การพัฒนาระบบปรับตั้งภายในแบบอัตโนมัติพร้อมหน่วยความจำสำหรับเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์

The development of automatic internal adjustment system with memory for electronic balances

9

จิตตกานต์ อินเที่ยง[1*], สมโภชน์ บุญสนิท[1**], วิชิต ศิริโชติ[2**]
Jittakant Intiang[1*], Sompote Boonsanit[2**], Wichit Sirichote[2**]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงระบบปรับตั้งภายในแบบอัตโนมัติ (Automatic internal adjustment system) ของเครื่องชั่งที่ได้พัฒนาขึ้นมาก่อนหน้านี้ให้มีหน่วยความจำที่ใช้บันทึกข้อมูลประวัติการปรับตั้ง ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และจำนวนครั้งที่ทำการปรับตั้ง โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ SD card ในงานวิจัยนี้จะทำการประกอบระบบตรวจวัด (Sensor) ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศ และเวลา เข้ากับระบบควบคุมการทำงาน (Microcontroller) ที่มีส่วนสำหรับเก็บข้อมูลในรูปแบบ SD card โดยมีการเขียนโปรแกรมควบคุมการปรับตั้งเครื่องชั่งน้ำหนักด้วยภาษา C ผ่านการเชื่อมต่อแบบ RS232 และโปรแกรมบันทึกข้อมูลการปรับตั้งลงในหน่วยความจำ เมื่ออุณหภูมิหรือเวลาเปลี่ยนแปลงระบบปรับตั้งจะทำงานและบันทึกสภาวะขณะปรับตั้งลงในหน่วยความจำ SD card จากผลการทดลองพบว่าเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในงานวิจัยได้รับการปรับตั้งเมื่ออุณหภูมิหรือเวลาเปลี่ยนแปลงไป พร้อมทั้งสามารถบันทึกข้อมูลสภาวะของการปรับตั้งไว้ในหน่วยความจำ SD card ได้

Abstract

This research is aimed to improve the previous developed automatic internal adjustment system to be included with the memory unit for recording condition (time, temperature, humidity, atmospheric pressure) and number of the adjustment activated. The information is recorded in SD memory card. The sensor system (time, temperature, humidity, atmospheric pressure) and the microcontroller system with SD memory card slot will be assembled together. The C language program is used to control the adjustment system via RS232 port and also command the recording of the condition of automatic adjustment system into the memory unit. When the setting parameters are changed (temperature or time), the adjustment system will be activated and then record the information into the SD memory card. The experiment shows that the electronic balance used in this research is adjusted automatically when temperature or time is changed and also recording the information into the SD memory card.

คำสำคัญ: ระบบปรับตั้งภายใน อัตโนมัติ เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ หน่วยความจำ
Keywords: Internal adjustment, Automatic, Electronic balance, Memory

[1]กรมวิทยาศาสตร์บริการ
[2]สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[*]e-mail address: jittakant@dss.go.th
[**]Corresponding author e-mail address: snboonsanit@yahoo.com, wichit.sirichote@gmail.com

1. **บทนำ** (Introduction)

เครื่องชั่งน้ำหนักเป็นเครื่องมือวัดที่สำคัญและใช้งานกันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมหลายด้าน และมีความต้องการค่าน้ำหนักที่มีความถูกต้องแม่นยำ โดยค่าความถูกต้องของเครื่องชั่งขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันบรรยากาศ ดังนั้นผู้ผลิตจึงได้พัฒนาระบบปรับตั้งขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ปรับค่าความถูกต้องของเครื่องชั่งให้เหมาะสมสอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมที่เครื่องชั่งใช้งานอยู่ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี ดังนี้

1) การปรับตั้งภายใน (Internal adjustment) เป็นการปรับตั้งโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่อยู่ภายในเครื่องชั่งหรือที่เรียกว่า built-in adjustment weight [1]
2) การปรับตั้งภายนอก (External adjustment) เป็นการปรับตั้งโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานจากภายนอกมาทำการวางบนเครื่องชั่งเพื่อให้เครื่องชั่งจำค่าน้ำหนักแล้วทำการปรับตั้ง ตามปกติจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความสามารถสูงสุดในการชั่งของเครื่องชั่ง [2]

สำหรับการปรับตั้งภายในนั้นจะถูกกระตุ้นให้ทำงานได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบที่ผู้ใช้งานกระตุ้นคำสั่งปรับตั้งเอง และแบบอัตโนมัติที่เริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามที่ผู้ผลิตกำหนด เช่น เปลี่ยนแปลงไป 1°C หรือครบกำหนดระยะเวลาตามที่ผู้ผลิตกำหนด [3] ซึ่งเป็นฟังก์ชันการทำงานที่มีเฉพาะเครื่องชั่งรุ่นที่มีการปรับตั้งภายในเท่านั้น

