

๖21.381959

๙ ๖๖๖ ๐

๙.3

การสร้างชุดอุปกรณ์ต่อเชื่อมกับไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมควบคุม
เพื่อใช้วัดระดับแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ

ปริญญานิพนธ์

ของ

ธีระพงษ์ กิตติสยาม

12 ก.ค. 2531

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

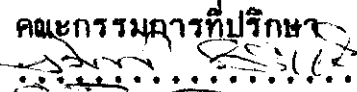
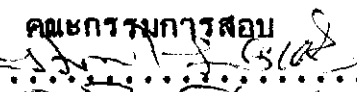
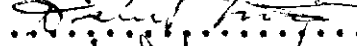
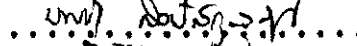
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

ตุลาคม 2529

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

312533

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตและคณะกรรมการสอบได้พิจารณา
 ปรินญาณพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรได้รับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
 ปรินญาณการศึกษามหาบัณฑิตของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการที่ปรึกษา		คณะกรรมการสอบ	
	ประธาน		ประธาน
	กรรมการ		กรรมการ
	กรรมการ		กรรมการ
			กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้จากความอนุเคราะห์ของหลายท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำ รวมทั้งช่วยสั่งสอนความรู้ที่จำเป็นและมีประโยชน์ให้

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ วิมล จิตวัฒนากร ,คุณธีระภัทร กิตติสยาม และอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวชื่อไว้ ณ. ที่นี้ ที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างมหาศาลต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณป้าชยุ แช่เลี้ยว ,คุณอา เหมะวดี แช่เลี้ยว ที่ได้กรุณาเลี้ยงดูและส่งเสริมการศึกษาจนข้าพเจ้าสามารถได้เรียนจนครบหลักสูตรสมดังความตั้งใจทุกประการ และข้าพเจ้าขอสัญญาว่าข้าพเจ้าจะนำเอาความรู้ที่ได้รับจากหยาดเหงื่อแรงกายของท่านทั้งสอง ไปใช้ในทางที่เจริญ มีประโยชน์ต่อมนุษยชาติ และจะไม่ทรยศต่อวิชาชีพที่ข้าพเจ้าจะต้องกระทำเป็นอนาคต

ธีระพงษ์ กิตติสยาม

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	คำนำ	1
	2 วัตถุประสงค์	2
	3 ประโยชน์ของการวิจัย	3
	4 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	3
	5 ขอบเขตของการวิจัย	3
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
	ฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอุปกรณ์ต่อเชื่อม	5
	ความรู้เกี่ยวกับลอจิกเกต	5
	วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า	10
	วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่	11
	วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	12
	การต่อเชื่อมแอปพลิเคชันกับอุปกรณ์ภายนอก	15
	โปรแกรมควบคุมการต่อเชื่อม	18
3	การดำเนินงานวิจัย	19
	การกำหนดรูปแบบของการวัด และขอบเขตของ	
	แรงดันไฟฟ้าที่จะส่งให้แก่อุปกรณ์ต่อเชื่อม	19
	การสร้างชุดหัววัด	23
	การออกแบบสร้างอุปกรณ์ต่อเชื่อม	27
	โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ต่อเชื่อม	36
4	ผลของการวิจัย	42
	การนำโปรแกรมมาปรับอุปกรณ์ต่อเชื่อมและวัดข้อมูล	42
5	บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	52
	บทย่อ	52
	ความมุ่งหมายในการค้นคว้า	52
	6 วิธีดำเนินการวิจัย	52
	7 การวิเคราะห์ข้อมูล	52
	สรุปผลการค้นคว้า	53
	อภิปรายผล	53

บทที่	หน้า
ข้อเสนอแนะ	54
ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป	54
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก นำนํ้ากดีดจืดอลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้า	59
ภาคผนวก ข นำนํ้ากดีดจืดอลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิ	64

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 สัญลักษณ์ของฟลิปฟล็อปประเภทต่าง ๆ	7
2 แผนผังเวลาของรีเซ็ตฟลิปฟล็อป	8
3 แผนผังเวลาของทริกเกอร์ฟลิปฟล็อป	8
4 แผนผังเวลาของดีไทม์ฟลิปฟล็อป	9
5 แผนผังเวลาของเจเคฟลิปฟล็อป	9
6 เปรียบเทียบแผนผังเวลาระหว่างแล็ชกับดีไทม์ฟลิปฟล็อป	10
7 การนำทริกเกอร์ฟลิปฟล็อปมาประกอบเป็นวงจรนับขนาด 4 บิต .	11
8 วงจรขยายไฟตรงแบบกลับ	11
9 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่	11
10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่	12
11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่ ที่ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้า	12
12 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในตัวไอซี 555	13
13 วงจรอะสเตเบิลมีลติไวรเบรเตอร์ที่ประกอบจากไอซี 555	14
14 เปรียบเทียบแรงดันที่เอาต์พุตกับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C .	15
15 แสดงตำแหน่งขาและชื่อสัญญาณของสลอต	15
16 คุณสมบัติของเส้นสัญญาณอ่านหรือเขียนต้องแสดงความคู่กับ เส้นสัญญาณ DEVICE SELECT เสมอ	16
17 แสดงการส่งข้อมูลผ่านบัฟเฟอร์สามสถานะไปยังแอปเปิ้ลทู สัญญาณควบคุมการอ่านทำให้ส่งข้อมูลไปได้ในเวลาที่ต้องการ ..	17
18 วงจรอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก	17
19 แสดงรูปแบบของการวัด โดยกำหนดปริมาณหนึ่งขึ้นมา เป็นมาตรฐาน เพื่อนำไปวัดแทนการวัดตรง ๆ	21
20 แผนภาพของหัววัด	23
21 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า	23
22 กราฟแสดงคุณสมบัติทางเทอร์โมเมตริกของไดโอด 1N914	24
23 วงจรสำหรับการวัดอุณหภูมิ	24
24 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า	26
25 วงจรวัดความต้านทานไฟฟ้า	27
26 แผนภาพของอุปกรณ์ต่อเชื่อม	28
27 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของแผนภาพของอุปกรณ์ต่อเชื่อม	28
28 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	29
29 วงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมแล็ชและรีเซ็ต	30
30 บัฟเฟอร์ และวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า	31

31	วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่	32
32	วงจรนับ	33
33	ภาคติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์	33
34	รีเลย์เรเตอร์	34
35	วงจรของอุปกรณ์ต่อเชื่อม	35
36	ผังงานของโปรแกรมดูน้ำหนักรักจิตอลที่วัดได้	36
37	ผังงานของโปรแกรมเก็บข้อมูลที่วัดได้	37
38	ผังงานของโปรแกรมแสดงข้อมูลที่วัดได้	38
39	ผังงานของโปรแกรมแสดงกราฟ	38
40	ผังงานของโปรแกรมใช้งาน	40
41	แสดงการปรับน้ำหนักรักจิตอล	42
42	กราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับน้ำหนักรักจิตอล	43
43	การจัดอุปกรณ์เพื่อปรับค่าอุณหภูมิ	47
44	กราฟระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักรักจิตอล	48

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 สัญลักษณ์ ตารางแสดงค่าจริง และแผนผังเวลาของเกทต่าง ๆ .	6
2 ตำแหน่งความจำของแต่ละสล็อต	18
3 น้ำหนักดีจิตอลและแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณได้จากโปรแกรม GRAPH .	43
4 ค่าที่ได้จากการทดลองวัดแรงดันไฟฟ้า	45
5 น้ำหนักดีจิตอลและอนุกรมที่คำนวณได้จากโปรแกรม GRAPH	48
6 ค่าที่ได้จากการทดลองวัดอนุกรม	50

ปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทกับหลายวงการ เช่น ในทางธุรกิจ ทางอุตสาหกรรม ทางทหาร และทางการศึกษา เป็นต้น และมีแนวโน้มว่า จะมีการใช้คอมพิวเตอร์มากขึ้นทุกขณะ เนื่องจากความจำเป็น 3 ประการ (กระทรวงศึกษาธิการ 2527:2-10) คือ

1. การใช้คอมพิวเตอร์ทั่วโลก ประเทศพัฒนาใช้คอมพิวเตอร์ใช้ และ ประเทศที่กำลังพัฒนาก็จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการพัฒนา

2. การใช้คอมพิวเตอร์ในประเทศไทย ประเทศไทยนำคอมพิวเตอร์ เข้ามาเมื่อปี พ.ศ. 2507 เมื่อเวลาผ่านไปจำนวนคอมพิวเตอร์ในประเทศไทย มีมากขึ้นตลอดเวลาแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในความต้องการใช้คอมพิวเตอร์ มาแก้ไขปัญหาด่าง ๆ

3. การใช้คอมพิวเตอร์ในการศึกษา มี 3 แบบคือ ใช้ในการบริหาร ในการเรียนการสอน และเป็นเครื่องมือในวิชาต่าง ๆ เช่น ใช้คอมพิวเตอร์ วางแผนระดับบริหาร ใช้คอมพิวเตอร์ในการเรียนแบบสร้างสถานการณ์จำลอง หรือใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการคำนวณในงานวิจัย เป็นต้น

ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นสิ่งใหม่ของวงการเทคโนโลยีในปัจจุบัน และ ยังทำให้การเรียนรู้เรื่องคอมพิวเตอร์แพร่หลายไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจาก ไมโครคอมพิวเตอร์มีราคาถูกหาซื้อและใช้ได้ง่าย ดังนั้นสถานศึกษาต่าง ๆ จึงมี โอกาสที่จะหาไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้ในกิจกรรมที่เกี่ยวกับการศึกษา ได้อย่าง ง่ายดายและเหมาะสม

วิทยาศาสตร์นั้นเป็นศาสตร์ที่ต้องการค้นหาความจริงที่สามารถพิสูจน์ได้ ดังนั้นการวัดจึงถือได้ว่าเป็นหัวใจของศาสตร์เหล่านี้ โดยเฉพาะในทางฟิสิกส์ เพราะเป็นศาสตร์ที่จะต้องเกี่ยวข้องกับปริมาณต่าง ๆ ตลอดเวลา

การวัดสามารถใช้อยันย่นทฤษฎีที่มีอยู่แล้ว และยังสามารถใช้ในการค้น หาทฤษฎีใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้น ดังนั้นความเที่ยงตรงของการวัดจึงเป็นสิ่งที่มีความ สำคัญเป็นอันมาก นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรจึงได้สร้างเครื่องมือวัดที่เที่ยงตรง ต่าง ๆ ขึ้น เครื่องมือวัดยังมีความละเอียดในการวัดมากขึ้นเท่าไร ราคา ก็จะ ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น เหตุการณ์เช่นนี้มีผลกระทบต่อวงการศึกษเป็นอันมาก เพราะ การนำเครื่องมือที่มีราคาแพงเข้ามาใช้ในสถานศึกษา จะทำให้การลงทุนของรัฐ ต่อนักศึกษาแต่ละคนต้องมากขึ้นด้วย ตลอดเวลาที่ผ่านมา การจัดการศึกษาของ ประเทศไทย โดยเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์มักประสบกับปัญหาทางด้านงบประมาณ อยู่ตลอดเวลา

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปแล้วว่าวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้สร้างความ

เจริญให้แก่ทุกประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทย ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนจากประเทศเกษตรกรรมไปสู่ประเทศอุตสาหกรรม ด้วยเหตุนี้การจัดการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์จึงเป็นสิ่งจำเป็นและเร่งด่วน เพื่อให้สามารถรองรับกับความต้องการในการพัฒนาประเทศให้พอดีและเหมาะสม

ขณะที่นักการศึกษา กำลังต้องการเครื่องมือวัดแบบใหม่ ที่มีประสิทธิภาพ เทียบเท่ากับเครื่องมือวัดแบบเดิมแต่มีราคาถูกกว่าก็มีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้พอดี ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถนำมาใช้ในห้องทดลองได้ โดยเป็นอุปกรณ์เอนกประสงค์ที่รับสัญญาณต่าง ๆ เข้ามาทำการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลแล้วแสดงผลลัพธ์ออกมาให้เห็น ดังนั้นไมโครคอมพิวเตอร์จึงสามารถแทนที่อุปกรณ์ราคาแพงในห้องทดลอง ทั้งยังสามารถสร้างประสบการณ์ทางการศึกษาได้อย่างครบถ้วน (TINKER 1981:94-104) โดยมีบทบาทในการทดลองปฏิบัติการ (วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร 2527:ไม่มีเลขหน้า) ดังนี้

1. การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ช่วยวัดปริมาณต่าง ๆ เช่น ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องจับเวลา วัดกระแสไฟฟ้า วัดความต่างศักย์ไฟฟ้า และวัดอุณหภูมิ ซึ่งไมโครคอมพิวเตอร์สามารถแทนเครื่องมือวัดดังกล่าว นั้นได้ โดยใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์พร้อมอุปกรณ์เพิ่มเติมและซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม

2. การเก็บข้อมูล ขณะที่ชุดไมโครคอมพิวเตอร์ในข้อ 1 ทำการวัดข้อมูลอยู่ ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ โดยสามารถเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งก็ได้ ขึ้นอยู่กับคำสั่งของโปรแกรม

3. การคำนวณข้อมูล ผู้ทดลองสามารถสร้างโปรแกรมเพื่อให้ไมโครคอมพิวเตอร์คำนวณค่าออกมาได้ โปรแกรมที่สร้างขึ้นจะต้องเกี่ยวข้องกับสูตรที่ต้องการคำนวณจากข้อมูล

4. การทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นจากเงื่อนไขของข้อมูล ทำได้โดยการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เช่น ในการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ในการทดลองจริงจะไม่ได้ผลตามสูตรเพราะมีแรงเสียดทานของอากาศ ถ้าจำลองสถานการณ์ดังกล่าว โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง จะทำให้ผู้ทดลองสามารถทำนายแรงเสียดทานจากอากาศได้ บางการทดลองระยะเวลาเป็นเรื่องจำเป็นมาก เช่นการทดลองเรื่องสูตรอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช ในสถานการณ์จริงอาจจะต้องรอดูผลนานเป็นเวลานาน แต่ถ้าจำลองสถานการณ์โดยกำหนดเงื่อนไขจากหลักทฤษฎีจะช่วยให้ประหยัดเวลาและทุนค่าใช้จ่ายได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างอุปกรณ์ต่อเชื่อม (Interface card) แล้วนำมาต่อ

เข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้ไมโครคอมพิวเตอร์มีความสามารถเป็นชุด เครื่องมือวัดระดับแรงดันไฟฟ้า และระดับอุณหภูมิ

2. เพื่อใช้ชุดทดลองดังกล่าวนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริง มาประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ได้โดยอัตโนมัติ

ประโยชน์ของการวิจัย

1. สามารถใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียว ซึ่งต่อกับอุปกรณ์ต่อเชื่อม 1 ชุด ทำหน้าที่แทนเครื่องมือวัดระดับแรงดันไฟฟ้า และระดับอุณหภูมิ

2. สามารถใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ต่อกับอุปกรณ์ต่อเชื่อม ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลที่ได้จากการวัด และประมวลผลข้อมูลนั้นได้อย่างอัตโนมัติ

3. ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องมือวัดเฉพาะอย่างหลายชนิด

4. การออกแบบวงจรให้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย มีขายตามท้องตลาดทั่วไป และมีราคาถูก ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างขึ้นและนำมาใช้

5. การเขียนโปรแกรมควบคุมเน้นที่ความง่ายในการนำไปใช้ ทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ทางคอมพิวเตอร์ก็สามารถใช้ได้อย่างง่ายดาย

คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1. ไอซี (IC = Integrated Circuit) หมายถึง วงจรขนาดเล็กมากที่ประกอบด้วยวงจรหลาย ๆ วงจรรวมกันอยู่ในวัสดุกึ่งตัวนำ

2. ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) หมายถึง ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 6502

3. ไมโครคอมพิวเตอร์ หมายถึง ไมโครคอมพิวเตอร์ระบบแอปเปิลทู (Apple II)

4. เทอร์มิสเตอร์ หมายถึง อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ประเภทหนึ่งที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างอุปกรณ์ต่อเชื่อมเพียง 1 ชุด พร้อมหัววัดอีก 2 ชุดคือ หัววัดระดับแรงดันไฟฟ้า และหัววัดระดับอุณหภูมิ

2. เขียนโปรแกรมควบคุมเพื่อให้ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถรับข้อมูล

ที่เป็นระดับแรงดันไฟฟ้า หรือ ระดับอุณหภูมิ จากอุปกรณ์ต่อเชื่อมได้

3. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลที่ได้จากข้อมูลที่เป็นระดับแรงดันไฟฟ้า หรือระดับของอุณหภูมิ จากอุปกรณ์ต่อเชื่อม แล้วแสดงผลเป็นตัวเลข, กราฟ, หรือภาพแสดงความหมายที่สามารถตีความได้ ออกมาทางจอภาพ และเครื่องพิมพ์

4. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ระบบแอปเปิลทู

5. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นภาษา แอปเปิลซอฟเบสิก (Applesoft BASIC) และ ภาษาเครื่อง

6. ชุดไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งอุปกรณ์ต่อเชื่อมและหัววัด สามารถวัดระดับแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 0 โวลต์ถึง 1 โวลต์ และสามารถวัดระดับอุณหภูมิได้ในช่วง 0 องศาเซลเซียสถึง 100 องศาเซลเซียส

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีการสร้างเครื่องวัดระดับอุณหภูมิโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์แบบชิพเดี่ยวที่มีไอซีเบอร์ M58843-200P เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ที่มี ROM อยู่ภายในตัวโดยมีขนาด 4 บิต สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง 15 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส มีความละเอียดของการวัดทุก ๆ 1 องศาเซลเซียส ใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และแสดงผลบนจอ LED ขนาด 2 หลัก (คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เวลด์ ฉบับ 84 พ.ศ. 2526:119-132)

มีการสร้างดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์โดยใช้ไอซีเบอร์ 7107 สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40 ถึง 150 องศาเซลเซียส ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N 2222 เป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และแสดงผลบน LED ขนาด 3 1/2 หลัก (คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เวลด์ ฉบับ 96 พ.ศ. 2528:29-33)

มีการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ไอซีเบอร์ LM3911 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิโดยตรงสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 15 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส (คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เวลด์ ฉบับ 90 พ.ศ. 2527:107-112)

มีการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ไอซีออปแอมป์ (OP-AMP) เบอร์ LM324 เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์กับตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง -16 องศาเซลเซียส ถึง 236 องศาเซลเซียส (คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เวลด์ ฉบับ 93 พ.ศ. 2528:20-24)

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ แบ่งการทำได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. การสร้างอุปกรณ์ต่อเชื่อม พร้อมทั้งหาวัด และ
2. การเขียนโปรแกรมที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่อเชื่อม ซึ่งในที่นี้ใช้โปรแกรมภาษาแอปเปิลซอฟต์เบสิก (Applesoft BASIC)

ดังนั้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจึงต้องกล่าวไปตามลำดับจากส่วนของฮาร์ดแวร์ ในหัวข้อที่ 1 ไปจนถึงส่วนของซอฟต์แวร์ในหัวข้อที่ 2 ดังต่อไปนี้

1. ฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอุปกรณ์ต่อเชื่อม

ในหัวข้อนี้ จำเป็นต้องกล่าวถึงความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพราะต้องนำความรู้ทางด้านนี้มาใช้ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ต่อเชื่อมกับไมโครคอมพิวเตอร์ การกล่าวถึงความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์จะเรียงลำดับหัวข้อดังนี้

- 1.1 ความรู้เรื่องลอจิกเกต (LOGIC GATE) ต่าง ๆ
- 1.2 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า (Operational Amplifier)
- 1.3 วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ (Voltage Control Oscillator)
- 1.4 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator)
- 1.5 การต่อเชื่อมแอปเปิลกับอุปกรณ์ภายนอก

1.1 ความรู้เกี่ยวกับลอจิกเกตต่าง ๆ

1.1.1 เกตพื้นฐาน ความรู้เกี่ยวกับลอจิกเกตเป็นการนำคณิตศาสตร์บูลีน (Boolean) มาใช้โดยใช้แทนการทำงานของเลขฐานสองคือ 1 และ 0 (ผ.ศ.มนัส สังวรศิลป์ ผ.ศ.ชม กิมปาน และ ผ.ศ.สมเกียรติ ศุภเดช 2525:20) ในทางปฏิบัติแล้ววงจรลอจิก จะถูกสร้างในรูปของไอซีและกำหนดให้แรงดันไฟสูงตรงกับข้อมูล 1 ส่วนแรงดันไฟต่ำตรงกับ 0 ในบางกรณีจะเรียกแรงดันไฟสูงว่า H และเรียกแรงดันไฟต่ำว่า L คณิตศาสตร์ของบูลีนมีลักษณะที่สำคัญ ดังนี้

$$1) A + A = A$$

ถ้า $A = 1$ ก็จะเป็น $1 + 1 = 1$

ถ้า $A = 0$ ก็จะเป็น $0 + 0 = 0$

2) $A + 1 = 1$

ถ้า $A = 1$ ก็จะเป็น $1 + 1 = 1$

ถ้า $A = 0$ ก็จะเป็น $0 + 1 = 1$

3) $A \cdot 1 = A$

ถ้า $A = 1$ ก็จะเป็น $1 \cdot 1 = 1$

ถ้า $A = 0$ ก็จะเป็น $0 \cdot 1 = 0$

4) $A \cdot 0 = 0$

ถ้า $A = 1$ ก็จะเป็น $1 \cdot 0 = 0$

ถ้า $A = 0$ ก็จะเป็น $0 \cdot 0 = 0$

6) $A + \bar{A} = 1$

A จะตรงกันข้ามกับ $\bar{A}$ ดังนี้ ถ้า $A = 1$ แล้ว $\bar{A} = 0$ และ
ในทำนองเดียวกัน ถ้า $A = 0$ แล้ว $\bar{A} = 1$

