

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

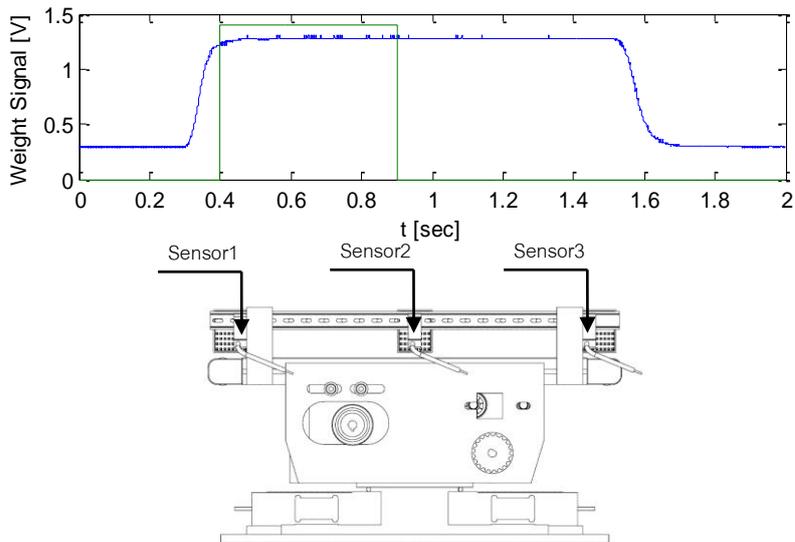
วิทยานิพนธ์นี้ มุ่งเน้นการหาประสิทธิภาพของวงจรกรองสัญญาณ ซึ่งใช้สำหรับการประมาณค่าน้ำหนักแบบพลวัต เพื่อนำไปสู่การคัดแยกเกรดมะม่วงแบบอัตโนมัติ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

ศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร ตำรา บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เพื่อนำมาประยุกต์ปรับปรุงกระบวนการประมาณค่ามวลมะม่วง และพัฒนาปรับปรุงเครื่องชั่งมวลแบบพลวัตให้ได้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

ศึกษาระบบเครื่องชั่งมวลมะม่วงแบบพลวัต

ทำการศึกษารออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดเกรดมะม่วงที่มีลักษณะการทำงานแบบอัตโนมัติถูกออกแบบโดย สุชาติ แย้มเม่น และคณะ (2554) จากรายงานเรื่อง เครื่องคัดเกรดมะม่วงโดยใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณน้ำหนักแบบพลวัตโดยจะเน้นในส่วนของระบบเครื่องชั่งมวลและการประมวลผลสัญญาณมวลมะม่วง ซึ่งเครื่องคัดเกรดมะม่วงของสุชาติ แย้มเม่น และคณะได้ทำการออกแบบเครื่องชั่งมวลโดยมีระบบสายพานวางอยู่บนโพลีเอทิลีน รองรับด้วยลูกทรงบอล มีสายพานลำเลียงเป็นแบบสายพานผ้าออกแบบวงจรปรับปรุงสัญญาณเป็นวงจรแบบแอนะล็อก (analog) ใช้วงจรกรองสัญญาณผ่านต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ทอันดับที่ 2 ความถี่คัตออฟ 3.17 Hz ซอฟต์แวร์การทำงานในส่วนของการประมวลผลสัญญาณด้วยพีแอลซี คือ พีแอลซีเริ่มการเก็บข้อมูลน้ำหนักของมะม่วงเมื่อมะม่วงเคลื่อนที่มาถึงอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงตัวที่ 1 และหยุดการเก็บข้อมูลเมื่อมะม่วงเคลื่อนที่มาถึงอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงตัวที่ 2 ตัวอย่างภาพ 14 จากนั้นทำการประมวลผลข้อมูลการประมาณค่ามวลมะม่วงด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ย แปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบของน้ำหนัก (กรัม) แสดงผลบนหน้าจอบแบบสัมผัส (Touch screen) ผลลัพธ์น้ำหนักที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของเกรดมะม่วงในฐานข้อมูล จึงส่งระบบนิเวศการทำงานเปิดช่องคัดแยกมะม่วงเพื่อให้มะม่วงไหลลงสู่ช่องเกรดน้ำหนักนั้น



ภาพ 14 แสดงตำแหน่งการเก็บข้อมูลในการประมวลผลสัญญาณมะม่วง

ศึกษาซอฟต์แวร์การประมวลผลค่าสัญญาณด้วยอุปกรณ์ควบคุมพีแอลซี

จากการศึกษาระบบเครื่องคัดแยกมะม่วงแบบพลวัตของสุชาติ แย้มเม่น และคณะ จึงได้ทำการปรับปรุงเปลี่ยนสายพานเป็นสายพานแบบพลาสติก และทำการศึกษาวิธีการประมวลผลค่ามวลมะม่วงจำนวน 4 วิธี ดังที่กล่าวในบทที่ 2 หัวข้อ “วิธีการสำหรับการประมวลผลน้ำหนัก” มีวิธีการทดลองดังนี้

ขั้นตอน 1 สอบเทียบมวลเพื่อหาสมการเส้นตรงสำหรับแปลงค่ามวลจากหน่วยโวลต์เป็นน้ำหนักกรัม โดยไปที่เมนู ตั้งค่าสอบเทียบน้ำหนัก ใส่ค่าน้ำหนักขณะที่ไม่มีวัตถุวางบนเครื่องซึ่ง กด Enter ที่หน้าจอแบบสัมผัส จากนั้นวางน้ำหนักมาตรฐานที่พิกัดขนาด 500 กรัม ลงบนเครื่องซึ่ง ใส่ค่าน้ำหนัก กด Enter ที่หน้าจอแบบสัมผัส



ภาพ 15 แสดงขั้นตอนการสอบเทียบมวล

จะได้สมการเส้นตรงที่ใช้ในการแปลงหน่วยจากการหาสมการเส้นตรงที่ผ่านจุด 2 จุด กำหนดให้ (x_1, y_1) เป็นจุดความสัมพันธ์ค่าน้ำหนักขณะที่ไม่มีวัตถุวางอยู่บนเครื่องชั่ง และ (x_2, y_2) เป็นจุดความสัมพันธ์ค่าน้ำหนักมาตรฐานที่พิกัด 500 กรัม วางอยู่บนเครื่องชั่ง จะได้สมการเส้นตรง ดังสมการ (3-1)

$$y = \left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \right) x + \left(y_1 - \left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \right) x_1 \right) \quad (3-1)$$

เมื่อ y คือ ค่าน้ำหนักมวลมาตรฐาน และ x คือ ค่าน้ำหนักมวลที่อ่านได้

ตัวอย่างเช่น $(x_1, y_1) = (0.236, 0)$ และ $(x_2, y_2) = (1.9726, 500)$ จากสมการ (3-2) สามารถคำนวณสมการเส้นตรงสำหรับการแปลงหน่วยดังสมการ (3-4)

$$y = \left(\frac{0 - 500}{0.236 - 1.9726} \right) x + \left(0 - \left(\frac{0 - 500}{0.236 - 1.9726} \right) 0.236 \right) \quad (3-2)$$

$$y = 287.91892x - 67.948866 \quad (3-3)$$

ขั้นตอน 2 ทดสอบผลวิธีการประมาณค่ามวลมะม่วง ด้วยวิธีค่าเฉลี่ย (Average Method; AVG) โดยเดินระบบสายพานที่อัตราเร็วสายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที วางมะม่วงขนาดเล็ก (289 กรัม) บนสายพานลำเลียงแนวราบไหลผ่านระบบสายพานซึ่งมวลมะม่วงแบบพลวัต

ขั้นตอน 3 บันทึกผลการประมาณค่ามวลมะม่วงจากผลการแสดงบนจอแบบสัมผัส

ขั้นตอน 4 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 จำนวน 25 ครั้ง

ขั้นตอน 5 ทดสอบเปลี่ยนอัตราเร็วสายพานเป็น 0.4 เมตรต่อวินาที และ 0.6 เมตรต่อวินาที ตามลำดับโดยทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 4