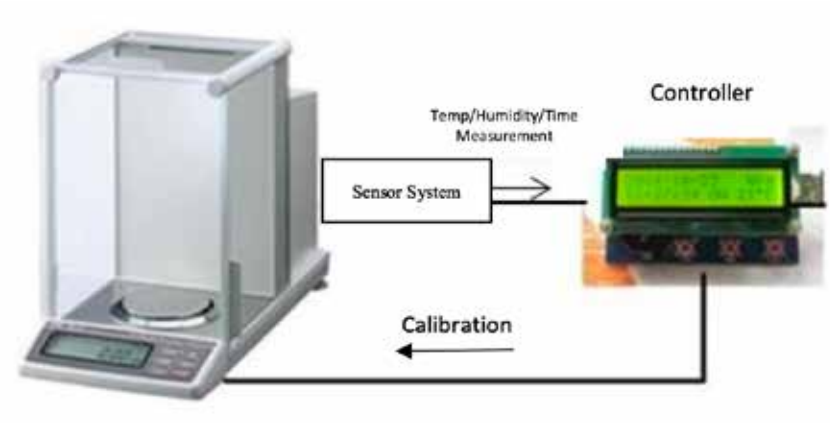
สำหรับกรณีที่ผู้ใช้งานกระตุ้นคำสั่งเองนั้นผู้ใช้งานจะต้องสามารถตัดสินใจได้ว่าเมื่อใดควรทำการปรับตั้งเครื่องชั่ง ซึ่งในทางปฏิบัติผู้ใช้งานเครื่องชั่งส่วนใหญ่ไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาวะแวดล้อมไว้ทำให้ผู้ใช้งานบางรายจึงตัดสินใจทำการปรับตั้งเครื่องชั่งก่อนการใช้งานทุกครั้งเพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ซึ่งบางครั้งอาจไม่มีความจำเป็นต้องทำการปรับตั้งเครื่องชั่งก็ได้ การปรับตั้งเครื่องชั่งบ่อยเกินความจำเป็นนี้ส่งผลให้กลไกปรับตั้งภายในเกิดการสึกหรอง่ายขึ้น ส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องชั่งลดลง ดังนั้นผู้ผลิตเครื่องชั่งจึงได้ทำการพัฒนาระบบปรับตั้งแบบอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อลดปัญหาความยุ่งยากที่เกิดขึ้นต่อผู้ใช้งาน แต่เครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งแบบอัตโนมัตินี้มีราคาสูงขึ้นทำให้ผู้ใช้งานมีต้นทุนสูงขึ้นจากการซื้อเครื่องชั่งดังกล่าว

งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ทำการพัฒนาระบบปรับตั้งภายในแบบอัตโนมัติ (Automatic internal adjustment system) [4]เพื่อนำมาใช้ร่วมกับเครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งแบบที่ผู้ใช้งานต้องกระตุ้นคำสั่งเองให้กลายเป็นเครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งภายในแบบอัตโนมัติ โดยสามารถกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการจะใช้เป็นเงื่อนไขในการกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งได้ผ่านแป้นพิมพ์ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถทดแทนการซื้อเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติเครื่องใหม่ที่มีราคาสูงกว่าและยังสามารถใช้เครื่องชั่งที่มีอยู่แต่มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระบบควบคุมการปรับตั้งเครื่องชั่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถทำงานได้เมื่อเงื่อนไขที่ตั้งไว้มีการเปลี่ยนแปลง

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มเติมฟังก์ชันของระบบปรับตั้งภายในแบบอัตโนมัติ (Automatic internal adjustment system) ของเครื่องชั่งที่ได้พัฒนาขึ้นมาก่อนหน้านี้ให้มีหน่วยความจำที่สามารถใช้บันทึกข้อมูลประวัติการปรับตั้ง ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และจำนวนครั้งที่ทำการปรับตั้ง โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ SD card ซึ่งระบบปรับตั้งแบบอัตโนมัติของเครื่องชั่งรุ่นใหม่ ๆ ในปัจจุบันจะสามารถเก็บข้อมูลประวัติการปรับตั้งดังกล่าวได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงสภาวะแวดล้อมของห้องที่เครื่องชั่งติดตั้งอยู่ว่ามีความแปรปรวนมากน้อยเพียงใด และยังมีข้อมูลระบุว่าระบบปรับตั้งถูกใช้งานบ่อยเพียงใด เพื่อเป็นข้อมูลประกอบเกี่ยวกับการสึกหรอของเครื่องชั่งที่อาจเกิดขึ้น

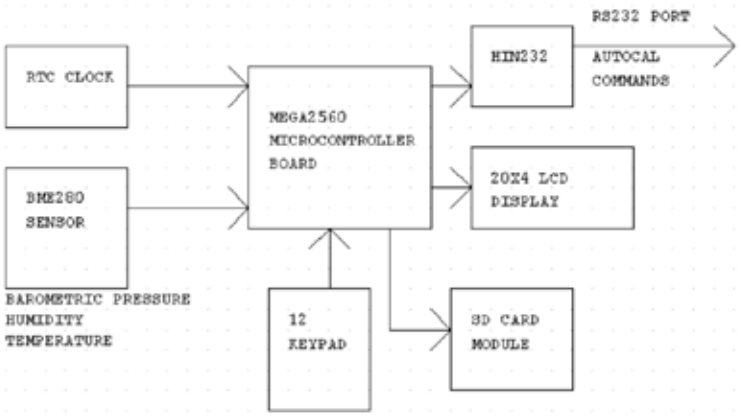
2. **วิธีการวิจัย** (Experimental methods)