ถ้า $A = 1$ ก็จะเป็น $1 + 0 = 1$

ถ้า $A = 0$ ก็จะเป็น $0 + 1 = 1$

7) $A \cdot \bar{A} = 0$

ถ้า $A = 1$ ก็จะเป็น $1 \cdot 0 = 0$

ถ้า $A = 0$ ก็จะเป็น $0 \cdot 1 = 0$

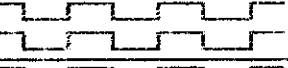
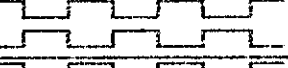
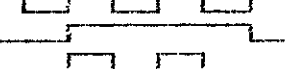
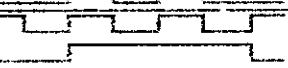
8) $A \cdot B + C = A \cdot (B + C)$

9) $\bar{A} + \bar{B} = \overline{A \cdot B}$

10) $\overline{\bar{A} + \bar{B}} = A \cdot B$

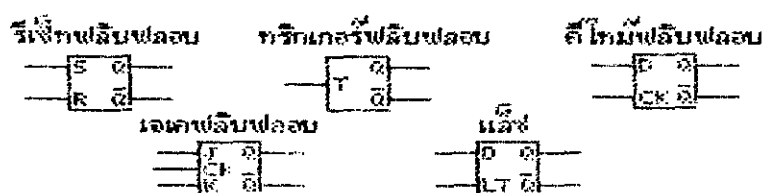
โลจิกเกตมีอยู่ 4 ชนิด คือ บัฟเฟอร์ (BUFFER), เกทอินเวอร์เตอร์ (INVERTER gate), เกทแอนด์ (AND gate), เกทออร์ (OR gate) แต่ละเกตมีสัญลักษณ์ ตารางแสดงค่าจริง (Truth table) และแผนผังเวลา (Timing diagram) ดังตาราง 1

ตาราง 1 สัญลักษณ์ ตารางแสดงค่าจริง และแผนผังเวลาของเกตต่าง ๆ

ชื่อและสัญลักษณ์	ตารางแสดงค่าจริง		แผนผังเวลา	
	อินพุต	เอาต์พุต		
	0	0	อินพุต	
	1	1	เอาต์พุต	
	0	1	อินพุต	
	1	0	เอาต์พุต	
	0	0	อินพุต	
	0	1		
	1	0		
	1	1		
	0	0	อินพุต	
	0	1		
	1	0		
	1	1		

ทั้ง 4 เกทที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังสามารถประกอบกันเข้าเป็นเกทอื่นได้อีก เช่น เกทแอนด์ประกอบเข้ากับเกทอินเวอร์เตอร์จะกลายเป็นเกทแนน (NAND gate) หรือ เกทออร์ประกอบเข้ากับเกทอินเวอร์เตอร์จะกลายเป็นเกทเนอร์ (NOR gate) เป็นต้น

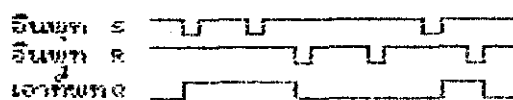
1.1.2 ฟลิปฟลอป (Flip-Flop) มี 5 ประเภท คือ รีเซ็ตฟลิปฟลอป (R-S flip-flop), ทริกเกอร์ฟลิปฟลอป (T flip-flop), ดีไทม์ฟลิปฟลอป (D flip-flop), เจเคฟลิปฟลอป (J-K flip-flop) และแลตช์ (Latch) มีสัญลักษณ์ดังภาพประกอบ 1 แสดงสัญลักษณ์ของฟลิปฟลอปแต่ละประเภท



ภาพประกอบ 1 สัญลักษณ์ของฟลิปฟลอปประเภทต่าง ๆ

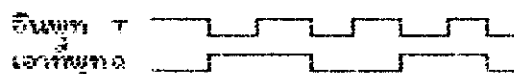
1.1.2.1 รีเซ็ตฟลิปฟลอป ทำงานดังแผนผังเวลาในภาพประกอบ 2
ดังนี้

เมื่อ $S = H$ และ $R = H$ แล้ว Q ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
เมื่อ $S = L$ และ $R = H$ แล้ว $Q = L$
เมื่อ $S = H$ และ $R = L$ แล้ว $Q = H$
เมื่อ $S = H$ และ $R = H$ แล้ว Q มีสถานะไม่แน่นอน



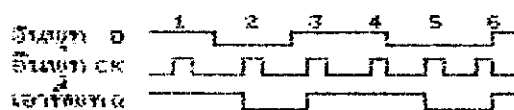
ภาพประกอบ 2 แผนผังเวลาของรีเซ็ตฟลิปฟลอป

1.1.2.2 ทริกเกอร์ฟลิปฟลอป สัญญาณทางเข้าที่ T จะทำให้สถานะของ Q เปลี่ยนไปจากเดิม ดังผังเวลาในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แผนผังเวลาของทริกเกอร์ฟลิปฟล็อป

1.1.2.3 ดีไทม์ฟลิปฟล็อป การทำงานของดีไทม์ฟลิปฟล็อปพิจารณาได้จากแผนผังเวลาในภาพประกอบ 4 เมื่อสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจาก L ไปเป็น H ในขณะที่มีสัญญาณทางเข้าที่ D ข้อมูลของ D จะถูกจำโดย Q



ภาพประกอบ 4 แผนผังเวลาของดีไทม์ฟลิปฟล็อป

จากหมายเลข 1 ในภาพประกอบ 4 เมื่อสัญญาณทางเข้าที่ D เป็นสถานะ H และ CK เปลี่ยนจาก L ไปเป็น H แล้วสัญญาณทางออก Q จะเป็นสถานะ H เหมือนกับ D แต่เมื่อ CK เปลี่ยนจาก L ไปเป็น H แล้วสถานะของ Q จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จากหมายเลข 2 ในภาพประกอบ 4 เมื่อสัญญาณทางเข้าที่ D มีสถานะ L และ CK เปลี่ยนจาก L ไปเป็น H แล้วสถานะของ Q จะเปลี่ยนไปเป็น L ตามสถานะของ D

หมายเลข 3 และ 4 ในภาพประกอบ 4 จะเหมือนกับหมายเลข 1 ส่วนหมายเลข 5 และ 6 จะเหมือนหมายเลข 2

CK ย่อมาจาก CLOCK หมายถึงสัญญาณนาฬิกา ถ้าฟลิปฟล็อปทำงานเมื่อสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจากสถานะ L ไปเป็น H เรียกว่าเป็นการทำงานด้วยขอบสัญญาณทางขึ้น (Positive-edge-Triggered) ในทางตรงข้าม ถ้าสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจาก H ไปเป็น L แล้วฟลิปฟล็อปมีการทำงาน เรียกว่าเป็นการทำงานด้วยขอบสัญญาณทางลง (Negative-edge-Triggered) ภาพประกอบ 4 เป็นตัวอย่างของการทำงานด้วยขอบสัญญาณทางขึ้น

1.1.1.4 เจเคฟลิปฟล็อป มีการทำงานดังนี้

ถ้า $J=L$ และ $K=L$ แล้วเมื่อมี CK เข้ามาสถานะของ Q ไม่เปลี่ยน
ถ้า $J=H$ และ $K=L$ แล้วเมื่อมี CK เข้ามาสถานะของ $Q=H$

ถ้า $J=L$ และ $K=H$ แล้วเมื่อมี CK เข้ามาสถานะของ $Q=0$

ถ้า $J=H$ และ $K=H$ แล้วเมื่อมี CK เข้ามาสถานะของ Q จะเปลี่ยนไปเป็นสถานะตรงข้าม

จะเห็นได้ว่าเจเคฟลิปฟล็อปมีลักษณะของฟลิปฟล็อปอื่นผสมอยู่ เช่น เมื่อ $J=H$ และ $K=L$ ก็จะเหมือนกับการทำงานของดีไทม์ฟลิปฟล็อป เมื่อสัญญาณทางเข้า H เข้ามา และเมื่อ $J=H$, $K=H$ การทำงานก็จะเหมือนกับทริกเกอร์ฟลิปฟล็อป แผนผังเวลาของเจเคฟลิปฟล็อปแสดงดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แผนผังเวลาของเจเคฟลิปฟล็อป

1.1.1.5 แล็ช วงจรแล็ชมีการทำงานคล้ายดีไทม์ฟลิปฟล็อปมาก ด้วยเหตุนี้ทั้งสองวงจรจึงอาจใช้แทนกันได้ เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 6 จะเห็นว่าแล็ชต่างจากดีไทม์ฟลิปฟล็อป คือ การทำงานของดีไทม์ฟลิปฟล็อปกำหนดที่ขอบสัญญาณ ส่วนการทำงานของแล็ชไม่ได้กำหนดที่ขอบสัญญาณ สัญญาณทางเข้า LT ที่เข้ามาจะเป็นตัวกำหนดให้สถานะของ Q เปลี่ยนแปลงสถานะที่เป็น H ของ LT จะเป็นตัวกระตุ้นให้แล็ชทำงาน นั่นคือ ทุกครั้งที่ LT มีสถานะ H แล้ว Q จะจำสถานะของ D ไว้ แต่เมื่อ LT มีสถานะ L แล้ว Q จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ

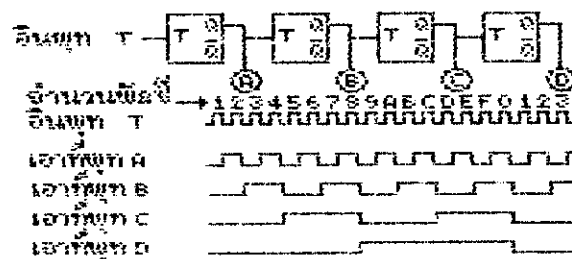


ภาพประกอบ 6 เปรียบเทียบแผนผังเวลาระหว่างแล็ชกับดีไทม์ฟลิปฟล็อป

ในขณะที่ Q มีสถานะเหมือนกับ D เรียกว่าสถานะโหลด (Load) และในขณะที่ Q ไม่มีความสัมพันธ์กับ D เรียกว่าสถานะโฮลด์ (Hold) ความ

แตกต่างของดีโคม์พลิกฟลอปกับแล้ชเป็นดังภาพประกอบ 6

1.1.3 วงจรรนับ (Counter) เกิดจากการนำวงจรพลิกฟลอปมาต่ออนุกรมกัน ภาพประกอบ 7 เป็นวงจรรนับขนาด 4 บิตที่เกิดจากทริกเกอร์พลิกฟลอปจำนวน 4 ชุด วงจรรนับแสดงข้อมูลเป็นเลขฐานสอง



ภาพประกอบ 7 การนำทริกเกอร์พลิกฟลอปมาประกอบเป็นวงจรรนับขนาด 4 บิต

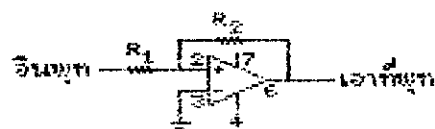
1.2 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า

ในบางครั้งแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการนำมาใช้งานมีค่าต่ำมาก ดังนั้นจึงต้องมีการขยายให้มากขึ้น วงจรขยายนี้เรียกสั้น ๆ เป็นออปแอมป์ ซึ่งเป็นไอซีโซลิดสเตทแบบหนึ่งใช้การป้อนกลับจากภายนอกมาควบคุมการทำงาน ออปแอมป์แต่ละตัวสามารถทราบคุณสมบัติได้จากแบบของโรงงานที่ผลิต การป้อนกลับทำได้โดยการต่อขาสัญญาณทางออกและขาสัญญาณทางเข้าของออปแอมป์ ด้วยตัวต้านทาน เพื่อใช้เป็นตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage divider) ซึ่งมีความสำคัญมากเพราะจะทำให้การป้อนกลับทางลบถูกต้องตามอัตราขยายที่ต้องการ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าอัตราขยายของออปแอมป์นั้นถูกควบคุมจากภายนอก ดังนั้นอัตราขยายจึงเป็นอนันต์ภายใต้การควบคุมของกำลังที่จ่ายเข้าไป และอาจกล่าวได้ว่าออปแอมป์มีอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางเข้าเป็นอนันต์ และอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางออกเป็นศูนย์ แต่ตามความเป็นจริงแล้ว ออปแอมป์แต่ละตัวไม่ได้มีค่าอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางเข้าดังกล่าวกว่า บางตัวอาจมีค่าเป็น 1 เมกกะโอห์มหรือสูงกว่านี้ บางตัวก็มีค่าอื่น ค่านี้จะกำหนดได้จากแบบของโรงงาน ในทำนองเดียวกันอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางออกของออปแอมป์ก็จะมีค่าแตกต่างกัน ตามแบบของโรงงานเช่นกัน เพื่อความสะดวกในการออกแบบวงจรจึงมักสมมุติให้ค่านี้เป็นศูนย์

การออกแบบวงจรขยายไฟตรงแบบกลับเป็นดังภาพประกอบ 8 โดยทั่วไปอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางเข้าของวงจรขยายไฟตรงแบบกลับมีค่าประมาณ 40

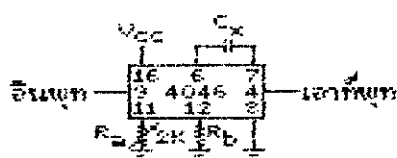
ถึง 50 เท่าของอิมพีแดนซ์แหล่งกำเนิดซึ่งกำหนดได้ด้วยตัวต้านทาน R_1 ส่วนอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางออกมีค่าต่ำมาก ประมาณ 25 ถึง 50 โอห์ม การออกแบบวงจรจึงสามารถตัดทิ้งได้ ตัวต้านทาน R_1 จะถูกเลือกให้มีค่าราว 40 ถึง 50 เท่าของตัวต้านทานแหล่งกำเนิด (R_g) โดยตัวต้านทาน R_1 อยู่ระหว่างสัญญาณทางเข้าแบบป้อนกลับขา 2 กับสัญญาณทางเข้า Z_{in} การป้อนกลับของวงจรใช้ตัวต้านทาน R_2 ใส่ระหว่างสัญญาณทางออกขา 6 กับสัญญาณทางเข้าแบบกลับขา 2 ส่วนกำลังของวงจรนี้ป้อนเข้าทางขา 4 และขา 7



ภาพประกอบ 8 วงจรขยายไฟตรงแบบกลับ

1.3 วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่

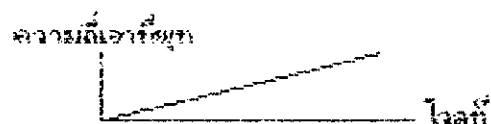
วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่ทำหน้าที่เสมือนกับการแปลงปริมาณ (ระดับแรงดันไฟฟ้า) ให้เป็นจำนวน (ความถี่) เพื่อให้สามารถทำการวัดได้ ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่เป็นไอซีเบอร์ 4046 แสดงการประกอบเป็นวงจรดังภาพประกอบ 9



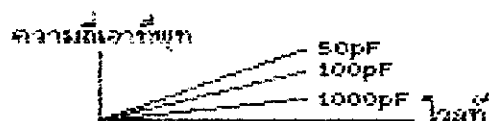
ภาพประกอบ 9 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่

เมื่อมีระดับแรงดันไฟฟ้าเข้ามาที่ขา 9 ของไอซี 4046 จะมีผลทำให้เกิดความถี่ที่สัญญาณทางออกขา 4 ดังกราฟในภาพประกอบ 10 ส่วน C_x เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่ทำการกำหนดความถี่ของสัญญาณทางออก ความจุไฟฟ้าที่มีค่าต่างกันจะทำให้สัญญาณทางออกมีความถี่ต่างกันด้วย เช่น C_x มากกว่าหรือเท่ากับ

50 pF ก็จะได้ความถี่ที่สัญญาณทางออกสูงสุด 2 MHz ที่ไฟเลี้ยง 15 โวลต์ เป็นต้น แรงดันไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับความจุไฟฟ้าเป็นดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่



ภาพประกอบ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่ที่ขึ้นกับความจุไฟฟ้า

R_1 ที่อยู่ระหว่างขา 11 กับสายดินทำหน้าที่กำหนดความถี่สูงสุดที่ต้องการ โดยมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2K เมื่อสัญญาณทางเข้าเท่ากับ V

R_2 อยู่ระหว่างขา 2 กับสายดินทำหน้าที่กำหนดความถี่ต่ำสุดที่ต้องการ เมื่อสัญญาณทางเข้าเท่ากับ 0 โวลต์

1.4 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ได้แก่ ไทม์เมอร์ไอซี 555 มีบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในดังภาพประกอบ 12 ภายในตัวไอซี 555 ประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบแรงดันหรือที่เรียกว่าคอมพาราเตอร์ (Comparator) , วงจรควบคุมฟลิปฟล็อป (Control-flip-flop) , วงจรบัฟเฟอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลับสัญญาณ (Inverter buffer) รวมทั้งวงจรสวิทช์ต่าง ๆ ซึ่งการทำงานภายในตัวไอซีสรุปได้ดังนี้

ขา 1 เป็นขากาวด์ (Ground)

ขา 2 เป็นขาทริกเกอร์ (Trigger) เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขาทริกเกอร์ลดลงต่ำกว่า $1/3$ ของแหล่งจ่ายแรงดัน จะทำให้วงจรฟลิปฟล็อปภายใน

ตัวไอซีทำงาน และได้เอาท์พุทที่ขา 3 อยู่ในสภาวะแรงดันสูง

ขา 3 เป็นขาเอาท์พุท แรงดันที่ขานี้จะเปลี่ยนแปลงอยู่ในสภาวะแรงดันไฟต่ำหรือสูงได้ตามการทำงานของวงจรภายใน และสามารถจ่ายหรือดึงกระแสได้ประมาณ 200 มิลลิแอมป์

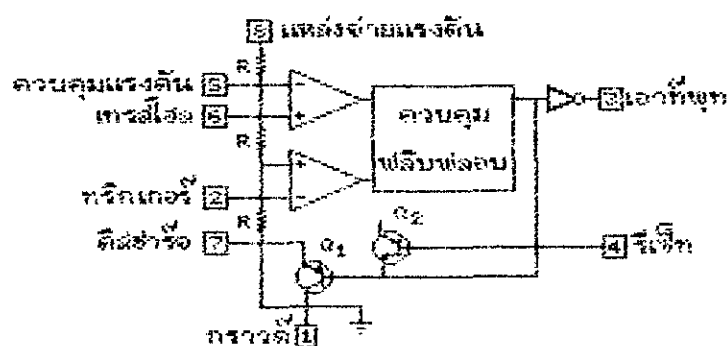
ขา 4 เป็นขารีเซ็ต (Reset) ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ขานี้ต่ำกว่า 0.4 โวลต์ วงจรภายในตัวไอซีจะไม่สามารถทำงานได้ไม่ว่าจะมีการกระตุ้นอย่างไรก็ตาม

ขา 5 เป็นขาควบคุมแรงดัน (Control voltage) เป็นขาที่ต่ออยู่กับจุดเปรียบเทียบแรงดันของวงจร เปรียบเทียบแรงดัน (วงจรคอมพาราเตอร์) ภายในตัวไอซี จึงสามารถใช้ตัวต้านทานต่อที่ขานี้เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่จุดเปรียบเทียบเปลี่ยนแปลงไป เมื่อไม่ใช้ขานี้ควรใช้ตัวตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $0.1 \mu\text{F}$ เพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่เข้ากับทางแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ขา 6 เป็นขาเทรชโฮลด์ (Threshold) ถ้าแรงดันที่ขาสูงเกินกว่า $2/3$ ของแหล่งจ่ายแรงดัน วงจรฟลิปฟล็อปภายในตัวไอซีจะถูกรีเซ็ตทำให้เอาท์พุทของไอซีอยู่ในสภาวะแรงดันต่ำ

ขา 7 เป็นขาดีสชาร์จ (Discharge) สัญญาณทางออกของไอซีจะควบคุมการคายประจุที่ขา 7 โดยควบคุมผ่านทางทรานซิสเตอร์ภายในตัวไอซี

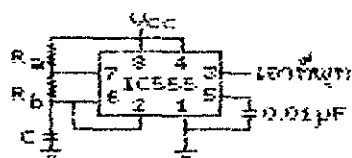
ขา 8 เป็นขาแหล่งจ่ายแรงดัน (Supply) ที่สามารถป้องกันแรงดันผ่านขานี้ได้ตั้งแต่ 4.5 ถึง 16 โวลต์ วงจรภายในตัวไอซีจึงจะสามารถทำงานได้



ภาพประกอบ 12 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในตัวไอซี 555

การใช้งานออกแบบเป็นวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable

multivibrator) ดังภาพประกอบ 13



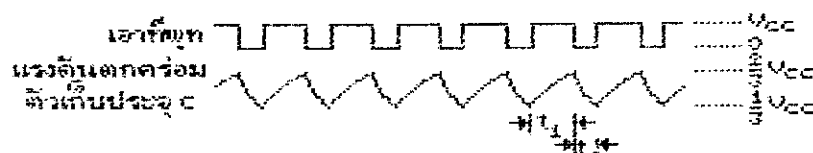
ภาพประกอบ 13 วงจรออสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์

วงจรออสเตเบิลเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมโดยใช้การกระตุ้นจากการชาร์จของตัวเก็บประจุที่ขา 2 ผ่าน R_1 และ R_2 เมื่อแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเป็น $2/3 V_{CC}$ จะทำให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันชุดบน (Upper comp.) ทำงาน ไปกระตุ้นให้วงจรควบคุมพลิกฟลอปทำงานอีกต่อหนึ่ง เป็นผลให้ตัวเก็บประจุต้องคายประจุผ่าน R_1 และขา 7 (ผ่าน Q_1 ในไอซี) ลงกราวด์ ช่วงนี้ที่เอาต์พุตที่ขา 3 จะมีแรงดันไฟฟ้าต่ำ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุลดลงมาถึง $1/3 V_{CC}$ ก็จะไปกระตุ้นให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันชุดล่าง (Lower comp.) ทำงานไปกระตุ้นวงจรพลิกฟลอปอีก ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตมีค่าสูง และตัวเก็บประจุไม่สามารถคายประจุได้อีก เพราะทรานซิสเตอร์ภายในตัวไอซีซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์จะอยู่ในสภาวะ "OFF" ดังนั้นตัวเก็บประจุจึงเริ่มชาร์จใหม่จนแรงดันไฟฟ้ามาถึง $2/3 V_{CC}$ ก็จะเริ่มทำงานแบบเดิมอีก

จากลักษณะการทำงานของวงจรออสเตเบิล จะเห็นได้ว่าช่วงความกว้างของคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้ทางเอาต์พุต จะขึ้นอยู่กับ การเก็บประจุและการคายประจุของตัวเก็บประจุ C เนื่องจากตัวเก็บประจุต้องชาร์จผ่าน R_1 กับ R_2 และคายประจุผ่าน R_1 อย่างเดียว ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของช่วงเวลา t_1 และ t_2 กับ R_1 , R_2 และ C ดังนี้

$$\begin{aligned} t_1 &= 0.693 (R_1 + R_2) C && \text{วินาที} \\ t_2 &= 0.693 R_1 C && \text{วินาที} \\ f &= 1/(t_1 + t_2) \\ &= 1.433 / (R_1 + 2R_2) C && \text{เฮิรตซ์} \end{aligned}$$

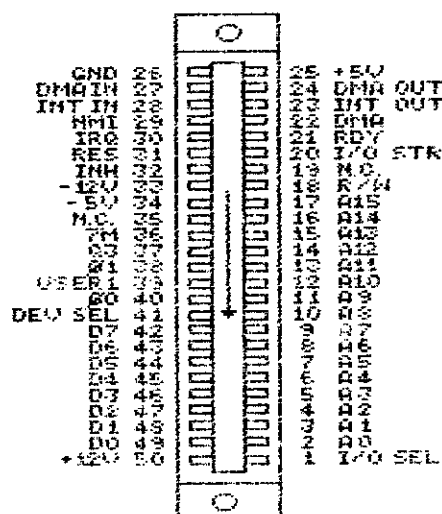
ภาพประกอบ 14 เป็นภาพแสดงช่วงเวลา t_1 และ t_2



ภาพประกอบ 14 เปรียบเทียบแรงดันที่เอาต์พุตกับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C

1.5 การต่อเชื่อมระหว่างแอปเปิลกับอุปกรณ์ต่อเชื่อม

การต่อเชื่อมระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์แอปเปิลกับอุปกรณ์ต่อเชื่อมจะทำงานสล็อตทั้งแปดของเครื่อง ภาพประกอบ 15 เป็นภาพแสดงการจัดขาของสล็อต ซึ่งจะมีขา (Pin) ต่อกับ 50 ขาต่อ 1 สล็อต



ภาพประกอบ 15 แสดงตำแหน่งและชื่อสัญญาณของสล็อต

เมื่อพิจารณาถึงการส่งข้อมูลให้แก่แอปเปิล จะมีดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ (Digital electronics) ที่สำคัญอยู่ 3 ส่วนดังนี้

1.5.1 วงจรเอนาเบิลสำหรับอุปกรณ์ภายนอก (The enable circuit for external device)

1.5.2 สัญญาณ อ่านหรือเขียน (The Read/Write signal)

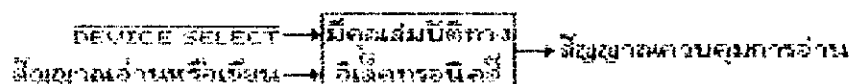
1.5.3 บัฟเฟอร์สามสถานะ (Enable tri-state buffer)

ทั้ง 3 ส่วนต้องปฏิบัติงานร่วมกัน ถ้ามีส่วนหนึ่งส่วนใดผิดพลาดการส่งข้อมูลก็จะไม่ทำงาน พิจารณาการทำงานของแต่ละส่วน ดังนี้

1.5.1 วงจรอินาเบิลสำหรับอุปกรณ์ภายนอก แอปเปิ้ลทูลสร้างสัญญาณอินาเบิลบนแต่ละสล๊อต สัญญาณอินาเบิลที่สำคัญคือ DEVICE SELECT ซึ่งอยู่ที่ขาที่ 41 ของสล๊อต เมื่อแอปเปิ้ลทูลเลือกสล๊อตใด สล๊อตนั้นจะมีขาที่ 41 เป็นโลจิก 0 เส้นสัญญาณนี้ทำงานได้ภายใต้การควบคุมของซอฟต์แวร์

1.5.2 สัญญาณอ่านหรือเขียน เป็นขาที่ 18 ของสล๊อต สัญญาณนี้เป็นโลจิก 1 เมื่อแอปเปิ้ลทูลต้องการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก และเป็นโลจิก 0 เมื่อแอปเปิ้ลทูลต้องการเขียนข้อมูลลงบนสล๊อต เส้นสัญญาณนี้ทำงานได้ภายใต้การควบคุมของซอฟต์แวร์

เส้นสัญญาณอ่านหรือเขียนจะถูกใช้ก็ต่อเมื่อวงจรอินพุตต้องการให้เป็นอ่านหรือเขียน เส้นสัญญาณอ่านหรือเขียนนี้จะถูกกำหนดโดยสัญญาณ DEVICE SELECT ภาพประกอบ 16 เป็นภาพแสดงคุณสมบัติของเส้นสัญญาณอ่านหรือเขียน โดยเส้น DEVICE SELECT ผ่านทางเกตอินเวอร์เตอร์เข้าสู่เกตออร์ เมื่อสัญญาณอ่านหรือเขียนมีสถานะเป็นโลจิก 1 และ DEVICE SELECT เป็นโลจิก 0 แล้ว สัญญาณทางเข้าที่ได้จากเกตออร์จะถูกเรียกเป็นสัญญาณควบคุมการอ่าน (I/O SLOT READ) ซึ่งสัญญาณนี้จะเป็นโลจิก 0 ในกรณีที่แอปเปิ้ลทูลต้องการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ต่อเชื่อม

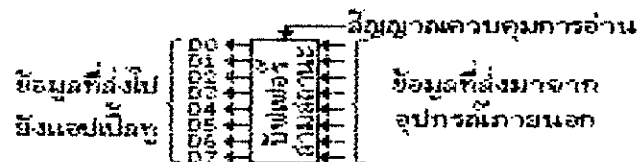


ภาพประกอบ 16 คุณสมบัติของเส้นสัญญาณอ่านหรือเขียน ต้องแสดงควบคู่กับสัญญาณ DEVICE SELECT เสมอ

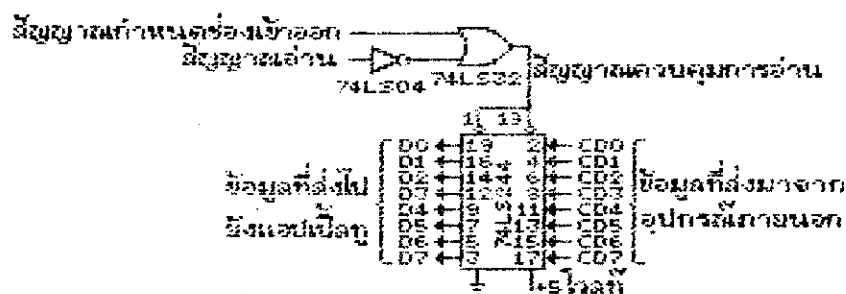
1.5.3 บัฟเฟอร์สามสถานะ เมื่อส่วนรับสัญญาณเข้าของบัฟเฟอร์สามสถานะทำการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเข้ามาแต่แอปเปิ้ลทูลยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลนั้น บัฟเฟอร์สามสถานะจะกั้นข้อมูลนั้นไว้ไม่ให้ผ่านเข้าไปถึงเส้นข้อมูลของแอปเปิ้ลทูล (Apple II data line) แต่เมื่อแอปเปิ้ลทูลพร้อมที่จะรับข้อมูลที่ถูส่งมาจากอุปกรณ์ภายนอกแล้ว บัฟเฟอร์สามสถานะก็จะยอมให้ข้อมูลเหล่านั้นผ่านเข้าไปถึงเส้นข้อมูลของแอปเปิ้ลทูลได้

ปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะนี้ก็คือ บัฟเฟอร์สามสถานะจะรู้ได้อย่างไรว่าแอปเปิ้ลทูลพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้วหรือไม่ ปัญหานี้แก้ไขได้โดยใช้สัญญาณที่มีอยู่แล้วมาควบคุมการทำงานของบัฟเฟอร์สามสถานะ สัญญาณที่มีอยู่ในขณะนี้คือสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียน เป็นเพราะสัญญาณควบคุมการอ่านได้มีร่วมกับสัญญาณ DEVICE SELECT และสัญญาณอ่านหรือเขียน ซึ่งสัญญาณทั้งคู่ก็อยู่ในความควบคุมของซอฟต์แวร์

แวร์ ดังนั้นจึงสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมความพร้อมที่จะรับข้อมูลของแอปเปิ้ลทูได้ การนำสัญญาณควบคุมการอ่านมาควบคุมการทำงานของบัฟเฟอร์สามสถานะจึงเป็นเรื่องที่สมเหตุสมผลยิ่งภาพประกอบ 17 แสดงการต่อบัฟเฟอร์สามสถานะเข้ากับเส้นข้อมูลโดยบัฟเฟอร์สามสถานะถูกควบคุมด้วยสัญญาณควบคุมการอ่าน ภาพประกอบ 18 เป็นภาพแสดงวงจรจริงของการรับข้อมูลของแอปเปิ้ลทู



ภาพประกอบ 17 แสดงการส่งข้อมูลผ่านบัฟเฟอร์สามสถานะไปยังแอปเปิ้ลทู สัญญาณควบคุมการอ่านทำให้ส่งข้อมูลได้ในเวลาที่ถูกต้อง



ภาพประกอบ 18 วงจรอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก

ในภาพประกอบ 18 ใช้ 74LS04 เป็นอินเวอร์เตอร์, 74LS32 เป็นเกตออร์ และ 74LS244 เป็นบัฟเฟอร์สามสถานะ ซึ่ง 74LS244 จะทำงานเมื่อสัญญาณทางเข้าขา 1 และขา 19 เป็นลอจิก 0 และเป็นได้ในการมีเดี่ยวนคือสัญญาณทางเข้าทั้ง 2 ขาของเกตออร์เป็นลอจิก 0 ทั้งคู่ เมื่อพิจารณาจากภาพก็หมายความว่าขาที่ 41 ของสล๊อตต้องเป็นลอจิก 0 และขาที่ 18 ของสล๊อตต้องเป็นลอจิก 1 การที่สัญญาณทางออกขา 18 ของสล๊อตเป็นลอจิก 1 หมายความว่าแอปเปิ้ลทูทำการอ่านนั่นเอง และเมื่อขา 41 ของสล๊อตเป็นลอจิก 0 ก็หมายความว่าสล๊อตนั้นกำลังถูกพิจารณาโดยแอปเปิ้ลทู เมื่อเป็นเช่นนี้ก็จะทำให้แอปเปิ้ลทูสามารถรับข้อมูลจากอุปกรณ์ต่อเชื่อมได้

2. โปรแกรมควบคุมการต่อเชื่อม

อุปกรณ์ภายนอกถูกควบคุมได้ด้วยซอฟต์แวร์ทางตำแหน่งความจำพิเศษของแต่ละสล็อตดังตาราง 2 เขียนคำสั่งได้เป็น

A = PEEK (ตำแหน่งความจำ)

เมื่อ A เป็นตัวแปรใด ๆ

ตาราง 2 ตำแหน่งความจำของแต่ละสล็อต

สล็อตหมายเลข	ตำแหน่งความจำ
0	-15256
1	-15204
2	-15244
3	-15208
4	-15192
5	-15176
6	-15160
7	-15144

จากภาพประกอบ 18 แอปเปิ้ลที่มีส่วนอินพุตอยู่ 8 เส้นคือ D0, D1, D2, D3, D4, D5, D6 และ D7 แต่ละเส้นเป็นได้ 2 สถานะคือ L และ H แอปเปิ้ลรับรู้ข้อมูลที่ส่งตามเส้นข้อมูลทั้ง 8 เป็นระบบเลขฐานสอง 8 บิตโดยมีค่าอยู่ระหว่าง %00000000 ถึง %11111111 สามารถแปลงไปเป็นเลขฐานสิบได้โดยหาผลรวมของเลขแต่ละหลักที่คูณกับเลข 2 ยกกำลังด้วยหมายเลขของหลักนั้น ดังนั้นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของข้อมูลจะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} \%00000000 &= 0*2^7 + 0*2^6 + 0*2^5 + 0*2^4 + 0*2^3 + 0*2^2 + 0*2^1 + 0*2^0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%11111111 &= 1*2^7 + 1*2^6 + 1*2^5 + 1*2^4 + 1*2^3 + 1*2^2 + 1*2^1 + 1*2^0 \\ &= 255 \end{aligned}$$

เลขจำนวนเต็มจาก 0 ถึง 255 นี้เรียกว่าน้ำหนักดิจิตอล (DIGITAL WEIGHT) และยังเป็นข้อมูลที่ไม่มีคามหมาย ต้องนำมาแปรความหมายเสียก่อน เช่น ถ้าผู้ใช้ใช้อุปกรณ์ต่อเชื่อมวัดระดับแรงดันไฟฟ้า โดยกำหนดให้ระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงสุดเป็น 10 โวลท์ และระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดมีค่าเป็น 0 โวลท์ก็จะต้องกำหนดให้ 255 น้ำหนักดิจิตอลเท่ากับ 10 โวลท์ และ 0 น้ำหนักดิจิตอลเท่ากับ 0 โวลท์ดังนั้นที่ N น้ำหนักดิจิตอล ก็จะมีค่าเป็น $(10-0)*N/255$ โวลท์ ซึ่งถ้า N เท่ากับ 1 ก็จะได้

$$\begin{aligned} 1 \text{ น้ำหนักดิจิตอล} &= 10/255 \text{ โวลท์} \\ &= 0.3921569 \text{ โวลท์} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะสามารถวัดระดับแรงดันไฟฟ้าได้ละเอียดช่วงละ 0.3921569 โวลท์ ซึ่งเป็นค่าที่ผู้วัดต้องการนั่นเอง

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวเรียงลำดับตามหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดรูปแบบของการวัด และขอบเขตของแรงดันไฟฟ้าที่จะส่งให้แก่อุปกรณ์ต่อเชื่อม

3.2 การสร้างชุดหัววัด

3.2.1 หัววัดแรงดันไฟฟ้า

3.2.2 หัววัดอุณหภูมิ

3.2.3 หัววัดบางประเภทที่มีความสำคัญ

3.3 การออกแบบสร้างอุปกรณ์ต่อเชื่อม

3.3.1 อธิบายการทำงานของอุปกรณ์ต่อเชื่อมตามแผนภาพ

3.3.2 ภาควิชาการนิเทศสัญญาณนาฬิกา

3.3.3 ภาควิชาการจิจิตอลโวลท์มิเตอร์

3.3.3.1 บัฟเฟอร์ และวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า

3.3.3.2 วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่

3.3.3.3 วงจรนับความถี่

3.3.4 ภาควิชาการติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์

3.3.5 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงสำหรับวงจร

3.4 ซอร์ฟแวร์ควบคุมอุปกรณ์ต่อเชื่อม

3.4.1 ซอร์ฟแวร์สั่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักรีดิจิตอลเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

3.4.2 ซอร์ฟแวร์สำหรับเก็บข้อมูลที่วัดได้

3.4.3 ซอร์ฟแวร์สำหรับนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในไฟล์ออกมาดู

3.4.4 ซอร์ฟแวร์สำหรับนำระดับแรงดันไฟฟ้า และค่าเฉลี่ยของน้ำหนักรีดิจิตอลไปเขียนกราฟ

3.4.5 โปรแกรมสำเร็จที่สามารถนำออกไปใช้งานได้

3.1 การกำหนดรูปแบบของการวัด และขอบเขตของแรงดันไฟฟ้าที่จะส่งให้แก่อุปกรณ์ต่อเชื่อม

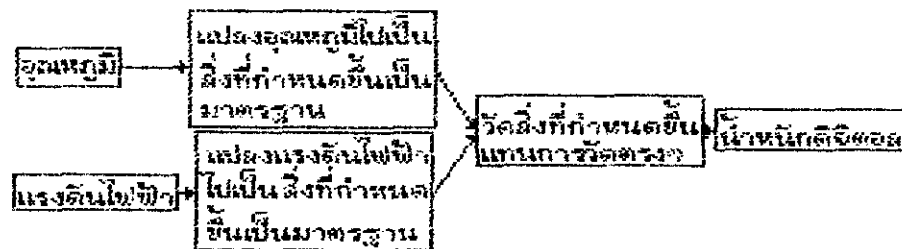
ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่าไมโครคอมพิวเตอร์สามารถรับข้อมูลจากอุปกรณ์ต่อเชื่อมได้ทางเส้นข้อมูล D0 ถึง D7 ด้วยตำแหน่งความจำพิเศษ 8 แห่ง ตามหมายเลขของแต่ละสล็อต การรับรู้ข้อมูลของไมโครคอมพิวเตอร์นั้น

จะต้องทำในช่วงจังหวะเวลาที่พอดีกันกับจังหวะเวลาในการส่งข้อมูลออกมาจากอุปกรณ์ต่อเชื่อม การควบคุมจังหวะเวลาที่ว่านี้อยู่ภายใต้การควบคุมของเส้นสัญญาณจากสล็อต 2 เส้น คือ DEVICE SELECT และ R/W

ข้อมูลที่ถูกส่งไปยังเส้นสัญญาณทั้ง 8 เส้นนั้นเป็นได้เพียงสัญญาณโลจิก 1 หรือสัญญาณโลจิก 0 เท่านั้น ดังนั้นไมโครคอมพิวเตอร์จึงสามารถรับรู้ข้อมูลได้ในระบบเลขฐานสองขนาด 8 บิต ตามจำนวนเส้นข้อมูล เมื่อเป็นดังนี้ ข้อมูลที่ได้รับจึงมีค่าต่ำสุดเป็น % 0000 0000 หรือมีค่าเป็น 0 ในระบบเลขฐานสิบ และข้อมูลที่ได้รับจะมีค่าสูงสุดเป็น % 1111 1111 หรือ 255 ในระบบเลขฐานสิบ ดังนั้นข้อมูลที่ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถรับรู้ได้จึงต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม 256 จำนวน ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 เลขจำนวนเต็มเหล่านี้มีชื่อเรียกโดยเฉพาะเป็นน้ำหนักระตือรือร้น

จากการที่ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถรับรู้ข้อมูลได้อย่างมีขีดจำกัด เช่นนี้ เมื่อพิจารณาจากข้อเท็จจริงทั่ว ๆ ไป จะพบว่า ไม่ว่าจะวัดข้อมูลจากสิ่งที่ต้องการวัดที่เป็นอะไรก็ตาม ไมโครคอมพิวเตอร์จะรับรู้สิ่งที่ต้องการวัดนั้นในรูปของน้ำหนักกระตือรือร้นเช่นเดียวกัน เช่น ในการวัดระดับแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่ง ๆ ไมโครคอมพิวเตอร์จะรับรู้ระดับแรงดันไฟฟ้าค่านั้นในรูปของน้ำหนักกระตือรือร้น หรือในการวัดระดับอุณหภูมิ ไมโครคอมพิวเตอร์ก็จะรับรู้ระดับอุณหภูมิด้วยน้ำหนักกระตือรือร้นเช่นเดียวกัน เหตุการณ์เช่นนี้เปรียบเทียบกับได้กับสมการทางคณิตศาสตร์ชนิดหลายตัวแปรต่อหนึ่งตัวแปร (Many to one) ซึ่งจะต้องลดรูปของสมการให้เป็นชนิดตัวแปรเดียวต่อตัวแปรเดียว (One to one) ก่อนที่จะนำออกไปใช้งาน เมื่อเป็นดังนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดสิ่งใดสิ่งหนึ่งขึ้นมา เพื่อนำไปเป็นมาตรฐานที่ใช้กำหนดสิ่งที่ต้องการวัดที่มีความแตกต่างกันให้มา เป็นสิ่งที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน สิ่งที่กำหนดได้นี้จะถูกส่งไปให้อุปกรณ์ต่อเชื่อมทำการวัดแทนสิ่งที่ต้องการวัดจริง หมายความว่าเมื่อต้องการวัดปริมาณชนิดหนึ่ง เช่นอุณหภูมิ ก็ต้องแปลงระดับอุณหภูมิไปเป็นสิ่งที่กำหนดให้เป็นตัวแทนมาตรฐานเสียก่อน แล้วให้ชุดเครื่องมือวัดทำการวัดตัวแทนที่กำหนดขึ้นแทนการวัดอุณหภูมิตรง ๆ ซึ่งผลสุดท้ายก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นน้ำหนักกระตือรือร้น แล้วจึงนำน้ำหนักกระตือรือร้นที่ได้มา แปลความหมายกลับไปเป็นอุณหภูมิอีกครั้งหนึ่ง ในการวัดปริมาณอื่น ๆ นอกเหนือจากอุณหภูมิ ก็ทำในทำนองเดียวกันนี้ ดังภาพประกอบ 19 ดังนั้นชุดเครื่องมือวัดซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่อเชื่อมและไมโครคอมพิวเตอร์ ก็จะสามารถวัดสิ่งที่แตกต่างกันได้ด้วยการวัดที่มาตรฐานอันเดียวกันซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่สัญญาณทางเข้าลดรูปจากการวัดหลาย ๆ สิ่งไปเป็นการวัดสิ่งเดียวกันคือวัดสิ่งที่กำหนดขึ้นแทนและสัญญาณทางออกก็จะมีเพียงหนึ่งเดียวคือน้ำหนักกระตือรือร้นเป็นดังสมการตัวแปรเดียวต่อตัวแปร การที่สัญญาณทางเข้าที่มาจากสิ่งที่แตกต่างกันถูกแปลงไปเป็นสิ่งที่ เป็นสิ่งเดียวกัน ผลที่ได้ตามมาก็คือ