ขั้นตอน 6 ทดสอบเปลี่ยนขนาดน้ำหนักมะม่วงเป็นขนาดกลาง (363 กรัม) ขนาดใหญ่ (420 กรัม) และขนาดใหญ่พิเศษ (468 กรัม) ตามลำดับโดยทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 5

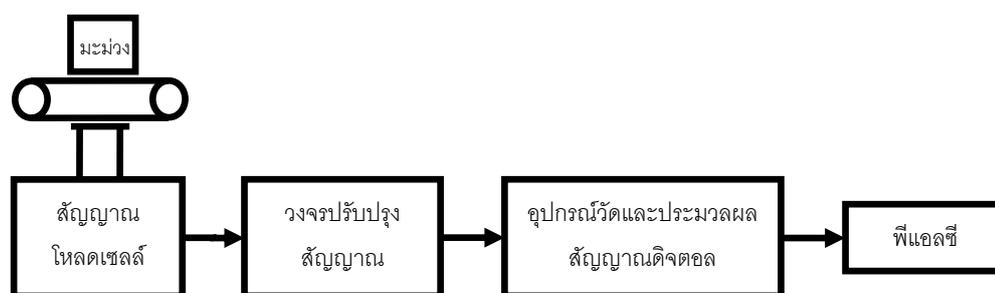
ขั้นตอน 7 ทดสอบเปลี่ยนโปรแกรมการประมวลผลน้ำหนัก เป็นวิธีวิธีการหาค่าสูงสุด (Maximum Method; MAX) วิธีการหาค่าต่ำสุด (Minimum Method; MIN) และวิธีการหาค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด (Maximum-Minimum Average Method; MaxMin) ตามลำดับ

ขั้นตอน 8 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความคลาดเคลื่อน ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด

เพื่อให้ออกแบบให้ดีกว่าวิธีของสุชาติ แย้มเม่น และคณะ และลดขั้นตอนกระบวนการในการคำนวณของอุปกรณ์ควบคุมพีแอลซี จึงได้พัฒนากระบวนการวิธีในการประมาณค่ามวลมะม่วง โดยใช้อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลทำงานในส่วนของการประมาณค่ามวลมะม่วง และกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิทัล จึงได้ปรับปรุงระบบเครื่องชั่งมวลมะม่วงแบบพลวัต โดยแบ่งเป็นการออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อให้สอดคล้องกับการประมวลผลสัญญาณรายละเอียดในหัวข้อออกแบบปรับปรุงระบบเครื่องชั่งมวลมะม่วงแบบพลวัต

ออกแบบปรับปรุงระบบเครื่องชั่งมวลมะม่วงแบบพลวัต

เพื่อปรับปรุงกระบวนการกรองสัญญาณและการประมาณค่ามวลมะม่วง โดยมีแผนผังระบบการทำงานโดยสังเขป ดังภาพ 16



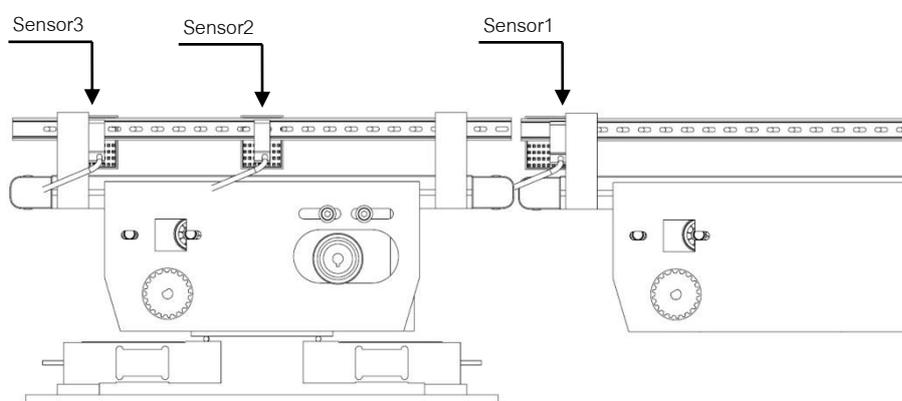
ภาพ 16 แสดงแผนผังระบบการทำงานของเครื่องชั่งมวลมะม่วงแบบพลวัตที่ออกแบบ

จากภาพ 16 แสดงแผนผังระบบการทำงานของเครื่องชั่งมวลมะม่วงแบบพลวัต โดยรับสัญญาณมวลมะม่วงมาจากไหลตเซลล์ ผ่านชุดวงจรปรับปรุงสัญญาณ ปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเบื้องต้นด้วยตัวกรองแบบแอนะล็อก จากนั้นส่งสัญญาณที่ได้ให้กับอุปกรณ์วัดและประมวลผลสัญญาณดิจิทัล เพื่อทำการกรองสัญญาณแบบดิจิทัลและประมาณค่ามวลมะม่วงส่งผลการประมาณค่ามวลมะม่วงที่ได้ในรูปแบบน้ำหนัก (กรัม) ให้กับพีแอลซี เพื่อทำหน้าที่ในการคัดแยกเกรดมะม่วง ซึ่งได้ทำการปรับปรุงการออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

1. การออกแบบฮาร์ดแวร์ (Hardware)

การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องซึ่งมวลงมะม่วง และวงจรปรับปรุงสัญญาณ ในส่วนของเครื่องซึ่งมวลงมะม่วงที่เป็นระบบสายพานวิ่งอยู่บนโหลดเซลล์นั้น ได้ทำการปรับปรุงย้ายตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสง เพื่อให้สอดคล้องกับโปรแกรมการประมวลผลสัญญาณมะม่วงที่ได้ออกแบบ โดยที่ตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสง

ภาพ 17

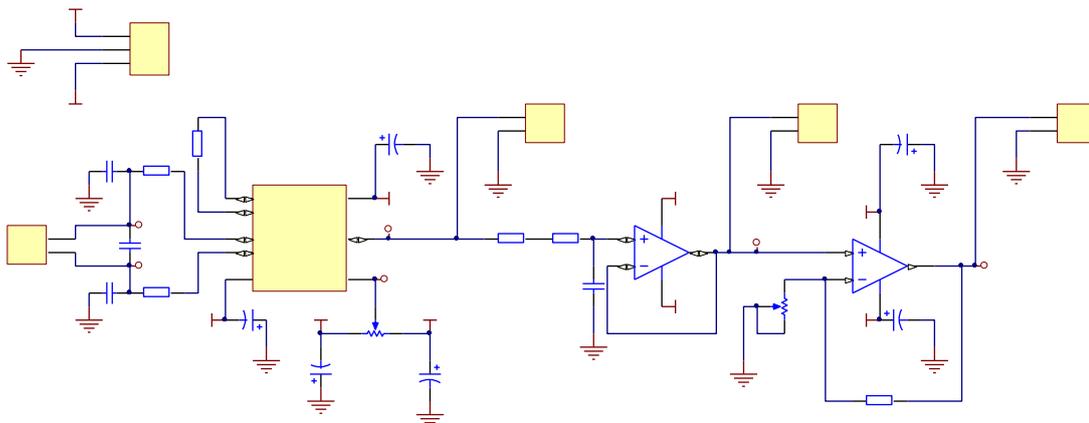


ภาพ 17 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสง

ในส่วนของวงจรปรับปรุงสัญญาณจะเป็นส่วนที่ใช้สำหรับปรับปรุงสัญญาณให้มีขนาดที่เหมาะสมกับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลโดยประกอบไปด้วย วงจรขยายอินพุตสัญญาณ วงจรกรองสัญญาณผ่านต่ำ และวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสภาพ 18