การทำงานของระบบปรับตั้งอัตโนมัติพร้อมหน่วยความจำที่พัฒนาขึ้นมามีหลักการแสดงในรูปที่ 1 โดยตัวเซ็นเซอร์จะทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศ และระยะเวลาว่าเกินขอบเขตเงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าค่าที่วัดได้เกินขอบเขตที่กำหนดไว้ ตัว microcontroller จะทำการส่งสัญญาณไปที่ตัวเครื่องชั่งผ่านช่องเชื่อมต่อสัญญาณเพื่อทำการกระตุ้นฟังก์ชันการปรับตั้งภายในที่มีอยู่ของเครื่องชั่ง จากนั้นทำการบันทึกข้อมูล Sample number, วัน เดือน ปี เวลาปรับตั้ง ความดันบรรยากาศ ความชื้น อุณหภูมิ และ CAL number ลงใน SD card



รูปที่ 1 การทำงานของระบบปรับตั้งเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ

ส่วนประกอบหลักของระบบประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนฮาร์ดแวร์ และส่วนเฟิร์มแวร์ ในส่วนฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ BME280, บอร์ด MEGA2560 ไมโครคอนโทรลเลอร์, นาฬิกา RTC, วงจรแปลงระดับ HIN232 RS232, โมดูลจอแสดงผล LCD 20x4 , แผงปุ่มกดเมทริกซ์ 12 ตัวเลือก และโมดูลอินเตอร์เฟสการ์ดหน่วยความจำ พารามิเตอร์ที่ทำการวัดด้วยเซนเซอร์ BME280 ได้แก่ ความดันบรรยากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิห้อง นาฬิกา RTC ใช้แสดงนาฬิกาตามเวลาจริง ชิป HIN232 ทำการแปลงระดับ TTL เป็นระดับ RS232 สำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องชั่ง จอแสดงผล LCD ใช้แสดงพารามิเตอร์สภาวะแวดล้อมแบบเรียลไทม์ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวทุก ๆ 2 วินาที ภายใต้เงื่อนไขการตั้งค่า หากพบว่าพารามิเตอร์ที่ตรวจพบมีค่าสูงกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งคำสั่งปรับตั้ง (AUTO CAL) ผ่านพอร์ต RS232 และบันทึกจำนวนครั้งของการส่งคำสั่งลงในการ์ดหน่วยความจำ โดยมีไดอะแกรมของระบบปรับตั้ง แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ไดอะแกรมของระบบปรับตั้งเครื่องชั่งอัตโนมัติพร้อมหน่วยความจำ

รายละเอียดของแพ็คเก็ตคำสั่งปรับตั้งประกอบด้วยอักขระ ASCII ที่มีตัวอักษรพิมพ์เล็ก และคำสั่งจะต้องปิดท้ายด้วยรหัสขีดเส้นใต้ (ASCII = 95) รหัส CR และ LF ใช้สำหรับสิ้นสุดแพ็กเก็ต ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อเป็นแบบอะซิงโครนัสฟูลดูเพล็กซ์ อัตราการส่งข้อมูล 9600 พาริตี้ คี่ ASCII 7 บิตและสต๊อปบิต หนึ่งบิต รูปแบบข้อมูลอ้างอิงถึงคู่มือการใช้งานของผู้ผลิตเครื่องชั่ง

ESC	F	1	_	CR	LF

รูปที่ 3 แพ็คเก็ตคำสั่งสอบเทียบ

รายละเอียดส่วนฮาร์ดแวร์

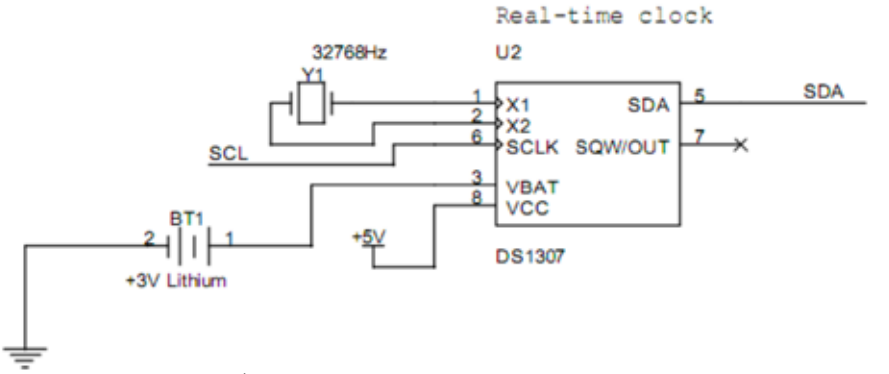
BME280 เซ็นเซอร์วัดสภาวะแวดล้อม (รูปที่ 4) ยี่ห้อ BOSCH เป็นวงจรรวมที่ออกแบบมาสำหรับการวัดความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ ชิพนี้บรรจุในกล่องโลหะ LGA 8 ขา 2.5 x 2.5 x 0.93 mm ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้พลังงานต่ำ (3.6 µA @ 1Hz) มีความเชื่อถือได้ในระยะยาวและความทนทานต่อ EMC สูง ช่วงการทำงานสำหรับการวัดความดันคือ 300 … 1,100 hPa และอุณหภูมิ -4 °C ถึง 85 °C ช่วงความชื้นอยู่ที่ 20%-80% แหล่งจ่ายไฟ +3.3 V ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อเซ็นเซอร์ BME280 กับ I2C บัส ตัวชิพให้ SCL และ SDA สำหรับสัญญาณนาฬิกาและการเชื่อมต่อข้อมูล