1. ทำให้อุปกรณ์ต่อเชื่อมกลายเป็นเครื่องมือวัดอเนกประสงค์ได้



ภาพประกอบ 19 แสดงรูปแบบของการวัดโดยกำหนดปริมาณหนึ่งขึ้นเป็นมาตรฐานเพื่อนำไปวัดแทนการวัดตรง ๆ

เพราะข้อมูลที่จะส่งไปให้อุปกรณ์ต่อเชื่อมจากการวัดสิ่งที่แตกต่างกัน จะถูกแปลงไปเป็นสิ่งที่กำหนดขึ้นแทนเหมือน ๆ กัน ทำให้การวัดเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน

2. การออกแบบอุปกรณ์ต่อเชื่อมจะเป็นการออกแบบเพียงครั้งเดียว เพราะอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่ออกแบบขึ้นสามารถนำไปวัดสิ่งที่แตกต่างกันได้หลายสิ่ง

3. ง่ายต่อการออกแบบ เพราะสัญญาณที่จะถูกส่งไปที่สัญญาณทางเข้าของอุปกรณ์ต่อเชื่อมจากการวัดสิ่งที่แตกต่างกันจะอยู่ในรูปแบบเดียวกัน และผลสุดท้ายที่ได้ก็เป็นน้ำหนักจิตจิตเหมือนกัน ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของสมการตัวแปรเดียวต่อตัวแปรเดียว ทำให้การวางแผนการวัดในการออกแบบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ในการปฏิบัติทางอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะต้องเกี่ยวข้องกับปริมาณพื้นฐานที่สำคัญอยู่ 3 ปริมาณ คือ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และ ความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งปริมาณพื้นฐานทั้ง 3 มีความสัมพันธ์กันตามกฎหมายของโอห์ม คือ

$$V = I R$$

เมื่อ V หมายถึง แรงดันไฟฟ้า

I หมายถึง กระแสไฟฟ้า และ

R หมายถึง ความต้านทานไฟฟ้า

เพื่อความเหมาะสมจึงควรที่จะใช้ปริมาณพื้นฐานนี้เป็นตัวแทนของสิ่งที่ต้องการจะทำการวัด ในการวัดจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมียุกรณ์ชนิดหนึ่ง ที่เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างสิ่งที่ต้องการวัดกับปริมาณพื้นฐานที่ถูกกำหนดขึ้น เพื่อนำไปวัดแทน อุปกรณ์ชนิดนี้มีชื่อเรียกรวม ๆ ว่า ตัวเซ็นเซอร์ ยกตัวอย่างการทำงาน of ตัวเซ็นเซอร์ เช่น ในการวัดระดับอุณหภูมินั้น ไดโอดจะมีแรงดันตกคร่อมที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ไดโอดจึงสามารถเป็นตัวเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิได้ อีกตัวอย่างหนึ่งเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) มีความต้านทานเปลี่ยนแปลงขึ้นกับความเข้มของแสง ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงสามารถเป็นตัวเซ็นเซอร์ของการวัดความเข้มแสงได้ การเลือกตัวเซ็นเซอร์ต้องขึ้นอยู่กับสิ่งที่ต้องการจะวัด ในการวัดหนึ่ง ๆ ตัวเซ็นเซอร์อาจมีหลายชนิดก็ได้ เช่น การ

วัตถุหมกมุ่นนอกจากไดโอดจะสามารถเป็นตัวเซ็นเซอร์ได้แล้ว เทอร์มิสเตอร์ก็สามารถนำไปใช้เป็นตัวเซ็นเซอร์ได้ด้วย การเลือกใช้ตัวเซ็นเซอร์จึงต้องขึ้นกับตัวแปรหลาย ๆ ประการ เช่น ราคา, พิสัยในการวัด, ความคงทน, ความสะดวกในการใช้ และความสะดวกในการจัดหา เป็นต้น

พิจารณาจากการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักดิจิทัลกับระดับแรงดันไฟฟ้าในท้ายบทที่ 2 จะเห็นได้ว่า มีการเปรียบเทียบน้ำหนักดิจิทัลกับระดับแรงดันไฟฟ้าแบบบัญญัติไตรยางค์ เนื่องจากในทางทฤษฎีจะถือว่าแรงดันไฟฟ้ากับน้ำหนักดิจิทัลมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น (Linear) ความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$N \text{ น้ำหนักดิจิทัล} = (V_{max} - V_{min}) * N / 255 \quad \text{โวลต์}$$

เมื่อ N หมายถึง น้ำหนักดิจิทัล

V_{max} หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่ระดับสูงสุด

V_{min} หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่ระดับต่ำสุด

ที่ $V_{max} = 10$ โวลต์ และ $V_{min} = 0$ โวลต์ จะได้ที่ $N = 1$ เป็น

$$1 \text{ น้ำหนักดิจิทัล} = (10 - 0) * 1 / 255$$

$$= 0.3921569 \quad \text{โวลต์}$$

ที่ $V_{max} = 1$ โวลต์ และ $V_{min} = 0$ โวลต์ จะได้ที่ $N = 1$ เป็น

$$1 \text{ น้ำหนักดิจิทัล} = (1 - 0) * 1 / 255$$

$$= 0.03921569 \quad \text{โวลต์}$$

จะเห็นได้ว่า เมื่อพิสัยของการวัดเปลี่ยนแปลงไปความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้า และน้ำหนักดิจิทัลก็จะเปลี่ยนแปลงไป

ตัวเซ็นเซอร์แต่ละชนิดเมื่อต่อครบวงจรไฟฟ้าจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป เมื่อนำผลที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับการคำนวณดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้นจะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักดิจิทัลกับแรงดันไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงตามชนิดของตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งจะมีผลทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงแก้ไขทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ตลอดเวลาที่เปลี่ยนตัวเซ็นเซอร์ เพราะจะต้องปรับให้น้ำหนักดิจิทัลและแรงดันไฟฟ้าจากตัวเซ็นเซอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสมตลอดตาม V_{max} และ V_{min} ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำการวัดอุณหภูมิใช้ไดโอดเป็นตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าไว้ในพิสัยหนึ่ง แต่เมื่อเปลี่ยนไปวัดความเข้มแสงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวเซ็นเซอร์ เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้อีกพิสัยหนึ่ง เป็นดังนี้เรื่อยไป จึงมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดพิสัยของการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ต่อเชื่อมให้อยู่ในช่วงหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้โดยนำตัวเซ็นเซอร์ไปต่อเข้ากับวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า แล้วปรับอัตราขยายของแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในพิสัยที่ต้องการ ตัวเซ็นเซอร์ที่ต่อเข้ากับวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าต่อจากนี้ไปจะเรียกรวมกันเป็นชุดหัววัด มีลักษณะดังภาพประกอบ 20 การสร้างชุดหัววัดจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป



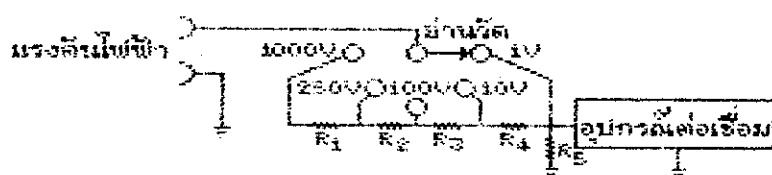
ภาพประกอบ 20 แผนภาพของหัววัด

เนื่องจากหัวข้อขอบเขตของการวิจัยในบทที่ 1 ข้อ 6 ได้กำหนดพิสัยของารวัดแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 0 ถึง 1 โวลต์ เพื่อความเหมาะสมจะกำหนดให้พิสัยของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งให้อุปกรณ์ต่อเชื่อมเป็น 0 ถึง 1 โวลต์เช่นเดียวกัน

3.2 การสร้างชุดหัววัด

3.2.1 หัววัดแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากสิ่งที่ต้องการวัดก็เป็นแรงดันไฟฟ้าอยู่แล้ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีตัวเซ็นเซอร์ และพิสัยในการวัดแรงดันไฟฟ้าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ที่สัญญาณทางเข้า ดังนั้นหัววัดแรงดันไฟฟ้าจึงไม่จำเป็นต้องสร้างขึ้น เพราะสามารถทำการวัดตรง ๆ ได้ แต่ในกรณีที่จะวัดแรงดันไฟฟ้าที่สเกลแตกต่างกันไปจาก 1 โวลต์ ก็ทำได้โดยต่อวงจรดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้า

สำหรับตัวต้านทาน R_1 ถึง R_5 ในแต่ละตัวสามารถทราบค่าความต้านทานได้โดยใช้กฎของโอห์ม สมมติให้ความต้านทาน R_5 เท่ากับ 1 กิโลโอห์ม และแรงดันไฟฟ้าที่สัญญาณทางเข้าของอุปกรณ์ต่อเชื่อมเท่ากับ 0 ถึง 1 โวลต์ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่านตัวต้านทานที่ R_5 ในวงจรเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{กระแสไฟฟ้าสูงสุด} &= (1 \text{ โวลต์}) * (1 \text{ กิโลโอห์ม}) \\ &= 10 \text{ มิลลิแอมป์} \end{aligned}$$

ต่อมาถ้าเลื่อนสวิตช์ไปที่ย่านการวัด 10 โวลต์ จุด A ในวงจรจะเป็นจุดแบ่งแรงดันไฟฟ้า สมมติว่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ทำการวัดอยู่เป็น 10 โวลต์พอ

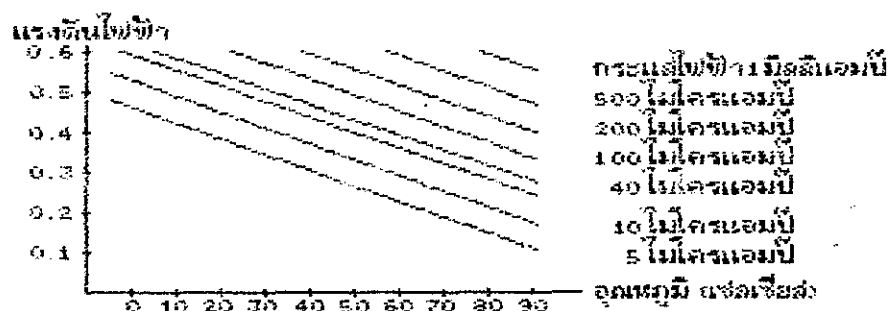
ดี แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์จะถูกแบ่งไปผ่านตัวต้านทาน R_1 ลงกราวด์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าจะเหลือ 9 โวลต์ ซึ่งสามารถคำนวณ R_1 ได้เป็น

$$R_1 = (9 \text{ โวลต์}) / (10 \text{ มิลลิแอมป์}) \\ = 9 \text{ กิโลโห์ม}$$

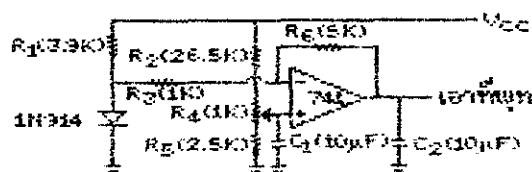
ในทำนองเดียวกันก็สามารถคำนวณ R_1 , R_2 และ R_3 ได้เป็น 750 กิโลโห์ม, 150 กิโลโห์ม และ 90 กิโลโห์มตามลำดับ

3.2.2 หัววัดอุณหภูมิ

ในที่นี้ใช้ไดโอด 1N914 เป็นตัวเซ็นเซอร์ โดย 1N914 มีกราฟระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าเป็นดังภาพประกอบ 22 โดยแรงดันตกคร่อมไดโอดลดลง 2 มิลลิโวลต์ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส หัววัดอุณหภูมิถือเป็นวงจรดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงคุณสมบัติทางเทอร์โมเมตริกของไดโอด 1N914



ภาพประกอบ 23 วงจรสำหรับวัดอุณหภูมิ

R_1 มีค่าความต้านทาน 3.9 กิโลโห์ม เป็นตัวนำกระแสไบอัสตัว

ไดโอด ถ้ากำหนดให้ V_{cc} เป็นแรงดันไฟเลี้ยง V_j เป็นแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อของสาร P และสาร N ในตัวไดโอด แล้วกระแสไฟฟ้าที่ผ่านไดโอดมีค่าเป็น

$$\begin{aligned}\text{กระแสไหลผ่านไดโอด} &= (V_{cc} - V_j) / R_1 \\ &= (6 - .6) / 3.9 \\ &= 1.38 \quad \text{มิลลิแอมป์}\end{aligned}$$

ในภาคขยายแรงดันไฟฟ้าต้องมีการปรับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าที่สัญญาณทางออกให้เป็น 0 เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่รอยต่อของสาร P และสาร N ในตัวไดโอดมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ ดังนั้นถ้ามีการปรับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดไว้ที่ 0.6 โวลต์เท่ากับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่รอยต่อของสาร P และสาร N ในตัวไดโอด ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่สัญญาณทางออกเป็น 0 โวลต์ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันตกคร่อมไดโอดมีค่าลดลงจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ส่งไปที่ออปแอมป์มีค่าน้อยกว่า 0.6 โวลต์เมื่อเปรียบเทียบกับ 0.6 โวลต์แล้วก็จะมีค่าเป็นลบ แต่เมื่อผ่านวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าแล้ว ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็นลบก็จะถูกอินเวอร์ทกลับมาเป็นค่าบวก ซึ่งจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่สัญญาณทางออกมีค่าเริ่มตั้งแต่ 0 โวลต์ที่ 0 องศาเซลเซียส และมีแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ตัวปรับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ 1 กิโลโห์มซึ่งเป็น R_4 ในวงจร โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบ (Reference voltage) เป็น 0.5 ถึง 0.7 โวลต์ ซึ่งครอบคลุม 0.6 โวลต์ไว้ เพราะแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่รอยต่อของสาร P และสาร N ในตัวไดโอดมีค่าเป็น 0.6 โวลต์โดยประมาณเท่านั้นไม่ได้เป็นค่าที่แท้จริง

แรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบ 0.5 ถึง 0.7 โวลต์ ทำได้โดยต่อตัวต้านทาน R_5 , R_4 และ R_6 แบบอนุกรมกัน โดยมีค่าของ R_5 และ R_6 เป็นไปตามการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{กระแสไหลผ่าน } R_4 &= (0.7 \text{ โวลต์} - 0.5 \text{ โวลต์}) / (1 \text{ กิโลโห์ม}) \\ &= 0.2 \quad \text{มิลลิแอมป์}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น } R_5 &= (6 \text{ โวลต์} - 0.7 \text{ โวลต์}) / (0.2 \text{ มิลลิแอมป์}) \\ &= 26.5 \quad \text{กิโลโห์ม}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{และ } R_6 &= (0.5 \text{ โวลต์} - 0 \text{ โวลต์}) / (0.2 \text{ มิลลิแอมป์}) \\ &= 2.5 \quad \text{กิโลโห์ม}\end{aligned}$$

R_6 เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 กิโลโห์ม เมื่อต่อแบบวงจรขยายไฟตรงแบบกลับ สามารถคำนวณอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าได้เป็น

$$\begin{aligned}\text{อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าสูงสุด} &= R_5(\text{Max}) / R_6 \\ &= (5 \text{ กิโลโห์ม}) / (1 \text{ กิโลโห์ม}) \\ &= 5 \quad \text{เท่า}\end{aligned}$$

$$\text{อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด} = R_5(\text{Min}) / R_6$$

$$= (0 \text{ กิโลโห์ม}) / (1 \text{ กิโลโห์ม})$$

$$= 0 \quad \text{เท่า}$$

ดังนั้นอัตราขยายของออฟแอมป์เป็น 0 ถึง 5 เท่า R_u ทำหน้าที่เป็นตัวปรับแรงดันสูงสุด ตามจุดมุ่งหมายต้องการให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่สัญญาณทางออกเป็น 1 โวลต์

C_1 ในวงจรมีหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ขาอินอินเวอร์ส (Non-inverse) ให้คงที่ตลอดเวลา และ C_2 ใช้สำหรับกำจัดสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้น

แรงดันไฟฟ้าสูงสุด และแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด ปรับค่าตามพิสัยของอุณหภูมิที่ต้องการวัด เช่น ต้องการวัดอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 100 เซลเซียส ก็จะปรับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเป็น 0 โวลต์ที่ 0 องศาเซลเซียส และปรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเป็น 1 โวลต์ที่ 100 องศาเซลเซียส

3.2.3 หัววัดบางประเภทที่มีความสำคัญ

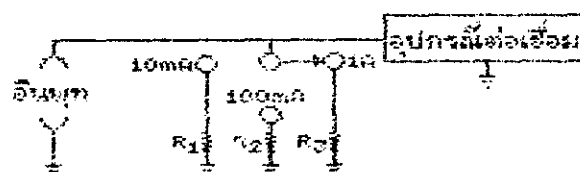
เนื่องจากปริมาณบางประเภทก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าหัววัดทั้ง 2 ชนิดที่ได้กล่าวไปแล้ว ดังนั้นจึงจะกล่าวถึงหัววัดที่นอกเหนือไปจากที่ได้กล่าวไปแล้วพอสังเขป

ปริมาณทางไฟฟ้านอกจากแรงดันไฟฟ้าแล้ว ยังมีอีก 2 ประเภทที่มีความสำคัญ คือ กระแสไฟฟ้า และ ความต้านทานไฟฟ้า

วงจรวัดกระแสไฟฟ้าประกอบด้วยภาพประกอบ 24 สามารถคำนวณค่าของ R_1 , R_2 และ R_3 ได้โดยใช้กฎของโอห์ม สมมติว่าสวิตช์ตั้งที่ย่านการวัด 10 มิลลิแอมป์ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าต้องอยู่ในพิสัย 0 ถึง 1 โวลต์ ดังนั้นค่าของ R_1 ที่กระแสไฟฟ้ามีค่าสูงสุด 10 มิลลิแอมป์ เป็น

$$R_1 = (1 \text{ โวลต์}) / (10 \text{ มิลลิแอมป์})$$

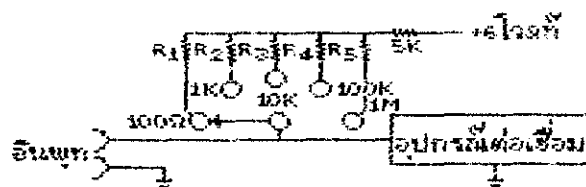
$$= 100 \quad \text{โอห์ม}$$



ภาพประกอบ 24 วงจรวัดกระแสไฟฟ้า

ในทำนองเดียวกัน สามารถคำนวณ R_2 และ R_3 ได้เป็น 10 โอห์ม และ 1 โอห์ม ตามลำดับ

ในการพิจารณาการวัดความต้านทาน จำเป็นที่จะต้องมีแหล่งจ่ายกำลังภายนอกต่อเข้าไปในวงจรวัดอีกชุดหนึ่ง โดยต่ออนุกรมกับอุปกรณ์ต่อเชื่อมและผ่านความต้านทานที่จะวัดให้ครบวงจร ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 วงจรวัดความต้านทานไฟฟ้า

หาค่าของ R_1 ถึง R_5 ได้โดยใช้กฎของโอห์มเช่นกัน สมมติว่าสวิตช์ตั้งที่ย่านการวัด 100 โอห์ม ดังนั้นมีการแสไหลในวงจรเป็น

$$\begin{aligned}\text{กระแสไฟฟ้า} &= (1 \text{ โวลต์}) / (100 \text{ โอห์ม}) \\ &= 0.01 \text{ แอมป์}\end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน R_1 มีค่าเป็น 5 โวลต์ ดังนั้น R_1 มีค่าเป็น

$$\begin{aligned}R_1 &= (5 \text{ โวลต์}) / (0.01 \text{ แอมป์}) \\ &= 500 \text{ โอห์ม}\end{aligned}$$

