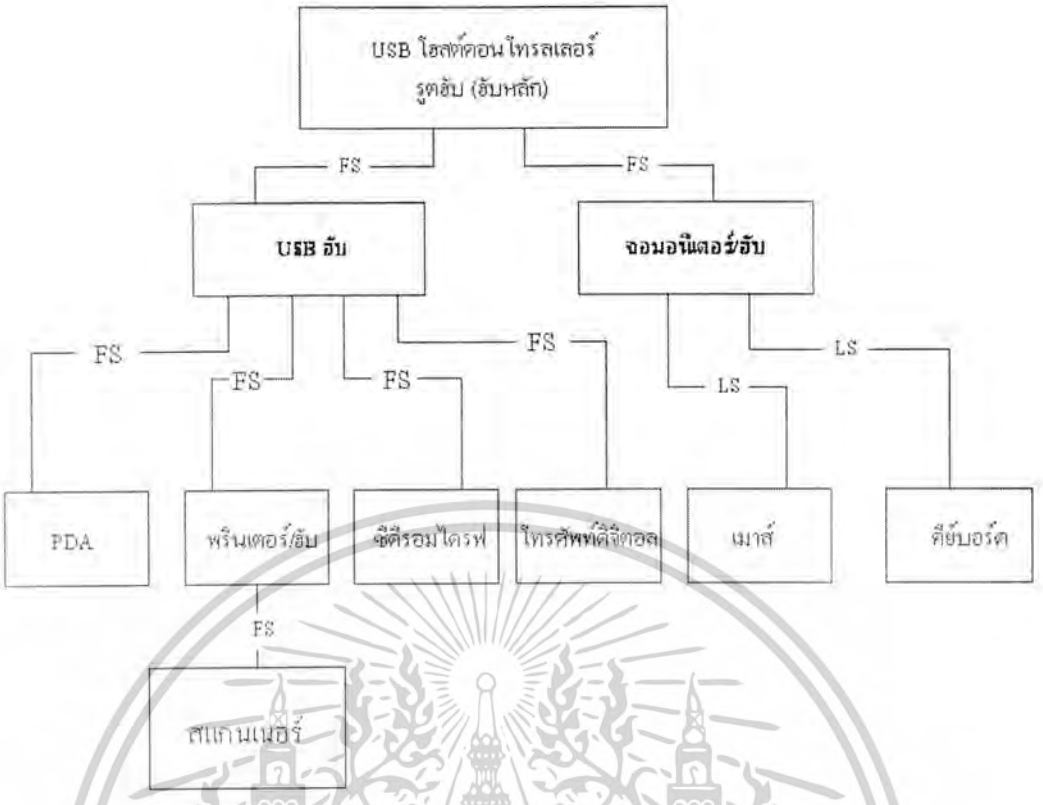
2.3.6 โครงสร้างการเชื่อมต่อ (Topology)

โครงสร้างการเชื่อมต่อของ USB นั้นเป็นสตาร์ (STAR) ดังรูปที่ 2-5 โดยฮับทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางจุดเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ในแต่ละระดับชั้น สายเชื่อมต่อแต่ละเส้นเป็นการต่อแบบจุดต่อจุด (point to point)

เนื่องจาก "พอร์ต USB มีรูปแบบการเชื่อมต่อเป็นระบบบัส แต่มีโครงสร้างการเชื่อมต่อแบบสตาร์" ซึ่งอาจสร้างความสับสนในจุดนี้ได้ จึงขอขยายความหมายและเปรียบเทียบให้เห็นข้อแตกต่างตรงจุดนี้ จากคำว่า "โครงสร้างการเชื่อมต่อ" จะอธิบายลักษณะการต่อสายส่งสัญญาณของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน ซึ่งก็คือ ลักษณะการต่อสายไฟระหว่างกันทำอย่างไร นั่นเอง แต่คำว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูป 2.5 แสดงโครงสร้างการเชื่อมต่อของ USB

"รูปแบบการเชื่อมต่อ "นั้นจะอธิบายถึงการเดินทางของสัญญาณข้อมูลภายในสายไฟที่เชื่อมต่อกันอยู่จากอุปกรณ์ตัวหนึ่งไปยังอุปกรณ์แต่ละตัวที่ต่อเชื่อมอยู่" ความหมายโดยรวมก็คือ พอร์ต USB ต่อสายเข้าด้วยกัน แบบสตาร์รับส่งข้อมูลแบบบัส (โครงสร้างคล้ายกับระบบแลนอีเทอร์เน็ต)

2.3.7 การติดต่อระหว่างอุปกรณ์และโฮสต์

การถ่ายทอดสัญญาณ (transfer type) ของบัส USB นั้นแบ่งเป็น 4 ชนิด ตามขนาดชนิดของข้อมูลและจังหวะการส่งข้อมูลดังนี้

1. การถ่ายทอดสัญญาณแบบไอโซโครนัส (Isochronous transfer)
2. การถ่ายทอดสัญญาณแบบบัลก์ (Bulk transfer)
3. การถ่ายทอดสัญญาณแบบอินเตอร์รัปต์ (Interrupt transfer)
4. การถ่ายทอดสัญญาณควบคุม (Control transfer)

การถ่ายทอดสัญญาณ 3 ชนิดแรกใช้สำหรับข้อมูลทั่วไปที่ต้องการรับหรือส่งไปยังตัวอุปกรณ์ ส่วนการถ่ายทอดสัญญาณแบบที่ 4 การถ่ายทอดสัญญาณแบบไอโซโครนัสใช้ถ่ายทอดข้อมูลที่ต้องการความต่อเนื่องสูง เช่น ข้อมูล ส่วนการถ่ายทอดสัญญาณแบบบัลก์ใช้สำหรับถ่ายทอด

61858
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่มีปริมารมากๆ แต่ไม่ต้องการความต่อเนื่องของข้อมูล ในขณะที่การถ่ายทอดสัญญาณแบบอินเตอร์รัปต์ใช้สำหรับถ่ายทอดข้อมูลที่มีจำนวนน้อยครั้งและมีปริมาณของข้อมูลไม่มาก

ในการสั่งงานอุปกรณ์แต่ละครั้งนั้น โฮสต์จะต้องระบุเป้าหมายปลายทางของข้อมูลที่ต้องการจะรับหรือส่ง เป้าหมายปลายทางที่ว่านี้เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์ที่อยู่ในอุปกรณ์แต่ละตัวซึ่งเรียกว่า เอ็นด์พอยต์ (Endpoint) โดยแต่ละเอ็นด์พอยต์จะรองรับการถ่ายทอดสัญญาณชนิดต่างๆ 4 ชนิดข้างต้นแยกกันออกไป ดังนั้นอุปกรณ์แต่ละตัวจะมีจำนวนเอ็นด์พอยต์มากกว่า 1 เอ็นด์พอยต์เพื่อรองรับการทำงานรูปแบบต่างๆ ยกตัวอย่าง ซีดีรอม USB แบบอ่านเขียนได้จะต้องมีเอ็นพอยด์ที่รองรับการถ่ายทอดสัญญาณแบบบัลก์เพื่อส่งข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลเพื่อเขียนแผ่นซีดี 1 เอ็นด์พอยต์ และต้องมีเอ็นด์พอยต์ที่รองรับการถ่ายทอดสัญญาณไอโซโครนัสเพื่อส่งข้อมูลเพลงซึ่งมีความต่อเนื่องในกรณีที่เล่นแผ่นซีดีเพลงอีก 1 เอ็นด์พอยต์ เป็นต้น

2.3.8 การส่งสัญญาณในบัส USB

สัญญาณที่ปรากฏบนสายสัญญาณระหว่าง รูตฮับและอุปกรณ์จะส่งไปในแบบสัญญาณผลต่าง(differential signaling) เพื่อลดการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI : Electromagnetic Interference) เนื่องจากธรรมชาติของสัญญาณไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณด้วยความเร็วมากๆ (ก็คือการส่งข้อมูลที่ความเร็วมากๆ) จะทำให้เกิดการแพร่กระจายของสัญญาณแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าออกมารอบๆ สายส่งสัญญาณ ซึ่งอาจรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ รอบข้างได้ด้วยการส่งสัญญาณแบบนี้จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในสายนำสัญญาณเกิดขึ้นพร้อมกันและเกิดในลักษณะตรงข้าม ทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นหักล้างกัน ไม่แพร่ออกมาภายนอก

2.3.9 กระบวนการกำหนดการทำงานของอุปกรณ์

เมื่อเริ่มการทำงานของ USB หรือเมื่อมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตัวใหม่เข้ามาในระบบ ลำดับขั้นตอนคร่าวๆ ในการทำงานจะเป็นดังนี้

1. ฮับตรวจสอบพบว่ามีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตัวใหม่เข้าสู่ระบบ แล้วแจ้งผลกลับไปยังโฮลต์คอนโทรลเลอร์

2. โฮสต์คอนโทรลเลอร์สั่งให้ฮับเปิดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟในโหมดประหยัด เพื่อให้อุปกรณ์ที่อาศัยพลังงานจากบัสสามารถทำงานได้

3. โฮสต์คอนโทรลเลอร์สั่งให้ฮับรีเซตพอร์ตที่อุปกรณ์ตัวใหม่มาเชื่อมต่อเพื่อให้ตัวอุปกรณ์รีเซตค่าแอดเดรสและเอ็นด์พอยต์ของตัวเองให้เป็นค่าเริ่มต้น(default)

4. โฮสต์อ่านดิสคริปเตอร์ต่างๆ จากตัวอุปกรณ์และพิจารณาว่าทรัพยากรของระบบพอเพียงต่อความต้องการของตัวอุปกรณ์หรือไม่ ทรัพยากรในที่นี้คือ พลังงานไฟฟ้าและปริมาณข้อมูลที่จะส่งของตัวอุปกรณ์ หากพิจารณาแล้วว่าไม่สามารถทำงานได้ก็จะสั่งให้ฮับปิดการทำงานของพอร์ตนั้น

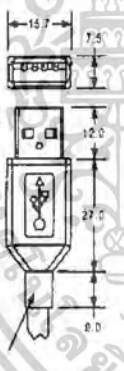
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อโฮสต์พิจารณาแล้วว่าสามารถให้บริการแก่อุปกรณ์ตัวที่มาเชื่อมต่อได้ จะควบคุมให้แหล่งจ่ายไฟจ่ายพลังงานตามที่อุปกรณ์ต้องการ รวมไปถึงการตั้งค่าแอดเดรสและกำหนดค่าต่างๆ

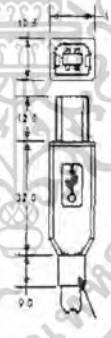
6. หลังจากตั้งค่าเรียบร้อย คอมพิวเตอร์ก็จะรู้จักกับอุปกรณ์ตัวใหม่และสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ได้ทันทีโดยไม่ต้องปิดและเปิดคอมพิวเตอร์ใหม่

2.3.10 สายเชื่อมต่อและคอนเน็กเตอร์ของพอร์ต USB

สายเชื่อมต่อถูกออกแบบมาสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างตัวอุปกรณ์ USB กับฮับ ซึ่งอาจจะเป็นรูทฮับซึ่งอยู่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ ฮับที่รวมอยู่ในตัวอุปกรณ์ (compound device) หรือฮับที่เป็นเดี่ยวๆ (USB hub) อุปกรณ์หลายชนิดมีสายต่อด้านอุปกรณ์ไว้อย่างถาวรด้านหนึ่งและมีคอนเน็กเตอร์ตัวผู้ไว้สำหรับต่อเข้ากับฮับอีกด้านหนึ่ง แต่มีอุปกรณ์อีกหลายชนิดที่ไม่มีสายต่อถาวรไว้ โดยที่ตัวอุปกรณ์จะมีคอนเน็ก USB ตัวเมียไว้เพื่อต่อกับสาย USB ที่มีหัวคอนเน็กเตอร์ทั้งสองด้าน จากอุปกรณ์ที่ไม่มีสายถาวรต่อไว้จะเห็นได้ว่าต้องใช้สายเชื่อมต่อซึ่งมีคอนเน็กเตอร์ทั้งสองด้าน ซึ่งถ้าใช้คอนเน็กเตอร์แบบเดียวกันทั้งหมดอาจทำให้ผู้ใช้นำคอนเน็กเตอร์ด้านหนึ่งเข้ากับฮับพอร์ตหนึ่ง แล้วต่อปลายอีกข้างเข้ากับฮับอีกพอร์ตหนึ่งได้ (เพราะจะมีพอร์ตอยู่หลายพอร์ต) เพื่อป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้จึงมีการกำหนดมาตรฐานของคอนเน็กเตอร์ USB ให้มี 2รูปแบบดังนี้



รูปที่ 2.6 คอนเน็กเตอร์USB ในอนุกรม A



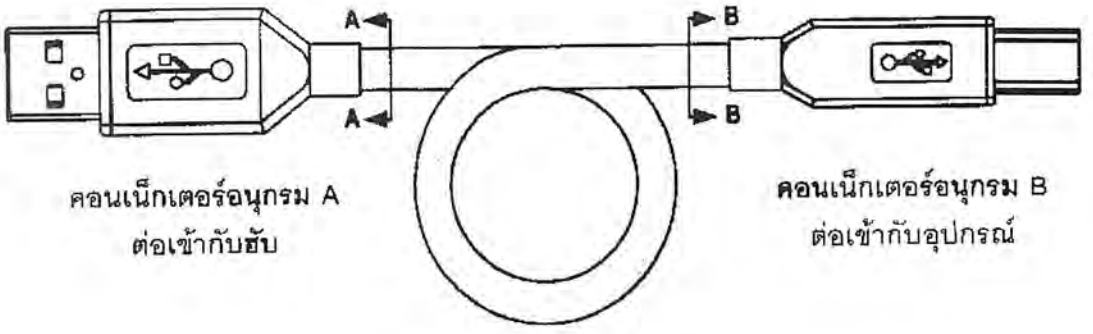
รูปที่ 2.7 คอนเน็กเตอร์ USB ในอนุกรม B

1. คอนเน็กเตอร์อนุกรม A เป็นคอนเน็กเตอร์ด้านฮับที่เชื่อมต่อระหว่าง USB พอร์ตของฮับ (ทั้งรูทฮับและUSB ฮับทั่วไป) กับสายเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ นั่นคือคอนเน็กเตอร์ตัวเมียจะติดตั้งอยู่กับฮับและคอนเน็กเตอร์ตัวผู้จะติดอยู่กับสายที่ต่อออกมาจากอุปกรณ์ ดังรูปที่ 2.6

2. คอนเน็กเตอร์อนุกรม B เป็นคอนเน็กเตอร์ด้านอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อสายเข้ากับตัวอุปกรณ์ USB นั่นคือคอนเน็กเตอร์ตัวเมียจะติดตั้งอยู่ในตัวอุปกรณ์ USB ส่วนคอนเน็กเตอร์ตัวผู้ก็จะอยู่ที่สายที่ต่อออกมาจากฮับ (ถ้าอุปกรณ์ใดที่มีสายต่อออกมาจากตัวอุปกรณ์อย่างถาวรจะไม่มีการใช้คอนเน็กเตอร์แบบนี้) มีรูปร่างแสดงในรูป 2.7

ในรูปที่ 2.8 แสดงใช้กับสาย USB ที่ใช้คอนเน็กเตอร์ทั้งสองรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

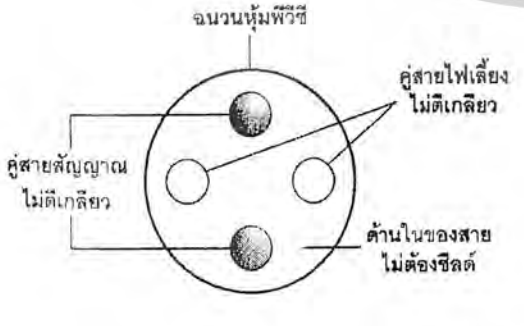


รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างสายสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อพอร์ต USB

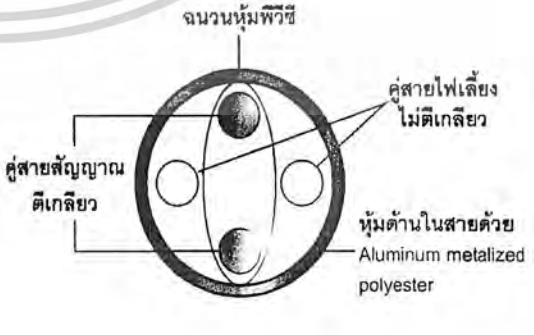
อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในปัจจุบัน (รวมถึงแนวโน้มในอนาคต) อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ มีขนาดเล็กลงมากทำให้เกิดข้อจำกัดในเรื่องขนาดคอนเน็กเตอร์ตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงมีการลดขนาดของคอนเน็กเตอร์ลง เพื่อให้สามารถใช้งานกับอุปกรณ์ของตัวเองได้โดยยังคงรูปร่างไว้ดังเดิมแต่ลดสัดส่วนความกว้าง-ยาวลง ดังนั้นจะเห็นได้จากกล้องดิจิตอล เครื่องเล่น MP 3 แบบพกพา เครื่องเล่นมินิดิสก์เป็นต้น

2.3.11 สายนำสัญญาณ USB

การถ่ายทอดข้อมูลภายในสาย USB นั้นมีความเร็วสูงในระดับ 1 Mb/s ถึง 12 Mb/s การถ่ายทอดข้อมูลที่ความเร็วสูงขนาดนี้จะเกิดการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาจากสายส่งทำให้ต้องมีการกำหนดคุณสมบัติของสายส่งในหลาย ๆ ด้านเพื่อไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้ และเนื่องจาก USB มีการแบ่งความเร็วของการถ่ายทอดข้อมูลออกเป็น 2 ระดับ คือ แบบความเร็วเต็มที่ (full speed) ที่มีอัตราเร็ว 12Mb/s และแบบความเร็วต่ำ (low speed) ที่มีอัตราเร็ว 1.5 Mb/s ทำให้คุณสมบัติของสายนำสัญญาณของอุปกรณ์แต่ละชนิดจะถูกกำหนดแยกแตกต่างกันไป



รูปที่ 2.9โครงสร้างภายในของสาย USB
แบบความเร็วต่ำ



รูปที่ 2.10โครงสร้างภายในของสาย USB
แบบความเร็วเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-สายนำสัญญาณความเร็วต่ำ