รูปที่ 4 เซ็นเซอร์ BME280 เชื่อมต่อด้วยบัส I2C

MEGA2560 Microcontroller Board (รูปที่ 5) เป็นบอร์ดควบคุมหลัก มีหน่วยความจำแฟลช 256kB, 8kB SRAM และ 4kB EEPROM บอร์ดนี้มีพอร์ตอินพุต เอาท์พุต 54 บิต เซ็นเซอร์ BME280 เชื่อมต่อกับขาดิจิตอล 20, SDA และขา 21, SCL

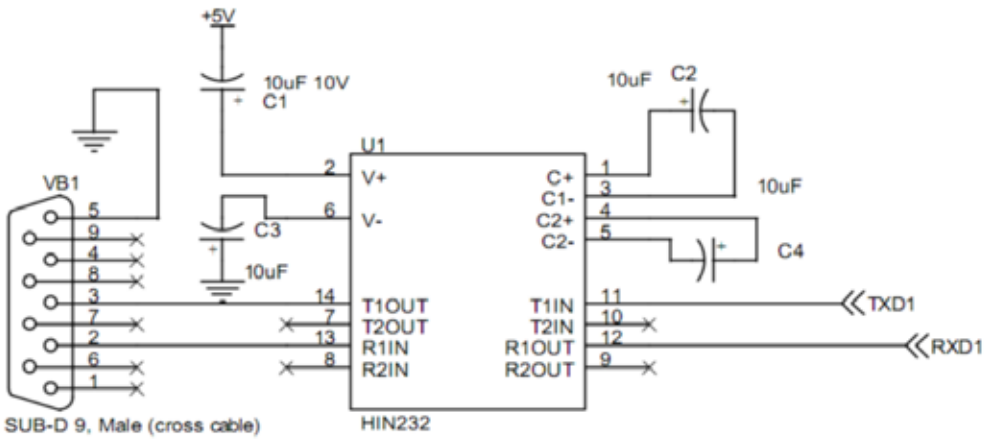
รูปที่ 5 MEGA2560 Microcontroller Board

นาฬิกาเรียลไทม์ DS1307 (รูปที่ 6) สร้างด้วยชิพ DS1307 พร้อมแบตเตอรี่สำรองลิเธียม + 3V ชิพนี้ทำงานด้วย XTAL พลังงานต่ำ ความถี่ 32768Hz ชิพเชื่อมต่อกับ MEGA2560 MCU โดยพอร์ต I2C ด้วยสัญญาณ SDA และ SCL ชิพนาฬิกาใช้เพื่อแสดงวันที่และเวลาปัจจุบัน



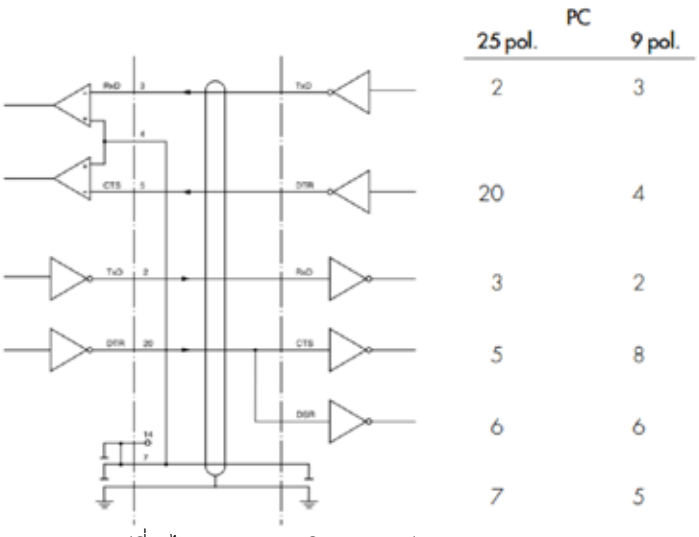
รูปที่ 6 วงจรนาฬิกาเรียลไทม์ สร้างด้วยชิพ DS1307