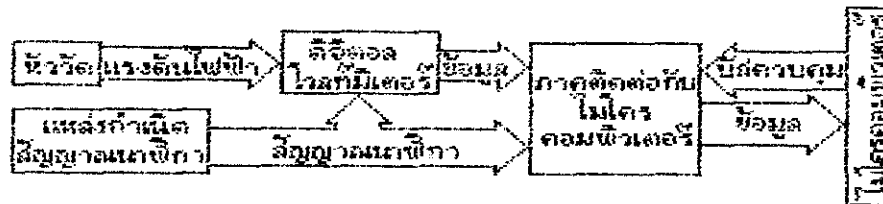
ในทำนองเดียวกัน สามารถคำนวณตัวต้านทาน R_2 , R_3 , R_4 และ R_5 ได้เป็น 5 กิโลโอห์ม, 50 กิโลโอห์ม, 500 กิโลโอห์ม และ 5 เมกกะโอห์ม ตามลำดับ

3.3 การออกแบบสร้างอุปกรณ์ต่อเชื่อม

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะที่เป็นอนาล็อก (Analog) และน้ำหนักระบบดิจิตอล มีลักษณะที่เป็นดิจิตอล (Digital) ดังนั้นอุปกรณ์ต่อเชื่อมจึงเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to digital convertor)

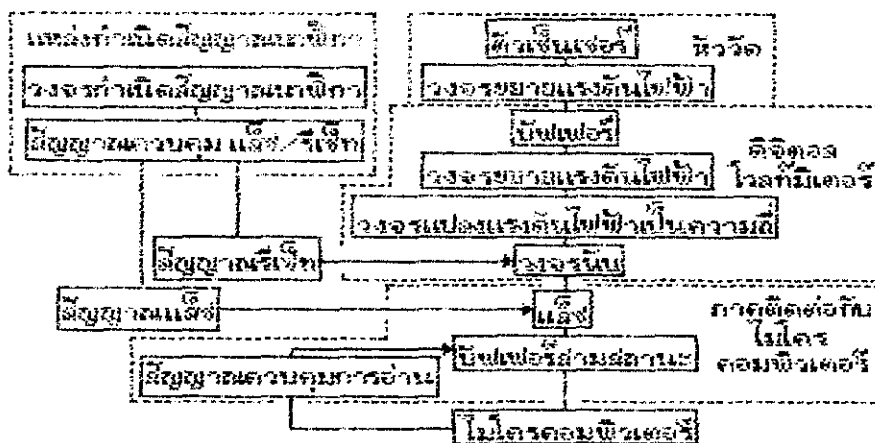
เนื่องจากอุปกรณ์ต่อเชื่อมมีสัญญาณทางเข้าเป็นแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นอุปกรณ์ต่อเชื่อมจึงมีลักษณะที่แคบลงไปอีก เป็นดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ที่นำมา

ประกอบเข้ากับภาคติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ (I/O port) ทั้งสองส่วนนี้ ถูกควบคุมด้วยสัญญาณนาฬิกาจากภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 แผนภาพของอุปกรณ์ต่อเชื่อม

ภาคดิจิทัลไวลท์มิเตอร์ประกอบด้วย บัฟเฟอร์, ภาคขยายแรงดันไฟฟ้า, ภาคเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่ และ วงจรนับ ภาคติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย แลช, บัฟเฟอร์สามสถานะ และบัลลูนการอ่าน/เขียนข้อมูล (R/W data bus) ส่วนภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกาประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา และ วงจรสร้างสัญญาณควบคุมแลชและรีเซ็ต (Latch/Reset trigger pulse generator) ดังภาพประกอบ 27



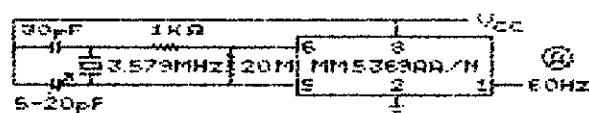
ภาพประกอบ 27 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของแผนภาพของอุปกรณ์ต่อเชื่อม

3.3.1 อธิบายการทำงานของอุปกรณ์ต่อเชื่อมตามแผนภาพ

แรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 1 โวลต์ที่ส่งมาที่สัญญาณทางเข้าจะผ่านไปยังบัฟเฟอร์แล้วถูกอินเวอร์ส (Inverse) เป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าลบ เมื่อผ่านไปที่ยังวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าจะถูกอินเวอร์สอีกครั้งหนึ่งกลายเป็นค่าบวกและถูกขยายขึ้นไปประมาณ 0 ถึง 5 เท่า จากนั้นจึงถูกเปลี่ยนไปเป็นความถี่โดยวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่ ความถี่ที่ได้จะถูกนับโดยวงจรมานับ แล้วส่งข้อมูลที่นับได้ไปยังแล็ชในรูปของข้อมูล 8 บิต ข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สามสถานะโดยสัญญาณที่ได้จากภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ในเวลาที่ใกล้เคียงกันนี้วงจรนับจะถูกรีเซ็ตให้เป็น 0 เพื่อนับความถี่ชุดต่อไป เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะรับข้อมูล ก็จะส่งสัญญาณควบคุมการอ่านไปยังบัฟเฟอร์สามสถานะ เพื่อให้ปลดปล่อยข้อมูลไปยังเส้นข้อมูลของไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับลายละเอียดและวงจรของแต่ละภาคจะกล่าวในหัวข้อต่อไป และในตอนท้ายสุดจะกล่าวถึงภาคจ่ายกำลังของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจร

3.3.2 ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

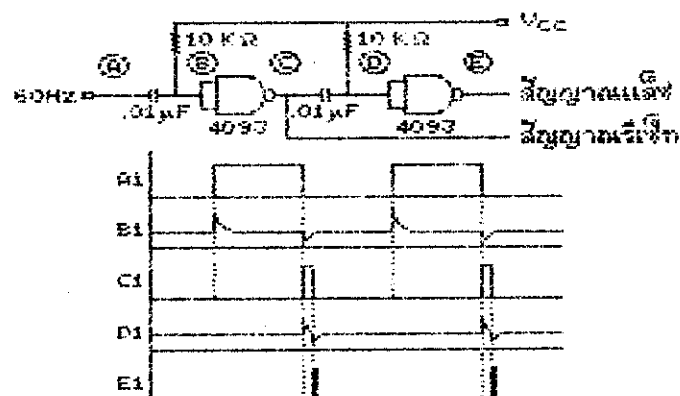
ภาคนี้มีสองส่วนคือ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา และวงจรสร้างสัญญาณควบคุมแล็ช/รีเซ็ต แหล่งกำเนิดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาใช้คริสตัล (X-Tal) ความถี่ 3.579 เมกกะเฮิรตซ์ (Mega-hertz = MHz) ความถี่ที่ได้จะถูกหารด้วยค่า 59650 โดยไอซี MM5369AA/N ให้มีความถี่เหลือ 60 เฮิรตซ์ โดยมีตัวเก็บประจุปรับค่าได้ (Trimmer condenser) 5-20 พิโกฟารัด (Pico farad = pF) เป็นตัวปรับความถี่ที่สัญญาณทางออกดังวงจรในภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ความถี่ 60 เฮิรตซ์ที่ได้จะถูกป้อนให้แก่ภาคกำเนิดสัญญาณแล็ชและรีเซ็ตที่จุด A ในวงจรในภาพประกอบ 29 โดยมีสัญญาณนาฬิกาตามกราฟ A1 เมื่อสัญญาณที่ได้ผ่านไปที่ตัวเก็บประจุ .01 ไมโครฟารัด ซึ่งมีคุณสมบัติในการ

เก็บประจุและคายประจุ (Charge and discharge) ทำให้สัญญาณที่ผ่านไป ถึงจุด B ในวงจรเป็นดังกราฟ B1 ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์มที่อยู่ระหว่างจุด A และ B ในวงจรเมื่อต่อเข้ากับไฟเลี้ยง V_{cc} จะทำให้สัญญาณทางเข้าของ เกทแนเป็นโลจิก 1 ตลอดเวลา ดังนั้นสัญญาณทางออกของเกทแนจึงเป็น โลจิก 0 ตลอดเวลา เมื่อสัญญาณที่เป็นค่าลบที่เกิดจากการคายประจุอย่างรวดเร็ว ในกราฟ B1 ผ่านไปยังเกทแนก็จะทำให้สัญญาณที่สัญญาณทางเข้าของเกท แนกลายเป็นโลจิก 0 ในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งจะส่งผลทำให้สัญญาณที่สัญญาณ ทางออกของเกทแนที่จุด C ในวงจรเป็นโลจิก 1 ในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่นกัน กราฟที่จุด C ในวงจรเป็นดังกราฟ C1 สัญญาณที่ได้นี้จะถูกส่งออกไปยังแล็ชใน ภาควัดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ควบคุมการแล็ชข้อมูลในภาคนั้น และ สัญญาณที่จุด C ในวงจรยังถูกส่งไปให้แก่ตัวเก็บประจุ .01 ไมโครฟารัดอีกตัว หนึ่งซึ่งอยู่ระหว่างจุด C และ D ในวงจร ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณดังกราฟ D1 และ E1 เช่นเดียวกันกับที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้นโดยสัญญาณที่จุด E ในวงจร จะมีการเกิดเหมือนจุด C ในวงจร และสัญญาณที่จุด D ก็จะมีการเกิดเหมือนที่ จุด B เช่นกัน สัญญาณที่ได้ที่จุด E จะถูกส่งไปยังวงจรนับในภาคดิจิตอลไวลท์ มิเตอร์เพื่อรีเซ็ตการนับให้เป็น 0



ภาพประกอบ 29 วงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมแล็ชและรีเซ็ต

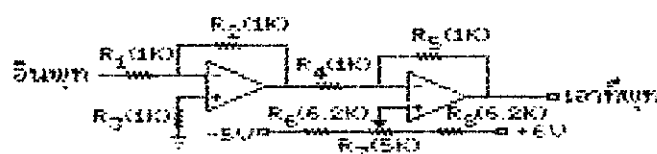
สรุปได้ว่าสัญญาณที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 1 สัญญาณเมื่อ ผ่านวงจรสร้างสัญญาณแล็ชและรีเซ็ตแล้วก็จะได้สัญญาณแล็ชและสัญญาณรีเซ็ต 1 ชุด เนื่องจากสัญญาณนาฬิกาที่ได้จากวงจรสร้างความถี่สัญญาณนาฬิกา มีความถี่ คงที่ 60 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นผลทำให้สัญญาณแล็ชและสัญญาณรีเซ็ตมีความถี่คงที่ด้วย ระหว่างสัญญาณแล็ช (รีเซ็ต) และสัญญาณแล็ช (รีเซ็ต) ลูกต่อไปจะเป็นช่วง

เวลาที่วงจรนับทำการนับความถี่ แล้วสัญญาณแล็ชก็จะกระตุ้นให้วงจรแล็ชทำการแล็ชความถี่ที่นับได้ไปให้ไมโครคอมพิวเตอร์ ก่อนที่วงจรนับจะถูกสัญญาณรีเซ็ตลบความถี่ที่นับได้ให้เป็น 0 เพื่อนับความถี่ชุดใหม่ต่อไปอีก

3.3.3 ภาคดิจิทัลโวลท์มิเตอร์

3.3.3.1 บัฟเฟอร์ และวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า

ภาคนี้ใช้ไอซี 1458 ซึ่งประกอบไปด้วยออฟแอมป์ 2 ตัว ต่อเป็นวงจรดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 บัฟเฟอร์และวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า

ออฟแอมป์ชุด A ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ดังนั้นอัตราขยายของออฟแอมป์ชุดนี้จึงเป็น 1 เท่า ดังนั้น R_1 และ R_2 จึงต้องมีค่าเท่ากัน ข้อดีของบัฟเฟอร์ก็คือสามารถกำหนดอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางเข้าได้โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ค่าอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางเข้าจะเท่ากับค่าความต้านทาน R_1 ถ้าสัญญาณที่ได้จากการวัดมีกระแสไหลต่ำก็จะกำหนดให้อิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางเข้ามีค่าสูงขึ้น ในที่นี้จะกำหนดอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางเข้าเป็น 1 กิโลโห์ม และเนื่องจากออฟแอมป์ชุด A ประกอบตามวงจรขยายแรงดันไฟฟ้าแบบกลับ ดังนั้นอัตราขยายของออฟแอมป์ชุดนี้เป็น

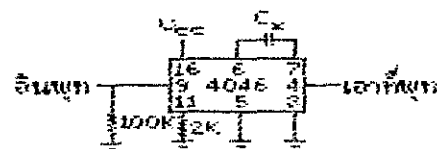
อัตราขยาย = $-(R_2 / R_1) = -(1000/1000) = -1$ เท่า
ดังนั้นสัญญาณที่ได้ที่สัญญาณทางออกจึงเป็นค่าอินเวอร์สตามสมการบน

ออฟแอมป์ชุด B ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า เนื่องจาก R_3 มีค่าความต้านทานเป็น 1 กิโลโห์ม และ R_4 เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 5 กิโลโห์ม เมื่อนำ R_3 และ R_4 ไปเข้าดังสมการข้างบนก็จะได้อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าเป็นอินเวอร์สอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 เท่า ตัวต้านทาน R_5 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับอัตราขยายสูงสุด (Full scale adjust)

คัปให้กระแสเดินในทิศทางเดียว ดังนั้นที่ขาบวกของสัญญาณทางเข้าของออฟแอมป์จึงไม่สามารถต่อลงกราวด์ (Ground) ตรง ๆ ได้ เพราะแรงดันตกคร่อมที่รอยต่อของจังก์ชัน (Junction) ของไดโอดมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส R_7 ในวงจรจึงต้องทำหน้าที่เป็นตัวปรับอัตราขยายต่ำสุด (Zero adjust) เพื่อปรับให้แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดมีค่ามากกว่า 0.6 โวลต์เป็นต้นไป R_7 เมื่อต่อเข้ากับ R_8 และ R_9 สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบ (Reference voltage) ให้แก่ออฟแอมป์ชุด B ได้ตั้งแต่ -1.1 ถึง +2.1 โวลต์

3.3.3.2 วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่

ภาคนี้ใช้ไอซี 4046 ซึ่งได้กล่าวถึงไปบ้างแล้วในบทที่ 2 ตัวกำหนดช่วงความถี่ของ 4046 คือ C_x และ ความต้านทาน 2 กิโลโอห์ม ไอซี 4046 เป็นไอซีประเภทซีมอส (C-mos) ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางเข้าสูงมาก ประมาณ 100 เมกกะโอห์ม ทำให้ไวต่อสัญญาณรบกวนมาก และที่สัญญาณทางเข้าของ 4046 มีค่าความจุไฟฟ้ากับกราวด์ประมาณ 5 พิโกฟารัด ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่สัญญาณทางเข้ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าปรกติ จึงต้องเพิ่มตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์มเข้าไปในวงจรเพื่อทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของสัญญาณทางเข้าให้มีค่าลดลง และทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงที่สัญญาณทางเข้าของ 4046 ไวขึ้น วงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่ต่อไปเป็นวงจรดังภาพประกอบ 31

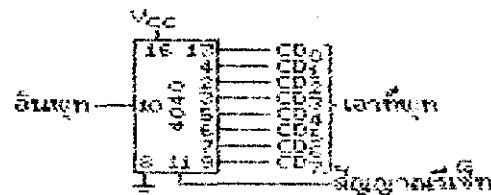


ภาพประกอบ 31 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่

3.3.3.3 วงจรนับความถี่

วงจรมับความถี่ใช้ไอซี 4040 ต่อเป็นวงจรดังภาพประกอบ 3.14 ไอซี 4040 เป็นวงจรมับ 12 บิต แต่เนื่องจากไมโครคอมพิวเตอร์สามารถรับข้อมูลได้เพียง 8 บิต ดังนั้นขาสัญญาณทางออกของ 4040 จะถูกใช้เพียง 8 ขา

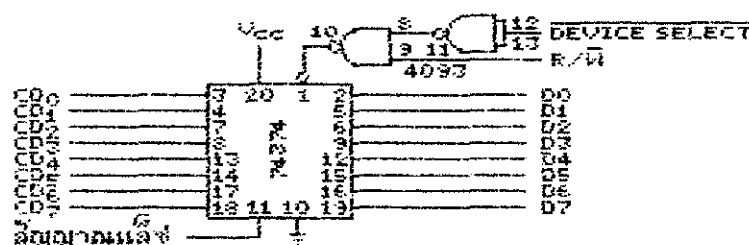
เท่านั้น จาก Q0 ถึง Q7 และข้อมูลที่นับได้จะถูกเซตให้เป็น 0 ถ้าที่ขา Reset มีสถานะลอจิกเป็น 1



ภาพประกอบ 32 วงจรมับ

3.3.4 ภาควัดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์

ประกอบเป็นวงจрдังภาพประกอบ 33 ไอซี 74374 เป็นไอซีที่รวมแล็ชและบัฟเฟอร์สามสถานะขนาด 8 บิตไว้ด้วยกัน โดยมีขา 11 ทำหน้าที่ควบคุมการแล็ช ซึ่งจะแล็ชข้อมูลเมื่อขา 11 มีสถานะลอจิกเป็น 1 ส่วนบัฟเฟอร์สามสถานะจะถูกควบคุมที่ขา 1 โดยจะเปิดบัฟเฟอร์เมื่อขา 1 เป็นลอจิก 0



ภาพประกอบ 33 ภาควัดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์

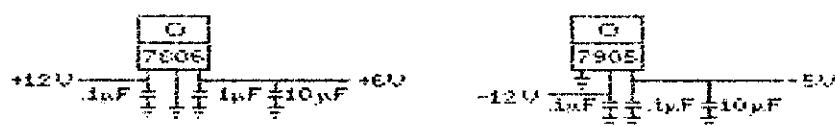
ขา 12 และขา 13 ของ 4093 ต่อเข้าด้วยกันทำให้กลายหน้าที่จากเกตแนนไปเป็นเกตอินเวอร์เตอร์ เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ทำการอ่านข้อมูลเส้นสัญญาณ DEVICE SELECT เป็นลอจิก 0 และ เส้นสัญญาณ R/W เป็นลอจิก 1 ซึ่งจะทำให้ขา 8 ของ 4093 เป็นลอจิก 1 และสัญญาณทางออกที่ขา 10 ของ 4093 เป็นลอจิก 0 สัญญาณลอจิก 0 ที่ขานี้จะเป็นตัวกระตุ้นให้บัฟเฟอร์สามสถานะทำงาน แต่ถ้าเส้นสัญญาณ DEVICE SELECT เป็นลอจิก 1 ขา 8

ของ 4093 จะกลายเป็นลอจิก 0 ไม่ว่าเส้นสัญญาณ R/W จะเป็นลอจิกใดก็ตาม สัญญาณทางออกที่ขา 10 ของ 4093 จะเป็นลอจิก 1 ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ บัฟเฟอร์สามสถานะไม่ทำงาน ในกรณีเช่นนี้ข้อมูลจะถูกกักไว้ไม่ให้ไปถึงไมโครคอมพิวเตอร์

3.3.5 แหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจร

บนสล็อตของแอปเปิ้ลมีเส้นสัญญาณสำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟอยู่ 5 เส้น คือ +12 โวลต์, +5 โวลต์, 0 โวลต์, -5 โวลต์ และ -12 โวลต์ แต่จากการทดลองวัดไฟเลี้ยงที่จ่ายออกมาจากสล็อต จะพบว่าที่เส้นสัญญาณสำหรับไฟเลี้ยง +5 โวลต์ จะมีแรงดันอยู่ในช่วง 4.8 ถึง 5.2 โวลต์ขึ้นอยู่กับจำนวนของอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่เสียบบนสล็อตของแอปเปิ้ล ถ้ามีอุปกรณ์ต่อเชื่อมอยู่หลายชุดไฟเลี้ยงของไมโครคอมพิวเตอร์จะถูกโหลดทำให้มีแรงดันไฟฟ้าลดลง ข้อสำคัญที่น่าพิจารณาคืออีกประการหนึ่งก็คือเส้นสัญญาณเดียวกันแต่อยู่บนไมโครคอมพิวเตอร์ต่างเครื่องกันจะมีแรงดันไฟฟ้าที่ผิดออกไปจากกันในช่วง 4.8 ถึง 5.2 โวลต์ เมื่อนำเส้นสัญญาณนี้มาเป็นแหล่งจ่ายไฟ จะไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของลอจิกเกต (Logic gate) ต่าง ๆ แต่จะมีผลกระทบต่อสัญญาณของข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นความถี่ ซึ่งเมื่อทำการปรับค่าต่าง ๆ จนเป็นที่พอใจแล้ว เมื่อนำอุปกรณ์ต่อเชื่อมไปใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น หรือใช้กับเครื่องเดิมแต่มีจำนวนอุปกรณ์ต่อเชื่อมบนแต่ละสล็อตผิดไปจากเดิมแล้ว นักนักดิจิทัลที่วัดจากระดับแรงดันเดียวกันจะมีค่าไม่เท่ากัน

ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้เร็กกูเลเตอร์ (Regulator) เป็นตัวรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ต่อเป็นวงจรดังภาพประกอบ 34



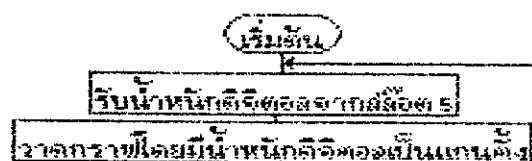
ภาพประกอบ 34 เร็กกูเลเตอร์

เร็กกูเลเตอร์ 7806 ทำหน้าที่ทอนแรงดันไฟฟ้าจาก +12 โวลต์ลงมาเป็น +6 โวลต์ และ เร็กกูเลเตอร์ 7905 ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าจาก -12