ภาพ 18 แสดงแผนผังภาพวงจรปรับปรุงสัญญาณ



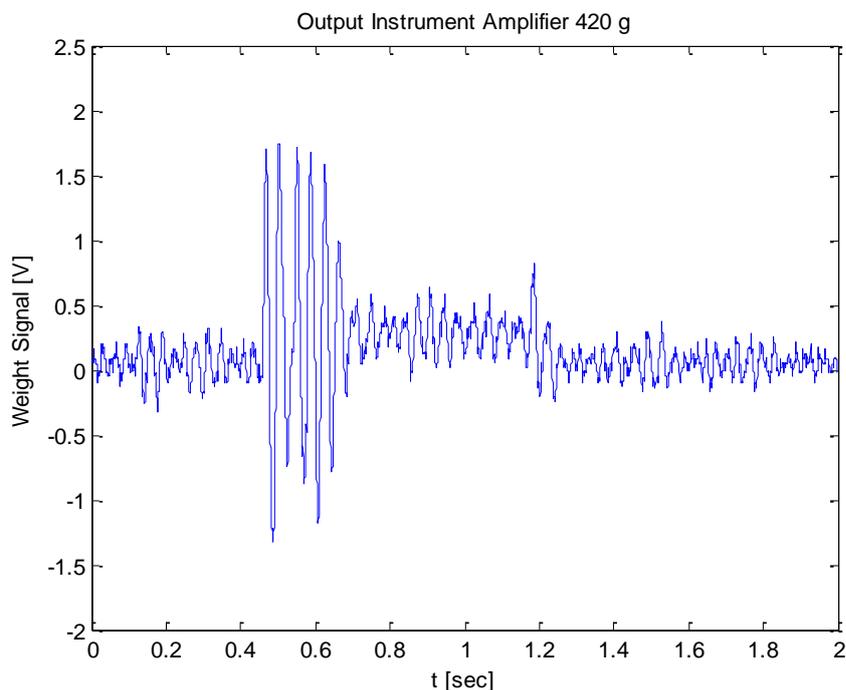
ภาพ 19 แสดงวงจรปรับปรุงสัญญาณ

จากภาพ 19 เป็นวงจรปรับปรุงสัญญาณที่ประกอบด้วย วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน วงจรกรองผ่านต่ำอันดับที่หนึ่ง และวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส มีการทำงานดังนี้

วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน มีการทำงานโดยรับสัญญาณจากโหนดเซลล์ผ่านทาง P5 ขยายสัญญาณด้วยไอซีเบอร์ INA114 อัตราขยาย 501 เท่า คำนวณได้จากสมการ (3-4)

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_1} \quad (3-4)$$

ลดระดับแรงดันจากการขยายด้วยวงจรอินสตรูเมนเตชันและจากน้ำหนักของฐานของรับน้ำหนักมอเตอร์และส่วนประกอบอื่นๆ ที่อยู่ด้านบนโหนดเซลล์ ซึ่งเป็นน้ำหนักที่เราไม่ต้องการ โดยอาศัยแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้ R7 {V2} ต่อที่ขาอ้างอิง (Reference) ของวงจรขยายอินสตรูเมนเตชันทดลองใช้มะม่วงน้ำหนัก 420กรัม เคลื่อนที่ผ่านระบบเครื่องชั่งด้วยอัตราเร็วสายพาน 0.6 เมตรต่อวินาที ลักษณะสัญญาณเอาท์พุทจากวงจรขยายอินสตรูเมนเตชันวัดสัญญาณด้วยออสซิลโคปผ่านทาง P3 ลักษณะสัญญาณดังภาพ 20



ภาพ 20 แสดงลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรขยายอิสดรูเมนเตชั่น

จากภาพ 20 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้แสดงให้เห็นถึงการสั่นสะเทือนจากการกระทบช่วงรอยต่อระหว่างสายพานลำเลียงแนวราบกับสายพานขั้วมวดและอาจเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในการเดินสายพาน ซึ่งจะมีการแกว่งตัวสูงมากตอนช่วงแรกของการเคลื่อนที่เข้าสู่สายพานขั้วมวด และเกิดการแกว่งตัวสูงอีกครั้งตอนช่วงการเคลื่อนที่ออกจากสายพานขั้วมวด ลักษณะของสัญญาณที่เกิดขึ้นมีทั้งค่าบวกและค่าลบ เมื่อพิจารณาค่าแอมพลิจูดแบบพีคทูพีค (Peak-to-peak amplitude) มีค่าเท่ากับ 3.06 โวลต์

ดังนั้นหากนำสัญญาณที่ผ่านวงจรขยายอิสดรูเมนเตชั่นเข้าสู่อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลโดยตรงอาจทำให้อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเสียหายได้เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณสามารถรับสัญญาณอินพุต 0 ถึง 3.3 โวลต์ จึงจำเป็นต้องนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านวงจรกรองผ่านต่ำเสียก่อน

วงจรกรองสัญญาณผ่านต่ำ ใช้วงจรกรองผ่านต่ำอันดับที่หนึ่ง ทำงานโดยรับสัญญาณจากวงจรขยายอิสดรูเมนเตชั่น กรองสัญญาณผ่านต่ำที่ความถี่คัตออฟ 2.24 เฮิรท์สามารถคำนวณความถี่คัตออฟได้ดังสมการ (3-9)

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_4}{V_3} = H(\omega) = \frac{D}{(1+D) + j\omega(C_{11} + C_{11}D)(R_3 + R_4)} \quad (3-5)$$

$$H(\omega) = \frac{D}{(1+D)(1 + j\omega C_{11}(R_3 + R_4))} \quad (3-6)$$

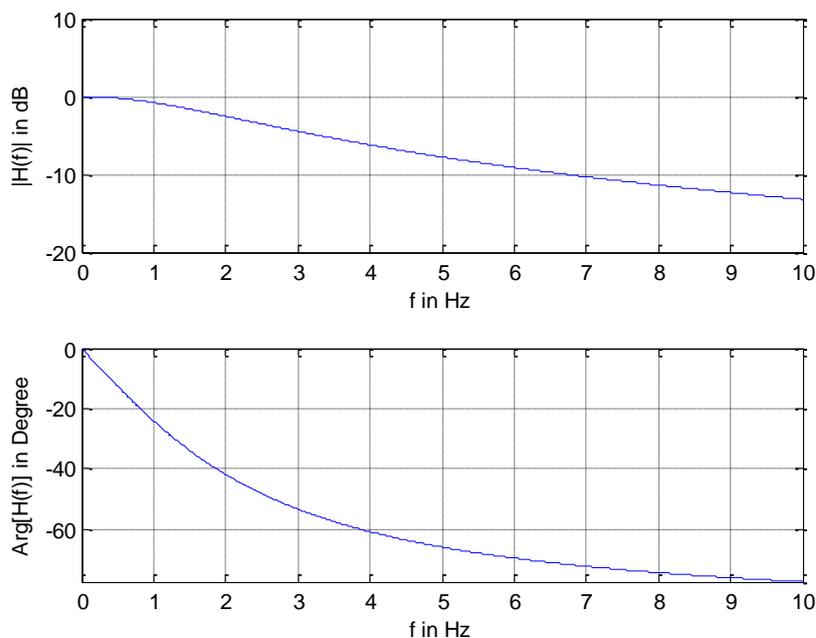
$$H(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega C_{11}(R_3 + R_4)} \quad (3-7)$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 C_{11}^2 (R_3 + R_4)^2}} \quad (3-8)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_{11}(R_3 + R_4)} \quad (3-9)$$