จากรูป2.9 แสดงให้เห็นภาพหน้าตัดของสายนำสัญญาณความเร็วต่ำ ชั้นนอกสุดของสายสัญญาณจะเป็นฉนวนหุ้มธรรมดา ภายในมีสายสัญญาณจะมีสายตัวนำ 4 เส้น โดย 2 เส้นใช้ส่งไฟเลี้ยงกำหนดให้ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 20-28 AWG ไม่ตีเกลียว สายส่งข้อมูลความเร็วต่ำนี้ไม่จำเป็นต้องชีลด์ความยาวทั้งหมดของสายไม่เกิน 3 เมตร

-สายนำสัญญาณความเร็วสูง

ข้อกำหนดของสายนำสัญญาณความเร็วสูงของ USB จะมีมากกว่าสายนำสัญญาณความเร็วต่ำอยู่หลาย ๆ ด้าน สาย 2 เส้นที่ใช้ถ่ายทอดข้อมูลกำหนดให้ใช้ลวดทองแดงเบอร์ 28 AWG เช่นเดียวกับสายนำสัญญาณความเร็วต่ำ แต่สาย 2 เส้นนี้จะต้องตีเกลียว และเส้นชั้นนอกสุดของสายสัญญาณถัดจากฉนวนจะต้องหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ดังรูปที่ 2.10 ความยาวของสายสัญญาณไม่เกิน 5 เมตร จะต้องมีค่าหน่วงเวลาสัญญาณ (propagation delay) ไม่เกิน 30 นาโนวินาทีตลอดความยาวสาย 5 เมตร แต่ถ้าค่าหน่วงเวลามากกว่า 30 นาโนวินาที ค่าความยาวสูงสุดของสายสัญญาณก็จะลดลงเป็นสัดส่วนในตารางที่ 2.3

ค่าอัตราการหน่วงของสาย USB	สีของสายสัญญาณ
9.0 นาโนวินาทีต่อเมตร	3.3 เมตร
8.0 นาโนวินาทีต่อเมตร	3.7 เมตร
7.0 นาโนวินาทีต่อเมตร	4.3 เมตร
6.5 นาโนวินาทีต่อเมตร	4.6 เมตร

ตารางที่ 2.3 แสดงอัตราการหน่วงเวลาของสาย USB เมื่อเทียบกับความยาวของสายสัญญาณ

2.3.12 การจัดการด้านพลังงานของ USB

โฮสต์จะรู้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานของฮับและอุปกรณ์แต่ละตัวจากการอ่านคอนฟิกิวเรชั่นดิสคริปเตอร์ซึ่งจะถูกอ่านออกมาตั้งแต่ครั้งแรกที่มีอุปกรณ์ตัวใหม่เชื่อมต่อเข้ามาในบัส โดยข้อมูลที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานจะมีอยู่ 2 ส่วน ส่วนแรกจะบอก โฮสต์ว่าตัวอุปกรณ์นี้ใช้พลังงานจากบัสหรือใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานจากบัสเป็นปริมาณเท่าใด มีหน่วยเป็นมิลลิแอมป์ (mA)

ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อฮับเข้ากับบัสโฮสต์จะอ่านคอนฟิกิวเรชั่นดิสคริปเตอร์ไปเพื่อพิจารณาการใช้พลังงาน แต่เนื่องจากฮับจำเป็นจะต้องจ่ายพลังงานไปเลี้ยงอุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่ออยู่กับตัวมันด้วย จึงต้องมีข้อกำหนดในด้านแรงดันของไฟเลี้ยงที่จะจ่ายออกจากตัดฮับเพื่อไม่ให้แรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายทางที่ตัวอุปกรณ์น้อยเกินไปจนไม่สามารถทำงานได้ โดยกำหนดไว้ว่า แรงดันที่จ่ายให้แก่ฮับเพื่อให้ฮับทำงานนั้นจะต้องไม่ต่ำกว่า 4.75 V และแรงดันที่จ่ายออกไปยังตัวอุปกรณ์แต่ละตัวจะต้องไม่ต่ำกว่า 4.40 V (ดูรูปที่ 2.11 ประกอบ) นั่นหมายความว่าอุปกรณ์ USB ทุก ๆ ตัวจะต้องสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงอย่างน้อย 4.40 V

รูปที่ 2.11ข้อจำกัดด้านแรงดันที่จุดเชื่อมต่อ

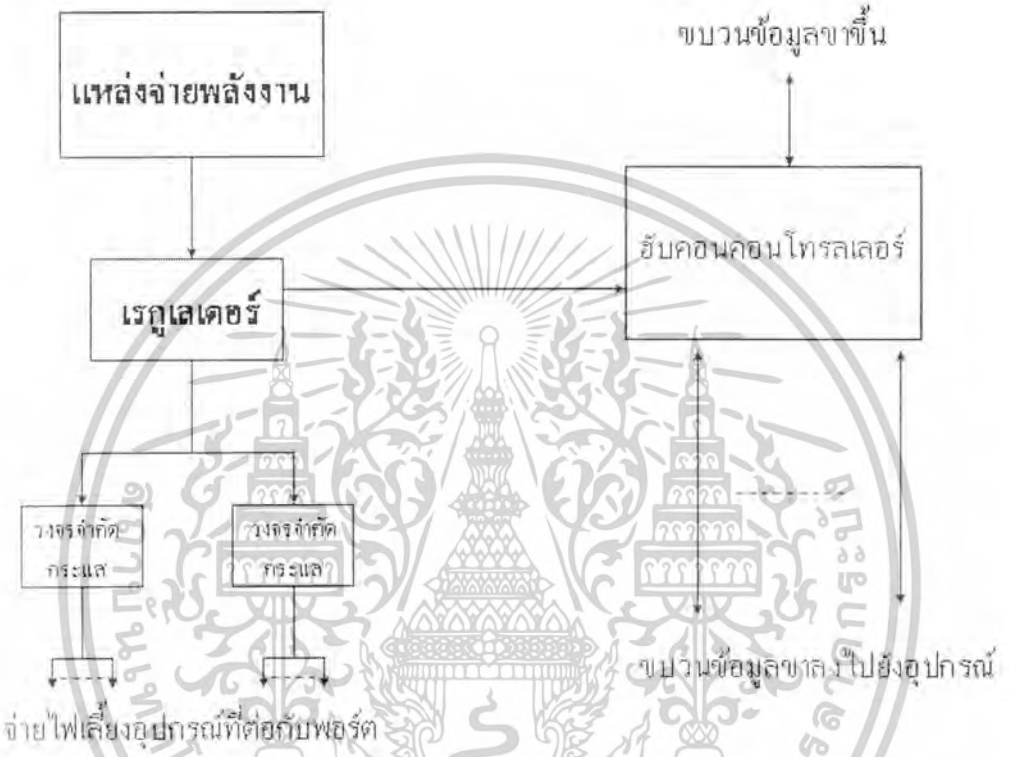
- การจำกัดกระแส

ที่กล่าวมาเป็นข้อกำหนดในเรื่องแรงดันของฮับ ข้อกำหนดอีกส่วนหนึ่งที่ต้องกล่าวถึงคือข้อกำหนดเรื่องกระแส ค่ากระแสต่ำสุดที่ฮับจะต้องจ่ายให้แต่ละพอร์ตจะต้องไม่น้อยกว่า 100mA และจ่ายได้มากที่สุด 500 mA นั่นหมายความว่า อุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่อกับบัส USB โดยใช้พลังงานจากบัสนั้นจะไม่สามารถดึงกระแสได้มากกว่า 500 mA การใช้พลังงานของตัวอุปกรณ์หรือฮับจะแบ่งย่อยออกเป็นหน่วย หน่วยละ 100 mA หมายความว่า อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดจะใช้กระแสไฟฟ้า 1 หน่วยหรือ 100 mA นั้นเอง

สำหรับฮับที่ใช้ไฟเลี้ยงจากบัส ตัวฮับเองจะใช้พลังงานจากฮับเพื่อควบคุมการทำงานภายในของตัวฮับเอง 1 หน่วยเท่ากับ 100 mA และจากข้อกำหนดด้านกระแสที่ว่า บัสจะจ่ายกระแสได้ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิน 500 mA นั่นหมายความว่า ฮับจะเหลือพลังงานที่สามารถจ่ายให้แก่พอร์ตต่าง ๆ ได้อีก 4 หน่วย ซึ่งเท่ากับว่า จะมีพอร์ตได้มากที่สุด 4 พอร์ต โดยแต่ละพอร์ตต้องดึงกระแสไม่เกิน 100 mA แต่ในกรณีของฮับที่แหล่งจ่ายไฟของตัวเองจะไม่พบกับปัญหานี้เพราะสามารถจ่ายกระแสให้แต่ละพอร์ตได้เต็ม 500 mA



รูปที่ 2.12 การจัดการพลังงานของฮับที่มีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง

-การเปิด-ปิดไฟเลี้ยงของฮับ

นอกจากฮับจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามการใช้พลังงานคือ ฮับที่ใช้พลังงานจากบัส และฮับที่ใช้พลังงานของตัวเองแล้ว ฮับยังแบ่งชนิดย่อยตามการเปิดการจ่ายพลังงานให้แก่อุปกรณ์ที่พอร์ตต่าง ๆ ด้วย โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. จ่ายพลังงานโดยตรง ในแบบนี้จะจ่ายพลังงานไปยังพอร์ตต่าง ๆ ไว้ตลอดเวลา

2. เปิดปิดการจ่ายพลังงานแบบรวม ในแบบนี้ฮับสามารถสั่งปิดหรือเปิดการจ่ายพลังงานแก่พอร์ต ต่าง ๆ ได้ แต่จะเป็นการกระทำกับพอร์ตทุก ๆ พอร์ตพร้อมกัน นั่นคือ ถ้าเปิดก็เปิดทั้งหมดถ้าปิดก็ปิดทั้งหมด

3. เปิดปิดการจ่ายพลังงานแบบแยกพอร์ต ในแบบนี้ฮับสามารถสั่งเปิดปิดการจ่ายพลังงานในแต่ละพอร์ตแยกกันอย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฮสต์จะทราบลักษณะการจ่ายพลังงานของฮับได้จากการอ่านฮับคลาสดิสคริปเตอร์ (เป็นคลาสสเปกซิฟิกดิสคริปเตอร์ชนิดหนึ่ง

-การใช้พลังงานในช่วงตั้งค่าเริ่มต้นทำงานหรือคอนฟิก

อุปกรณ์ USB เมื่อเชื่อมต่อเข้ามาในบัสต้องได้รับการกำหนดลักษณะการทำงานจากโฮสต์ก่อนเริ่มทำงานทุกครั้ง เพื่อให้โฮสต์ทราบถึงข้อมูลที่จำเป็นในการติดต่ออุปกรณ์นั้น ๆ ด้วยการอ่านข้อมูลดิสคริปเตอร์ต่าง ๆ เพื่อตั้งค่าเริ่มต้นให้แก่ระบบและตัวอุปกรณ์ ในช่วงการตั้งค่าเริ่มต้นนี้จะมีข้อกำหนดว่า อุปกรณ์จะสามารถดึงพลังงานไปใช้ได้ไม่เกิน 1 หน่วยหรือ 100mA แต่หลังจากโฮสต์พิจารณาทรัพยากรที่ระบบว่ามีเพียงพอต่อความต้องการของออุปกรณ์และตั้งค่า ต่าง ๆ ให้จนเสร็จเรียบร้อยแล้ว อุปกรณ์หรือฮับจะสามารถดึงกระแสได้เต็มความต้องการที่แจ้งไว้ในดิสคริปเตอร์

-การใช้พลังงานของอุปกรณ์ USB

อุปกรณ์ USB สามารถแบ่งชนิดจากลักษณะการใช้พลังงานได้ 2 กลุ่มคือ อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานจากบัส (ใช้พลังงานต่ำ) เช่น เมาส์ คีย์บอร์ด และอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานของตัวเอง (ใช้พลังงานสูง) เช่น เครื่องพิมพ์ดีด ซีดีรอมไดร์ฟ อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานจากบัสสามารถดึงกระแสได้ตั้งแต่ 100-500mA ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับความสามารถในการจ่ายพลังงานของฮับด้วยว่า ฮับนั้น ๆ มีอุปกรณ์ต่ออยู่แล้วกี่ตัว แต่ละตัวดึงพลังงานไปแล้วเท่าใด เหลือพลังงานให้เพียงพอกับที่อุปกรณ์ตัวใหม่ต้องการหรือไม่ หากโฮสต์พิจารณาแล้วว่าไม่สามารถจ่ายพลังงานให้อุปกรณ์ตัวใหม่นี้ได้เพียงพอก็จะไม่ตั้งค่าเริ่มต้นให้อุปกรณ์นั้นๆ ทำให้อุปกรณ์ตัวนั้นไม่สามารถทำงานได้

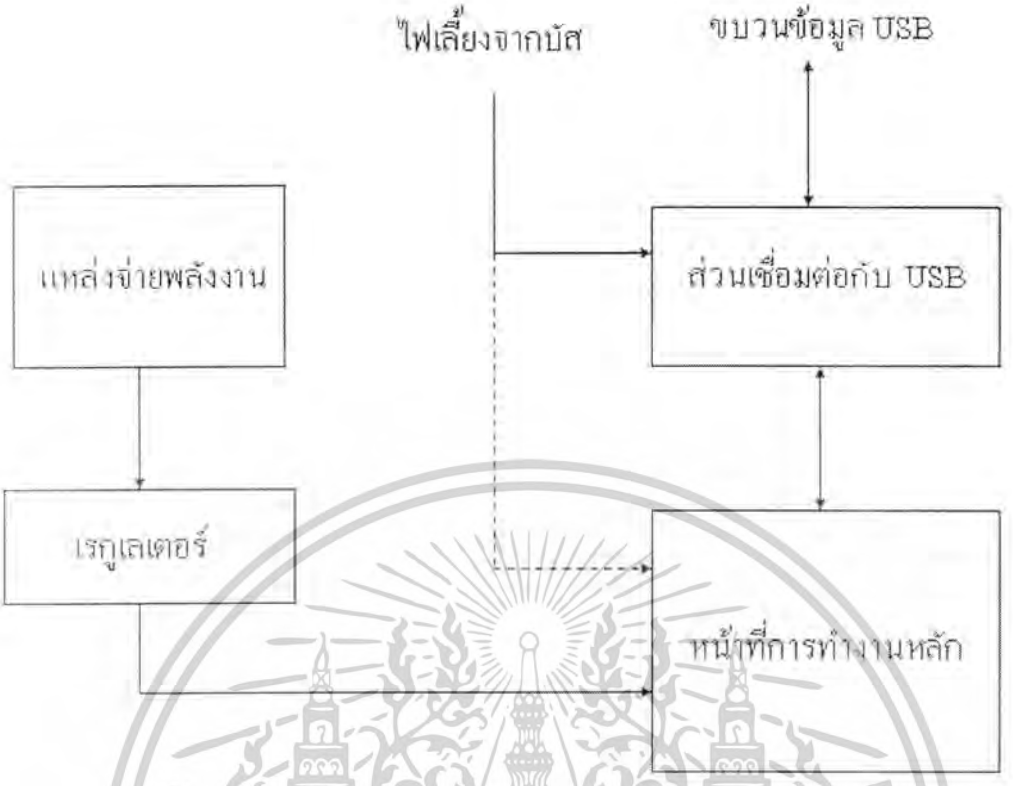
สำหรับอุปกรณ์ที่มีใช้พลังงานของตัวเองจะไม่เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้น เพราะไม่ต้องใช้พลังงานจากบัสเลย แต่มีอุปกรณ์อีกประเภทหนึ่งที่มีรูปแบบการใช้พลังงานที่ต่างออกไป โดยจะใช้พลังงานจากบัสสำหรับวงจรส่วนติดต่อกับ USB แต่ใช้พลังงานของตัวเองสำหรับการทำงานหลักของตัวอุปกรณ์ อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานลักษณะนี้เรียกว่า อุปกรณ์ (hybrid) ข้อดีของอุปกรณ์นี้คือโฮสต์สามารถรู้สถานะของตัวอุปกรณ์ได้ แม้อุปกรณ์ตัวนั้นจะยังไม่ได้จ่ายไฟเลี้ยง นอกจากนั้นยังทำให้สามารถออกแบบอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชั่นการทำงาน 2 รูปแบบที่ต่างกันในจังหวะที่มีและไม่มีไฟเลี้ยงได้

-การประหยัดพลังงานของพอร์ต USB

นอกจากข้อจำกัดด้านการใช้พลังงานในสภาวะปกติ USB ยังมีข้อกำหนดสำหรับการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ในบัสด้วย โดยการเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานเรียกว่า Suspend และการกลับมาทำงานในสภาวะปกติเรียกว่า Resume และเนื่องจาก USB เป็นระบบบัสทำให้การเข้าและออกจากโหมดประหยัดพลังงานจำเป็นต้องมีลำดับขั้นตอนในการส่งสัญญาณต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กันตั้งแต่จุดเริ่มต้นคือ รูตฮับผ่านฮับไปยังตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ

การเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานมีด้วยกัน 2 ชนิดคือ การ Suspend อุปกรณ์ทั้งบัส และ การ Suspend อุปกรณ์เฉพาะตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฮบริด

-กระบวนการเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานหรือ Suspend

USB เป็นบัสที่ควบคุมการทำงานจาก โฮสต์ซึ่งก็คือเครื่องคอมพิวเตอร์เพียงจุดเดียว โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งในลักษณะของเฟรมข้อมูล ในแต่ละเฟรมจะเริ่มต้นส่งข้อมูลด้วย SOF แพ็กเก็ตแล้วจึงตามด้วยข้อมูลที่ต้องการส่งหรือรับ จังหวะการส่งข้อมูลกำหนดไว้ว่า ต้องเริ่มส่ง SOF แพ็กเก็ตเพื่อเริ่มต้นเฟรมทุก ๆ 1 มิลลิวินาที นั่นหมายความว่า ทุก ๆ 1 มิลลิวินาที อุปกรณ์ทุกๆ ตัวในบัสจะต้องได้รับข้อมูล SOF แพ็กเก็ตเพื่อเป็นสัญญาณบอกการเริ่มเฟรมข้อมูล ถ้าอุปกรณ์ไม่ได้รับข้อมูลใด ๆ เลยจากบัสเป็นเวลามากกว่า 3 มิลลิวินาที อุปกรณ์นั้น ๆ จะเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานหรือ Suspend โดยในช่วงที่ Spend นี้อุปกรณ์จะดึงกระแสจากบัสได้ไม่เกินพอร์ตละ 500mA