3.4 โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ต่อเชื่อม

3.4.1 โปรแกรมสังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักรีดิจิตอลเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

โปรแกรมนี้จะรับน้ำหนักรีดิจิตอลมาจากสล็อต 5 แล้วนำมาวาดกราฟ โดยเริ่มต้นที่ริมซ้ายของจอภาพ เลื่อนจุดตามแกนออกไปทางขวาของจอภาพทีละหนึ่งจุด มีน้ำหนักรีดิจิตอลเป็นแกนตั้ง เมื่อวาดกราฟไปจนสุดจอภาพก็จะล้างจอภาพ แล้วเริ่มวาดกราฟที่ริมซ้ายของจอภาพใหม่ เขียนเป็นผังงานดังภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 36 ผังงานของโปรแกรมดูน้ำหนักรีดิจิตอล

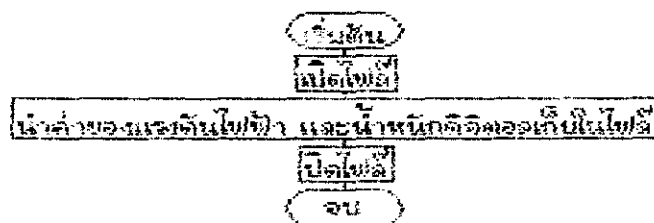
โปรแกรมต่อไปจะเรียกเป็นโปรแกรม "A/D#5" เขียนได้ดังนี้

```

10 HGR: HCOLOR=3: HOME
20 HPLLOT 0,140 TO 0,0: HPLLOT 279,140 TO 0,140
30 Y = PEEK (-16176): VTAB 22: PRINT Y
40 X = X + 1: IF X > 279 THEN X = 0: GOTO 10
50 HPLLOT TO X,140 - Y * 140 / 255: GOTO 30
  
```

3.4.2 โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลที่วัดได้

โปรแกรมนี้จะสร้างเท็กไฟล์ (TEXT FILE) ขึ้นมาเป็นที่เก็บข้อมูลที่ได้จากการวัด โดยตอนต้นของไฟล์ใช้เป็นที่เก็บข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าไว้ และเนื้อที่ต่อ ๆ ไปของไฟล์ใช้เป็นที่เก็บน้ำหนักรีดิจิตอลเป็นจำนวน 200 ข้อมูล เมื่อต้องการวัดน้ำหนักรีดิจิตอลที่ระดับแรงดันไฟฟ้าใหม่ ก็จะสร้างเท็กไฟล์ใหม่ขึ้นมา เขียนเป็นผังงานดังภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 ฟังก์ชันของโปรแกรมเก็บข้อมูลที่วัดได้

โปรแกรมนี้ต่อไปจะเรียกเป็นโปรแกรม "WRITE" เขียนได้ดังนี้

```

10 CLEAR: DIM Y(200): TEXT: D$ = CHR$(4): PRINT D$
  "CATALOG": INPUT "D":J: INPUT "V=":V: HOME
20 PRINT D$ "OPEN D"J: PRINT D$ "WRITE D"J:PRINT V
  : PRINT D$ "CLOSE D"J
30 HOME: HGR: HCOLOR = 3: HPLOT 0,0 TO 0,140:HPLOT
  255,140 TO 0,140: FOR X = 1 TO 200: Y(X) = PEEK
  (-16176): AVG=AVG+Y(X): VTAB 22:PRINT Y(X):" "
  ,AVG/X:" ":HPLOT TO X,140-Y(X)*140/255:NEXT X
40 PRINT D$ "APPEND D"J: PRINT D$ "WRITE D"J:FOR X
  =1 TO 201:PRINT Y(X):NEXT X:PRINT D$ "CLOSE D"J
  
```

3.4.3 โปรแกรมสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในไฟล์ออกมาสังเกต

โปรแกรมนี้จะนำข้อมูลในแต่ละไฟล์ออกมาแสดง ข้อมูลที่นำออกมาแสดงมี ระดับแรงดันไฟฟ้า, น้ำหนักดีจิตอล, ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักดีจิตอล และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดน้ำหนักดีจิตอลทั้ง 200 ค่า ซึ่งสองค่าหลังเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณในขณะที่โปรแกรมกำลังดำเนินการอยู่ เขียนเป็นผังงานดังภาพประกอบ 38

โปรแกรมนี้ต่อไปจะเรียกเป็นโปรแกรม "READ" เขียนได้ดังนี้

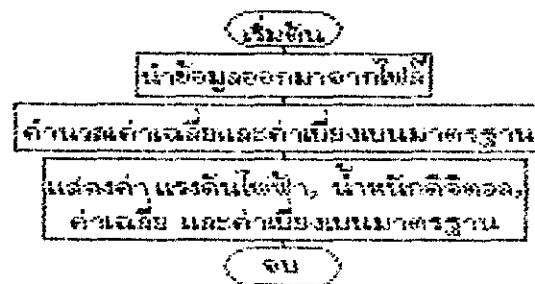
```

10 CLEAR: DIM Y(200): D$ = CHR$(4): INPUT "D":J
20 PRINT D$ "OPEN D"J: PRINT D$ "READ D"J: FOR X=0
  TO 200: INPUT Y(X): NEXT X: PRINT D$"CLOSE D"J
30 PRINT "V= ";Y(0):" volts.":FOR X=1 TO 200:GOSUB
  40:NEXT X: AVG = S1/200: PRINT "AVERAGE=":AVG:
  SD = SQR ((S2-(S1^2)/200)/199): PRINT "STANDARD
  
```

```

DEVIATION=":SD: PRINT: END
40 A$ = STR$(Y(X))
50 IF LEN(A$) = 1 THEN A$ = " " + A$: GOTO 70
60 IF LEN(A$) = 2 THEN A$ = " " + A$
70 PRINT A$;" ";: S1=S1+Y(X): S2=S2+Y(X)^2: RETURN

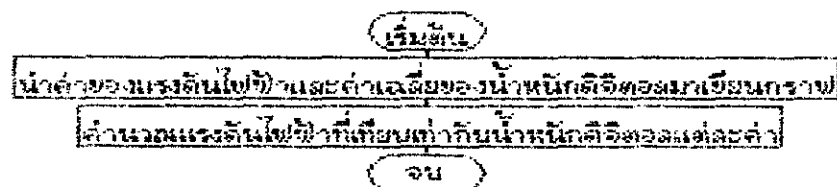
```



ภาพประกอบ 38 ผังงานของโปรแกรมแสดงข้อมูลที่วัดได้

3.4.4 โปรแกรมในการนำค่าเฉลี่ยและน้ำหนักดีจิตอลมาเขียนกราฟ

โปรแกรมนี้จะนำค่าเฉลี่ยของน้ำหนักดีจิตอลและแรงดันไฟฟ้า มาวาดเป็นกราฟ แล้วคำนวณว่าในแต่ละน้ำหนักดีจิตอลทั้ง 256 ค่าจะเท่ากับที่แรงดันไฟฟ้าเท่าใด โดยมีผังงานดังภาพประกอบ 39



ภาพประกอบ 39 ผังงานของโปรแกรมแสดงกราฟ

โปรแกรมนี้ต่อไปจะเรียกเป็นโปรแกรม "GRAPH" เขียนได้ดังนี้

```

10 PRINT CHR$(4)"BLOAD MIXED": DIM X(50),Y(50)
20 HOME: HGR: HCOLOR=3: POKE 49234,0: POKE 54,128:
   POKE 55,146 : PRINT : FOR X = 24 TO 279 STEP 5:

```

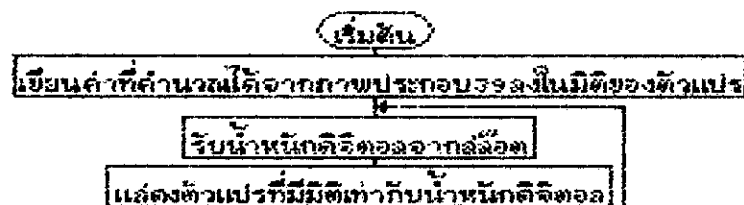
```

HPlot X,12 TO X,172: NEXT X : FOR Y = 12 TO 172
STEP 4: HPlot 24,Y TO 278,Y: NEXT Y: FOR X = 53
TO 278 STEP 35 : HPlot X,173 TO X,174 : NEXT X
30 FOR Y = 12 TO 157 STEP 16: HPlot 22,Y TO 23,Y:
NEXT Y: FOR H=3 TO 40 STEP 5: VTab 23: HTab H:
PRINT 35 * (H - 8) / 5 + 35: NEXT H
40 VTab 1: PRINT "V(volts.)": VTab 2: PRINT "1.0"
50 FOR V = 0 TO 8: VTab 4 + 2 * V: PRINT "0";0.9-V
/10: NEXT V: VTab 24: HTab 14: PRINT "W(digital
weight)": READ Y(0),X(0) : HPlot 24+INT (X(0)),
172-INT(Y(0)*160):FOR J=1 TO 50: READ Y(J),X(J)
:HPlot TO 24+INT(X(J)),172-INT(160*Y(J)):NEXT J
60 GET A$: TEXT: X = 0: FOR S=1 TO 50
70 SLOPE=(Y(S)-Y(S-1))/(X(S)-X(S-1))
80 IF X>X(S) THEN 100
90 Y=SLOPE*X+Y(S-1)-X(S-1)*SLOPE: PRINT X,Y: X=X+1:
GOTO 80
100 NEXT S
110 IF X > 255 THEN END
120 Y=SLOPE*X+Y(S-1)-X(S-1)*SLOPE: PRINT X,Y: X=X+1
130 GOTO 110
140 DATA 1E-04,3.14,.02,4.475,.04,6.325,.06,8.585,.
08,11.33,.1,14.505,.12,18.065,.14,21.945,.16,26.
14,.18,30.53,.2,35.56,.22,40.29,.24,45.29,.26,50
.33,.28,55.5,.3,60.65,.32,65.875,.34,71.32,.36,7
6.645,.38,82.055,.4,87.3,.42,92.945,.44,98.295
150 DATA .46,102.845,.48,109.27,.5,114.965,.52,120.
41,.54,125.96,.56,131.445,.58,137.08,.6,142.605,
.62,148.035,.64,153.465,.66,158.855,.68,164.445,
.7,169.925,.72,175.47,.74,180.94,.76,186.395,.78
,192.065,.8,197.58,.82,203.085,.84,208.66
160 DATA .86,214.155,.88,219.85,.9,225.36,.92,230.9
2,.94,236.53,.96,242.215,.98,247.715,1,253.2

```

3.4.5 โปรแกรมสำเร็จที่สามารถนำออกไปใช้งานได้

เมื่อทราบค่าของน้ำหนักรีดิจิตอลและแรงดันไฟฟ้า ที่คำนวณได้ในหัวข้อ 3.4.4 แล้ว ก็นำค่าที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลในแต่ละมิติของตัวแปร VOLTS ในแต่ละครั้งที่รับน้ำหนักรีดิจิตอลเข้ามา ก็จะนำค่าของตัวแปร VOLTS ที่มีมิติเท่ากับน้ำหนักรีดิจิตอลออกแสดงบนจอภาพ เขียนเป็นผังงานดังภาพประกอบ 40



ภาพประกอบ 40 ผังงานของโปรแกรมใช้งาน

โปรแกรมนี้นต่อไปจะเรียกเป็นโปรแกรม "USE" เขียนได้ดังนี้

```

1 DATA 0.0,0.0,.0129,.0256,.0364,.0459,.0548,.06
  30,.0703,.0775,.0842,.0905,.0968,.1027,.1083,.
  1140,.1196,.1248,.1299,.1351,.1402,.1450,.1497
  ,.1545,.1593,.1639,.1684,.1730,.1775
2 DATA .1818,.1858,.1898,.1937,.1977,.2018,.2060
  ,.2103,.2145,.2187,.2228,.2268,.2308,.2348,.23
  88,.2428,.2467,.2507,.2547,.2586,.2625,.2664,.
  2703,.2741,.2780,.2819,.2858,.2897,.2935,.2974
3 DATA .3013,.3051,.3089,.3128,.3166,.3204,.3241
  ,.3278,.3314,.3351,.3388,.3425,.3463,.3500,.35
  38,.3575,.3613,.3650,.3687,.3724,.3760,.3797,.
  3836,.3874,.3912,.3950,.3988,.4024,.4060,.4095
4 DATA .4131,.4166,.4202,.4239,.4276,.4314,.4351
  ,.4388,.4425,.4461,.4497,.4533,.4569,.4605,.46
  42,.4679,.4716,.4753,.4790,.4825,.4860,.4895,.
  4930,.4966,.5001,.5038,.5074,.5111,.5148,.5184
5 DATA .5221,.5257,.5293,.5329,.5365,.5401,.5437
  ,.5474,.5510,.5547,.5583,.5619,.5655,.5690,.57
  
```

```

26,.5761,.5797,.5833,.5869,.5905,.5941,.5978,.
6014,.6051,.6088,.6125,.6161,.6198,.6235,.6272
6 DATA .6309,.6346,.6382,.6419,.6456,.6494,.6531
,.6568,.6605,.6640,.6676,.6712,.6748,.6784,.68
20,.6856,.6893,.6929,.6966,.7002,.7038,.7074,.
7110,.7146,.7183,.7219,.7255,.7292,.7329,.7365
7 DATA .7402,.7438,.7475,.7512,.7548,.7585,.7621
,.7656,.7691,.7727,.7762,.7797,.7833,.7870,.79
06,.7942,.7978,.8015,.8051,.8087,.8124,.8160,.
8196,.8232,.8268,.8304,.8340,.8376,.8412,.8448
8 DATA .8485,.8521,.8557,.8594,.8629,.8664,.8699
,.8735,.8770,.8805,.8841,.8878,.8914,.8950,.89
86,.9023,.9058,.9094,.9130,.9166,.9202,.9238,.
9274,.9309,.9345,.9381,.9416,.9451,.9486,.9522
9 DATA 9557,.9592,.9628,.9664,.9701,.9737,.9774,
.9810,.9846,.9882,.9918,.9955,.9991,1,1
10 DIM VOLTS (255): FOR D = 0 TO 255: READ
V:VOLTS(D) = V: NEXT D: TEXT : HOME
20 A = PEEK( - 16176)
30 FOR T = 1 TO 200: NEXT T
40 IF VOLTS (A) = 1 THEN VTAB 22: PRINT "V=1
","digital weight=";A;" ": GOTO 20
50 VTAB (22):PRINT "V=0";VOLTS(A);" "
,"digital weight=";A;" "
60 GOTO 20

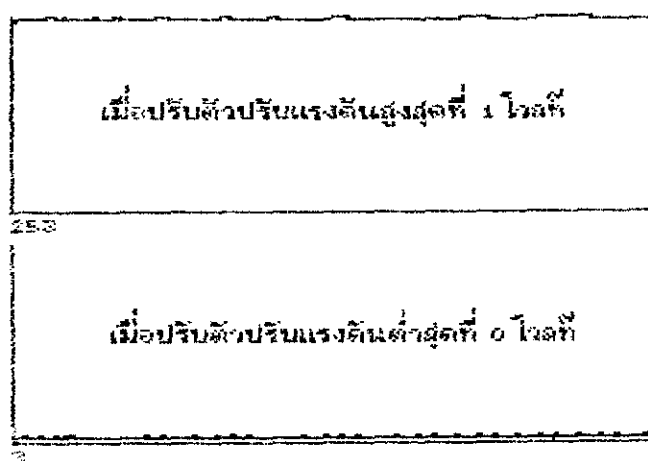
```

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

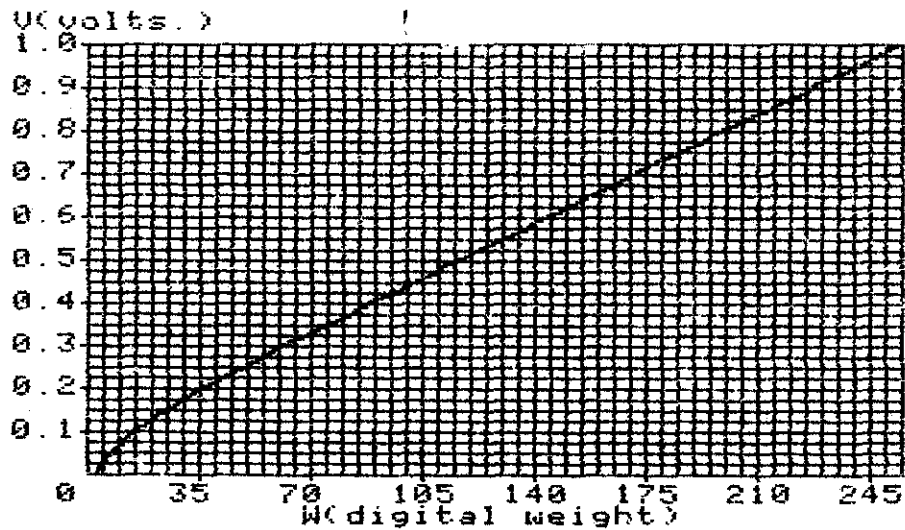
4.1 การนำโปรแกรมมาปรับอุปกรณ์ต่อเชื่อม และวัดข้อมูล

ใช้โปรแกรม A/D#5 สังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักรีดิจิตอล ปรับแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ให้เท่ากับน้ำหนักรีดิจิตอล 3 และปรับแรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ให้เท่ากับน้ำหนักรีดิจิตอล 253 ดังภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 แสดงการปรับน้ำหนักรีดิจิตอล

เก็บน้ำหนักรีดิจิตอลลงในไฟล์ด้วยโปรแกรม WRITE วัดน้ำหนักไฟล์ละ 20 มิลลิโวลต์ ดังแสดงในภาคผนวก ก แรงดันไฟฟ้าและค่าเฉลี่ยของน้ำหนักรีดิจิตอลที่ได้ จะถูกเขียนลงในโปรแกรม GRAPH ได้กราฟดังภาพประกอบ 42 แล้วโปรแกรม GRAPH จะคำนวณน้ำหนักรีดิจิตอลที่เทียบเท่ากับแรงดันไฟฟ้า ถ้ากำหนดให้ D เป็นน้ำหนักรีดิจิตอล และ V เป็นแรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ จะได้ผลดังตาราง 3



ภาพประกอบ 42 กราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับน้ำหนักดิจิทัล

ตาราง 3 น้ำหนักดิจิทัลและแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณได้จากโปรแกรม GRAPH

D	V	D	V	D	V	D	V
0	-0.0467	1	-0.0317	2	-0.0168	3	0.0019
4	0.0129	5	0.0256	6	0.0364	7	0.0459
8	0.0548	9	0.0630	10	0.0703	11	0.0775
12	0.0842	13	0.0508	14	0.0968	15	0.1027
16	0.1083	17	0.1140	18	0.1196	19	0.1248
20	0.1299	21	0.1351	22	0.1402	23	0.1450
24	0.1497	25	0.1545	26	0.1593	27	0.1639
28	0.1684	29	0.1730	30	0.1775	31	0.1818
32	0.1858	33	0.1898	34	0.1937	35	0.1977
36	0.2018	37	0.2060	38	0.2103	39	0.2145
40	0.2187	41	0.2228	42	0.2268	43	0.2308
44	0.2348	45	0.2388	46	0.2428	47	0.2467
48	0.2507	49	0.2547	50	0.2586	51	0.2625
52	0.2664	53	0.2703	54	0.2741	55	0.2780
56	0.2819	57	0.2858	58	0.2897	59	0.2935
60	0.2974	61	0.3013	62	0.0351	63	0.0389
64	0.3128	65	0.3166	66	0.3204	67	0.3241

D	V	D	V	D	V	D	V
68	0.3278	69	0.3314	70	0.3351	71	0.3388
72	0.3425	73	0.3462	74	0.3500	75	0.3538
76	0.3575	77	0.3613	78	0.3650	79	0.3687
80	0.3724	81	0.3760	82	0.3797	83	0.3836
84	0.3874	85	0.3912	86	0.3950	87	0.3988
88	0.4024	89	0.4060	90	0.4095	91	0.4131
92	0.4166	93	0.4202	94	0.4239	95	0.4276
96	0.4314	97	0.4351	98	0.4388	99	0.4425
100	0.4461	101	0.4497	102	0.4533	103	0.4569
104	0.4605	105	0.4642	106	0.4679	107	0.4716
108	0.4753	109	0.4790	110	0.4825	111	0.4860
112	0.4895	113	0.4930	114	0.4966	115	0.5001
116	0.5038	117	0.5074	118	0.5111	119	0.5148
120	0.5184	121	0.5221	122	0.5257	123	0.5293
124	0.5329	125	0.5365	126	0.5401	127	0.5437
128	0.5474	129	0.5510	130	0.5547	131	0.5583
132	0.5619	133	0.5655	134	0.5690	135	0.5726
136	0.5761	137	0.5797	138	0.5833	139	0.5869
140	0.5905	141	0.5941	142	0.5978	143	0.6014
144	0.6051	145	0.6088	146	0.6125	147	0.6161
148	0.6198	149	0.6235	150	0.6272	151	0.6309
152	0.6346	153	0.6382	154	0.6419	155	0.6456
156	0.6494	157	0.6531	158	0.6568	159	0.6605
160	0.6610	161	0.6676	162	0.6712	163	0.6718
164	0.6784	165	0.6820	166	0.6856	167	0.6893
168	0.6929	169	0.6966	170	0.7002	171	0.7038
172	0.7071	173	0.7110	174	0.7146	175	0.7183
176	0.7219	177	0.7255	178	0.7292	179	0.7329
180	0.7365	181	0.7402	182	0.7438	183	0.7475
184	0.7512	185	0.7548	186	0.7585	187	0.7621
188	0.7656	189	0.7691	190	0.7727	191	0.7762
192	0.7797	193	0.7833	194	0.7870	195	0.7906
196	0.7942	197	0.7978	198	0.8015	199	0.8051
200	0.8087	201	0.8124	202	0.8160	203	0.8196
204	0.8232	205	0.8268	206	0.8304	207	0.8340