วงจรแปลงระดับ RS232 (รูปที่ 7) ทำหน้าที่แปลงคำสั่งที่ส่งจาก MEGA2560 ไปยังเครื่องชั่งเนื่องจากเครื่องชั่งมีอินเตอร์เฟส RS232 แบบอนุกรม ตัวแปลงระดับ RS232 นี้แปลงพอร์ตอนุกรม TTL ที่ขา TXD1 และ RXD2 เป็นระดับ RS232 มาตรฐาน วงจรสร้างด้วยชิพ HIN232 ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันและตัวแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ระดับ RS232 VB1 เป็นตัวเชื่อมต่อ DB9 ปลายอีกด้านคือ DB25



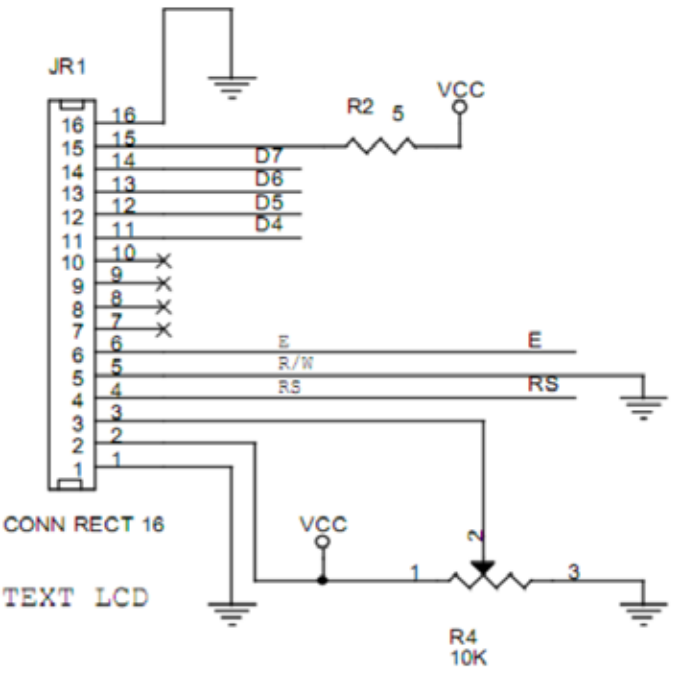
รูปที่ 7 วงจรแปลงระดับเป็น RS232

รายละเอียดการเดินสายสำหรับเคเบิล RS232 ระหว่าง DB9 และ DB25 แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ไดอะแกรมการเดินสายระหว่าง DB9 และ DB25

เครื่องควบคุมมีจอแสดงผล LCD ในตัว (รูปที่ 9) แสดงข้อความขนาด 20x4 ได้แก่ ค่าความดันบรรยากาศ, ความชื้น, อุณหภูมิ และเวลา ซึ่งจะแสดงบนจอ LCD ตามเวลาจริง วงจรอินเตอร์เฟสเป็นแบบบัส 4 บิตโดยใช้พอต D4-D7 R4 ใช้สำหรับปรับความคมชัด



รูปที่ 9 วงจรจอแสดงผล LCD

โมดูลการ์ดหน่วยความจำ (รูปที่ 10) เป็นวงจรอินเตอร์เฟสระหว่างการ์ด SD และบอร์ดคอนโทรลเลอร์ MEGA2560 ใช้สัญญาณอนุกรม SPI: MOSI (Mater Out Slave In), MISO (Master In Slave Out), SCK, SS. แหล่งจ่ายไฟ +5V ป้อนที่ขา 6 ฟอร์แมตที่ใช้บันทึกข้อมูลเป็นแบบ FAT32 ขนาดความจุของการ์ดหน่วยความจำสามารถ ใช้ได้ถึง 4GB

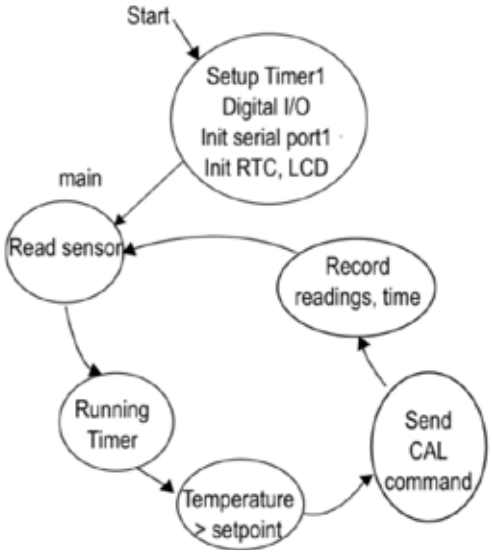
รูปที่ 10 โมดูลการ์ดหน่วยความจำ

รูปที่ 11 แสดงระบบปรับตั้งอัตโนมัติพร้อมหน่วยความจำที่พัฒนาขึ้นมา ส่วนการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานการเชื่อมต่อระหว่างระบบควบคุมการทำงานกับเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์จะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