กระบวนการข้างต้นเป็นการทำงานของอุปกรณ์ความเร็วสูงเท่านั้น สำหรับอุปกรณ์ความเร็วต่ำจะแตกต่างออกไป เพราะอุปกรณ์ความเร็วต่ำจะไม่ได้รับข้อมูลความเร็วสูง และ SOF แพ็กเก็ตที่ถูกส่งออกมาทุก ๆ 1 มิลลิวินาที เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ Suspend ก็เป็นข้อมูลความเร็วสูง ในขณะที่อุปกรณ์ความเร็วต่ำเมื่อไม่ได้รับข้อมูล บัสจะอยู่ในสถานะสงบหรือไอเดิล (Idle) ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของฮับที่จะต้องทำให้พอร์ตที่เชื่อมกับอุปกรณ์ความเร็วต่ำ มีการเปลี่ยนกลับขั้วสัญญาณจากสถานะไอเดิลเป็นตรงกันข้ามภายในทุก ๆ 3 มิลลิวินาที เพื่อป้องกันการเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ Suspend ของอุปกรณ์ทุกๆ ตัวในบัส เริ่มจากโฮสต์สั่งให้รูตฮับเข้าสู่ภาวะประหยัดพลังงาน เมื่อรูตฮับได้รับคำสั่งก็จะหยุดการส่งข้อมูลในบัส เมื่อรูตฮับหยุดส่งข้อมูล หมายความว่าทั้งฮับและอุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ภายในบัสก็จะไม่ได้รับข้อมูลไปด้วย เมื่อเวลาผ่านไป 3 มิลลิวินาที อุปกรณ์ทุกตัวและฮับก็จะเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานพร้อมกัน แต่ถ้าโฮสต์ต้องการ Suspend อุปกรณ์เฉพาะตัว โฮสต์จะตรวจสอบว่าอุปกรณ์ตัวนั้นอยู่กับฮับพอร์ตใด หลังจากนั้นก็เข้าไปเขียนรีจิสเตอร์ของฮับพอร์ตนั้นๆ เพื่อสั่ง Suspend เมื่อฮับได้รับคำสั่งจากโฮสต์ก็จะปิดการส่งข้อมูลของพอร์ตนั้นทำให้อุปกรณ์ที่ต่อกับพอร์ตเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงาน

ขณะที่อยู่ในโหมดประหยัดพลังงาน ถึงแม้ว่าตัวอุปกรณ์จะดึงกระแสไม่เกิน 500 mA แต่ตัวฮับจะต้องรองรับการใช้พลังงานระดับปกติอุปกรณ์แต่ละตัวเพื่อให้ตัวอุปกรณ์สามารถออกจากโหมดประหยัดพลังงานเพื่อกลับเข้าสู่การทำงานปกติได้เมื่อต้องการส่งข้อมูลกลับ

- กระบวนการออกจากโหมดประหยัดพลังงานหรือ Resume

การ Resume คือการกลับเข้าสู่สภาวะการใช้พลังงานปกติและมีการถ่ายทอดข้อมูลตามปกติ สัญญาณที่ใช้ Resume คือ การกลับขั้วของสัญญาณ D- และ D+ ให้ตรงข้ามกับสถานะไอเดิล กระบวนการ Resume สามารถเกิดขึ้นได้จากหลายเงื่อนไขดังนี้

- Resume อุปกรณ์ทั้งหมดโดยรูตฮับ
- Resume อุปกรณ์ทั้งหมดจากตัวอุปกรณ์
- Resume จากการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ตัวใหม่
- Resume จากการปลดอุปกรณ์จากบัส
- Resume จากการรีเซตบัส
- Resume อุปกรณ์เฉพาะตัวจากรูตฮับ

การใช้ Resume อุปกรณ์ทั้งหมดจากรูตฮับจะเกิดจากรูตฮับส่งสถานะ Resume ออกมาในบัสเป็นเวลามากกว่า 20 มิลลิวินาที ซึ่งสถานะ Resume ก็จะถูกฮับกระจายออกไปยังอุปกรณ์ทุก ๆ ตัวทำให้อุปกรณ์ทุกตัวกลับเข้าสู่การทำงานตามปกติ

การ Resume จากอุปกรณ์มีกระบวนการที่แตกต่างและขั้นตอนที่มากขึ้น เริ่มจากอุปกรณ์ที่ต้องการ Resume ขับสถานะResume เข้าไปยังบัสเพื่อส่งขึ้นไปยังฮับที่ต่ออยู่ เมื่อฮับได้รับสถานะ Resume ก็จะส่งสถานะนี้ขึ้นไปด้านบน นอกจากนั้นยังส่งสถานะนี้ไปยังพอร์ตทุกพอร์ต (รวมพอร์ตของอุปกรณ์ที่สร้าง Resume ขึ้นมาด้วย) ภายใน 100ไมโครวินาที ถ้าด้านบนฮับมีฮับต่ออยู่อีกชั้นหนึ่งก็จะเกิดกระบวนการลักษณะเดียวกัน จนกระทั่งสถานะ Resume ถูกสูงขึ้นไปถึงรูตฮับ เมื่อรูตฮับได้รับสถานะ Resume แล้วจะสร้างสถานะ Resume กลับลงมาอีกเป็นเวลามากกว่า 20 มิลลิวินาที การจบสถานะ Resume ทำได้โดยการสร้างสถานะ EOP เป็นเวลา 2 บิตของการส่งข้อมูลความเร็วต่ำ หรือ 1.33 ไมโครวินาที (การส่งข้อมูลความเร็วต่ำ 1.5 Mbit/s เวลา 1บิตเท่ากับ 6.67 ไมโครวินาที ดังนั้นเวลา 2 บิตจึงเท่ากับ 1.33 ไมโครวินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.13 ชนิดของการถ่ายทอดสัญญาณ (transfer type)

เนื่องจาก USB ออกแบบไว้รองรับการทำงานของอุปกรณ์หลาย ๆ ประเภทซึ่งแต่ละประเภทจะมีความต้องการในการรับส่งข้อมูลที่แตกต่างกันออกไปตามชนิด หน้าที่ของอุปกรณ์นั้น ๆ ดังนั้นการรับส่งสัญญาณจึงต้องออกแบบไว้ให้ครอบคลุมการทำงานทุก ๆ ประเภทของอุปกรณ์ทุก ๆ ชนิด ทำให้ USB กำหนดชนิดของการรับส่งข้อมูลออกเป็น 4 ชนิดคือ

- การถ่ายทอดสัญญาณแบบไอโซโครนัส (Isochronous transfer)
- การถ่ายทอดสัญญาณแบบบัลก์ (Bulk transfer)
- การถ่ายทอดสัญญาณแบบอินเตอร์รัปต์ (Interrupt transfer)
- การถ่ายทอดสัญญาณแบบควบคุม (Control transfer)

ในหัวข้อก่อนหน้านี้ ได้กล่าวเกี่ยวกับเอ็นด์พอยต์ไปแล้วว่า เป็นชุดรีจิสเตอร์ที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์โดยแต่ละเอ็นด์พอยต์ก็จะมีหน้าที่ในการทำงานที่ต่างกันไป นั่นหมายความว่า แต่ละเอ็นด์พอยต์ก็จะใช้การรับส่งข้อมูล 1 ใน 4 ชนิดที่กล่าวไปนี้ ในการติดต่อกับ โฮสต์ หรือกล่าวอย่างง่าย ๆ ก็คือ แต่ละเอ็นด์พอยต์จะใช้ชนิดการรับส่งข้อมูลเป็นของตัวเองเพียงชนิดเดียวแยกจากเอ็นด์พอยต์อื่น ๆ อย่างอิสระ เช่น ในอุปกรณ์ตัวหนึ่งจะมีเอ็นด์พอยต์ควบคุมที่ใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณควบคุมเพื่อรับส่งข้อมูลควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ในขณะที่อีกเอ็นด์พอยต์หนึ่งใช้ในการถ่ายทอดแบบไอโซโครนัสเพื่อส่งข้อมูลจากการทำงานหน้าที่หนึ่ง และใช้อีกเอ็นด์พอยต์หนึ่งที่ใช้ในการถ่ายทอดแบบบัลก์เพื่อรับส่งตัวข้อมูลจากการทำงานอีกหน้าที่หนึ่ง เป็นต้น ส่วนถัดไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของการรับส่งข้อมูลทั้งหมด 4 ชนิด ในด้านความเหมาะสมกับงานต่าง ๆ และจังหวะการรับส่งข้อมูล

-การถ่ายทอดสัญญาณแบบไอโซโครนัส

การรับส่งข้อมูลชนิดนี้จะมีการส่งหรือรับข้อมูลในทุกๆ เฟรมข้อมูล (ทุกๆ 1 มิลลิวินาที) ทำให้เกิดการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่คงที่ แต่นั่นก็หมายความว่า การรับส่งแบบนี้จะต้องจองการรับส่งข้อมูลในแต่ละเฟรม 1 มิลลิวินาทีไว้ตลอดเวลาด้วย

ประเภทของงานที่ใช้รับส่งข้อมูลชนิดนี้คือ งานที่ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่คงที่ตลอดเวลา เช่น การส่งข้อมูลเสียงเพลงไปยังลำโพง USB หรือการรับข้อมูลจากไมโครโฟน USB เพราะว่า ลักษณะงานประเภทนี้ ทางปลายทางจะนำข้อมูลที่ได้รับแปลงกับเป็นข้อมูลอนาล็อก ซึ่งจะเกิดความผิดเพี้ยนทางความถี่ได้ หากข้อมูลที่ส่งเกิดการขาดช่วงไม่สม่ำเสมอ แต่จากข้อกำหนดที่ว่าต้องส่งหรือรับข้อมูลต่อเนื่องในทุก เฟรมข้อนั่นหมายว่า หากเกิดความผิดพลาดของข้อมูลจะไม่มีการพยายามส่งข้อมูลที่ผิดนั้นกลับไปใหม่ (เพราะหากมีการส่งใหม่จะทำให้อัตราการส่งข้อมูลเปลี่ยนไป) จึงทำการถ่ายทอดข้อมูลแบบนี้จะไม่มีการรับประกันความถูกต้องของข้อมูลก่อนเริ่มการทำงาน อุปกรณ์จะต้องทำการซิงโครไนซ์การทำงานของตัวเองเข้ากับสัญญาณเริ่มต้นของแต่ละเฟรม (SOF : Start Of Frame) ของ USB เพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับหรือส่งข้อมูลในทุกๆ 1 มิลลิวินาทีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทัน ทำให้เกิดการรับส่งข้อมูลในจังหวะที่ถูกต้อง การซิงโครไนซ์เข้ากับเฟรมข้อมูลนั้นมีอยู่ 3 วิธี ดังนี้

1. อะซิงโครนัส (asynchronous) การซิงโครไนซ์วิธีนี้สัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องเข้าจังหวะกับสัญญาณข้อมูลของ USB สัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์จะเป็นอิสระไม่ขึ้นอยู่กับสัญญาณ SOF แต่อัตราการส่งข้อมูลจะต้องถูกกำหนดไว้ตายตัวที่ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งกำหนดตอนเริ่มต้นการเชื่อมต่อ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้

ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ซิงโครไนซ์ด้วยวิธีนี้คือ ซีดีรอมในโหมดการเล่นเพลง เพราะว่า ซีดีเพลงนั้นจะมีอัตราการสุ่มข้อมูลคงที่เท่ากับ 44.1 kHz ซึ่งอัตราการส่งข้อมูลนี้จะเป็นอิสระจากการส่งสัญญาณ SOF ของ USB นอกจากซีดีรอมแล้วอีกตัวอย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดก็คือ ไมโครโฟน USB ที่มีอัตราการสุ่มข้อมูล (sampling rate) เป็นอิสระไม่ขึ้นอยู่กับสัญญาณ SOF ของ USB

2. ซิงโครนัส (synchronous) ในวิธีนี้สัญญาณ SOF ของ USB จะต้องเข้าจังหวะกัน โดยก่อนเริ่มการทำงาน อุปกรณ์จะต้องมีการปรับสัญญาณนาฬิกาของตัวเองให้เข้าจังหวะกัน USB จะยอมให้จังหวะการส่ง SOF ของตัวอุปกรณ์นั้นเป็นหลัก และปรับจังหวะการส่ง SOF ของตัว โฮสต์เองให้เข้ากับการส่งข้อมูลของอุปกรณ์นั้นได้ โดยอุปกรณ์ตัวนั้นจะเรียกว่า อุปกรณ์มาสเตอร์ (master device) แต่ USB อนุญาตให้มีอุปกรณ์มาสเตอร์ได้เพียงตัวเดียวเท่านั้นในระบบ ความเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลวิธีนี้จะต้องกำหนดไว้ตายตัวตั้งแต่เริ่มต้นการเชื่อมต่อเช่นเดียวกับแบบอะซิงโครนัส

ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ทำงานลักษณะนี้คือ ไมโครโฟน USB ที่มีอัตราการสุ่มข้อมูลเข้าจังหวะกับสัญญาณ SOF นั่นเอง อีกตัวอย่างหนึ่งก็คือ โมเด็ม ISDN ความเร็ว 64 Kbit/s จะต้องเกิดการซิงโครไนซ์สัญญาณ SOF ของโฮสต์เข้ากับสัญญาณนาฬิกาของระบบ ISDN ก่อนจึงจะเกิดการถ่ายทอดข้อมูลที่ความเร็วคงที่ 64 Kbit/s ได้

3. อะแดปตีฟ (adaptive) วิธีนี้เป็นวิธีที่ตัวอุปกรณ์มีความสามารถมากที่สุด เพราะอุปกรณ์สามารถปรับความเร็วในการถ่ายทอดข้อมูลได้ในช่วงที่กว้างมาก ไม่ถูกกำหนดไว้ตายตัวที่ค่าใดค่าหนึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ในระหว่างการใช้งาน สัญญาณนาฬิกาภายในระบบของอุปกรณ์จะเข้าจังหวะกับสัญญาณข้อมูลที่ส่งในสาย (แตกต่างจากวิธีซิงโครนัสที่เข้าจังหวะกับสัญญาณ SOF)

ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ทำงานในลักษณะนี้คือ ซีดีรอมเล่นเพลงที่มีอุปกรณ์พิเศษในการเปลี่ยนอัตราการสุ่มข้อมูล (sample rate converter : SRC) ซึ่งด้วยอุปกรณ์ตัวนี้จะทำให้ความเร็วในการสุ่มข้อมูลไม่จำเป็นต้องคงที่เท่ากับ 44.1 kHz แต่จะสามารถปรับเปลี่ยนไปตามขอบเขตของการทำงานของตัว SRC จังหวะการถ่ายทอดข้อมูลแบบไอโซโครนัสจะถูกกำหนดให้ส่งข้อมูลในทุก ๆ 1 มิลลิวินาทีเพื่อให้เกิดอัตราการส่งข้อมูลที่คงที่ขึ้น นั่นหมายความว่า จะจองแบนด์วิดธ์ของสายไว้คงที่ตลอดเวลา ขนาดข้อมูลใหญ่ที่สุดที่สามารถส่งได้ในแต่ละเฟรมเท่ากับ 1,023 ไบต์ โดยอุปกรณ์จะแจ้งขนาดของการรับส่งข้อมูลที่ต้องการใช้ในแต่ละเฟรมแก่โฮสต์ทางเอ็นด์พอยต์ดิสคริปเตอร์ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฮสต์จะนำไปใช้พิจารณาความสามารถของระบบว่า รองรับการทำงานของอุปกรณ์ได้หรือไม่ หากพิจารณาแล้วว่าแบนด์วิดธ์ข้อมูลของระบบไม่เพียงพอต่อความต้องการของตัวอุปกรณ์ ก็จะไม่ตั้งค่าที่จำเป็นในการทำงานให้แก่อุปกรณ์ และปิดการทำงานของพอร์ตนั้น ๆ ทำให้อุปกรณ์ตัวนั้นไม่สามารถทำงานได้

เนื่องจากในการถ่ายทอดข้อมูลแบบนี้ต้องการความเร็วที่คงที่ตลอดเวลา เมื่อเกิดความผิดพลาดของข้อมูลจึงไม่สามารถส่งใหม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดการซิงโครไนซ์ของข้อมูลคลาดเคลื่อนไปส่งผลให้การรับข้อมูลเกิดความผิดพลาด ดังนั้นการถ่ายทอดข้อมูลแบบไอโซโครนัสจึงไม่มีการตรวจสอบความผิดพลาดของการส่งข้อมูลและไม่มีการส่งข้อมูลซ้ำ ทำให้วิธีการนี้ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความถูกต้องของข้อมูลเป็นสำคัญ

- การถ่ายทอดสัญญาณแบบอินเตอร์รัปต์

การรับส่งข้อมูลชนิดนี้สร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของอุปกรณ์ให้แก่ระบบ วิธีการเลียนแบบอาศัยการวนอ่านข้อมูลจากตัวอุปกรณ์ต่างๆ ในระยะเวลาที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอหรือเรียกว่า โพลลิ่ง (Polling) โดยอัตราการวนอ่านข้อมูลนี้จะต้องไม่ช้าเกินไปเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูลที่อ่านไม่ทันได้ ในขณะเดียวกันที่จะต้องไม่เร็วเกินไป จนเกินเข้าไปในแบนด์วิดธ์ข้อมูลมากเกินจำเป็น ถ้าหากอุปกรณ์ไม่มีข้อมูลที่ต้องการส่ง ก็จะส่งสัญญาณ No Acknowledge (NAK) ตอบกลับ

คาบเวลาในการวนอ่านข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละตัวจะขึ้นอยู่กับความต้องการของอุปกรณ์แต่ละชนิด คาบเวลานี้สามารถเปลี่ยนได้ในช่วงกว้างตั้งแต่วนอ่านทุกๆ 1 เฟรม (1มิลลิวินาที) ไปจนถึงทุกๆ 255 เฟรม (255 มิลลิวินาที) แต่ถ้าเป็นอุปกรณ์ความเร็วต่ำคาบที่สั้นที่สุด (ความถี่สูงสุด) ที่สามารถวนอ่านได้คือทุก ๆ 10 เฟรม (10 มิลลิวินาที) โฮสต์จะรู้คาบเวลาในการวนอ่านของเอ็นด์พอยต์ที่ใช้วิธีการถ่ายทอดสัญญาณแบบอินเตอร์รัปต์จากการอ่านเอ็นด์พอยต์ดิสคริปเตอร์