D	V	D	V	D	V	D	V
208	0.8376	209	0.8412	210	0.8448	211	0.8485
212	0.8521	213	0.8557	214	0.8594	215	0.8629
216	0.8664	217	0.8699	218	0.8735	219	0.8770
220	0.8805	221	0.8841	222	0.8878	223	0.8914
224	0.8950	225	0.8986	226	0.9023	227	0.9058
228	0.9094	229	0.9130	230	0.9166	231	0.9202
232	0.9239	233	0.9275	234	0.9311	235	0.9347
236	0.9381	237	0.9416	238	0.9451	239	0.9486
240	0.9522	241	0.9557	242	0.9592	243	0.9628
244	0.9664	245	0.9701	246	0.9737	247	0.9774
248	0.9810	249	0.9846	250	0.9882	251	0.9918
252	0.9955	253	0.9991	254	1.0027	255	1.0063

นำค่าที่คำนวณได้ เขียนใส่ลงในส่วนข้อมูลของโปรแกรม USE เมื่อนำโปรแกรม USE มาทดลองวัดแรงดันไฟฟ้าได้ผลดังตาราง 4

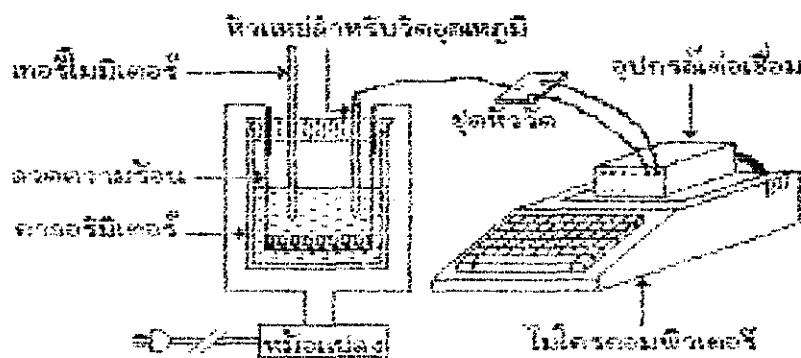
ตาราง 4 ค่าที่ได้จากการทดลองวัดแรงดันไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าที่วัด จากโวลต์มิเตอร์ (มิลลิโวลต์)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ต่อเชื่อม (มิลลิโวลต์)		คะแนน มาตรฐาน
	ค่าที่วัดได้	เฉลี่ย	
1000	1000.0, 999.1, 999.1, 999.1	999.32	-1.61
980	981.0, 977.4, 981.0, 981.0	980.10	+0.22
960	959.2, 962.8, 959.2, 959.2	960.10	+0.24
940	938.1, 941.6, 938.1, 941.6	940.72	+1.44
920	920.2, 916.6, 920.2, 920.2	919.30	-2.59
900	902.3, 898.6, 902.3, 898.6	900.45	+0.92
880	880.5, 877.0, 880.5, 880.5	879.62	-1.08
860	859.4, 859.4, 862.9, 859.4	860.27	+0.74
840	841.2, 837.6, 841.2, 841.2	839.55	-9.46
820	819.6, 819.6, 823.2, 819.6	820.50	+1.72
800	801.5, 797.8, 801.5, 797.8	799.65	-0.81

แรงดันไฟฟ้าที่วัด จากโวลต์มิเตอร์ (มิลลิโวลต์)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ต่อเชื่อม (มิลลิโวลต์)		คะแนน มาตรฐาน
	ค่าที่วัดได้	เฉลี่ย	
780	779.7, 7779.7, 779.7, 783.3	780.60	+2.49
760	758.5, 762.1, 758.5, 762.1	760.30	+0.61
740	740.2, 740.2, 740.2, 740.2	740.20	+0.86
720	721.9, 718.3, 718.3, 718.3	719.20	-1.59
700	700.2, 700.2, 700.2, 700.2	700.20	+0.76
680	678.4, 682.0, 678.4, 682.0	680.20	+0.40
660	660.5, 660.5, 660.5, 656.9	659.60	-1.14
640	641.9, 638.2, 638.2, 638.2	639.12	-1.75
620	619.8, 619.8, 619.8, 623.5	620.72	+4.00
600	597.8, 601.4, 597.8, 601.4	599.60	-0.81
580	579.7, 583.3, 579.7, 583.3	581.50	+5.55
560	558.3, 561.9, 561.9, 558.3	560.10	+0.20
540	540.1, 540.1, 540.1, 540.1	540.10	+0.52
520	518.4, 522.1, 518.4, 522.1	520.25	+0.51
500	500.1, 500.1, 500.1, 500.1	500.10	+0.55
480	482.5, 482.5, 482.5, 479.0	481.62	+3.68
460	460.5, 456.9, 460.5, 460.5	459.60	-1.11
440	438.8, 442.5, 438.8, 442.5	440.65	+1.44
420	423.9, 416.6, 423.9, 423.9	422.07	+9.40
400	402.4, 398.8, 402.4, 398.8	400.60	+1.15
380	383.6, 379.7, 379.7, 379.7	380.67	+3.04
360	361.3, 357.5, 361.3, 361.3	360.35	+0.74
340	342.5, 338.8, 342.5, 338.8	340.65	+1.41
320	320.4, 316.6, 320.4, 320.4	319.45	-1.66
300	301.3, 297.4, 301.3, 301.3	300.32	+0.68
280	281.9, 278.0, 278.0, 281.9	279.95	-0.09
260	262.5, 262.5, 258.6, 258.6	260.55	+1.17
240	238.8, 242.8, 238.8, 242.8	240.80	+1.77
220	222.8, 218.7, 222.8, 218.7	220.75	+1.66
200	197.7, 201.8, 201.8, 201.8	200.77	+1.57
180	181.8, 181.8, 177.5, 181.8	180.72	+1.43
160	159.3, 159.3, 163.9, 159.3	160.45	+1.32
140	140.2, 140.2, 140.2, 140.2	140.20	+0.90

แรงดันไฟฟ้าที่วัด จากโวลต์มิเตอร์ (มิลลิโวลต์)	แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ต่อเชื่อม (มิลลิโวลต์)		คะแนน มาตรฐาน
	ค่าที่วัดได้	เฉลี่ย	
120	119.6, 119.6, 124.8, 119.6	120.90	+3.75
100	96.8, 102.7, 96.8, 102.7	99.75	-0.50
80	77.5, 84.2, 84.2, 77.5	80.85	+1.80
60	63.0, 54.8, 63.0, 54.8	58.90	-2.24
40	45.9, 36.4, 45.9, 36.4	41.15	+2.50
20	25.6, 12.9, 25.6, 12.9	19.25	-1.50
.1	1.98, 1.98, 1.98, 1.98	1.98	+5.82
		รวม	+29.03
		เฉลี่ย	+0.77

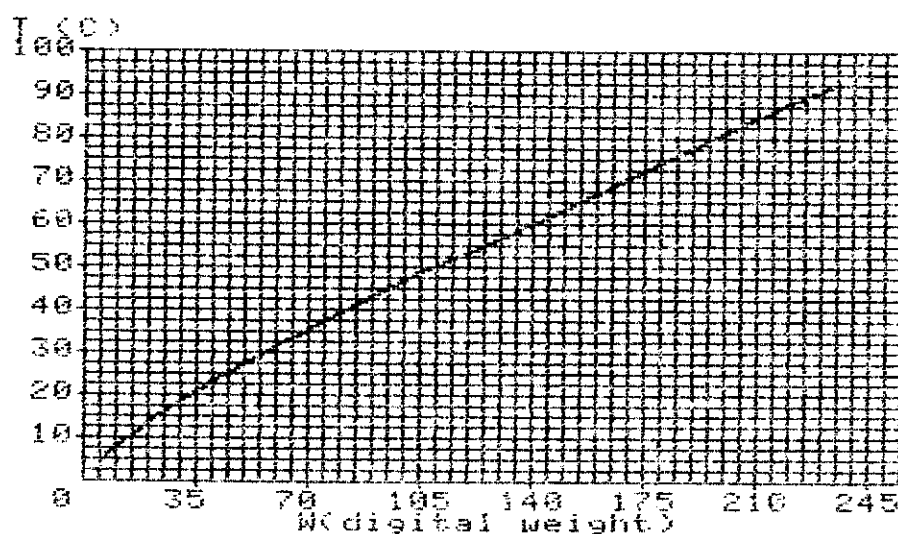
นำหัววัดอุณหภูมิต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่อเชื่อม จัดอุปกรณ์ดังภาพประกอบ 43 ทำขั้นตอนเข้ากับขั้นตอนในการปรับค่าแรงดันไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมควบคุม เช่นเดียวกัน ใส่ น้ำแข็งผสมเกลือลงในแคลอรีมิเตอร์ (Calorimeter) เพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละน้อยโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดความร้อนเป็นช่วง ๆ รอจนกระทั่งค่าที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลง จึงบันทึกข้อมูลที่ได้ด้วยโปรแกรม WRITE บันทึกอุณหภูมิทางกันไฟล์ละ 2 องศาเซลเซียส ดังภาคผนวก ข และได้กราฟดังภาพประกอบ 44



ภาพประกอบ 43 การจัดอุปกรณ์เพื่อปรับค่าอุณหภูมิ

เช่นเดียวกับขั้นตอนการวัดแรงดันไฟฟ้า โปรแกรม GRAPH ซึ่งมีข้อมูลของการวัดอุณหภูมิอยู่แล้ว ก็จะทำการคำนวณค่าของอุณหภูมิที่เทียบเท่ากับน้ำหนัก

ดิจิตอล เมื่อกำหนดให้ D เป็นน้ำหนักดิจิตอล และ T เป็นอุณหภูมิมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ได้ผลลัพธ์ดังตาราง 5



ภาพประกอบ 44 กราฟระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักดิจิตอล

ตาราง 5 น้ำหนักดิจิตอลและอุณหภูมิที่คำนวณได้จากโปรแกรม GRAPH

D	T	D	T	D	T	D	T	D	T
0	-7.45	1	-6.69	2	-5.92	3	-5.16	4	-4.39
5	-3.62	6	-2.86	7	-2.09	8	-1.32	9	-0.56
10	0.27	11	1.32	12	2.19	13	2.72	14	3.25
15	3.78	16	4.36	17	4.99	18	5.62	19	6.24
20	6.84	21	7.44	22	8.03	23	8.58	24	9.13
25	9.68	26	10.21	27	10.72	28	11.22	29	11.73
30	12.26	31	12.82	32	13.38	33	13.94	34	14.40
35	14.85	36	15.29	37	15.74	38	16.21	39	16.73
40	17.24	41	17.75	42	18.20	43	18.59	44	18.98
45	19.37	46	19.77	47	20.20	48	20.67	49	21.15
50	21.63	51	22.10	52	22.54	53	22.99	54	23.43
55	23.87	56	24.34	57	24.82	58	25.31	59	25.79
60	26.24	61	26.69	62	27.13	63	27.57	64	28.01

D	T	D	T	D	T	D	T	D	T
65	28.38	66	28.75	67	29.12	68	29.49	69	29.86
70	30.29	71	30.74	72	31.20	73	31.65	74	32.10
75	32.54	76	32.98	77	33.41	78	33.85	79	34.27
80	34.67	81	35.08	82	35.48	83	35.89	84	36.31
85	36.72	86	37.15	87	37.57	88	37.99	89	38.43
90	38.87	91	39.31	92	39.75	93	40.15	94	40.49
95	40.84	96	41.18	97	41.53	98	41.87	99	42.23
100	42.60	101	42.97	102	43.34	103	43.71	104	44.09
105	44.48	106	44.88	107	45.27	108	45.67	109	46.06
110	46.44	111	46.82	112	47.20	113	47.58	114	47.96
115	48.32	116	48.67	117	49.02	118	49.38	119	49.73
120	50.08	121	50.44	122	50.81	123	51.17	124	51.53
125	51.90	126	52.26	127	52.63	128	52.99	129	53.36
130	53.73	131	54.09	132	54.46	133	54.83	134	55.19
135	55.56	136	55.93	137	56.30	138	56.67	139	57.04
140	57.41	141	57.78	142	58.15	143	58.52	144	58.89
145	59.25	146	59.62	147	59.99	148	60.38	149	60.78
150	61.17	151	61.56	152	61.95	153	62.35	154	62.74
155	63.14	156	63.53	157	63.93	158	64.27	159	64.59
160	64.92	161	65.25	162	65.57	163	65.90	164	66.26
165	66.63	166	66.99	167	67.36	168	67.73	169	68.11
170	68.51	171	68.91	172	69.31	173	69.71	174	70.11
175	70.49	176	70.88	177	71.27	178	71.65	179	72.04
180	72.46	181	72.87	182	73.28	183	73.69	184	74.09
185	74.46	186	74.83	187	75.20	188	75.58	189	75.95
190	76.35	191	76.76	192	77.17	193	77.58	194	77.99
195	78.35	196	78.71	197	79.06	198	79.42	199	79.77
200	80.12	201	80.45	202	80.78	203	81.11	204	81.43
205	81.76	206	82.11	207	82.48	208	82.86	209	83.24
210	83.62	211	84.00	212	84.34	213	84.68	214	85.02
215	85.36	216	85.71	217	86.06	218	86.48	219	86.89
220	87.31	221	87.73	222	88.11	223	88.43	224	88.75
225	89.08	226	89.42	227	89.77	228	90.12	229	90.47
230	90.82	231	91.18	232	91.57	233	91.96	234	92.35
235	92.75	236	93.15	237	93.54	238	93.94	239	94.34

D	T	D	T	D	T	D	T	D	T
240	94.74	241	95.13	242	95.53	243	95.93	244	96.32
245	96.72	246	97.12	247	97.51	248	97.91	249	98.31
255	100.69								

นำค่าที่คำนวณได้เขียนแทนข้อมูลในโปรแกรม USE เมื่อนำไปทดลองวัดอุณหภูมิได้ผลดังตาราง 6

ตาราง 6 ค่าที่ได้จากการทดลองวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่วัดจาก เทอร์โมมิเตอร์ (เซลเซียส)	อุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์ต่อเชื่อม (เซลเซียส)		คะแนน มาตรฐาน
	ค่าที่วัดได้	เฉลี่ย	
0	0.2, 0.2, 0.2, 0.2	0.20	+2.12
2	1.3, 2.1, 2.1, 2.1	1.90	-1.04
4	3.7, 3.7, 4.3, 4.3	4.00	+0.00
6	6.2, 6.2, 6.2, 5.6	6.05	+5.00
8	8.0, 8.0, 8.0, 8.0	8.00	+0.00
10	9.6, 9.6, 10.2, 10.2	9.90	-0.20
12	12.2, 11.7, 11.7, 12.2	11.95	+0.10
14	13.9, 14.4, 13.9, 13.9	14.02	+0.04
16	15.7, 15.7, 16.2, 15.7	15.82	-0.71
18	18.2, 18.2, 18.2, 18.2	18.20	+0.40
20	20.2, 20.2, 19.7, 20.2	20.07	+0.14
22	22.1, 22.1, 21.6, 22.1	21.97	+0.10
24	23.8, 23.8, 23.8, 23.8	23.80	-0.40
26	25.7, 25.7, 26.2, 25.7	25.82	-0.35
28	28.0, 28.0, 28.0, 28.0	28.00	+0.00
30	29.8, 29.8, 29.8, 30.2	29.90	-0.24
32	32.1, 32.1, 32.1, 31.6	31.97	+0.06
34	33.9, 34.2, 33.8, 34.2	34.00	+0.00
36	35.9, 35.8, 35.8, 35.8	35.80	-1.11
38	37.9, 37.9, 37.9, 37.9	37.90	-0.21

อุณหภูมิที่วัดจาก เทอร์โมมิเตอร์ (เซลเซียส)	อุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์ต่อเชื่อม (เซลเซียส)		คะแนน มาตรฐาน
	ค่าที่วัดได้	เฉลี่ย	
40	40.1, 40.1, 40.1, 40.1	40.10	+0.23
42	41.8, 42.2, 41.8, 42.2	42.00	+0.00
44	44.0, 44.0, 43.7, 43.7	43.85	-0.34
46	46.0, 46.0, 45.6, 46.0	45.90	-0.43
48	47.9, 47.9, 47.9, 47.9	47.90	-0.20
50	50.0, 49.7, 20.0, 20.0	49.92	+0.16
52	51.9, 52.2, 51.9, 52.2	52.05	+0.11
54	53.7, 54.0, 54.0, 54.0	53.82	-0.21
56	56.3, 55.9, 55.9, 55.9	56.00	+0.00
58	58.1, 58.1, 58.1, 57.7	58.00	+0.00
60	59.9, 59.9, 59.9, 59.9	59.90	-0.22
62	61.9, 61.9, 61.9, 61.9	61.90	-0.22
64	63.9, 64.2, 64.2, 63.9	64.05	+0.13
66	65.9, 65.9, 66.2, 65.9	65.97	+0.06
68	68.1, 67.7, 68.1, 68.1	68.00	+0.00
70	70.1, 70.1, 70.1, 70.1	70.10	+0.32
72	72.0, 72.0, 72.0, 72.0	72.00	+0.00
74	74.0, 74.0, 74.0, 74.0	74.00	+0.00
76	75.9, 75.9, 75.9, 75.9	75.90	-0.22
78	77.9, 77.9, 77.9, 77.9	77.90	-0.22
80	80.1, 80.1, 79.7, 80.1	80.00	+0.00
82	82.1, 81.7, 82.1, 82.1	82.00	+0.00
84	84.0, 84.0, 84.0, 84.0	84.00	+0.00
86	86.0, 86.0, 86.0, 86.0	86.00	+0.00
88	88.1, 87.7, 88.1, 87.7	87.90	-0.20
90	90.1, 89.7, 89.7, 90.1	89.90	-0.22
92	91.9, 91.9, 91.9, 91.9	91.90	-1.42
		รวม	+0.81
		เฉลี่ย	+0.02

บทที่ 5

บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายของการค้นคว้า

เพื่อนำไมโครคอมพิวเตอร์ มาต่อเติมให้กลายเป็นอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ ซึ่งให้ประโยชน์ในการใช้แทนอุปกรณ์จริง นอกเหนือไปจากงานที่ไมโครคอมพิวเตอร์จะต้องถูกใช้เป็นประจำอยู่แล้ว ทำให้ประหยัดงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์จริง และยังได้รับประโยชน์ในความเป็นอัตโนมัติในด้าน การเก็บข้อมูล การแสดงข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาเรื่องการติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ ออกแบบอุปกรณ์ แล้วจึงลงมือทำจริง สิ่งที่เราสร้างขึ้นประกอบด้วยอุปกรณ์ต่อเชื่อม ชุดหัววัด และโปรแกรมควบคุม นำชุดหัววัดและอุปกรณ์ต่อเชื่อมไปทำการวัดในสถานการณ์จริงเพื่อหาค่าความถูกต้องของอุปกรณ์ที่เราสร้างขึ้น

ในการทดลองวัดแรงดันไฟฟ้า เก็บข้อมูลที่วัดด้วยโปรแกรม WRITE เริ่มวัดตั้งแต่ 0 โวลต์ ไปจนถึง 1 โวลต์ วัดห่างกันช่วงละ 20 มิลลิโวลต์ และทำการวัดข้อมูลเป็นจำนวน 200 ข้อมูล ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก ข้อมูลที่วัดได้จะถูกแปรความหมายกลับไปเป็นแรงดันไฟฟ้าโดยโปรแกรม GRAPH

ในการทดลองวัดอุณหภูมิ เก็บข้อมูลที่วัดด้วยโปรแกรม WRITE เริ่มวัดตั้งแต่ 0 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 100 องศาเซลเซียส วัดห่างกันช่วงละ 2 องศาเซลเซียส วัดข้อมูลจำนวน 200 ข้อมูล ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข ข้อมูลที่วัดได้จะถูกแปรความหมายกลับไปเป็นอุณหภูมิโดยโปรแกรม GRAPH

การวิเคราะห์ข้อมูล

หาความถูกต้องในการวัดจากการคำนวณคะแนนมาตรฐานจากสูตร

$$Z = (M - U) / SD$$

เมื่อ Z หมายถึง คะแนนมาตรฐาน

M หมายถึง มัชฌิมของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

U หมายถึง มัชฌิมของอุปกรณ์มาตรฐาน

SD หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น
มัชฌิม และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นหาได้จากสูตร

$$M = \text{SUM} (X / N) \quad \text{และ}$$

$$SD = \sqrt{\left(\sum X^2 - \left(\left(\sum X \right)^2 / N \right) \right) / (N-1)}$$