รูปที่ 11 ชุดประกอบระบบปรับตั้งอัตโนมัติพร้อมหน่วยความจำ

รายละเอียดส่วนโปรแกรม

โปรแกรมได้รับการพัฒนาด้วยรหัส C ++ โดยใช้ Arduino IDE 1.8.9 โปรแกรมควบคุมจะเริ่มต้นทำงานด้วยการตั้งค่า Timer1 กำหนดค่าตั้งต้นจอแสดงผล Serial PORT1, RTC และ LCD โปรแกรมหลักจะวนซ้ำทุก ๆ 2 วินาที จะอ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์ BME280 และเรียกใช้ตัวจับเวลา เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้คอนโทรลเลอร์จะส่งคำสั่ง AURO CAL ไปยังเครื่องชั่งและบันทึกเวลาปัจจุบันและค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ลงในการ์ดความจำ โดยมีรายละเอียดการทำงานดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 การทำงานของระบบปรับตั้งเครื่องชั่งแบบอัตโนมัติ

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

จากการเชื่อมต่อระบบควบคุมการทำงานเข้ากับเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ดังแสดงในรูปที่ 13 โดยทำการตั้งค่าการเชื่อมต่อที่เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสื่อสารกับระบบควบคุมการทำงาน โดยตั้งค่า Baud rate, Parity และ Stop bit ให้สอดคล้องกับค่าที่โปรแกรมไว้ในระบบควบคุมการทำงาน

และทดลองตั้งค่าเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เช่น

Temp = 1°C หรือค่าเวลา เช่น Time = 60 (หน่วยเป็นนาที) ที่แป้นสำหรับตั้งค่า เพื่อไปกระตุ้นคำสั่งระบบปรับตั้งภายใน

รูปที่ 13 การเชื่อมต่อระบบควบคุมการทำงานเข้ากับเครื่องชั่งและการตั้งค่าเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลา

จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิหรือเวลามีการเปลี่ยนแปลง ระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งถูกกระตุ้นให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ โดยปรากฏสัญญลักษณ์ C บนหน้าจอแสดงผล ซึ่งเป็นการแสดงการทำงานของระบบปรับตั้งเครื่องชั่ง ดังแสดงในรูปที่ 14

รูปที่ 14 การแสดงการทำงานของระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่ง

ข้อมูลในตารางที่ 1 เป็นตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกใน SD memory card โดยมีการตั้งเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ Temp = 2°C และค่าเวลา Time = 120 ข้อมูลประกอบด้วย Sample number, วันที่, เดือน, ปี, HH:MM, ค่าความดันบรรยากาศ, ค่าความชื้นสัมพัทธ์, ค่าอุณหภูมิ และ CAL number โดยข้อมูลนี้จะถูกบันทึกในรูปแบบ CSV file ซึ่งสามารถส่งผ่านค่าไปยังโปรแกรม spreadsheet เช่น Microsoft Excel ได้โดยตรง

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลการบันทึกข้อมูลประวัติการปรับตั้งเครื่องชั่งน้ำหนักใน SD memory card