การส่งข้อมูลแต่ละครั้งสามารถกำหนดให้ส่งได้มากที่สุด 64 ไบต์ (ถ้าหากเป็นอุปกรณ์ความเร็วต่ำจะส่งได้สูงสุด 8 ไบต์) หากข้อมูลที่ต้องการส่งทั้งหมดมีมากกว่าก็จะแบ่งเป็นส่วนๆ โดยแต่ละส่วนจะต้องส่งให้เต็มจำนวนข้อมูลที่สามารถส่งได้สูงสุด (เพื่อให้โฮสต์รับทราบว่ายังส่งข้อมูลไม่ครบ) แล้วในการส่งครั้งสุดท้ายซึ่งจะส่งไม่เต็มจำนวนสูงสุดจะเป็นตัวบอกให้โฮสต์ทราบเองว่าจบการส่งข้อมูลแล้วอย่างไรก็ตามการถ่ายทอดสัญญาณแบบอินเตอร์รัปต์นี้ก็ต้องการอัตราการวนอ่านข้อมูลที่คงที่คล้ายกับการถ่ายทอดสัญญาณแบบไอโซโครนัส เพราะถ้าหากโฮสต์ไม่สามารถวนอ่านข้อมูลได้ตามที่แจ้งไว้ในเอ็นด์พอยต์ดิสคริปเตอร์ อาจทำให้เกิดการล้นของข้อมูลที่ต้องการจะส่งจากอุปกรณ์กลับมายัง โฮสต์ได้หรือเกิดโอเวอร์โฟลว (Overflow) เนื่องจากโฮสต์ไม่อ่านข้อมูลออกไปจนกระทั่งข้อมูลที่เตรียมจะส่งล้นบัฟเฟอร์ ดังนั้นก่อนเริ่มการทำงานของอุปกรณ์ โฮสต์จะต้องอ่านเอ็นด์พอยต์ดิสคริปเตอร์ออกมาแล้วพิจารณาว่าระบบสามารถรับรองการทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือไม่ ถ้าได้ก็จะตั้งค่าที่จำเป็นในการทำงานแล้วเริ่มการทำงาน แต่ถ้าไม่สามารถรองรับได้ก็จะไม่ตั้งค่าให้และปิดการทำงานของพอร์ตนั้น

การถ่ายทอดสัญญาณแบบอินเตอร์รัปต์นี้ถึงแม้จะต้องการอัตราการวนอ่านข้อมูลที่คงที่แต่ก็ไม่จำเป็นต้องซิงโครไนซ์อัตราการส่งข้อมูลเข้ากับระบบ ดังนั้นเมื่อเกิดความผิดพลาดของการส่งข้อมูลขึ้นก็สามารถส่งใหม่ได้ ทำให้การถ่ายทอดสัญญาณแบบนี้จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลใหม่ในรอบการวนอ่านถัดไปหากเกิดความผิดพลาดในการส่ง ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้การถ่ายทอดสัญญาณแบบนี้คือ คีย์บอร์ดและเมาส์ เป็นต้น

- การถ่ายทอดสัญญาณแบบบัลก์

เป็นการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ต USB สำหรับงานที่ไม่ต้องการอัตราเร็วในการถ่ายทอดสัญญาณที่คงที่ อุปกรณ์ที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดสำหรับการถ่ายทอดสัญญาณในลักษณะนี้คือเครื่องพิมพ์ เพราะข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องการส่งไปพิมพ์นั้นไม่ต้องการความเร็วในการส่งที่สม่ำเสมอ การส่งช้าหรือเร็วก็จะส่งผลกระทบในด้านเวลาที่ต้องใช้มากขึ้นเท่านั้น แต่ข้อมูลที่ได้ก็ยังไม่เสียหายแต่อย่างใด

เนื่องจากการถ่ายทอดสัญญาณแบบนี้ไม่สามารถจองการใช้งานแบนด์วิดธ์ของบัสได้ ดังนั้นการรับส่งจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อบัสว่างจากการส่งข้อมูลอื่นๆทั้งหมดแล้วเท่านั้น หรืออาจกล่าวอย่างง่ายๆว่า การถ่ายทอดสัญญาณแบบบัลก์จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเหลือที่ว่างของข้อมูลในแต่ละเฟรมเท่านั้น หากไม่มีที่ว่างเหลือก็จะต้องรอไปเรื่อยๆ จนกว่าจะสามารถส่งได้ แต่ในทางกลับกันถ้าบัสไม่มีอุปกรณ์ตัวใดใช้งานอยู่เลยก็สามารถส่งข้อมูลได้เต็มความสามารถที่บัสจะส่งได้ทันทีทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลสูงมาก อาจสูงถึง 1เมกะไบต์ต่อวินาทีเลยทีเดียว (ขนาดข้อมูล 1 ไบต์ =8 บิต เพราะฉะนั้น 12 เมกะบิตต่อวินาที จึงเท่ากับ 1.5 เมกะไบต์ต่อวินาที)

ถึงแม้บัสจะว่างมากเพียงใด แต่การถ่ายทอดสัญญาณแบบบัลก์ก็ไม่สามารถส่งข้อมูลขนาดใหญ่ไปในคราวเดียวได้ เพราะเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาดของข้อมูลระหว่างส่ง ข้อมูลจะต้องถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ แล้วทยอยส่งต่อกันไปในเฟรมเดียวกัน โดยขนาดของชิ้นข้อมูลที่ใหญ่ที่สุดหลังจากแบ่งแล้วจะเท่ากับ 8, 16, 32 หรือ64 ไบต์ การส่งข้อมูลที่ถูกแบ่งจะต้องส่งในขนาดใหญ่ที่สุดที่ตกลงกันไว้กับโฮสต์เพื่อให้โฮสต์ทราบว่า ยังไม่จบการส่งข้อมูล และโฮสต์จะทราบว่าจบการส่งเมื่อพบว่าขนาดของข้อมูลที่ส่งไม่เต็มขนาดใหญ่สุดที่กำหนดไว้ (เหมือนกับแบบอินเตอร์รัปต์)

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้การถ่ายทอดสัญญาณแบบนี้ส่วนใหญ่ต้องการความถูกต้องของข้อมูลสูง เช่น ซีดีรอม (ในส่วนของการอ่านข้อมูลที่ไม่ใช้เพลง) เครื่องพิมพ์ หรือสแกนเนอร์ ดังนั้นการตรวจสอบข้อมูลจึงเป็นเรื่องจำเป็น ในการส่งข้อมูลแต่ละครั้งจึงมีการตรวจสอบความถูกต้องในทุกๆครั้ง และจะเกิดการส่งใหม่ถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14 แสดงรายละเอียดของแต่ละสเตจของการถ่ายทอดสัญญาณควบคุม

- การถ่ายทอดสัญญาณควบคุม

การรับส่งข้อมูลแบบนี้อาจถือได้ว่ามีความสำคัญที่สุดก็ว่าได้ เพราะใช้สำหรับส่งคำสั่งควบคุมการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์ทุกๆ ตัว ตั้งแต่เริ่มแรกเมื่ออุปกรณ์ถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบ เกิดการอ่านข้อมูลดิสคริปเตอร์ต่างๆ เมื่อได้ข้อมูลมาโฮสต์ก็จะพิจารณาว่าสามารถรับรองการทำงานได้หรือไม่ เมื่อพิจารณาว่าได้ ก็จะตั้งค่าการทำงานต่างๆ และเริ่มการทำงาน ทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะใช้การถ่ายทอดสัญญาณควบคุมเพื่อติดต่อกับเอ็นด์พอยต์คอนโทรลเป็นกุญแจหลักทั้งสิ้น

การถ่ายทอดสัญญาณทั้ง 3 แบบที่ผ่านมาล้วนแล้วแต่เป็นการรับส่งข้อมูลที่เกิดจากฟังก์ชั่นการทำงานของตัวอุปกรณ์ทั้งหมด แต่สำหรับการถ่ายทอดสัญญาณควบคุมนั้นเป็นการส่งข้อมูลควบคุมตัวอุปกรณ์ซึ่งความผิดพลาดในการส่งข้อมูลเป็นเรื่องที่ยอมรับไม่ได้ ดังนั้นการส่งข้อมูลชนิดนี้จะถูกออกแบบมาพิเศษกว่าการส่งชนิดอื่น ๆ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

การถ่ายทอดสัญญาณควบคุมประกอบด้วย การส่งข้อมูล 3 ช่วง ช่วงที่หนึ่งคือ ช่วงเตรียมตัวตั้งค่า (setup stage) ช่วงที่ 2 คือ ช่วงข้อมูล (data stage) และช่วงสุดท้ายคือ ช่วงตรวจสอบ (handshake stage) จะเห็นได้ว่าคล้ายกับการแบ่งแต่ละทรานแซกชั่นเป็น 3เฟสที่กล่าวไปแล้วในตอนต้น จะแตกต่างกันตรงที่ แต่ละสเตจคือ 1 ทรานแซกชั่นจะประกอบด้วยการส่งข้อมูล 3 ช่วงเรียบร้อยแล้ว แล้วจึงนำมาประกอบกันอีกชั้นหนึ่งดังรูปที่ 2.14 แต่สำหรับบางคำสั่งที่ไม่ต้องการการรับหรือส่งข้อมูลก็ไม่จำเป็นต้องมีช่วงข้อมูล ก็จะเหลือเพียง 2 ช่วงคือ ช่วงตั้งค่าและช่วงตรวจสอบ

ในช่วงตั้งค่าจะบรรจุข้อมูลยาว 8 ไบต์ซึ่งภายในเป็นคำสั่งต่างๆ เพื่อส่งไปยังตัวอุปกรณ์ ส่วนช่วงข้อมูลจะบรรจุข้อมูลที่ต้องการส่งหรือรับขึ้นอยู่กับชนิดของคำสั่ง และส่วนสุดท้ายช่วงตรวจสอบเป็นการตรวจสอบการตอบรับคำสั่ง ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนนี้เป็นที่พิเศษกว่าการส่งข้อมูลแบบปกติคือ จะใช้ทรานแซกชั่นขาออกที่มีความยาวข้อมูลเป็น 0 ในการตอบแฮนด์เช็กอีกชั้นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(รายละเอียดของแต่ละทรานแซกชั่นอยู่ในส่วนถัดไป) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการส่งคำสั่งแต่ละครั้งนั้นมีการตรวจสอบความผิดพลาดกันอย่างเข้มงวดกว่าการส่งข้อมูลแบบอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด

USB จะสำรองแบนด์วิดธ์การส่งข้อมูลของบัสไว้ 10% เพื่อใช้สำหรับการถ่ายทอดสัญญาณควบคุมโดยเฉพาะ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการควบคุมอุปกรณ์ล่าช้าเมื่อมีการรับส่งข้อมูลปริมาณมากๆ เพราะอาจจะถูกอุปกรณ์บางตัวดึงแบนด์วิดธ์ไปใช้รับส่งข้อมูลจนไม่สามารถส่งสัญญาณควบคุมได้

2.3.14 โครงสร้างระดับล่างของการรับส่งข้อมูล

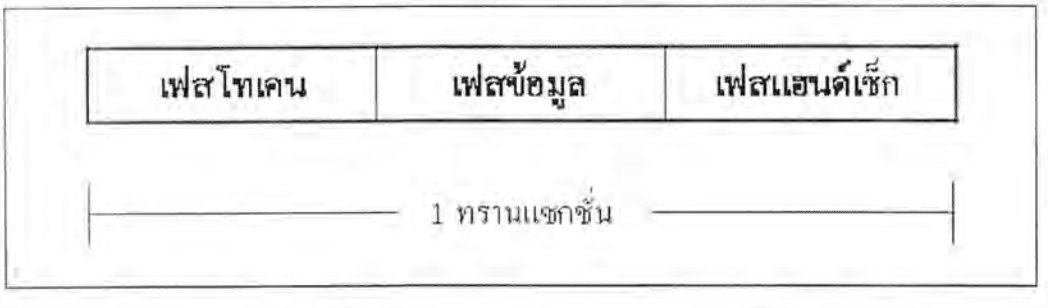
โครงสร้างระดับล่างสุดของ USB คือ การจัดข้อมูลเป็นแพ็กเก็ต ซึ่งตัวแพ็กเก็ตเองแบ่งได้หลายชนิด เมื่อนำแพ็กเก็ตต่างชนิดมาเรียงต่อกันก็จะได้ทรานแซกชั่นขึ้นมา ดังนั้นทรานแซกชั่นจึงมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของแพ็กเก็ตที่ประกอบขึ้นมา และเมื่อนำทรานแซกชั่นต่างๆ มาจัดเรียงลงในเฟรมข้อมูลที่ต้องส่งในทุก 1 มิลลิวินาทีในลำดับต่างๆ กันก็ได้เป็นการถ่ายทอดสัญญาณชนิดต่างๆ เช่น ถ้าส่งข้อมูลทุก ๆ เฟรมด้วยขนาดคงที่ก็จะเป็นการถ่ายทอดสัญญาณแบบไอโซโครนัส แต่ถ้าส่งด้วยคาบเวลาที่แน่นอนแต่ไม่ทุกเฟรมก็จะเป็นการถ่ายทอดสัญญาณแบบอินเตอร์รัปต์ เป็นต้น

แต่ละทรานแซกชั่นประกอบขึ้นจากแพ็กเก็ตต่าง ๆ ซึ่งโดยส่วนมากจะประกอบด้วย 3เฟส หรือแพ็กเก็ต (หมายถึง แพ็กเก็ตข้อมูลเหมือนกัน แต่คำว่า " เฟส" จะสื่อให้เห็นการแบ่งช่วงข้อมูลมากกว่า) ดังรูปที่ 2.15 แต่ทรานแซกชั่นบางชนิดอาจจะมีเพียง 2 เฟส หรือมีเพียงเฟสเดียวก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของทรานแซกชั่น สำหรับรายละเอียดดังนี้

-เฟสโทเคน (Token packet phase) เป็นเฟสเริ่มต้นของทุก ๆ ทรานแซกชั่น ภายในจะบรรจุข้อมูลที่บอกชนิดของทรานแซกชั่น รวมไปถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ที่จะติดต่อด้วย

- เฟสข้อมูล (Data packet phase) ทรานแซกชั่นส่วนใหญ่จะมีเฟสข้อมูลรวมอยู่ด้วยเพื่อส่งหรือรับตัวข้อมูลปริมาณมากๆ โดยข้อมูลที่สามารถส่งหรือรับได้มากที่สุดต่อครั้งเท่ากับ 1024 ไบต์แต่ขนาดข้อมูลมากที่สุดที่สามารถส่งได้จะถูกกำหนดจากชนิดของการส่งข้อมูลอีกทีหนึ่ง

-เฟสแฮนด์เช็ก (Handshake packet phase) เนื่องจากทุกๆ ครั้งที่เกิดการส่งข้อมูลยกเว้นแต่การส่งข้อมูลแบบไอโซโครนัสจะมีการรับประกันความถูกต้องของการส่ง ดังนั้นเฟสนี้จึงเป็นข้อมูลที่ฝ่ายรับส่งกลับไปยังฝ่ายส่งเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการสื่อสาร



รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของแต่ละทรานแซกชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับข้อมูลเพื่อการซิงโครนัส	แพ็กเก็ตไอดี	ข้อมูลเฉพาะตามชนิดของแพ็กเก็ต	CRC	EOP

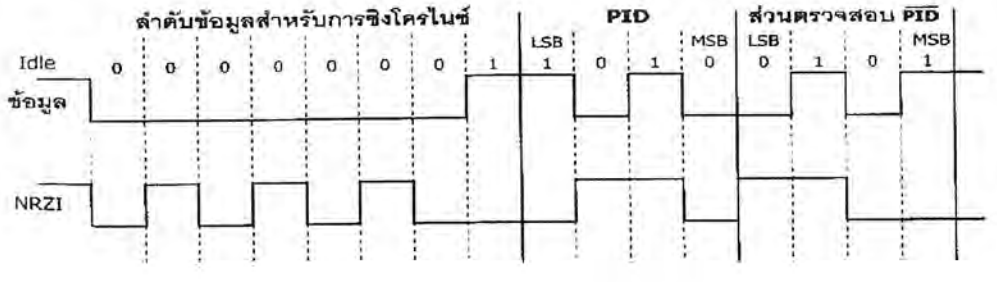
ข้อมูล 1 แพ็กเก็ต

รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของข้อมูลในแต่ละแพ็กเก็ต

แต่ละแพ็กเก็ตเกิดจากข้อมูลหลายส่วนมาจัดเรียงต่อกันดังรูปที่ 2.16 ก่อนจะเริ่มส่งแพ็กเก็ตข้อมูลทุกครั้งจะต้องเริ่มด้วย ลำดับข้อมูลเพื่อการซิงโครไนซ์ (synchronization sequence) เพื่อกระตุ้นให้อุปกรณ์ปลายทางรู้ว่าจะเกิดการส่งข้อมูลขึ้นแล้ว นอกจากนั้นลำดับข้อมูลนี้เมื่อแปลงเป็นสัญญาณ NRZI แล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณทุกๆ บิตข้อมูลทำให้อุปกรณ์ปลายทางสามารถปรับสัญญาณนาฬิกาของตัวเองให้เข้าจังหวะกับสัญญาณข้อมูลที่จะได้รับ

ต่อจากส่วนระดับข้อมูลจะเป็นส่วนเริ่มต้นของแพ็กเก็ตคือ แพ็กเก็ตไอดี (Packet ID : PID) เป็นส่วนบอกชนิดของแพ็กเก็ต ข้อมูลในส่วนนี้มีขนาด 8 บิต โดย 4 บิตแรกเป็นชนิดของแพ็กเก็ต และ 4 บิตหลังเป็นส่วนตรวจสอบซึ่งจะเป็นข้อมูลคอมพลีเมนต์ของกันและกัน แสดงว่าเกิดความผิดพลาดขึ้น

หลังจากส่วนแพ็กเก็ตไอดีจะเป็นส่วนของข้อมูลเฉพาะตามชนิดของแพ็กเก็ตต่างๆ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามหน้าที่ของแต่ละแพ็กเก็ต เช่น แอดเดรสของผู้รับ หมายเลขเฟรม หรืออาจจะเป็นตัวข้อมูลที่ส่งหรือรับจากตัวอุปกรณ์ หลังจากส่วนนี้ก็จะตามหลังด้วยส่วนตรวจสอบความผิดพลาดแบบ CRC โดยจะใช้ CRC 16 บิต เมื่อแพ็กเก็ตนั้นเป็นแพ็กเก็ตข้อมูล และใช้ CRC 5 บิตในกรณีที่เป็นแพ็กเก็ตชนิดอื่นๆ หลังจากส่วนของ CRC ก็จะปิดท้ายด้วยสัญญาณ EOP เพื่อเป็นการแจ้งให้ทราบว่าจบแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ตเรียบร้อย



รูปที่ 2.17 ลำดับข้อมูลเพื่อการซิงโครไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่2.17 แสดงให้เห็นถึงหน้าที่และการจัดเรียงข้อมูลของแพ็กเก็ตทั้งหมด ซึ่งเมื่อนำแพ็กเก็ตทั้งหมดมาจัดเรียงกันจะได้ทรานแซกชั่นสำหรับส่งหรือรับข้อมูลขึ้นมา โดยทรานแซกชั่นทั้งหมดมีอยู่ 3 ชนิดคือทรานแซกชั่นขาเข้า ทรานแซกชั่นขาออก และทรานแซกชั่นตั้งค่า