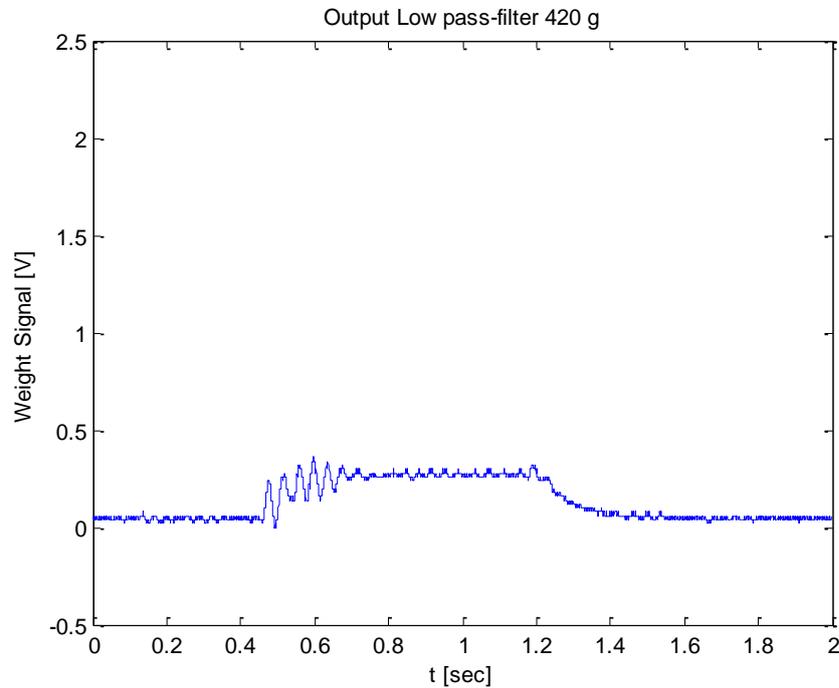
$$f_c = \frac{1}{2\pi(0.1 \times 10^{-6})(150 \times 10^3 + 560 \times 10^3)} = 2.24 \text{ [Hz]} \quad (3-10)$$

ขนาดและมุมเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนภาพ 21



ภาพ 21 แสดงขนาดและมุมเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองผ่านต่ำอันดับที่หนึ่ง

ลักษณะสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรกรองสัญญาณภาพ 22

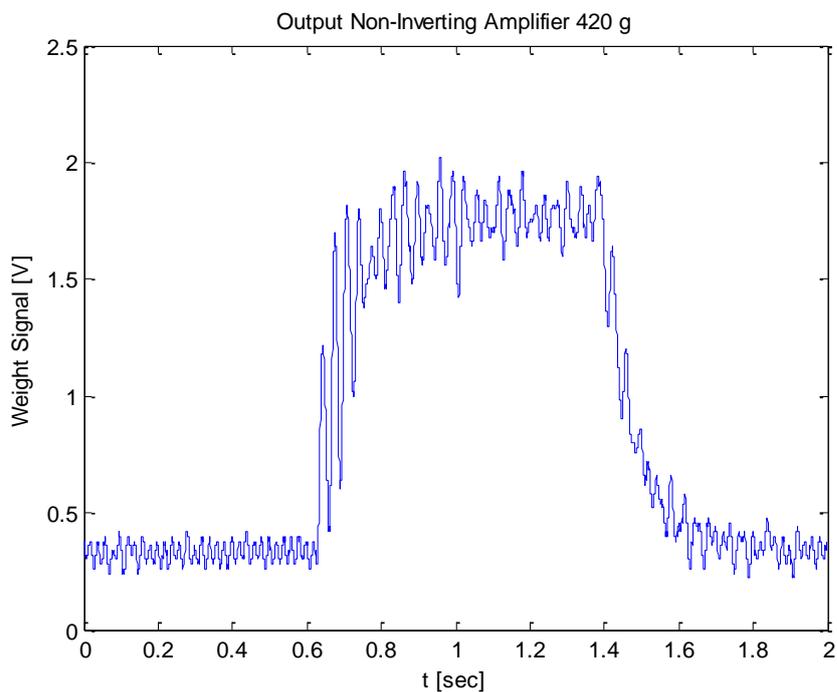


ภาพ 22 แสดงลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณผ่านต่ำ
อันดับที่หนึ่ง

วงจรรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส ออกแบบวงจรให้สามารถปรับอัตราขยายให้อยู่ในช่วงแรงดันที่ต้องการด้วยการปรับค่าความต้านทานที่ R_6 ซึ่งเป็นความต้านทานปรับค่าได้มีค่า 0 ถึง 100 กิโลโห์มคำนวณอัตราขยายได้จากสมการ (3-11)

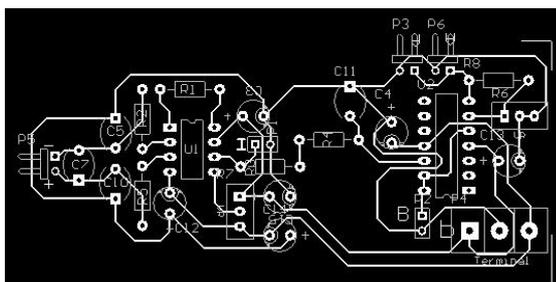
$$A_v = 1 + \frac{R_8}{R_6} \quad (3-11)$$

ลักษณะสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสดังภาพ 23 จากนั้นส่งสัญญาณให้กับอุปกรณ์ประมวลผลดิจิทัล เพื่อทำหน้าที่กรองสัญญาณดิจิทัลและประมาณค่าน้ำหนักของมะม่วงต่อไป



ภาพ 23 แสดงลักษณะสัญญาณเอาต์พุตวงจรมายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส

วงจรรีปรับสัญญาณจากภาพ 19 นำมาทำลายวงจรพิมพ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board: PCB) โดยใช้โปรแกรม Altium Designer ได้ลายวงจรพิมพ์ดังภาพ 24



ภาพ 24 แสดงภาพลายวงจรพิมพ์ของวงจรรีปรับสัญญาณ

วงจรปรับปรุงสัญญาณ มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

1. อินสตรูเมนเตชันเบอร์ INA114AU จำนวน 1 ตัว
2. ออปแอมป์เบอร์ TL074CT จำนวน 1 ตัว
3. ตัวเก็บประจุ ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด จำนวน 4 ตัว
4. ตัวเก็บประจุ ขนาด 47 ไมโครฟารัด จำนวน 6 ตัว
5. ความต้านทาน 100 โอห์ม จำนวน 1 ตัว
6. ความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม จำนวน 3 ตัว
7. ความต้านทาน 150 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว
8. ความต้านทาน 560 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว
9. ความต้านทานปรับค่าได้ 100 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว

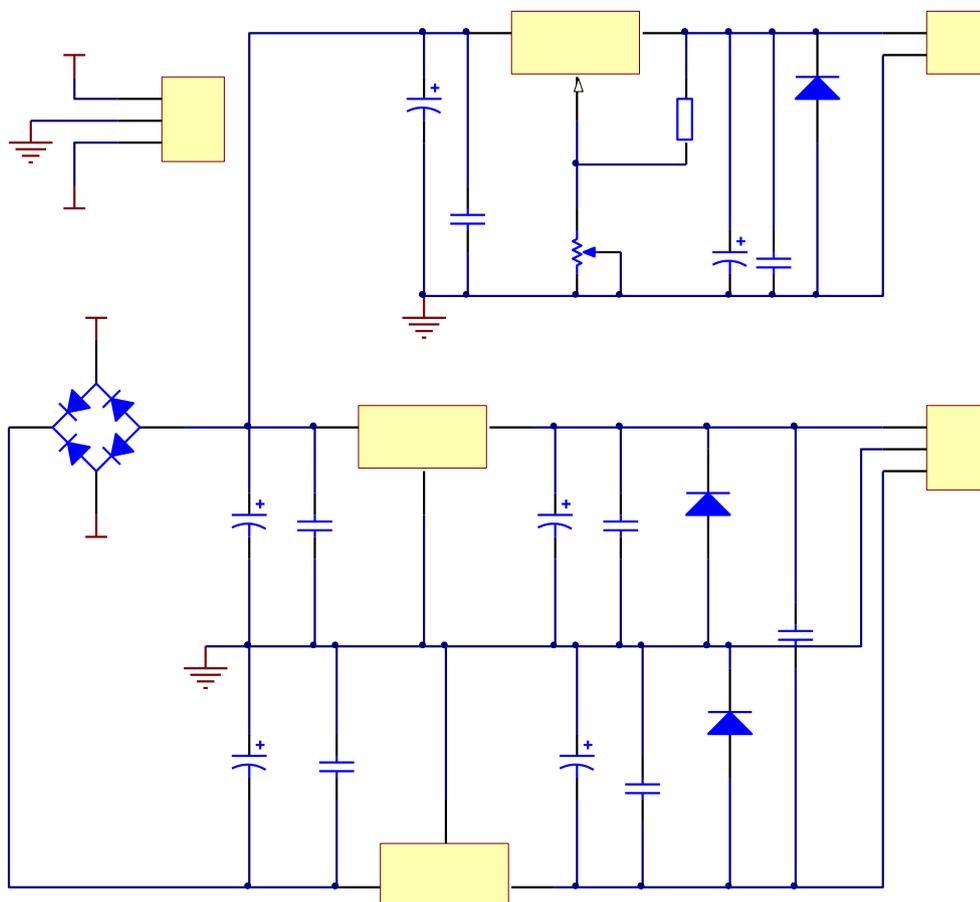
นอกจากนี้ ยังมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบเพื่อใช้สำหรับส่วนของการประมวลผลสัญญาณ โดยมีวงจรมีดังนี้

1. วงจรแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply)

วงจรแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์ มีหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับออปแอมป์ ในภาคของวงจรปรับปรุงสัญญาณ และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 10 โวลต์ มีหน้าที่จ่ายไฟให้กับโพลดเซลล์ วงจรแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังภาพ 25 มีการทำงานโดยรับไฟฟ้ากระแสสลับเข้ามาผ่านทางหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท็ปกลาง (Center Tap) P7 ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันเหลือ -15 โวลต์ 0 โวลต์ และ 15 โวลต์ ไปยังส่วนของไดโอด D1 เพื่อทำหน้าที่ในการเรียงกระแสเป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น จากกระแสสลับจะกลายเป็นกระแสตรง นำไปกรองออกโดยการนำไปผ่านตัวเก็บประจุจะทำให้สัญญาณที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงมากขึ้นแต่ยังไม่มีประสิทธิภาพพอ ดังนั้นจึงต้องมีการใช้ U+1 (AN7815CT) ทางด้านไฟบวกเป็นวงจรเรกูเลเตอร์ช่วยในการคุมแรงดันให้คงที่ และใช้ U-1 (AN7915CT) ทางด้านไฟลบแรงดันที่ออกมาจะผ่านตัวเก็บประจุทำให้แรงดันที่ได้เป็นเส้นตรงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น แรงดัน 10 โวลต์จะผ่านวงจรเรกูเลเตอร์ U3 LM317T เป็นตัวช่วยรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ซึ่งสามารถปรับระดับแรงดันได้ โดยการปรับที่ VR10 จะมีผลทำให้ขา adj ของไอซีเบอร์ LM317T ปรับระดับการทำงานยังสามารถปรับแรงดันตามความต้องการได้สมการ (3-12)

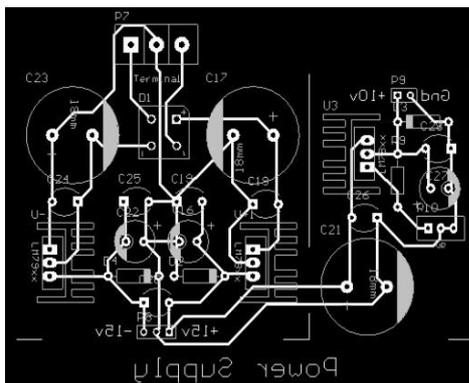
$$V_{out} = 1.25 \left(1 + \frac{R3}{R2} \right) + I_{ADJ} (R3) \quad (3-12)$$

โดยที่ I_{ADJ} เท่ากับ 50×10^{-6} แอมป์



ภาพ 25 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์ และ 10 โวลต์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์ และ 10 โวลต์ จากภาพ 25 นำมา
 ทำลายวงจรพิมพ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board: PCB) โดยใช้โปรแกรม Altium
 Designer ได้ลายวงจรพิมพ์ดังภาพ 26



ภาพ 26 แสดงภาพลายวงจรพิมพ์ของอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์ และวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 10 โวลต์

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 15 โวลต์ มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

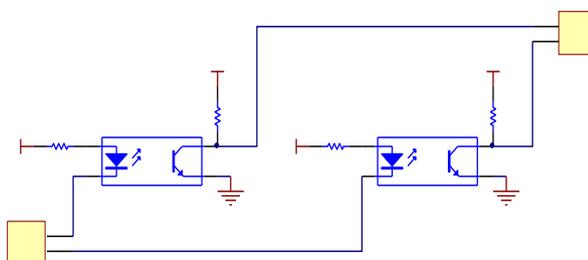
1. ตัวเก็บประจุ 2200 ไมโครฟารัด จำนวน 2 ตัว
2. ตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัด จำนวน 5 ตัว
3. ตัวเก็บประจุ 100 ไมโครฟารัด จำนวน 2 ตัว
4. ไดโอด 1N4001 จำนวน 2 ตัว
5. ไอซี AN7815CT จำนวน 1 ตัว
6. ไอซี AN7915CT จำนวน 1 ตัว

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 10 โวลต์ มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

1. ตัวเก็บประจุ 1000 ไมโครฟารัด จำนวน 1 ตัว
2. ตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัด จำนวน 2 ตัว
3. ตัวเก็บประจุ 10 ไมโครฟารัด จำนวน 1 ตัว
4. ไดโอด 1N4001 จำนวน 1 ตัว
5. ความต้านทาน 120 โอห์ม จำนวน 2 ตัว
6. ความต้านทานปรับค่าได้ 5 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ตัว
7. ไอซี LM317T จำนวน 1 ตัว

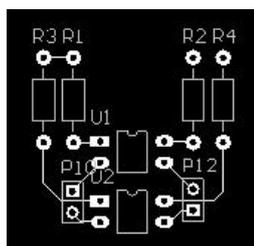
2. วงจรออปโตไอโซเลต (Opto Isolate)

วงจรออปโตไอโซเลต ทำหน้าที่แยกวงจรสองส่วนออกจากกันทางไฟฟ้า โดยใช้แสงเป็นตัวเชื่อมต่อ ซึ่งวงจรออปโตไอโซเลตมีคุณสมบัติช่วยแยกส่วนที่เป็นแรงดันไฟสูง ออกจากส่วนที่เป็นแรงดันไฟต่ำโดยสิ้นเชิง ซึ่งหากส่วนใดเกิดการลัดวงจร ก็จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับวงจรที่เหลือ เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงมีขนาดเท่ากับ 0 ถึง 24 โวลท์ ซึ่งไม่สามารถส่งสัญญาณเข้าสู่อุปกรณ์วัดและประมวลผลสัญญาณได้ ในงานวิจัยได้ใช้วงจรออปโตไอโซเลตจำนวน 2 วงจรดังภาพ 27 ขับลอจิก 0 หรือ 1 มาใช้ในการตรวจจับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมะม่วง



ภาพ 27 แสดงวงจรออปโตไอโซเลต

วงจรวงจรออปโตไอโซเลตจากภาพ 27 นำมาทำลายวงจรพิมพ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board: PCB) โดยใช้โปรแกรม Altium Designer ได้ลายวงจรพิมพ์ดังภาพ 28