1,10/,2/,2020,12:11,990.8,48.9,27.1,1	42,10/,2/,2020,12:52,989.9,46.0,28.8,1	83,10/,2/,2020,13:34,989.0,45.3,28.9,2
2,10/,2/,2020,12:12,990.7,48.7,27.2,1	43,10/,2/,2020,12:53,989.9,46.8,28.9,1	84,10/,2/,2020,13:35,988.9,45.3,28.9,2
3,10/,2/,2020,12:13,990.7,48.5,27.2,1	44,10/,2/,2020,12:54,989.9,46.1,29.1,1	85,10/,2/,2020,13:36,988.9,45.3,28.9,2
4,10/,2/,2020,12:14,990.7,48.3,27.3,1	45,10/,2/,2020,12:55,989.9,45.1,29.1,1	86,10/,2/,2020,13:37,988.9,45.2,28.9,2
5,10/,2/,2020,12:15,990.6,48.1,27.4,1	46,10/,2/,2020,12:56,989.8,44.9,28.9,1	87,10/,2/,2020,13:38,988.8,45.1,28.9,2
6,10/,2/,2020,12:16,990.6,48.0,27.4,1	47,10/,2/,2020,12:57,989.8,45.3,28.9,1	88,10/,2/,2020,13:39,988.8,45.3,28.8,2
7,10/,2/,2020,12:17,990.6,48.3,27.5,1	48,10/,2/,2020,12:59,989.9,45.2,29.3,1	89,10/,2/,2020,13:40,988.8,45.2,28.9,2
8,10/,2/,2020,12:18,990.6,49.2,27.6,1	49,10/,2/,2020,13:00,989.8,45.0,29.0,1	90,10/,2/,2020,13:41,988.8,45.1,28.9,2
9,10/,2/,2020,12:19,990.6,48.1,27.6,1	50,10/,2/,2020,13:01,989.8,45.0,28.9,1	91,10/,2/,2020,13:42,988.8,45.1,28.9,2
10,10/,2/,2020,12:20,990.6,47.7,27.8,1	51,10/,2/,2020,13:02,989.8,44.9,29.0,1	92,10/,2/,2020,13:43,988.8,45.1,28.9,2
11,10/,2/,2020,12:21,990.6,47.7,27.8,1	52,10/,2/,2020,13:03,989.8,47.5,29.0,1	93,10/,2/,2020,13:44,988.8,45.2,28.9,2
12,10/,2/,2020,12:22,990.5,47.4,27.9,1	53,10/,2/,2020,13:04,989.7,45.6,29.1,1	94,10/,2/,2020,13:45,988.7,45.1,28.9,2
13,10/,2/,2020,12:23,990.5,47.7,27.9,1	54,10/,2/,2020,13:05,989.7,46.2,29.2,1	95,10/,2/,2020,13:46,988.7,44.9,29.0,2
14,10/,2/,2020,12:24,990.5,47.6,28.1,1	55,10/,2/,2020,13:06,989.7,46.4,29.0,1	96,10/,2/,2020,13:47,988.7,45.0,28.9,2
15,10/,2/,2020,12:25,990.5,47.3,28.0,1	56,10/,2/,2020,13:07,989.7,45.4,29.0,1	97,10/,2/,2020,13:48,988.7,45.1,28.9,2
16,10/,2/,2020,12:26,990.4,47.3,28.0,1	57,10/,2/,2020,13:08,989.6,45.0,28.9,1	98,10/,2/,2020,13:49,988.7,45.1,28.9,2
17,10/,2/,2020,12:27,990.5,47.5,28.1,1	58,10/,2/,2020,13:09,989.6,45.0,29.0,1	99,10/,2/,2020,13:50,988.6,45.0,28.9,2
18,10/,2/,2020,12:28,990.4,49.1,28.2,1	59,10/,2/,2020,13:10,989.5,45.1,27.0,2	100,10/,2/,2020,13:51,988.6,45.0,28.9,2
19,10/,2/,2020,12:29,990.5,47.2,28.2,1	60,10/,2/,2020,13:11,989.5,45.3,29.1,2	101,10/,2/,2020,13:52,988.6,45.0,28.9,2
20,10/,2/,2020,12:30,990.4,47.2,28.3,1	61,10/,2/,2020,13:12,989.5,45.3,29.2,2	102,10/,2/,2020,13:53,988.6,45.1,28.8,2
21,10/,2/,2020,12:31,990.4,46.8,28.4,1	62,10/,2/,2020,13:13,989.6,45.7,29.1,2	103,10/,2/,2020,13:54,988.6,45.0,28.9,2
22,10/,2/,2020,12:32,990.3,46.6,28.4,1	63,10/,2/,2020,13:14,989.5,46.1,29.1,2	104,10/,2/,2020,13:55,988.5,45.1,28.9,2
23,10/,2/,2020,12:33,990.3,46.3,28.6,1	64,10/,2/,2020,13:15,989.5,45.2,28.9,2	105,10/,2/,2020,13:56,988.5,44.9,28.9,2
24,10/,2/,2020,12:34,990.2,46.1,28.6,1	65,10/,2/,2020,13:16,989.5,44.9,29.0,2	106,10/,2/,2020,13:57,988.5,44.9,28.9,2
25,10/,2/,2020,12:35,990.3,47.6,28.7,1	66,10/,2/,2020,13:17,989.4,44.7,29.1,2	107,10/,2/,2020,13:58,988.5,44.9,29.0,2
26,10/,2/,2020,12:36,990.2,46.2,28.6,1	67,10/,2/,2020,13:18,989.3,45.8,29.2,2	108,10/,2/,2020,13:59,988.4,44.9,28.9,2
27,10/,2/,2020,12:37,990.2,46.3,28.4,1	68,10/,2/,2020,13:19,989.3,45.7,29.1,2	109,10/,2/,2020,14:00,988.4,44.9,28.9,2
28,10/,2/,2020,12:38,990.2,46.8,28.6,1	69,10/,2/,2020,13:20,989.3,45.9,29.1,2	110,10/,2/,2020,14:01,988.4,44.9,28.9,2
29,10/,2/,2020,12:39,990.3,46.4,28.5,1	70,10/,2/,2020,13:21,989.3,46.5,29.2,2	111,10/,2/,2020,14:02,988.4,44.9,28.9,2
30,10/,2/,2020,12:40,990.3,46.2,28.5,1	71,10/,2/,2020,13:22,989.2,45.9,29.2,2	112,10/,2/,2020,14:03,988.4,45.0,28.8,2
31,10/,2/,2020,12:41,990.3,46.7,28.5,1	72,10/,2/,2020,13:23,989.2,46.3,29.2,2	113,10/,2/,2020,14:04,988.4,44.9,28.9,2
32,10/,2/,2020,12:42,990.2,47.1,28.6,1	73,10/,2/,2020,13:24,989.2,45.3,29.4,2	114,10/,2/,2020,14:05,988.3,45.0,28.8,2
33,10/,2/,2020,12:43,990.2,46.2,28.6,1	74,10/,2/,2020,13:25,989.2,44.4,29.3,2	115,10/,2/,2020,14:06,988.3,45.2,28.8,2
34,10/,2/,2020,12:44,990.1,46.5,28.7,1	75,10/,2/,2020,13:26,989.2,44.9,28.9,2	116,10/,2/,2020,14:07,988.3,45.0,28.9,2
35,10/,2/,2020,12:45,990.1,47.0,28.7,1	76,10/,2/,2020,13:27,989.2,45.3,28.8,2	117,10/,2/,2020,14:08,988.2,44.8,29.0,2
36,10/,2/,2020,12:46,990.1,45.9,28.5,1	77,10/,2/,2020,13:28,989.1,45.2,28.9,2	118,10/,2/,2020,14:09,988.2,44.8,29.0,2
37,10/,2/,2020,12:47,990.0,46.2,28.7,1	78,10/,2/,2020,13:29,989.1,45.1,29.0,2	119,10/,2/,2020,14:10,988.3,44.8,29.0,2
38,10/,2/,2020,12:48,990.0,46.0,28.8,1	79,10/,2/,2020,13:30,989.1,45.1,29.1,2	120,10/,2/,2020,14:11,988.2,44.8,29.0,3
39,10/,2/,2020,12:49,990.0,45.8,28.8,1	80,10/,2/,2020,13:31,989.1,45.1,28.9,2	121,10/,2/,2020,14:12,988.2,44.7,29.0,3
40,10/,2/,2020,12:50,989.9,46.0,28.8,1	81,10/,2/,2020,13:32,989.1,45.0,29.0,2	122,10/,2/,2020,14:13,988.2,44.8,28.9,3
41,10/,2/,2020,12:51,990.0,45.7,28.7,1	82,10/,2/,2020,13:33,989.1,45.3,28.8,2	