ทรานแซกชั่นขาเข้า เริ่มต้นด้วยฝั่งโฮสต์ส่งโทเค็นแพ็กเก็ต In ซึ่งภายในจะระบุแอดเดรสและเอ็นด์พอยด์ที่ต้องการรับข้อมูลเข้ามา หลังจากนั้นอุปกรณ์จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูล “0” หรือ “1” (การใช้งานแพ็กเก็ตข้อมูล “0” และ “1” จะอธิบายในส่วนถัดไป) ที่บรรจุข้อมูลตามแอดเดรสและเอ็นพอยต์ที่ระบุกลับมายังโฮสต์ เมื่อโฮสต์ได้รับข้อมูลกลับมาจากอุปกรณ์แล้วจะไม่มีการส่งแฮนด์เช็กแพ็กเก็ตกลับไปยังตัวอุปกรณ์

ทรานแซกชั่นขาออก เริ่มต้นจากฝั่งโฮสต์ส่งโทเค็นแพ็กเก็ต Out ซึ่งระบุแอดเดรสและเอ็นด์พอยต์ปลายทางที่จะส่งข้อมูลไป หลังจากนั้นโฮสต์จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูล “0” หรือ “1” ที่บรรจุข้อมูลที่ต้องการส่งตามออกไป เมื่ออุปกรณ์ได้รับข้อมูลครบแล้วก็จะส่งแฮนด์เช็กแพ็กเก็ตกลับมายังโฮสต์

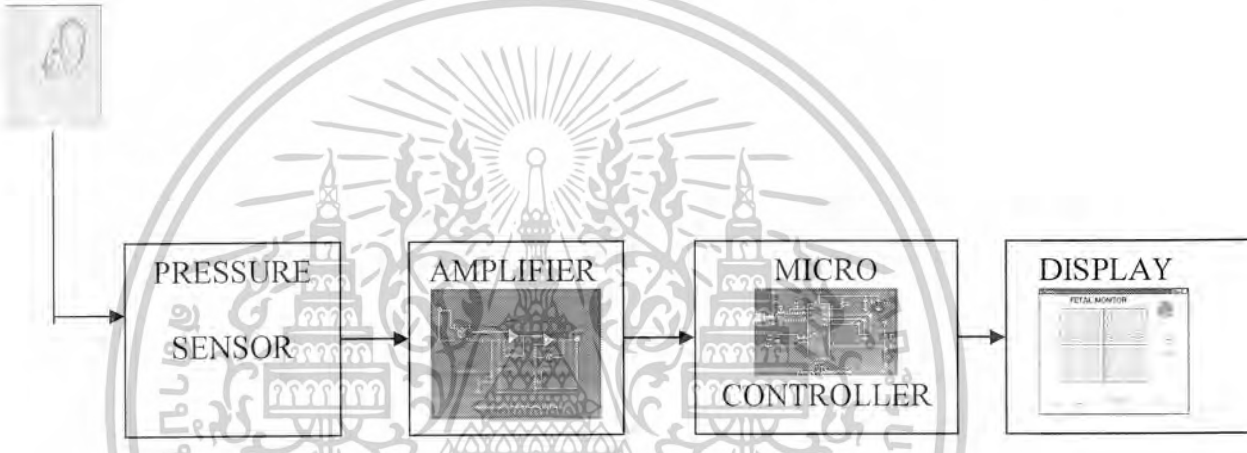
แต่ถ้าตัวอุปกรณ์ไม่สามารถรับแพ็กเก็ตข้อมูลได้ส่งแฮนด์เช็กแพ็กเก็ต NAK หรือ Stall กลับมายังโฮสต์เพื่อบอกว่าส่งข้อมูลไม่สำเร็จ และเช่นเดียวกันกับทรานแซกชั่นขาเข้า สำหรับการถ่ายทอดสัญญาณแบบไอโซโครนัสเมื่ออุปกรณ์ได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้วจะไม่มีการส่งแฮนด์เช็กแพ็กเก็ตกลับมายังโฮสต์

ทรานแซกชั่นตั้งค่า ทรานแซกชั่นนี้คือ ช่วงที่ 1 ของการถ่ายทอดสัญญาณควบคุมเริ่มต้นจากฝั่งโฮสต์ส่งโทเค็นแพ็กเก็ต Setup ซึ่งภายในบรรจุแอดเดรสและเอ็นด์พอยต์ที่จะคอยรับคำสั่งของตัวอุปกรณ์ไป หลังจากนั้นก็จะตามด้วยแพ็กเก็ตข้อมูลที่บรรจุคำสั่งที่ต้องการส่งไปควบคุม เมื่ออุปกรณ์ได้รับข้อมูลแล้วก็จะส่งแฮนด์เช็กแพ็กเก็ตกลับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบได้นำหลักความคิดที่จะใช้ความดันที่หน้าท้องมารดาที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนอิริยาบถ รวมทั้งความดันที่ได้จากการดิ้นของเด็กทารก โดยการดิ้นของเด็กทารกจะทำให้ถุงลมที่ให้ความดันลงที่ มีการเปลี่ยนแปลงทำให้มีการเปลี่ยนของความดันตัวอุปกรณ์Pressure Sensor ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าออกมาที่เอาท์พุทของ Pressure Sensor โดยแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะส่งเข้าวงจรขยายเพื่อขยายแรงดันให้มีขนาดของสัญญาณสูงพอที่จะใช้ในวงจรไมโครคอนโทลเลอร์เพื่อจะนำไป Interface ไปแสดงผลผ่าน USB PORT ของคอมพิวเตอร์ต่อไป

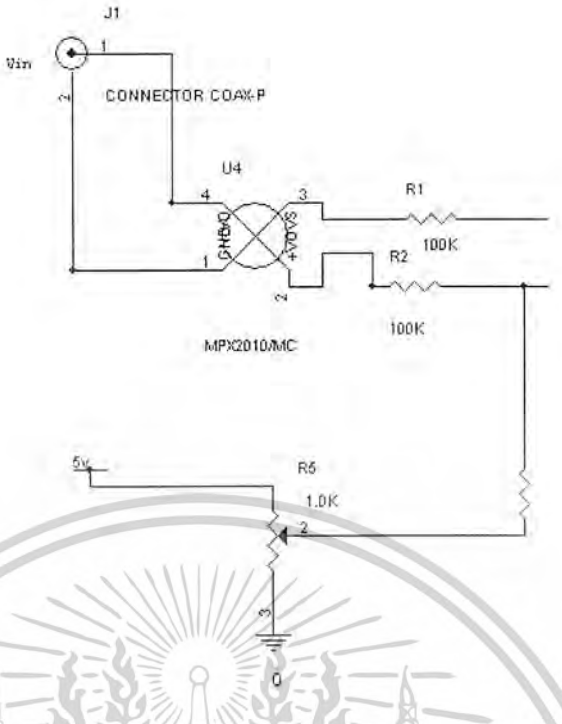


รูปที่ 3.1 BLOCK DIAGRAM FETAL MONITOR

3.1 การออกแบบวงจร เซ็นเซอร์

ในการทดลองใช้Pressure Sensorเบอร์ MPX 2010G ของบริษัท MOTOLORA ซึ่งมีย่านการวัดความดัน 0 – 10 k Pa ซึ่งเป็นย่านที่เหมาะสมกับการนำไปใช้วัดการดิ้นของเด็กทารก เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับค่าของเครื่องมือวัดทางการแพทย์ PRESSURE SENSOR จะให้ค่าแรงดันเอาท์พุทตั้งแต่ 0-25mV ซึ่งจะได้นำแรงดันเอาท์พุทที่ได้ไปเป็นสัญญาณเพื่อที่จะนำไปแสดงผลต่อไป โดยจะนำไปขยายสัญญาณในภาคขยายสัญญาณ (Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.2แสดงการออกแบบวงจรเซ็นเซอร์

3.2 การออกแบบวงจร ขยายสัญญาณ

ในภาคขยายจะใช้ ไอซีเบอร์ LM358 เป็นตัวขยายสัญญาณโดยจะประกอบด้วย2วงจรคือ วงจรขยายความแตกต่าง (Different Amplifier) และ วงจรขยายสัญญาณ (Non Inverter Amplifier) โดยในภาคขยายสัญญาณนี้จะให้แรงดันออกเป็นระดับ (Level) เพื่อที่จะนำไปใช้ในภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย

3.2.1DIFFERENTAIL AMPLIFIER

จะใช้เปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดสัญญาณจากขา2 และขา4ของ Pressure Sensor เพื่อจะทำการขยายสัญญาณส่งให้ภาคต่อไป ในวงจรขยายความแตกต่างจะมีส่วนปรับแรงดัน OFFSET เพื่อให้ได้แรงดันมีค่าเริ่มต้นที่ถูกต้อง

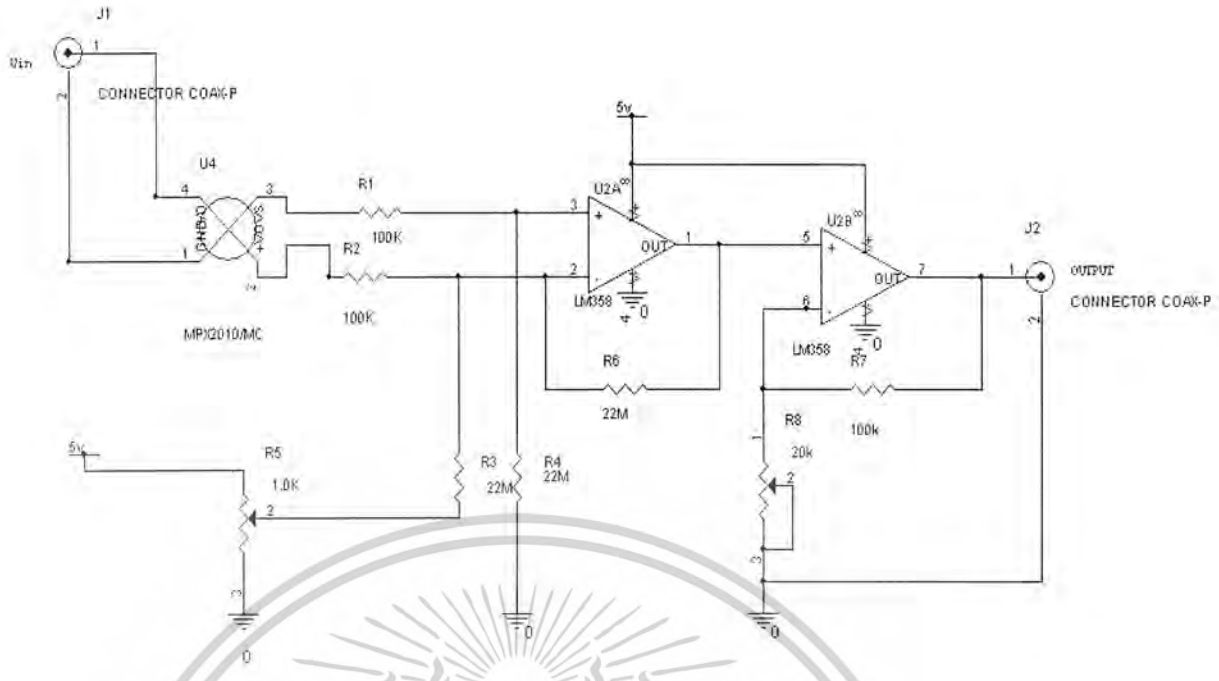
3.2.2 NON-INVERTING AMPLIFIER

ในส่วนวงจร Non Inverter Amplifier จะมีการปรับอัตราการขยายของวงจรดังสมการ

Vout =V1 (1+R7/R8)

โดย R8 จะเป็น VR ปรับค่าได้ 20k ohm ทำให้สามารถเลือกขนาดสัญญาณเอาท์พุทได้หลายขนาดตามความเหมาะสมของวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์ในภาคต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3แสดงการออกแบบวงจร AMPLIFIER

3.3 การออกแบบ ไมโครคอนโครลเลอร์

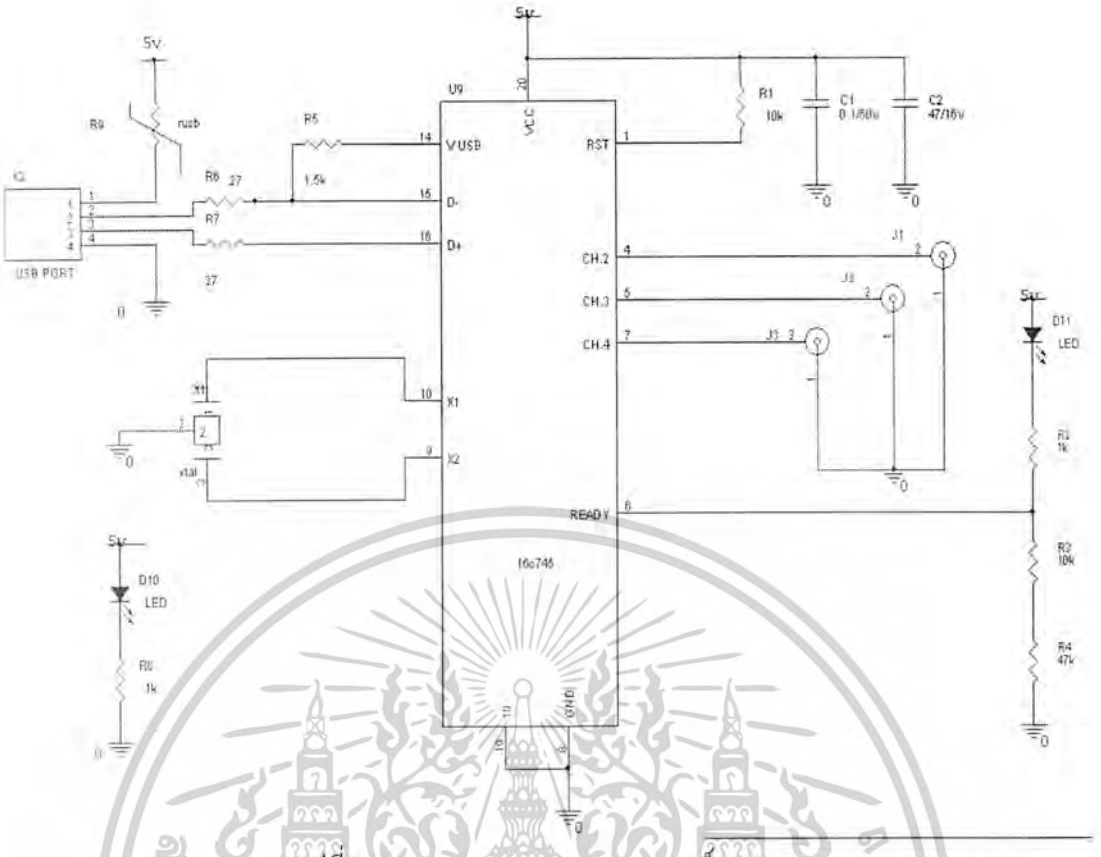
3.3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์

ในภาคนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของMicro chipเบอร์ PIC 16C745 ซึ่งจะมีวงจรแปลงสัญญาณเจาคอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิตอลภายในตัวของ PIC 16C745 ซึ่งเหมาะแก่การใช้งานและที่สำคัญในตัว PIC 16C745 จะมีการ Interface กับคอมพิวเตอร์ผ่าน Port USB ซึ่งสะดวกในการใช้งานการคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

การทำงานของ IC PIC 16C745จะทำการเชื่อมต่อ USB PORTผ่านขา 15 และ 16 จะต่อเข้ากับคอนเนคเตอร์ K1 มีตัวต้านทาน R6 และ R7 ทำการจำกัดกระแสซึ่งถ้าหากขับโหลดที่กินกระแสไม่เกิน 100 mA จะใช้ไฟเลี้ยงจาก USB PORT

สัญญาณที่ได้จากภาคขยายจะส่งมายังขา 4 ขา 5 หรือ ขา 7 เพื่อทำการเชื่อมต่อมาแสดงผลที่คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการออกแบบวงจรบอร์ด USB

3.3.2 การออกแบบด้านซอร์ฟแวร์

รายละเอียดของโปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งหมดของ U-Board ที่บรรจุในไมโครคอนโทลเลอร์PIC16C745 โดยโปรแกรมหลักคือ UBOARD.BAS อันเป็นโปรแกรมภาษาเบสิกที่จะต้องคอมไพล์ด้วย PIC BASIC PRO V2.41 ส่วนโปรแกรมประกอบ หรือ Include file นั้นประกอบด้วย

USB_CH9.ASM ตัวโปรแกรมจะแสดงไว้ในภาคผนวก

HIDCLASSASM โปรแกรมกำหนดหรือระบุคลาส HID ให้แก่อุปกรณ์ (จะแสดงไว้ในภาคผนวก)

USB_DEFS.INC ไฟล์รวบรวมข้อมูลและนิยามของตัวแปรที่ใช้ของพอร์ต USB รวมไปถึงรายละเอียดของการกำหนดเอ็นด์พอยต์ (USB Define data and ENDPOINT implement) (จะแสดงไว้ในภาคผนวก)

UBOARD_D.ASM โปรแกรมกำหนดดิสคริปเตอร์ให้แก่ U-Board เขียนเป็นโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี

ซอร์สโปรแกรมของUBOARD.BAS

```
U-Board USB.0/1.1 Interface board Version 1.00
Filename : UBOARD.BAS
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Compiler : Melabs PICBASIC Pro 2.40 or higher
Included file :

USB_CH9.ASM	USB Chapter 9 code
HIDCLASS.ASM	USB HID implement
USB_DEFS.INC	USB Define data and ENDPOINT implement
USBDECS.ASM	Relocate descriptor file
UBOARD_D.ASM	U-Board descriptor

```
wsave       var     byte s70 system     , Reserved first 70H for system service
ssave       var     byte  bank0 system  , Reserved STATUS
psave       var     byte  bank0 system  , Reserved PCLATH
fsave       var     byte  bank0 system  , Reserved FSR

bufferEP1Invar      byte(8)             , EP1 In buffer
bufferEP1OUT        var   byte(8)       , EP1 Out buffer
bufferEP2Invar      byte(8)             , EP2 In buffer
bufferEP2OUT        var   byte(8)       , EP2 Out buffer
cntEP1IN            var   byte          , EP1 In byte cout
cntEP2IN            var   byte          , EP2 In byte cout
ACD_CH              var   byte          , A/D Channel select
ADC_ VALUE          var   byte          , A/D Data