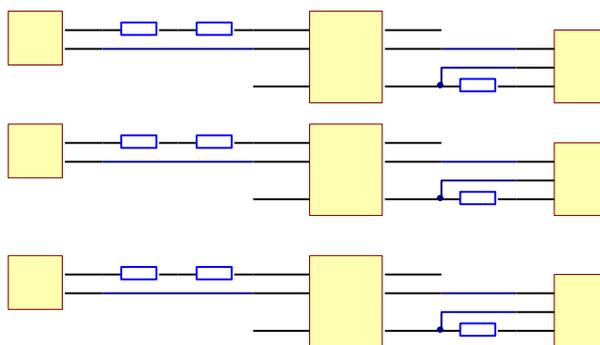


ภาพ 28 แสดงภาพลายวงจรพิมพ์ของวงจรวงจรออปโตไอโซเลต

วงจรออปโตไอโซเลต มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนี้

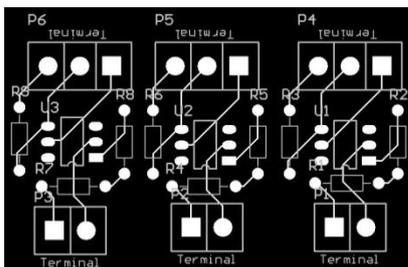
1. ไอซี PC817 จำนวน 2 ตัว
2. ความต้านทาน 10กิโลโอห์ม จำนวน 2 ตัว
3. ความต้านทาน 2.2 กิโลโอห์ม จำนวน 2 ตัว
3. วงจรปรับความเร็วมอเตอร์

วงจรปรับความเร็วมอเตอร์ได้ประยุกต์ใช้วงจรออปโต โดยใช้อิซีเบอร์ 4N35 โดยอาศัยแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานปรับค่าได้มาใช้ในการปรับความเร็วมอเตอร์ จำนวน 3 ตัว คือ มอเตอร์ขับสายพานแบบยกกระดืบ มอเตอร์ขับสายพานลำเลียงแนวราบ และมอเตอร์ขับสายพานซึ่งน้ำหนัก จึงได้วงจรปรับความเร็วมอเตอร์ดังภาพ 29



ภาพ 29 แสดงวงจรปรับความเร็วมอเตอร์

ออกแบบให้ความต้านทานปรับค่าได้ จำนวน 3 ตัว ใช้ในการหมุนปรับอัตราเร็วสายพาน ซึ่งจะติดตั้งอยู่บนกล่องอุปกรณ์จอบแบบสัมผัส โดยที่ความต้านทานปรับค่าได้ตัวที่ 1 (M1 Speed Volume) ใช้สำหรับควบคุมอัตราเร็วมอเตอร์สายพานลำเลียงแบบยกกระดืบ (M1) ความต้านทานปรับค่าได้ตัวที่ 2 (M2 Speed Volume) สำหรับควบคุมอัตราเร็วมอเตอร์สายพานลำเลียงแนวราบ (M2) และความต้านทานปรับค่าได้ตัวที่ 3 (M3 Speed Volume) สำหรับควบคุมอัตราเร็วมอเตอร์สายพานลำเลียงซึ่งมวล (M3) ซึ่งลักษณะการต่อวงจรในส่วนของความต้านทานปรับค่าได้ทั้ง 3 ตัวแสดงในภาคผนวก ก “แบบวางสายไฟฟ้าควบคุม” นำมาทำลายวงจรพิมพ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board: PCB) โดยใช้โปรแกรม Altium Designer ได้ลายวงจรพิมพ์ดังภาพ 30



ภาพ 30 แสดงกายลายวงจรพิมพ์ของอุปกรณ์ปรับความเร็วมอเตอร์

วงจรปรับความเร็วมอเตอร์ มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

1. ไอซี 4N35 จำนวน 3 ตัว
2. ตัวต้านทาน 20 กิโลโอห์ม จำนวน 3 ตัว
3. ตัวต้านทาน 500 โอห์ม จำนวน 4 ตัว
4. ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 กิโลโอห์ม จำนวน 3 ตัว

4. วงจรการเชื่อมต่อ (Interface Connector) อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลกับพีแอลซีชุดการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลกับพีแอลซี จะประยุกต์ใช้วงจรออปโตในการขับลอจิก 0 หรือ 1 สำหรับส่งข้อมูลดิจิทัล 16 บิต จากอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลให้กับพีแอลซี โดยอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลจะให้ค่าลอจิก 1 คือ 3.3 โวลต์ ลอจิก 0 คือ 0 โวลต์ D คือ เอาต์พุตจากอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล Q คือ เอาต์พุตดิจิทัลที่ส่งให้กับพีแอลซี

อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลจะส่งค่าเอาต์พุตดิจิทัล จำนวน 16 บิต เป็นค่าเลขฐานสอง (Binary Number Systems) ให้กับพีแอลซี โดยผ่านชุดวงจรการเชื่อมต่อ (Interface) แสดงน้ำหนักและค่าน้ำหนักเลขฐานสองของแต่ละบิตดังตาราง 5

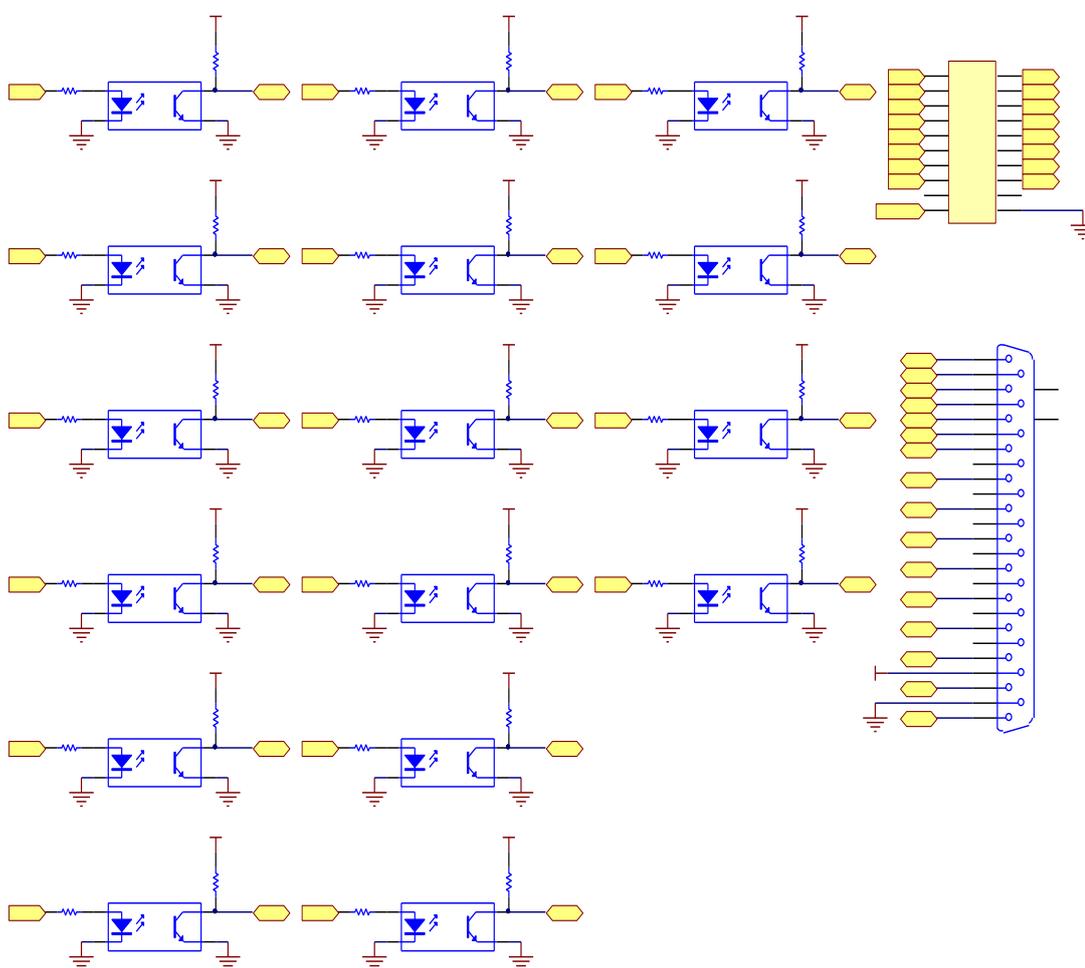
ตาราง 5 แสดงค่าน้ำหนักเลขฐานสอง

บิต(Bit)	Q15	Q14	Q13	Q12	Q11	Q10	Q9	Q8	Q7	Q6	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1	Q0
น้ำหนัก	2^{15}	2^{14}	2^{13}	2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
ค่าน้ำหนัก	32768	16384	8192	4096	2048	1024	512	256	124	64	32	16	8	4	2	1