เมื่อ M หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด

X หมายถึง ข้อมูลที่วัดได้

N หมายถึง จำนวนข้อมูล

จากการคำนวณดังกล่าวข้างต้นได้ผลดังนี้

คะแนนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้าเป็น 0.77

คะแนนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเป็น 0.02

คะแนนมาตรฐานที่เปิดจากตารางที่พื้นที่ใต้โค้งปกติเท่ากับ 99 เปอร์
เซ็นต์เป็น $Z_{.99} = 2.33$

สรุปผลการวิจัย

ถ้าตั้งสมมุติฐานทางสถิติเป็น

$$H_0: M = U$$

$$\text{และ } H_1: M \neq U$$

พบว่า คะแนนมาตรฐานที่เปิดจากตารางมีค่ามากกว่าคะแนนมาตรฐาน
ที่ได้จากการคำนวณทั้งคู่ นั่นคือ

คะแนนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้า (0.77) มีค่า
น้อยกว่า $Z_{.99}$ (2.33) และ

คะแนนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิ (0.02) มีค่าน้อย
กว่า $Z_{.99}$ (2.33)

หมายความว่าคะแนนมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณทั้งคู่ตกอยู่ในช่วงของ
การยอมรับ (Accept) ดังนั้นอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่สร้างขึ้นจึงสามารถใช้แทนอุป
กรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิได้

อภิปรายผล

1. การวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องใน
การวัด 99 เปอร์เซนต์ หรืออาจกล่าวได้ว่า การวัดแรงดันไฟฟ้ามีความผิด

พลาดในการวัด ± 0.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับดีจิตอลมัลติมิเตอร์รุ่น DT-850 ของบริษัท UniVolt

2. การวัดอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องในการวัด 99 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจกล่าวได้ว่า การวัดอุณหภูมิมีความผิดพลาดในการวัด ± 0.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท

ข้อเสนอแนะ

1. ในการเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม "WRITE" ไม่จำเป็นที่จะต้องเก็บเป็นจำนวน 51 ไฟล์ อาจใช้จำนวนไฟล์เป็นค่าอื่นก็ได้

2. ในการคำนวณหาค่าที่เทียบเท่ากัน ระหว่างน้ำหนักรากดิจิตอลและแรงดันไฟฟ้า หรือระหว่างน้ำหนักรากดิจิตอลและอุณหภูมิ อาจคำนวณได้จากความชันที่ได้จากการพล็อตกราฟระหว่างน้ำหนักรากดิจิตอลที่เทียบเท่ากับค่าน้อยสุด และน้ำหนักรากดิจิตอลที่เทียบเท่ากับค่ามากที่สุดของแรงดันไฟฟ้าหรืออุณหภูมิที่วัดได้ แต่ความผิดพลาดในการวัดจะมีมากขึ้นเช่นกัน

3. น้ำหนักรากดิจิตอลสูงสุด และน้ำหนักรากดิจิตอลต่ำสุด ควรกำหนดให้มีค่าที่แน่นอน และก่อนที่จะนำอุปกรณ์ต่อเชื่อมไปใช้วัดจริงต้องปรับน้ำหนักรากดิจิตอลให้เท่ากับค่าที่กำหนดขึ้นเสียก่อน

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

1. ถึงแม้ว่าไมโครคอมพิวเตอร์รุ่นแอปเปิ้ลทูจะมีขนาดเพียง 8 บิต และในงานวิจัยครั้งนี้ก็กำหนดให้ข้อมูลที่สัญญาณทางเข้าเป็น 8 เส้นข้อมูล ซึ่งมีผลทำให้ได้น้ำหนักรากดิจิตอลเพียง 256 ค่า ความละเอียดของการวัดจึงมีได้เป็น $1/256$ หรือ 0.0039062 หน่วย สามารถทำให้ความละเอียดของการวัดมีค่ามากขึ้นได้โดยกำหนดให้เส้นข้อมูลที่จะส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์มีมากกว่า 8 เส้น โดยเพิ่มหลักของวงจรนับให้มากกว่า 8 บิต (แล้ซก็จะต้องเพิ่มจำนวนบิตขึ้นให้เท่ากับจำนวนบิตของวงจรนับด้วยเช่นเดียวกัน) แล้วเขียนโปรแกรมควบคุมเพื่อให้ไมโครคอมพิวเตอร์ทำการรับข้อมูลคราวละ 8 บิตไปจนหมดจำนวนเส้นสัญญาณ จะมีผลทำให้น้ำหนักรากดิจิตอลมีค่ามากขึ้นเป็น 2^(จำนวนเส้นสัญญาณ) เช่น ถ้าใช้ 16 เส้นสัญญาณก็จะแบ่งการรับข้อมูลออกเป็นสองครั้ง ครั้งละ 8 บิต ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำหนักรากดิจิตอลมีค่าได้ 65536 ค่า และความละเอียดของการวัดเป็น $1/65536$ หรือ 0.0000152 หน่วย ซึ่งละเอียดกว่าการวัด 8 บิตถึง 256 เท่า แต่จะมีปัญหาเกิดขึ้น คือ

1.1 การวัดจะทำได้ช้าลง เช่น ใน 16 เส้นสัญญาณไมโครคอมพิวเตอร์จะต้องอ่านข้อมูล 2 ครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงข้อมูลเดียว ในขณะที่ใน 8 เส้นสัญญาณไมโครคอมพิวเตอร์ทำการอ่านเพียงครั้งเดียวก็ได้หนึ่งข้อมูลเช่นกัน

1.2 จะต้องกำหนดจังหวะเวลาในการอ่านของไมโครคอมพิวเตอร์ให้แน่นอน ดังตัวอย่างใน 16 เส้นสัญญาณ ถ้าเรียกเส้นสัญญาณ 8 บิตชุดแรกเป็นไบต์ต่ำ และเรียกเส้นสัญญาณ 8 บิตชุดต่อมาเป็นไบต์สูง

สมมติว่าสัญญาณนาฬิกา เรียกว่าจังหวะเวลาในการรับข้อมูลของไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์รับข้อมูลไบต์ต่ำเข้ามา แล้วจะกลับไปรับข้อมูลไบต์สูงเข้ามาอีก ข้อมูลไบต์สูงจะถูกเปลี่ยนไปแล้วโดยสัญญาณนาฬิกา ทำให้ข้อมูลไบต์สูงที่รับได้เป็นของข้อมูลอื่น

ความผิดพลาดอีกประการหนึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่ไมโครคอมพิวเตอร์มีจังหวะในการรับข้อมูลไวกว่าสัญญาณนาฬิกา ซึ่งจะมีผลทำให้เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์รับข้อมูลไบต์สูงและไบต์ต่ำเรียบร้อยแล้ว และจะกลับไปรับข้อมูลชุดต่อไป แต่ข้อมูลยังไม่ถูกเปลี่ยนเพราะจังหวะการรับข้อมูลไวกว่าสัญญาณนาฬิกา ทำให้ไมโครคอมพิวเตอร์ได้รับข้อมูลซ้ำเดิมไป

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้ 2 วิธี โดย

1.2.1 นำเส้นสัญญาณ RDY จากสล็อตมาใช้ เส้นสัญญาณนี้เมื่อเป็นลอจิก 0 ไมโครโปรเซสเซอร์ 6502 จะหยุดการทำงานจนกว่าจะส่งลอจิก 1 ไปให้ RDY ในช่วงจังหวะที่ไมโครโปรเซสเซอร์หยุดการทำงานจะเป็นการเปิดโอกาสให้อุปกรณ์ต่อเชื่อมจัดการในการทำงานให้พร้อม เช่นการเปลี่ยนข้อมูล เป็นต้น

1.2.2 นำการเขียน (Write) ข้อมูลจากไมโครคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่อเชื่อม เช่น ใช้สัญญาณเขียนแทนสัญญาณนาฬิกา เป็นต้น

2. อุปกรณ์ต่อเชื่อมสามารถใช้ต่อกับหัววัดชนิดอื่น ที่นอกเหนือไปจากการวัดแรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิได้อีก โดยตั้งอยู่บนเงื่อนไขที่ว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะส่งให้ที่สัญญาณทางเข้าต้องอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โวลต์

บรรณานุกรม

- ซีเอ็ดยูเคชั่น, บริษัท ไมโครคอมพิวเตอร์ 05 ฉบับที่ 5 ประจำเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2526 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. เอช-เอน การพิมพ์ 180 หน้า
- ซีเอ็ดยูเคชั่น, บริษัท ไมโครคอมพิวเตอร์ 06 ฉบับที่ 6 ประจำเดือน มีนาคม พ.ศ. 2527 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. เอช-เอน การพิมพ์ 180 หน้า
- ซีเอ็ดยูเคชั่น, บริษัท ไมโครคอมพิวเตอร์ 07 ฉบับที่ 7 ประจำเดือน เมษายน พ.ศ. 2527 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. เอช-เอน การพิมพ์ 180 หน้า
- ซีเอ็ดยูเคชั่น, บริษัท ไมโครคอมพิวเตอร์ 08 ฉบับที่ 8 ประจำเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2527 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. เอช-เอน การพิมพ์ 180 หน้า
- ซีเอ็ดยูเคชั่น, บริษัท ไมโครคอมพิวเตอร์ 09 ฉบับที่ 9 ประจำเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2527 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. เอช-เอน การพิมพ์ 180 หน้า
- ซีเอ็ดยูเคชั่น, บริษัท ไมโครคอมพิวเตอร์ 10 ฉบับที่ 10 ประจำเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2527 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. เอช-เอน การพิมพ์ 180 หน้า
- อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์, บริษัท คอมพิวเตอร์อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ ปีที่ 7 ฉบับที่ 84 ประจำเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2526 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. นำอักษรการพิมพ์ 158 หน้า
- อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์, บริษัท คอมพิวเตอร์อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ ปีที่ 8 ฉบับที่ 85 ประจำเดือน มกราคม พ.ศ. 2527 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. นำอักษรการพิมพ์ 158 หน้า
- อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์, บริษัท คอมพิวเตอร์อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ ปีที่ 8 ฉบับที่ 90 ประจำเดือน สิงหาคม/กันยายน พ.ศ. 2527 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. นำอักษรการพิมพ์ 158 หน้า
- อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์, บริษัท คอมพิวเตอร์อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ ปีที่ 9 ฉบับที่ 93 ประจำเดือน มกราคม/กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. นำอักษรการพิมพ์ 158 หน้า
- อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์, บริษัท คอมพิวเตอร์อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ ปีที่ 9 ฉบับที่ 95 ประจำเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2528 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. นำอักษรการพิมพ์ 158 หน้า
- อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์, บริษัท คอมพิวเตอร์อีเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ ปีที่ 9 ฉบับที่ 96 ประจำเดือน กรกฎาคม/สิงหาคม พ.ศ. 2528 พิมพ์ที่ ห.จ.ก. นำอักษรการพิมพ์ 158 หน้า
- นิวพงษ์ เซลส์แอนด์เซอร์วิส จำกัด, บริษัท ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 1 ประจำเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2526, 120 หน้า
- นิวพงษ์ เซลส์แอนด์เซอร์วิส จำกัด, บริษัท ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ปีที่ 1 ฉบับที่ 5 พ.ศ. 2526, 120 หน้า

- ปิยพร ศกสรรัตนเมธี รีวิว คอมพิวเตอร์ ปีที่ 1 ฉบับที่ 8/2527 พิมพ์ที่
รุ่งเรืองรัตน์ 128 หน้า
- ปิยพร ศกสรรัตนเมธี รีวิว คอมพิวเตอร์ ปีที่ 1 ฉบับที่ 12/2527 พิมพ์ที่
รุ่งเรืองรัตน์ 128 หน้า
- ปิยพร ศกสรรัตนเมธี รีวิว คอมพิวเตอร์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 15/2528 พิมพ์ที่
รุ่งเรืองรัตน์ 128 หน้า
- กระทรวงศึกษาธิการ, กรมการศึกษานอกโรงเรียน วารสาร ศูนย์บริการเพื่อ
การศึกษา ฉบับไมโครคอมพิวเตอร์ ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน
มกราคม/มีนาคม พ.ศ. 2526 พิมพ์ที่ บริษัท สหสารการพิมพ์ 68 หน้า
- กระทรวงศึกษาธิการ, กรมการศึกษานอกโรงเรียน วารสาร ศูนย์บริการเพื่อ
การศึกษา ฉบับไมโครคอมพิวเตอร์ ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน
เมษายน/มิถุนายน พ.ศ. 2526 พิมพ์ที่ บริษัท สหสารการพิมพ์ 68 หน้า
- กระทรวงศึกษาธิการ, กรมอาชีวศึกษา ความรู้เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พิมพ์ที่
ชุมนุมร้านสหกรณ์อาชีวศึกษา จำกัด พ.ศ. 2527, 175 หน้า
- พ.ศ.มนัส สังวรศิลป์ พ.ศ.ชม กัมปนาท และ พ.ศ.สมเกียรติ ตุกเดช ดิจิทัล
อิเล็กทรอนิกส์ พิมพ์ที่ บริษัทอิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ พ.ศ. 2525, 100 หน้า
- ก้องเกียรติ ๓ สีมา ไทม์เมอร์ไอซี 555 พิมพ์ที่ บริษัท อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์
พ.ศ. 2524, 65 หน้า
- คอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์, วารสาร ออลซิลโลสโคป พิมพ์ที่ นำอักษร
การพิมพ์ 48 หน้า
- รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ และคนอื่น ๆ เครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์
และเทคนิคการวัด พิมพ์ที่ นำอักษรการพิมพ์ 154 หน้า
- ยืน ถั่ววรรณ เทคนิคการประยุกต์และการใช้งานไอซีทีทีแอล พิมพ์ที่ แผนกเทคโนโลยีการศึกษา บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด พ.ศ. 2523, 293 หน้า
- ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, บริษัท คู่มือ/เทียบเบอร์ ไอซี TTL พิมพ์ที่ น.จ.ก.
นำอักษรการพิมพ์ 310 หน้า
- ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, บริษัท TTL DATA BOOK คู่มือทีทีแอล พิมพ์ที่ เกษมการ
พิมพ์ พ.ศ. 2522, 310 หน้า
- ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, บริษัท CMOS DATA BOOK 4000 SERIES คู่มือ ซีมอส
พิมพ์ที่ เกษมการพิมพ์ พ.ศ. 2522, 303 หน้า
- ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, บริษัท CMOS DATA BOOK 74C/54C SERIES คู่มือ
ซีมอส พิมพ์ที่ เกษมการพิมพ์ พ.ศ. 2522, 231 หน้า
- นิพนธ์ ศุขปริดี, รศ. ดร. ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา เอกสารประกอบ
การสอนภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
บางแสน 16 หน้า
- วัฒนพงษ์ รักวีริเยียร การปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์
เอกสารประกอบการสอน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พิษณุโลก 3 หน้า

- JOSEPH J. CARR MICROPROCESSOR INTERFACING TAB BOOKS Inc., 1984. 246 p.
- MARVIN L. DE JONG PROGRAMMING & INTERFACING THE 6502, WITH EXPERIMENTS Howard W. Sams & Co., Inc. 1983. 414 p.
- Rodnay Zaks 6502 applications SYBEX Inc., 1984. 278 p.
- Ken Skier Beyond Game: Systems Software for your 6502 Personal Computer BYTE Publications Inc., 1981. 433p.
- William F. Luebbert What's Where in the APPLE MICRO INK Inc., 1984. 214 p.
- James W. Coffron The Apple Connection SYBEX Inc., 1983. 267 p.
- Jeffrey Stanton Apple Graphics & Arcade Game Design THE BOOK Co., 1982. 288 p.
- Winfried Hofacker and Ekkehard Floegel the custom apple & OTHER MYSTERIES APPLE INFORMATION SERIES-VOLUMN 1., 1982. 190 P.
- ROBERT F. TINKER Microcomputers in the teaching lab THE PHYSICS TEACHER ,FEBRUARY 1981. P.94-104
- FORREST M. MIMS III COMPUTER AIDED DRAFTING Computers & Electronics, ZIFF-DAVID PUBLISHING COMPANY., JUNE 1984. P.14, P.20-24, p.105
- FORREST M. MIMS III MORE ON COMPUTER AIDED DRAFTING Computers & Electronics, ZIFF-DAVID PUBLISHING COMPANY., JULY 1984. P.74-77, P.97
- FORREST M. MIMS III USE YOUR TRS-80 COLOR COMPUTER AS A STORAGE OSCILLOSCOPE Computers & Electronics, ZIFF-DAVID PUBLISHING COMPANY., JUNE 1984. P.64-66, P.98-110
- FORREST M. MIMS III ANALOG SENSORS FOR PERSONAL COMPUTER Computers & Electronics, ZIFF-DAVID PUBLISHING COMPANY , February 1984. p.82-86
- JOHN CONWAY REAL WORLD INTERFACES Computers & Electronics , ZIFF-DAVID PUBLISHING COMPANY., September 1984. p. 54 -58, p.104, p.106

Voltage = 0.2 volts.
 Average = 33.4
 Standard deviation = 0.497631348
 Voltage = 0.22 volts.
 Average = 40.29
 Standard deviation = 0.45489934
 Voltage = 0.24 volts.
 Average = 43.21
 Standard deviation = 0.484999003
 Voltage = 0.26 volts.
 Average = 50.0
 Standard deviation = 0.471390894
 Voltage = 0.28 volts.
 Average = 50.
 Standard deviation = 0.501252872
 Voltage = 0.3 volts.
 Average = 60.
 Standard deviation = 0.478166513
 Voltage = 0.32 volts.
 Average = 63.23
 Standard deviation = 0.331846049
 Voltage = 0.34 volts.
 Average = 71.35
 Standard deviation = 0.447643859
 Voltage = 0.36 volts.
 Average = 76.43
 Standard deviation = 0.479713702
 Voltage = 0.38 volts.
 Average = 82.53
 Standard deviation = 0.228544522
 Voltage = 0.4 volts.
 Average = 87.3
 Standard deviation = 0.52091364

0.22834822
 0.487182778
 0.362808254
 0.448066203
 0.184229352
 0.493066922
 0.19648317
 0.498198748
 0.271948905
 0.490056994
 0.184172723

Voltage = 0.500014722
 Standard deviation = 0.500014722
 Voltage = 0.352973422
 Standard deviation = 0.352973422
 Voltage = 0.498210823
 Standard deviation = 0.498210823
 Voltage = 0.724052302
 Standard deviation = 0.724052302
 Voltage = 0.500338493
 Standard deviation = 0.500338493
 Voltage = 0.238084741
 Standard deviation = 0.238084741
 Voltage = 0.470062001
 Standard deviation = 0.470062001
 Voltage = 0.247147276
 Standard deviation = 0.247147276
 Voltage = 0.474783743
 Standard deviation = 0.474783743
 Voltage = 0.276992753
 Standard deviation = 0.276992753
 Voltage = 0.474881716
 Standard deviation = 0.474881716

[illegible]

[illegible]

[illegible]

การสร้างชุดอุปกรณ์ต่อเชื่อมกับไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมควบคุม
เพื่อใช้วัดระดับแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ

บทคัดย่อ
ของ
ธีระพงษ์ กิตติสยาม

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
ตุลาคม 2529

ไมโครคอมพิวเตอร์สามารถนำมาใช้วัดแรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิได้ โดยเพิ่มอุปกรณ์ต่อเชื่อมและชุดหัววัดให้กับไมโครคอมพิวเตอร์

ชุดหัววัดทำหน้าที่แปลงสิ่งที่ต้องการวัดไปเป็นแรงดันไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์ต่อเชื่อมทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ส่งมาจากชุดหัววัด ไปเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อส่งให้ไมโครคอมพิวเตอร์ทางเส้นข้อมูลขนาน 8 เส้น การรับสัญญาณดิจิทัลของไมโครคอมพิวเตอร์ขึ้นอยู่กับสัญญาณที่ได้มาจากการรวมสัญญาณ R/W และ DEVICE SELECT ด้วยลอจิกเกต สัญญาณดิจิทัลที่ไมโครคอมพิวเตอร์รับได้จะถูกแปลความหมายกลับไป เป็นสิ่งที่กำลังวัดโดยโปรแกรมควบคุม

ใช้คะแนนมาตรฐานทดสอบความถูกต้องของการวัดของอุปกรณ์ต่อเชื่อม โดยตั้งสมมุติฐานทางการวิจัยบนโพรงปรกติแบบสองทาง พบว่าความแตกต่างของการวัดแรงดันไฟฟ้าหรืออุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์ต่อเชื่อมและที่วัดได้จากอุปกรณ์มาตรฐาน มีค่าการทดสอบตกอยู่ในช่วงการยอมรับสมมุติฐานไว้ความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ .01

Construction of a Microcomputer Interfacing Set
with an Application Software to Measure
Voltage and Temperature

AN ABSTRACT
BY
TEERAPHONG KITISIAM

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree
at Srinakharinwirot University
October 1986

A microcomputer with interfacing and probe sets can be used to measure voltages and temperatures.

The role of the probe set is to transform each measurement into a voltage and send it to the interfacing set which then transforms it further to a digital weight which is then to be used in a microcomputer via eight bit parallel ports. The performance of a microcomputer in receiving the digital weight depends on the modulation of the input signal, R/W and DEVICE SELECT by a logic gate. The digital weight is then reconverted to measurement by a software control program.

Based on the normal two-tail test hypothesis, we used the standard score to check the accuracy of the interfacing set. We found that the differences between the voltage and temperature measurements obtained by our interfacing set and the standard set are within the acceptable range of the null hypothesis at 0.01 significant level.