U-Board Pin assigned
Led_ READY          var   PORTA.4       , LED Ready pin (active low)
DATA_LE             var   PORTC.6       , PORTOUTdata latch enable(active
high)
DATA_OE             var   PORTC.7       , PORTIN data latch enable(active low)
SHF_CLK             var   PORTC.0       , SHIFTOUT clock (active high)
SHF_LE              var   PORTC.1       , SHIFTOUT latch enable (active high)
SHF_DATA            var   PORTC.2       , SHIFTOUT data pin
SHF_RESET       var  PORTA.4 , SHIFTOUT reset parasitic LED_READY signal

DEFINE              osc          24     , Set oscillator clock
DEFINE              ADC_BITS  8         , Set number of bits in result (8,20, or12)
DEFINE              ADC_CLOCK 2         , Set clock source (2 = F INT/32)
DEFINE              ADC_SAMPLEUS        , Set sampling time in microseconds

Initialize
        HIGH    SHF_RESET               , Reset SHIFOUT Bus and LED Ready
        PORTC = %10000000               , Clear all control signals
        TRISC = 0                       , PORTC to all outputs
        PULSOUT DATA_LE ,1              , Reset SHIFTOUT Bus
        PORTB = 0                       , All LEDs off
        TRISB = 0                       , PORTB toall outputs
        PULSOUT DATA_LE , 1             , Clear PORTOUT to logic 0
        GOTO  Start                     , Skip around interrupt handler

, Define interrupt handler
DEFINE          INTHAND         USBINT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
, Assembly language interrupt handler
ASM
; W , STATUS and PCLATH registers already saved , save FSR
USBINT          movf    FSR , W
                movwf   fsave
; Check interrupt source and vector there
                movlw   high ServiceUSBInt
                movwf   PCLATH
                btfsc   PIR1,USBIF
                call    ServiceUSBInt
: Restore saved registers
                clrf    STATUS
                movf    fsave,w
                movwf   FSR
                movf    psave,w
                movwf   PCLATH
                swapf   ssave,W
                movwf   STATUS
                swapf   wsave,F
                swapf   wsave,W
                retfile                 ; Return from interrupt
ENDASM

Start :
        ADCON1 = %00000010              , set PORTA0-3  and 5 to A/D input
        ADCON0 = ADCON0%00000101        , set ADCON0 register
        USBInit                         , Init USB and wait till configured
        ADC_CH =0                       , Initial A/d channel to 0
        bufferEP1OUT(0) = 0             , set EP1
        bufferEP1OUT(0) = 1             , set EP1 report ID. 1 (PORTIN)