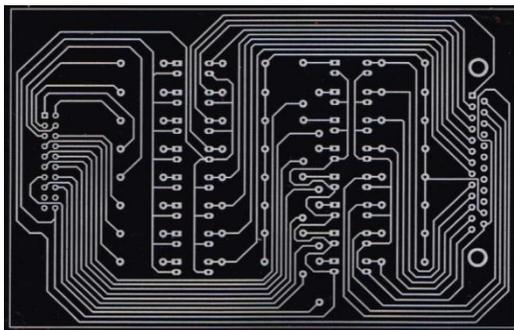
วงจรเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลกับพีแอลซี มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
ดังนี้

1. ไอซี PC817 จำนวน 16 ตัว
2. ตัวต้านทาน 330 โอห์ม จำนวน 16 ตัว
3. ตัวต้านทาน 1.56 กิโลโอห์ม จำนวน 16 ตัว

วงจรการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลกับพีแอลซีภาพ 31 และนำมาทำลายวงจรพิมพ์บนแผ่นพิมพ์ (Printed Circuit Board: PCB) โดยใช้โปรแกรม Altium Designer ได้ลายวงจรพิมพ์ดังภาพ 32



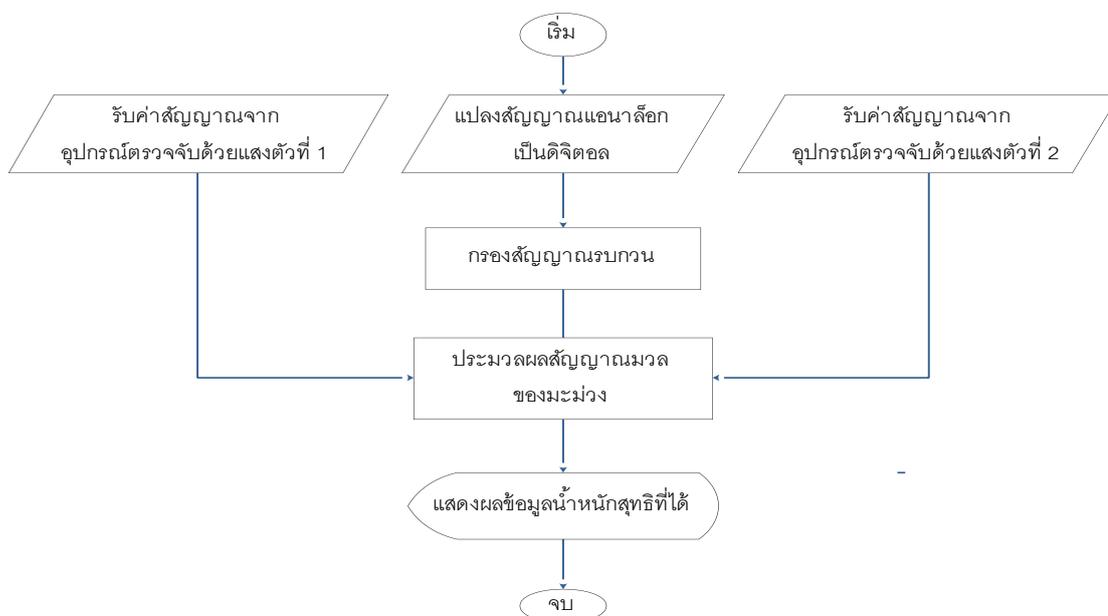
ภาพ 31 แสดงวงจรการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ประมวลผล
สัญญาณดิจิทัลกับพีแอลซี



ภาพ 32 แสดงกายลายวงจรมีพีเอ็มพีของชุดอุปกรณ์การเชื่อมต่ออุปกรณ์
ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลกับพีแอลซี

2. การออกแบบซอฟต์แวร์ (Software)

ในส่วนของ การออกแบบซอฟต์แวร์การทำงานจะเน้นในส่วนของโปรแกรมลำดับ
ขั้นตอนการทำงานทางด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล การกรองสัญญาณรบกวนและการประมาณ
ค่ามวลมะม่วง ซึ่งสัญญาณที่เกี่ยวข้องในการประมาณค่ามวลมะม่วง คือ สัญญาณที่ได้จาก
อุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสง และสัญญาณที่ได้จากวงจรปรับปรุงสัญญาณ โดยภาพรวมการทำงาน
สามารถเขียนในรูปแบบแผนผังขั้นตอนการทำงานดังที่แสดงไว้ในภาพ 33



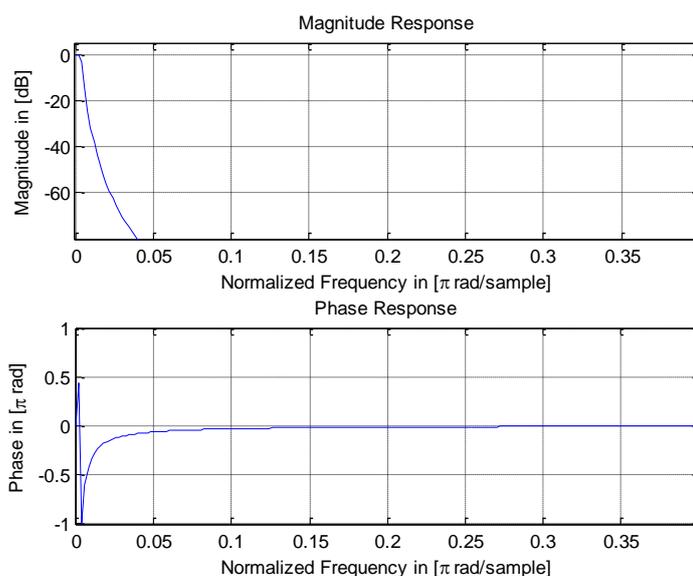
ภาพ 33 แสดงแผนผังลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมระหว่าง
อุปกรณ์ประมวลผลดิจิทัลกับพีแอลซี

ขั้นตอน 1 แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลด้วยความละเอียด 12 บิต (ADC 12-bit) อัตราการสุ่มสัญญาณ 2,500 ครั้งต่อวินาที สมการการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเขียนได้ดังนี้

$$V(t) = V[nT] , -\infty < n < \infty \quad (3-13)$$

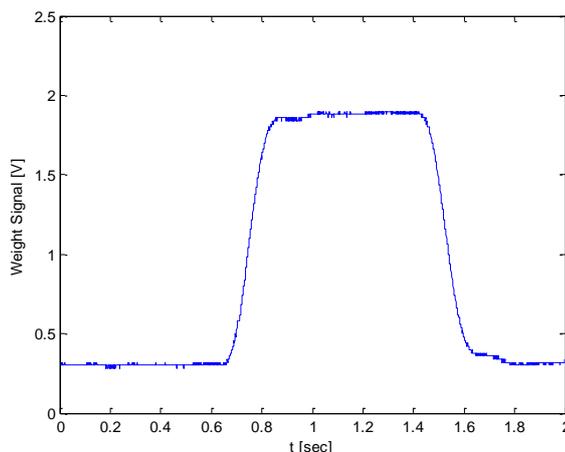
โดยที่ T คือ คาบการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Period) และ $f_s = \frac{1}{T}$ คือ ความถี่การสุ่มตัวอย่าง (Sampling Frequency)

ขั้นตอน 2 กรองสัญญาณรบกวนดิจิทัลแบบ IIR Filter (Infinite Impulse Response) แบบบัตเทอร์เวิร์ธ (Butterworth Filter) ความถี่คัตออฟ 5 เฮิรตซ์ หรือ 0.004π เรเดียน แสดงผลตอบสนองขนาดและมุมเฟสดังภาพ 34