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่าเครื่องชั่งได้รับการกระตุ้นให้เกิดการปรับตั้งที่ Sample number 59 เนื่องจากค่า CAL number มีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 1 เป็น 2 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง Sample number 58 และ Sample number 59 พบว่าสาเหตุมาจากค่าอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงไป 2°C และที่ Sample number 120 เวลา 14:11 เครื่องชั่งได้รับการกระตุ้นให้เกิดการปรับตั้งอีกครั้งเนื่องจาก CAL number มีค่าเปลี่ยนแปลงเป็น 3 สาเหตุเนื่องจากระยะเวลาผ่านไปเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (120 นาที) เมื่อเปรียบเทียบกับเวลา 12:11 ที่ Sample number เป็น 1 ซึ่งจากข้อมูลทั้งสองพบว่าการทำงานของระบบปรับตั้งเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอัตโนมัติมีความสอดคล้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

4. **สรุป** (Conclusion)

จากผลการทดลองนี้พบว่าระบบปรับตั้งอัตโนมัติพร้อมหน่วยความจำที่พัฒนาขึ้นมานี้ ประกอบด้วยระบบตรวจวัดที่สามารถวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดันบรรยากาศและเวลา ระบบควบคุมการทำงานที่มีการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานการเชื่อมต่อสื่อสารกับเครื่องชั่งเพื่อใช้ในการกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งได้โดยอัตโนมัติ และหน่วยความจำในรูปแบบ SD memory card สำหรับเก็บข้อมูลผลการปรับตั้ง ระบบนี้สามารถกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการจะใช้เป็นเงื่อนไขในการกระตุ้นระบบปรับตั้งภายในของเครื่องชั่งได้ผ่านแป้นพิมพ์ และเก็บข้อมูลประวัติการปรับตั้งไว้ใน SD memory card โดยผู้ใช้งานเครื่องชั่งสามารถนำระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้ไปเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งภายในแบบ manual เพื่อเปลี่ยนให้เครื่องชั่งสามารถทำการปรับตั้งเครื่องชั่งได้เองแบบอัตโนมัติ ทำให้ผู้ใช้งานเครื่องชั่งไม่ต้องซื้อเครื่องชั่งที่มีระบบปรับตั้งแบบอัตโนมัติซึ่งมีราคาสูงกว่าเป็นการประหยัดงบประมาณ และยังเพิ่มความถูกต้องแม่นยำให้กับผลการชั่งน้ำหนักอีกด้วย

5. **กิตติกรรมประกาศ** (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย คุณสมโภชน์ บุญสนิท ข้าราชการบำนาญ อดีตหัวหน้ากลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ทดสอบ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้คำปรึกษา และสำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ (พศ.) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องชั่งสำหรับใช้ในการดำเนินงานวิจัย

6. **เอกสารอ้างอิง** (References)

[1] จิตตกานต์ อินเที่ยง. การปรับตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (ตอนที่ 1). *UP DATE สมท.สาร.* 2549, **11**(1) มกราคม-มีนาคม, 13-16.

[2] จิตตกานต์ อินเที่ยง. การปรับตั้งเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (ตอนที่ 2). *UP DATE สมท.สาร*. 2549, **11**(3) กรกฎาคม-กันยายน, 8-10.

[3] SCORER, T., M. PERKIN and M. BUCKLEY. *Measurement good practice guide no.70 : Weighing in the pharmaceutical industry*. Middlesex : NPL, 2004. pp. 15-16.

[4] INTIANG J., W. SilRICHOTE and S. BOONSANIT. Development of automatic calibration system for electronic balances. *Bulletin of Applied Sciences*. 2019, **8**(8), 40-47.