main :
        GOSUB EP1InCheck                , Check EP1IN
        GOSUB EP1OutCheck               , Check EP1OUT
        GOSUB EP2InCheck                , Check EP2IN
        GOSUB EP2OutCheck               , Check EP2OUT
        GOTO   Main                     , Loop to main
EP_NO_DATA :
        RETURN                          , Return to main
EP1InCheck :
        USBIn 1, bufferEP1IN, cntEP1IN, EP_NO_DATA
        IF cntEP1IN<> 2     THEN   EP_NO_DATA    , Ignore packet if size <> 2
        IF bufferEP1IN(0)>2   THEN EP_NO_DATA ,  Ignore packet if Report ID>2
        IF bufferEP1IN(0) =   THEN   WriteReport0     , check byte if Report ID.0
        bufferEP1OUT(0) =  bufferEP1IN(0)           , Put ID.1 or 2 in 1st byte output
        IF bufferEP1IN(0) =2   THEN WriteReport2    , A/D request if Report ID.2
WriteReport1:
        , Write Report ID.1 ,   PORTOUT & Shift data to SHIFTBUS
        TRISB = 0                       , PORTB to all outputs
        PORTB = bufferEP1IN(1)          , Send data to PORTOUT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SHIFTOUT SHF_DATA,SHF_CLK,1,[bufferEP1IN(1)\8]
        PULSOUT DATA_LE,1                , Latch PORTOUT data
        RETURN
        , Write Report ID.0 , O = Latch SHIFTBUS& Relocate ID.
WriteReport0:
        IF bufferEP1IN[1]>2      THEN EP_NO_DATA   , Return if buffer[1]>2
        bufferEP1OUT[0] = bufferEP1IN[1]          , Redirect report with specify
ID.
        IF bufferEP1IN[1]<>0     THEN EP_NO_DATA   , Return if buffer[1]<>0
        bufferEP1OUT[0] = 1                       , Report  PORTOUT with ID.1
        PULSOUT SHF_LE,1                          , Latch SHIFTBUS data
        RETURN                                    , Return to main program
        , Report ID.2 , Set A/D Ch.
WriteReport2 :
        ADC_CH = bufferEPIN[1]                    , Get A/D Ch. From buffer
        IF ADC_CH > 4  then EP_NO_DATA  , Ignore if invalid Ch.
        RETURN                                    , Return to main program
EP1OutCheck :
        IF buffer EP1OUT[0] = 2  THEN Read Report2
                                                  , A/D request if Report ID.2
                                                  , Read PORTIN if other ID.
ReadPORTIN
        TRISB = % 11111111                        , PORTB to all inputs
        LOW DATA_OE                               , PORTIN passed to PORTB
        HIGH  DATA_OE                             , Inhibit PORTIN data
        TRISB =0                                  , PORTB to all output
        GOTO Send_EP1                             , Send EP1
ReadReport2 :
        ADCIN  ADC_CH , ADC_VALUE     , Convert A/D
        bufferEP1OUT[1]  = ADC_VALUE    , Put A/D data to buffer
Send_EP1 :
        USBOut 1 , bufferEP1OUT , 2 , EP_NO_DATA , Get  EP2IN
        IF cntEP2IN <> 2  then EP_NO_DATA         , Ignore if data count is not
2
        IF bufferEP2IN[0] <> 2 then  EP_NO_DATA   , Ignore data if not ID.2
        ADC_CH = bufferEP2IN[1]                   , Get A/D Ch.  From buffer
        RETURN                                    , Return to main program
EP2OutCheck :
        IF ADC_CH > 4     then EP_NO_DATA         , Ignore if invalid Ch.
        ADCIN  ADC_CH , ADC_VALUE                 , Convert A/D
        bufferEP2OUT[0] = 2                       , Report with ID.2
        bufferEP2OUT[1] = ADC_VALUE               , Put A/D data to buffer
Send_EP2 :
        USBOut 2 , bufferEP2OUT ,  2,  EP_NO_DATA , Send the bytes back
        RETURN                                    , Return to main program
```

3.4 การออกแบบหน้าจอแสดงผล

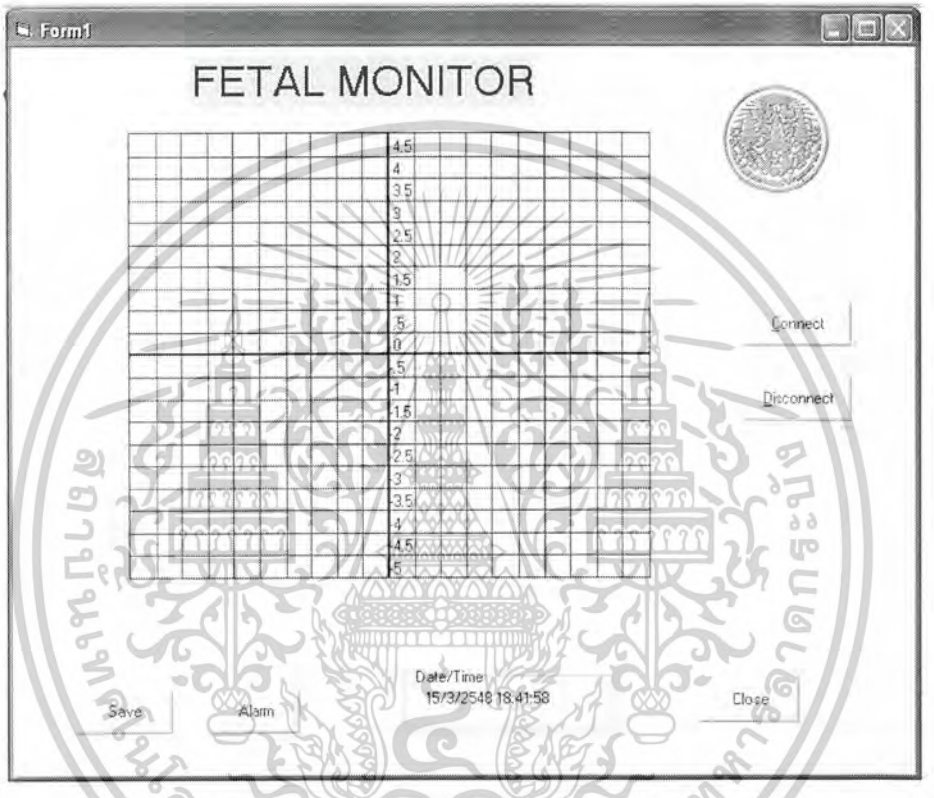
3.4.1 หลักการออกแบบหน้าจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบนี้เป็นการนำผลการวัดการดิ้นที่ได้นั้นมาแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ให้บุคคลทั่วไปสามารถเห็นได้ในรูปแบบของรูปสัญญาณ และสามารถบันทึกผลของรูปสัญญาณนี้เป็นไฟล์ไว้ในคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์และศึกษาได้

3.4.2 ขั้นตอนการออกแบบ

เป็นการออกแบบฟังก์ชั่นหน้าจอตามหลักการที่ได้วางไว้ ซึ่งจากหลักการที่ได้วางไว้ฟังก์ชั่นที่จำเป็นสำหรับหน้าจอแสดงผลมีดังนี้

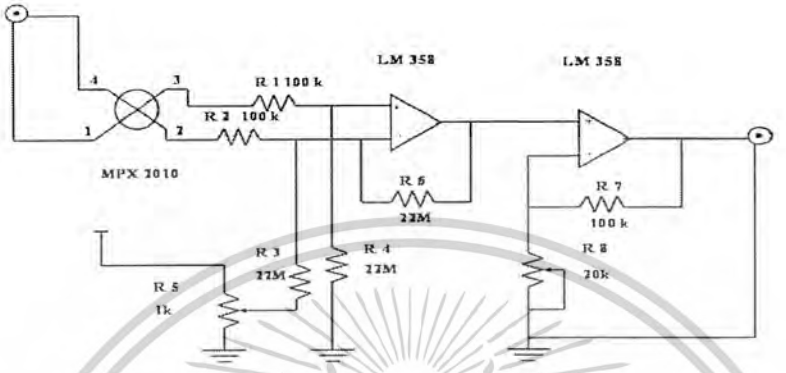


- ปุ่ม Connect เป็นปุ่มสำหรับใช้ให้เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำรูปสัญญาณมาแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์
- ปุ่ม Disconnect สำหรับใช้ให้เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์หยุดติดต่อกับคอมพิวเตอร์
- ปุ่ม Save สำหรับการบันทึกรูปสัญญาณการดิ้นไว้ในคอมพิวเตอร์
- ปุ่ม Alarm สำหรับการใช้เพื่อเปิดเสียงเตือน เมื่อสัญญาณการวัดเกิน 2V
- ปุ่ม Close สำหรับปิดหน้าจอการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองในส่วนวงจรเซ็นเซอร์



ภาพแสดงการต่อวงจรเซ็นเซอร์และวงจรขยาย

รูปที่ 4.1 แสดงการต่อวงจรเซ็นเซอร์และวงจรขยายสัญญาณ

4.1.1 ทดสอบความไวของเซ็นเซอร์

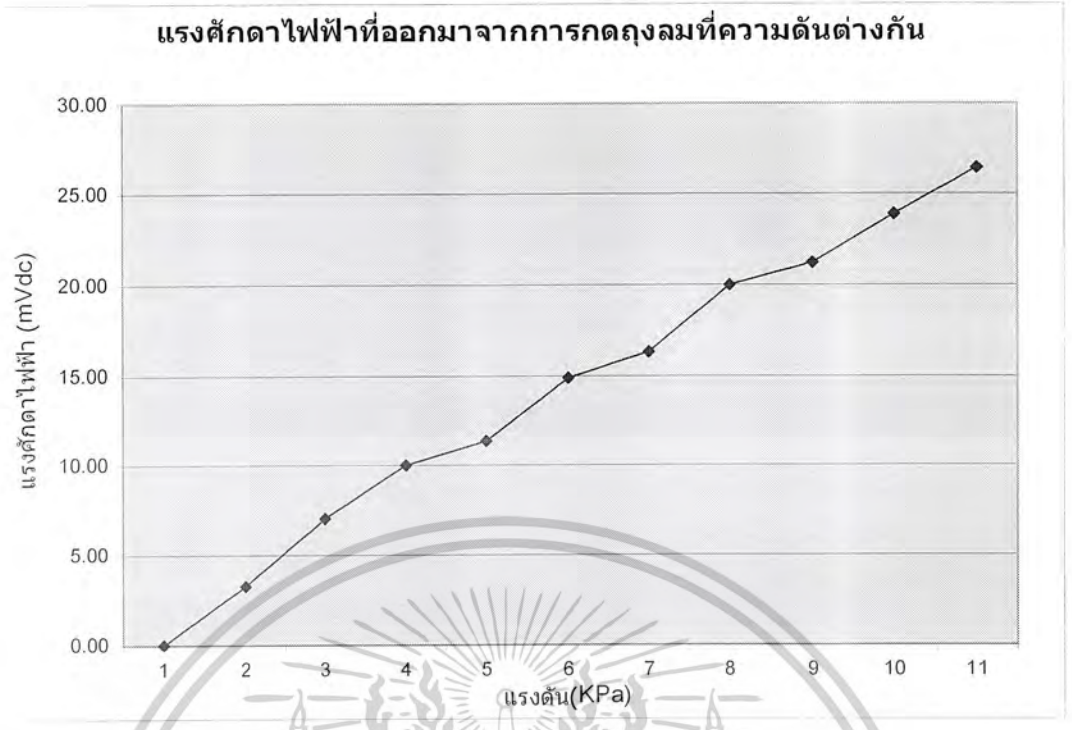
ในการทดลองนี้จะให้แรงกดของน้ำหนักกระทำต่อพื้นที่ซึ่งจะ ได้เป็นความดัน สังเกตุแรงดันเอาท์พุทที่ได้จาก วงจรในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1แสดงแรงศักดาไฟฟ้าเมื่อกดถุงลมที่แรงดันต่างๆ

Pressure(kPa)	Voltage(mVdc)
0	0
1	3.25
2	7.10
3	10.00
4	11.40
5	14.80
6	16.27
7	20
8	21.2
9	23.82
10	26.45

เมื่อนำค่าในตารางมาพอร์ตในกราฟได้ผลดังกราฟด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

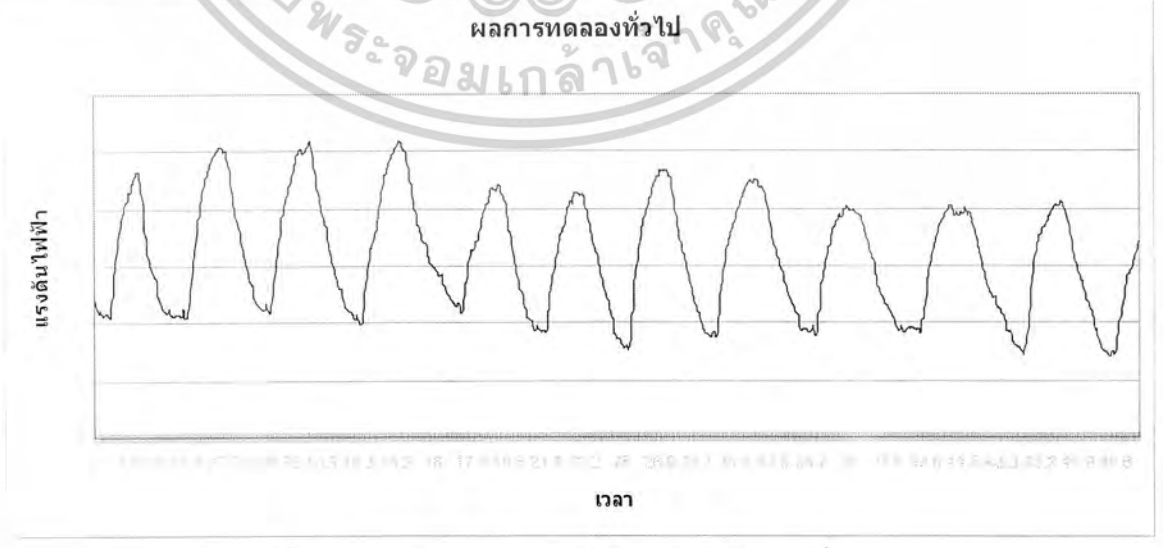


รูปที่ 4.2 กราฟตอบสนองความดันของวงจรเซ็นเซอร์

สรุป จะได้เห็นว่าการตอบสนองต่อความดันของวงจรเซ็นเซอร์ มีความเป็นเชิงเส้นดี เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการออกแบบทดลองต่อความดันที่มีค่าความดันต่ำ ๆ ซึ่งมีความเหมาะกับการนำมาตรวจจับ สัญญาณของการดิ้นของเด็กทารกในครรภ์มารดาเนื่องจากมีความดันไม่สูงมาก

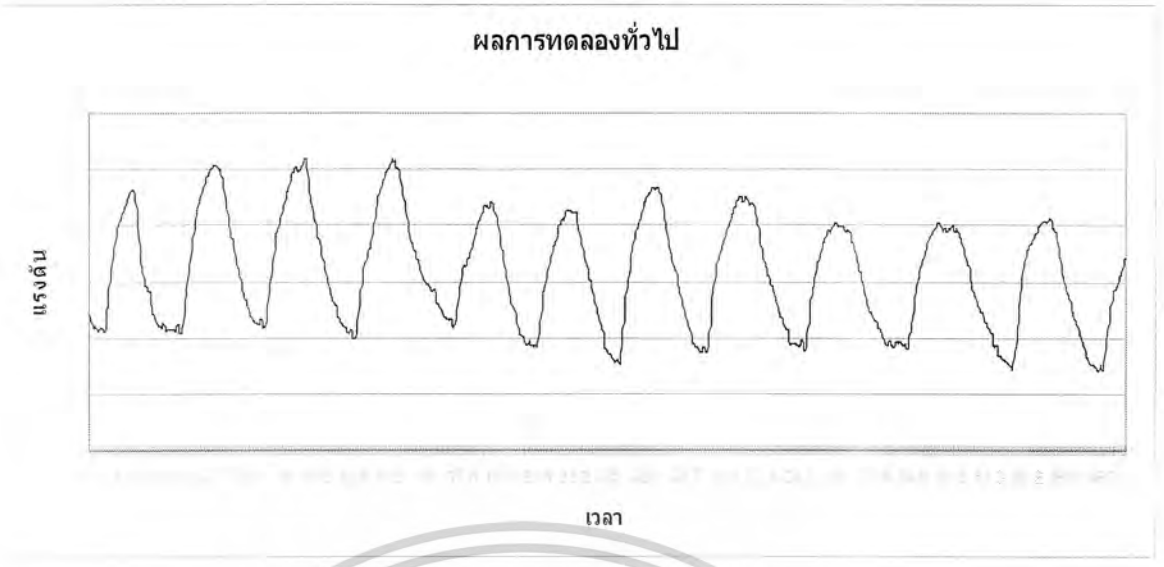
4.1.2 การทดลองวัดสัญญาณการกระเพื่อมของหน้าท้องในคนปกติ

นำถุงลมพันรอบปริเวณหน้าท้องอาสาสมัครและให้หายใจปกติ จำนวน 3 ราย ผลการทดลองวัดสัญญาณแสดงในรูปที่.4.3 4.4 และ 4.5

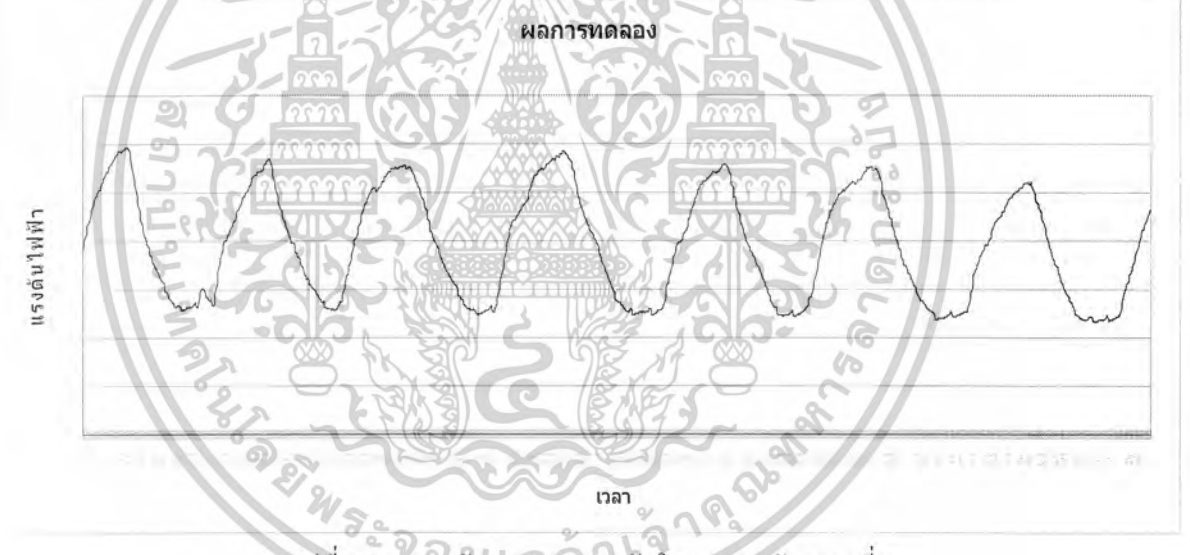


รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณผลการวัดในอาสาสมัครรายที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณผลการวัดในอาสาสมัครรายที่ 2



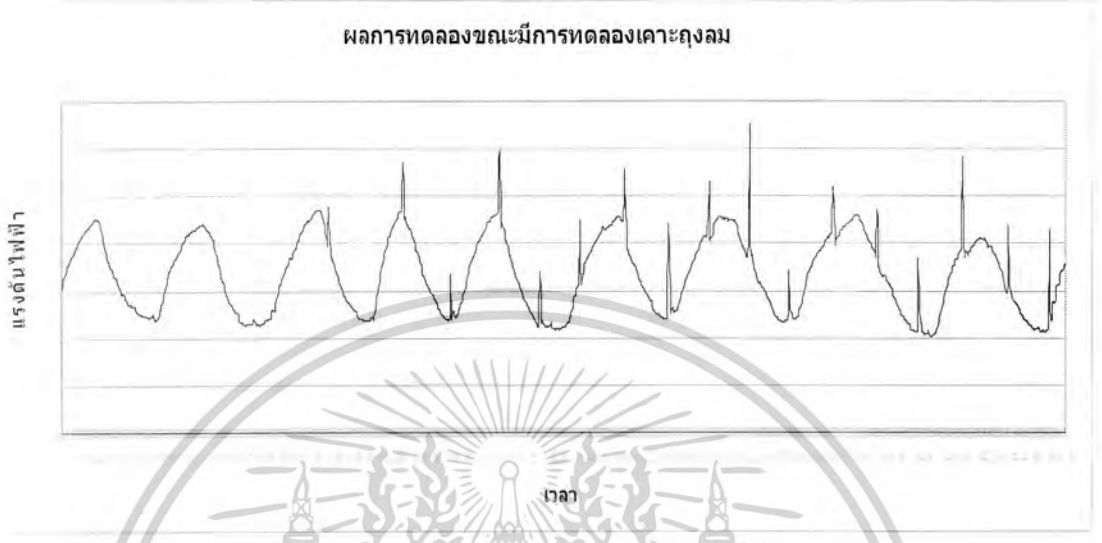
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณผลการวัดในอาสาสมัครรายที่ 3

สรุป จากการทดลองทั้ง 3 ครั้งสามารถตรวจจับการหายใจที่ทำให้เกิดการกระเพื่อมของหน้าท้องของอาสาสมัคร แสดงถึงความไวของเครื่องมือซึ่งน่าจะนำมาใช้กับหญิงมีครรภ์ได้

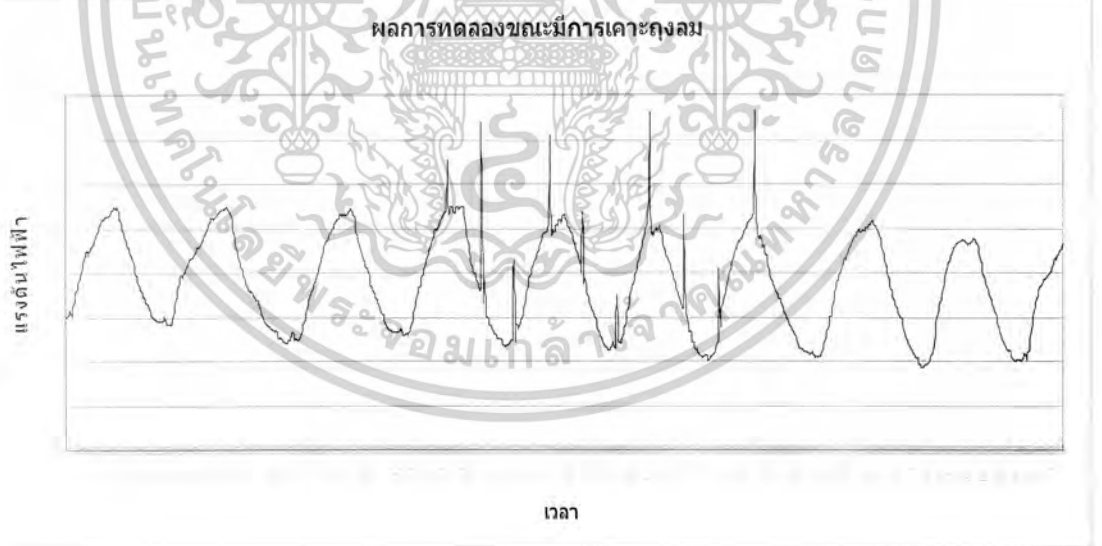
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การทดลองวัดสัญญาณโดยการเคาะถุงลมด้านนอกขณะวัดในคนปกติ

ให้อาสาสมัครสองรายวัดการกระเพื่อมของหน้าท้องจากการหายใจ และทำการเคาะถุงลมด้านนอกจำลองการกระเพื่อมชั่วขณะเป็นระยะ ๆ ของหน้าท้องได้ผลดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณผลการวัดในอาสาสมัครรายที่ 1 ร่วมกับการเคาะถุงลมด้านนอก

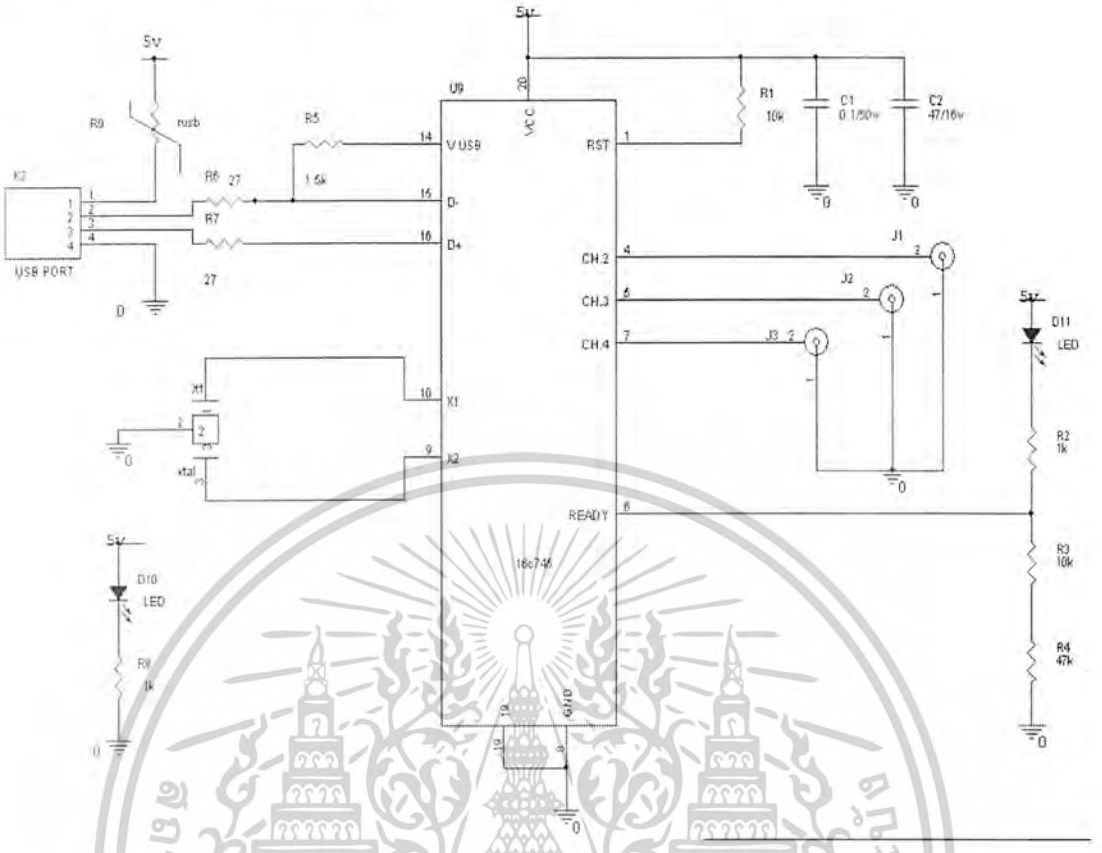


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณผลการวัดในอาสาสมัครรายที่ 1 ร่วมกับการเคาะถุงลมด้านนอก