ภาพ 34 แสดงผลตอบสนองขนาดและมุมเฟส

ทดลองนำมะม่วงน้ำหนัก 420 กรัม เคลื่อนที่ผ่านระบบเครื่องซึ่งด้วยอัตราเร็วสายพาน 0.6 เมตรต่อวินาที คุณลักษณะสัญญาณเอาท์พุทจากวงจรกรองสัญญาณดิจิทัลด้วยการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกเพื่อให้ออสซิลโลสโคปเก็บสัญญาณ ลักษณะสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบดิจิทัลดังภาพ 35



ภาพ 35 แสดงลักษณะสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบดิจิทัล

ขั้นตอน 3 ประมวลผลสัญญาณมวลของมะม่วงรับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงตัวที่ 1 จากนั้นประมวลผลสัญญาณค่ามวลมะม่วงในขณะที่มะม่วงเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงตัวที่ 1 ด้วยวิธีค่าเฉลี่ย จะได้มวลขณะเดินสายพานซึ่งมวลมะม่วงตัวเปล่า

สมมติว่า จำนวนมวลของมะม่วงที่จับเก็บได้จากการเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงตัวที่ 1 มีจำนวนทั้งหมด N ข้อมูล ซึ่งมีนิยามได้ว่า

$$V_{NL}[n] = \{V_{NL}[0], V_{NL}[1], V_{NL}[2], \dots, V_{NL}[N-1]\} \quad (3-14)$$

ดังนั้นมวลของสายพานซึ่งมวลมะม่วง \hat{V}_{NL} เท่ากับ

$$\hat{V}_{NL} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{n=N-1} V_{NL}[n] \quad (3-15)$$

รับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงตัวที่ 2 จากนั้นประมวลผลสัญญาณค่ามวลมะม่วงในขณะที่มะม่วงเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงตัวที่ 2 ซึ่งอยู่บนระบบสายพานซึ่ง จะได้มวลมะม่วง

สมมติว่าจำนวนมวลของมะม่วงที่จับเก็บได้จากการเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับด้วยแสงตัวที่ 2 มีจำนวนทั้งหมด M ข้อมูล ซึ่งมีนิยามได้ว่า

$$V_{FL}[n] = \{V_{FL}[0], V_{FL}[1], V_{FL}[2], \dots, V_{FL}[M-1]\} \quad (3-16)$$

ดังนั้น มวลของมะม่วงรวมกับสายพานซึ่งมวลมะม่วง \hat{V}_{FL} เท่ากับ

$$\hat{V}_{FL} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{n=N-1} V_{FL}[n] \quad (3-17)$$

ดังนั้น มวลของมะม่วง V_{mango} หาได้จาก

$$V_{mango} = \hat{V}_{FL} - \hat{V}_{NL} \quad (3-18)$$

โดยที่ V_{mango} คือ มวลของมะม่วงที่ได้ในหน่วยโวลท์

ขั้นตอน 4 แสดงผลข้อมูลน้ำหนักสุทธิที่ได้ในรูปแบบน้ำหนัก (กรัม) จากสมการ

$$C = \left(\frac{C_{\max} - 0}{V_{\max} - \hat{V}_{NL}} \right) \times (V_{mango}) \quad (3-19)$$

โดยที่ C คือ มวลมะม่วงสุทธิที่ได้ในหน่วยกรัม

$C_{\max} = 500$ คือ มวลสูงสุดของตุ้มมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

$V_{\max} = 1.7342$ คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก 500 กรัม ในรูปแบบโวลท์ ซึ่งได้มาจากการทดลองวางมวลมาตรฐานหนัก 500 กรัม ลงบนเครื่องชั่งจากนั้นใช้ออสซิลอสโคปวัดสัญญาณน้ำหนักบันทึกค่าเฉลี่ยโวลท์ที่อ่านได้ ทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง

เมื่ออุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลทำการประมาณค่ามวลของมะม่วงแล้ว จึงนำค่าที่ได้ส่งให้กับอุปกรณ์ควบคุมพีแอลซี ด้วยการส่งเป็นแบบเลขดิจิตัล 16 บิต อุปกรณ์ควบคุมพีแอลซี จะทำการแสดงค่ามวลมะม่วงที่ได้ และนำข้อมูลของมวลมะม่วงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์การคัดแยกมะม่วงในฐานข้อมูล เพื่อตัดสินใจสั่งชุดนิวเมติกทำงานเปิด-ปิดประตูสวิงให้ทำงานตามเกรดมะม่วงที่ตั้งค่าไว้

ทดสอบเปรียบเทียบมวลเครื่องชั่งน้ำหนัก

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องชั่งน้ำหนักที่ได้ทำการปรับปรุง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องชั่งน้ำหนักขณะชั่งมวลแบบนิ่ง โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. วางน้ำหนักมาตรฐานจำนวน 51 ค่า {0, 10, 20, 30, ... , 500 กรัม} ลงบนเครื่องชั่ง
2. วัดค่าโวลท์ที่ได้จากสัญญาณมะม่วง โดยใช้ฮอสซิลโลสโคปจับที่สัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดและประมวลผลสัญญาณดิจิทัลในส่วนของการกรองสัญญาณดิจิทัล บันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละครั้งของการวางน้ำหนักมาตรฐาน
3. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่ามวลมาตรฐานกับค่ามวลที่ได้จากค่าเฉลี่ยสัญญาณจากฮอสซิลโลสโคป เพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสอง
4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 จำนวน 5 ครั้ง

ทดสอบการทำงานของเครื่องคัดแยกมะม่วง

ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคัดแยกมะม่วงด้วยการชั่งน้ำหนักแบบพลวัต โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การทดสอบความแม่นยำของวงจรมหาภาคในการประมาณค่ามวลมะม่วงด้วยเทคนิควิธีค่าเฉลี่ย

- 1.1 เตรียมมะม่วง 4 ขนาดน้ำหนัก (289 กรัม 363 กรัม 420 กรัม และ 468 กรัม)
- 1.2 ทดสอบเดินสายพานที่อัตราเร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที ปล่อยมะม่วงหนัก 289 กรัม ลงบนสายพานลำเลียงแนวราบให้ไหลผ่านเครื่องชั่ง
- 1.3 บันทึกค่ามวลมะม่วงที่อ่านได้จากจอแบบสัมผัส
- 1.4 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 จำนวน 25 ครั้ง
- 1.5 ทดสอบเปลี่ยนความเร็วเป็น 0.4 เมตรต่อวินาที และ 0.6 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง 4
- 1.6 ทดสอบเปลี่ยนน้ำหนักมะม่วงเป็น 363 กรัม 420 กรัม และ 468 กรัม ตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง 5
- 1.7 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความคลาดเคลื่อน ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด

2. การทดสอบความแม่นยำในการตัดแยกมะม่วง

- 2.1 นำผลมะม่วงจำนวน 90 ผล ซึ่งด้วยเครื่องซึ่งละเอียด
- 2.2 ตั้งค่าเกณฑ์การตัดแยกแต่ละขนาดน้ำหนักผ่านทางจอแบบสัมผัส
- 2.3 เดินสายพานอัตราเร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที
- 2.4 วางผลมะม่วงที่ละผลลงบนสายพานลำเลียงแบบยกกระดืบ
- 2.5 นับจำนวนผลมะม่วงในแต่ละช่องขนาด
- 2.6 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความแม่นยำในการตัดแยกของเครื่องตัดแยก

มะม่วง

$$accuracy = \frac{TT}{TT + TF} \times 100\% \quad (3-20)$$

โดยที่ TT คือ จำนวนผลมะม่วงที่ตัดถูกต้อง

TF คือ จำนวนผลมะม่วงที่ตัดไม่ถูกต้อง