สรุป การจำลองการดิ้นหรือทำให้เกิดแรงดันใด ๆ ในถุงลมจากภายนอกสัญญาณที่ตรวจวัดได้จะผสมหรือขี่มากับสัญญาณการหายใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

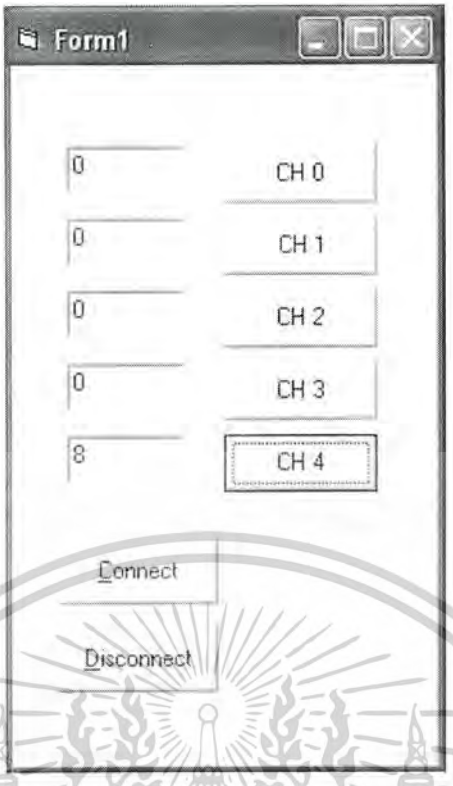
4.2 การทดลองเรื่องการติดต่อกับอุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB



4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดโปรแกรม Visual BASIC เพื่อวางคอนโทรลและปุ่มกดต่างๆสำหรับสร้างโปรแกรมทดลองดังในรูปที่4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2 .เขียนโปรแกรมให้เหตุการณ์ cmdCh_Click ดังนี้

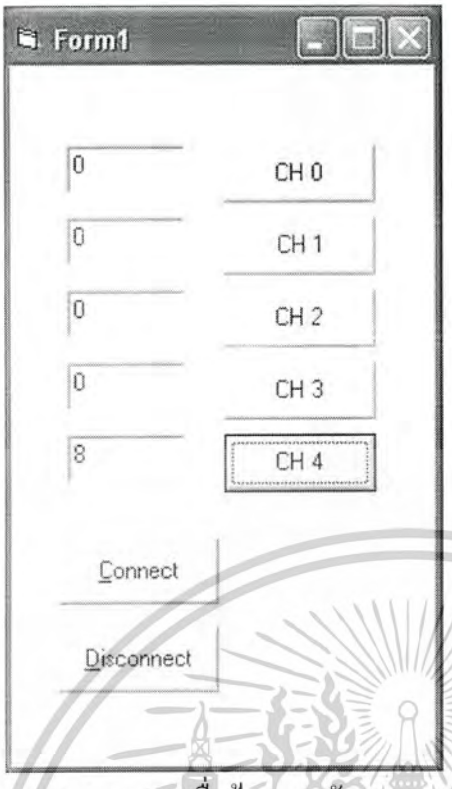
```
Private Sub cmdCh_Click(Index As Integer)
Dim Buffer() As Byte
        ReDim Buffer (0)
        HIDComm.ReportID = 2                    , กำหนด Report ID เพื่อติดต่อกับพอร์ต  A/D
        Buffer (0) =Index                       , กำหนดช่องสัญญาณของ A/D
        HIDComm.WriteTo Buffer,1                , ส่งข้อมูลไปยัง U-Board
        Hp.Delay_ms 71                          , หน่วงเวลาให้ U-Board เตรียมข้อมูล
        Beffer = HIDComm.ReadFrom(1)            , รับข้อมูลจาก U-Board
        txtValue (Index). Text = Buffer(0)
End Sub
```

3. ผนวกไฟล์ของ HighPerformanceCounter (hpcount.ocx) เข้าไปในโปรแกรม

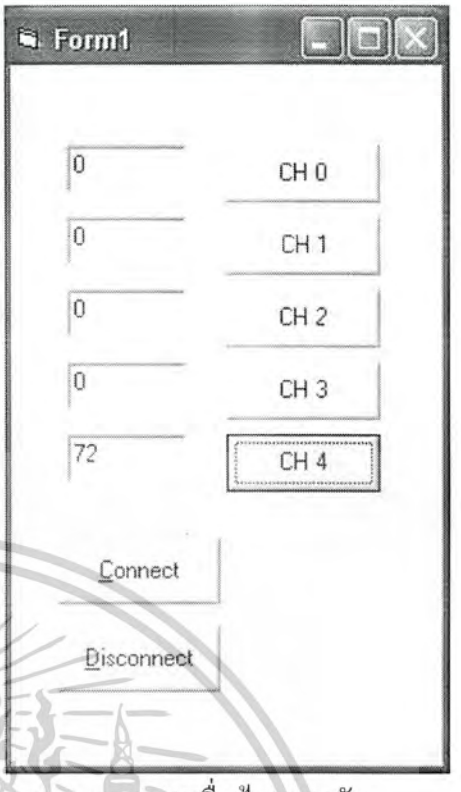
4. รันโปรแกรมแล้วต่อแหล่งจ่ายไฟ 0-5 V เข้าที่อินพุทอะนาล็อก CH2-CH4

4.2.2 ผลการทดลองโดยการจ่ายศักย์ดาที่ต่างกันเข้าใน CH4

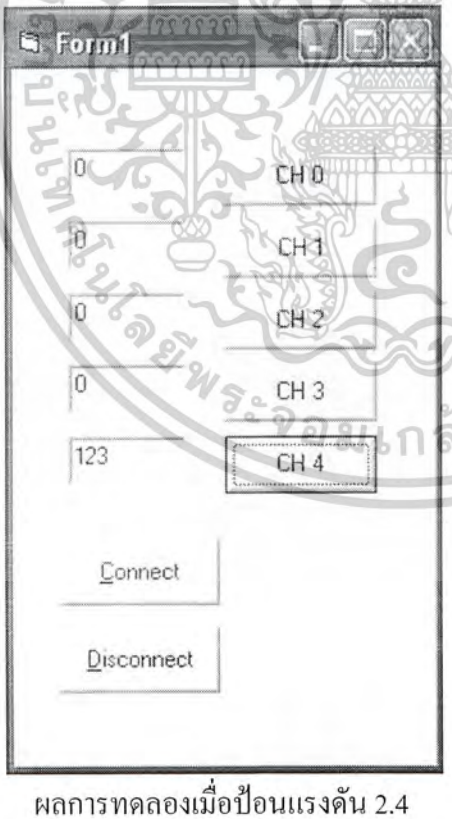
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



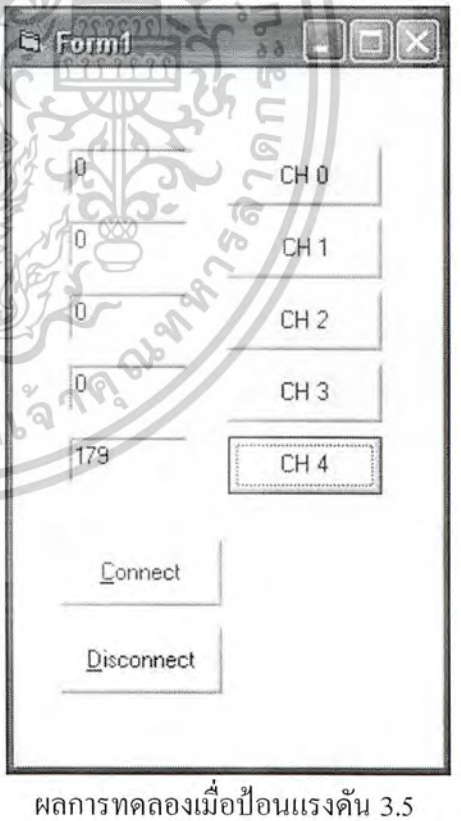
ผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดัน 0.16



ผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดัน



ผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดัน 2.4



ผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดัน 3.5

สรุป สามารถส่งข้อมูลแรงดันไฟตรงมายังไมโครคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

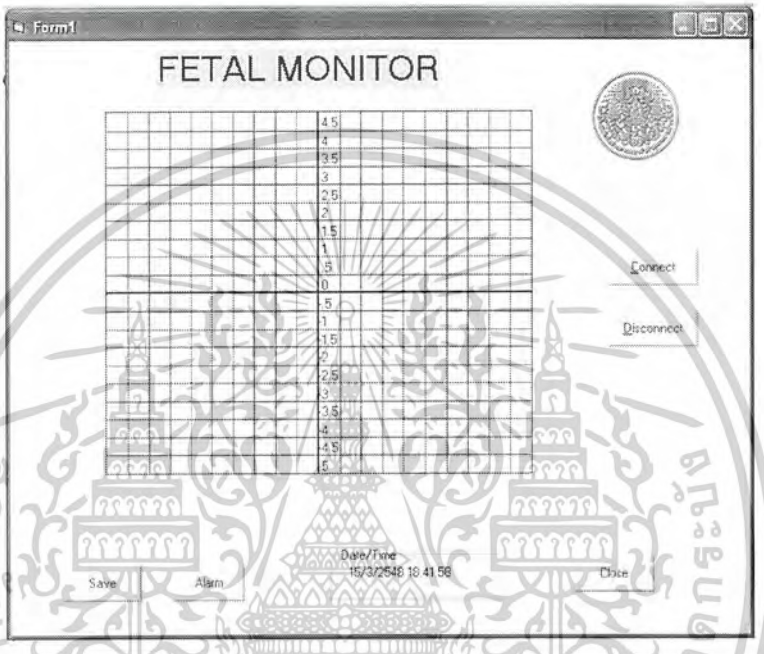
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองเครื่องวัดกับเครื่องจำลองครรภ์มารดา

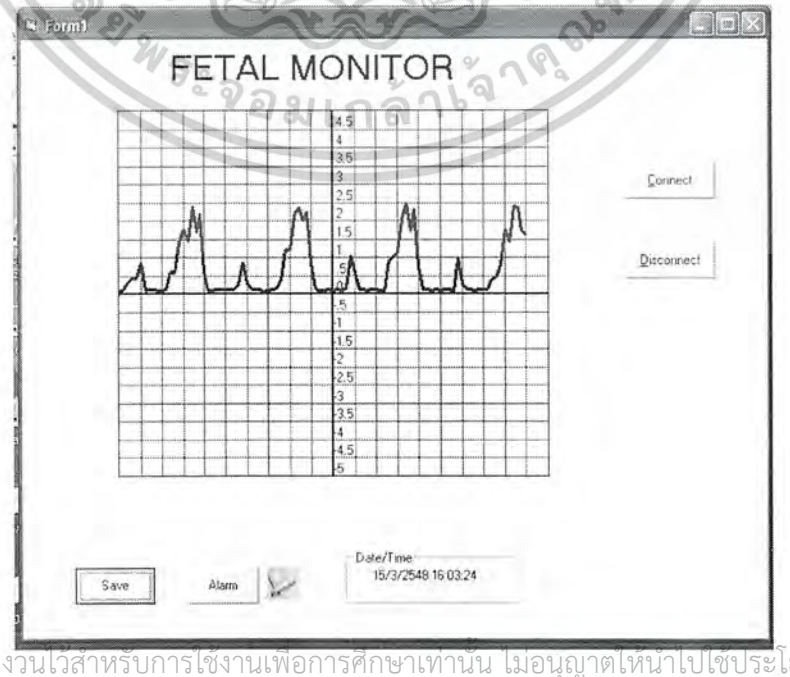
ได้ทำการสร้างเครื่องจำลองครรภ์มารดาโดยใช้ถังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง.....มีแกนกระทุ้งจากภายในเป็นจังหวะการทดลองนำเครื่องวัดการดิ้นของทารกมาวัดในลักษณะเดียวกับที่ใช้อาสาสมัคร และแสดงผลบนหน้าจอ

ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

1 รูปกราฟของโปรแกรมแสดงผล ขณะยังไม่ต่อพอร์ต USBเข้ากับวงจรเซ็นเซอร์

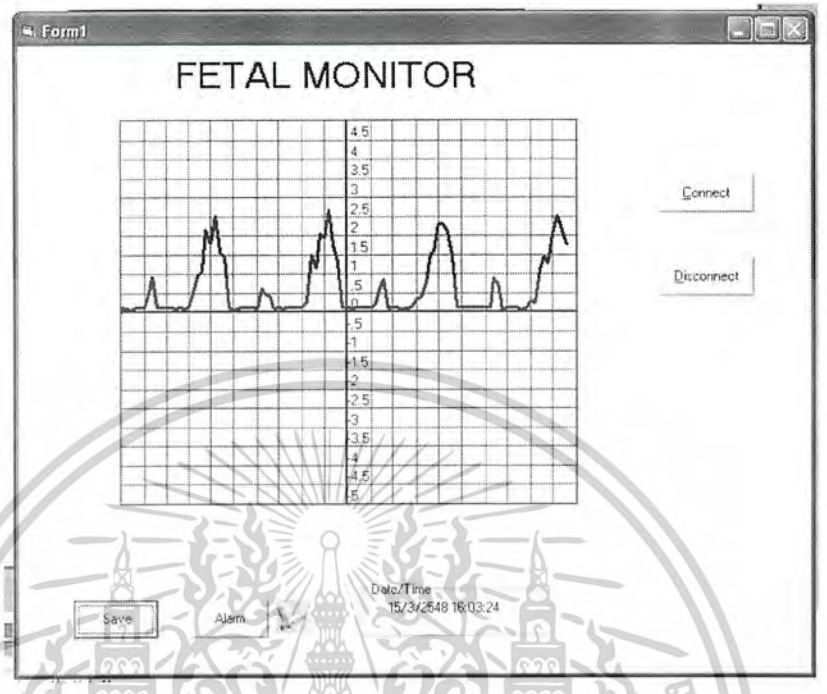


2. ผลการทดลองวัดสัญญาณกับเครื่องจำลองการดิ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1



แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2

สรุป ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกับการวัดใหญิงมีครรภ์และเกิดการดิ้นของทารก ที่ส่งแรงจากภายในมายังเซ็นเซอร์แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
บทสรุป

จากแนวคิดในการประยุกต์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่องส่งเสริมสุขภาพ ทำให้เกิดการออกแบบสร้างเครื่องวัดและแสดงการดิ้นของเด็กทารกในครรภ์มารดานี้ขึ้นมา จากหลักการแพทย์ที่ว่าหากทารกมีสุขภาพปกติ จะมีการเคลื่อนไหวที่ตอบสนองสิ่งเร้าเป็นระยะ ๆ ซึ่งการเคลื่อนไหวหรือการดิ้นตามปกตินี้ส่งแรงออกมาบริเวนหน้าท้องมารดา ซึ่งสามารถตรวจวัดโดยการใช้มือสัมผัสบริเวณหน้าท้อง ตามข้อเท็จจริงดังกล่าว ทำให้สามารถใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่องซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์อย่างมากในมารดารายที่มีความเสี่ยงสูง

หลักการของเครื่องที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นคล้ายการตรวจวัดการเต้นของหัวใจในการวัดความดันโลหิตแบบออสซิโลเมตริก กล่าวคือการเต้นของหัวใจทำให้หลอดเลือดบริเวณแขนขยายตัวเป็นจังหวะและส่งแรงออกมาที่ผิวหนังบริเวณแขน เมื่อนำถุงลมมาพันรอบแขนก็สามารถ ตรวจวัดการเต้นของหัวใจได้

โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วยถุงลม (cuff) ที่สามารถเป่าลมได้จากลูกยางปบีบเพื่อให้เกิดแรงดัน และขนาดความยาวของถุงลมพอที่สามารถพันรอบครรภ์ได้ แรงกดจากภายนอกใด ๆจะได้รับการถ่ายเทผ่านอากาศภายในถุงไปยังเซนเซอร์วัดความดันที่ทำหน้าที่แปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถขยาย แปลงเป็นดิจิตอลและนำเสนอบนจอคอมพิวเตอร์ เนื่องจากการอินเตอร์เฟสผ่านทางพอร์ต USB ทำให้สามารถใช้แหล่งจ่ายกำลังงานจากพอร์ต ทำให้เครื่องใช้งานได้สดวกและมีขนาดเล็ก

การทดสอบได้ทำการทดสอบทั้งในคนปกติที่แสดงให้เห็นว่าสามารถตรวจวัดการหายใจได้จากการเคลื่อนไหวของหน้าท้อง เมื่อมีแรงภายนอกกระทำกับถุงลมก็สามารถแสดงผลเป็นการผสมสัญญาณกับสัญญาณการหายใจ ในการทดลองใช้การดีดบนถุงด้านนอก

เนื่องจากการทดลองในคนปกติข้างต้น ใช้การดีดถุงลมจากภายนอกแต่ในการวัดจริงใช้การดันจากด้านในของถุงลม จึงได้สร้างเครื่องจำลองการดิ้นของทารกอย่างง่าย โดยใช้ถังพลาสติก ติดแกนกระทุ้งจากภายใน ตามจังหวะลูกเบี้ยวที่หมุนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า

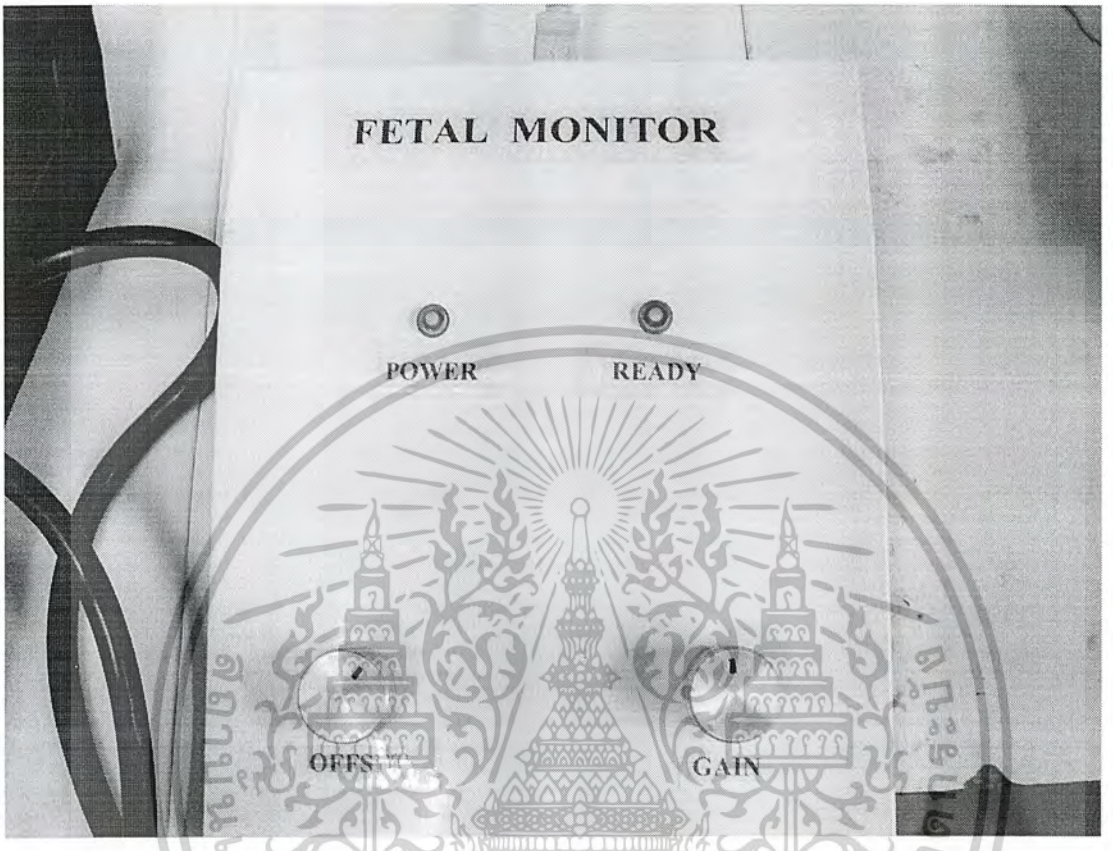
จากการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เครื่องมือที่สร้างขึ้นมีความไวในระดับที่สามารถใช้งานได้จริง ซึ่งขั้นตอนที่ควรพัฒนาต่อคือนำไปใช้ในหญิงมีครรภ์ และพัฒนาซอฟต์แวร์ที่สามารถตรวจจับการดิ้นอัตโนมัติและมีการเตือนเมื่อมีความผิดปกติใด ๆ เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์



หน้าที่ของปุ่มต่างๆของตัวเครื่อง

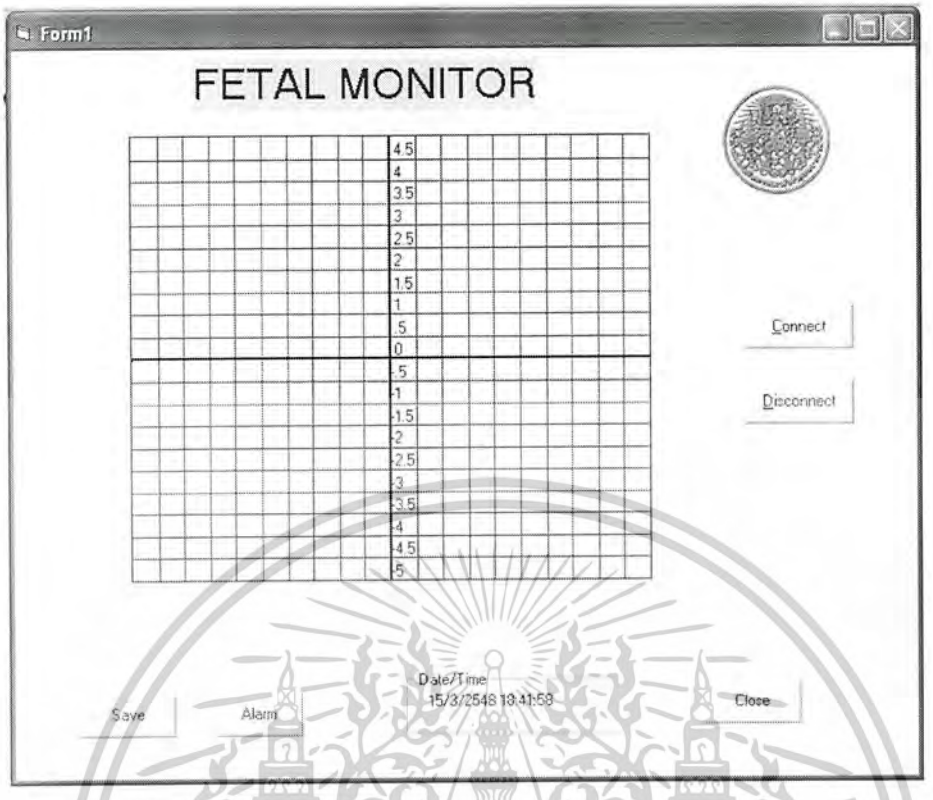
ปุ่มปรับ OFFSET เป็นปุ่มซึ่งใช้ในการปรับออฟเซ็ทของตัวเครื่อง เนื่องในการใส่ลมเข้าไปในถุงลมในแต่ละครั้งมีจำนวนของลมที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นกราฟของสัญญาณที่หน้าจอแสดงผลจึงไม่ได้เริ่มที่ตำแหน่ง 0 จึงต้องมีการปรับออฟเซ็ททุกครั้งก่อนที่เริ่มวัดการดิ้นของทารก

ปุ่มปรับ GAIN ใช้สำหรับปรับเกณฑ์ขยายของตัวเครื่องเพื่อระดับการขยายที่เหมาะสมกับจอแสดงผล

ไฟแสดงสถานะ POWER เป็นไฟแสดงสถานะซึ่งบอกว่าตัวเครื่องมีแหล่งจ่ายจ่ายไฟฟ้าให้อยู่หรือไม่

ไฟแสดงสถานะ READY เป็นไฟแสดงสถานะหลังจากเราต่อสาย USB เข้ากับคอมพิวเตอร์ว่า เครื่องพร้อมที่จะส่งสัญญาณการวัดเข้าไปบันทึกและแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ได้หรือยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หน้าที่ของปุ่มต่างๆของหน้าจอแสดงผล

ปุ่ม Connect เป็นปุ่มสำหรับใช้ให้เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำรูปสัญญาณมาแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

ปุ่ม Disconnect สำหรับใช้ให้เครื่องวัดการดิ้นของทารกในครรภ์หยุดติดต่อกับคอมพิวเตอร์

ปุ่ม Save สำหรับการบันทึกรูปสัญญาณการดิ้นไว้ในคอมพิวเตอร์ สำหรับการนำผลที่ได้เก็บและศึกษาต่อไป

ปุ่ม Alarm สำหรับการใช้เพื่อเปิดเสียงเตือน เมื่อสัญญาณการวัดเกิน 2V เป็นบอกว่ามีสัญญาณการดิ้นของทารกที่เกิน 2 V จำนวนกี่ครั้ง

ปุ่ม Close สำหรับปิดหน้าจอการแสดงผล เมื่อหยุดใช้งานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ลภน สุภาพ และคณะ. **เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ต USB.** กรุงเทพฯ:บริษัท อินโนเวอร์ เอ็กเพอร์เมนต์, 2546
2. อภิชาติ ภู่พลับ. **สนุกกับการประยุกต์ใช้ Visual Basic.** นนทบุรี: อินโฟเพรส, 2546
3. ฉันทวุฒิ พืชผล. คู่มือเรียนVisual Basic6. กรุงเทพฯ:โปรวิชั่นม , 2547
4. กฤษฎา ใจเย็น. PIC16F84 theory & practical approach กรุงเทพฯ:บริษัท อินโนเวอร์ เอ็กเพอร์เมนต์, 2546
5. Albert D. Helfrick. **Modern Electronic Instrumentation and MeasurementTechniques**.Prentice- Hall international,Inc ,1994
6. www.microship.com
7. www.freescale.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้