

เครื่องตรวจวัดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชด้วยคลื่นความถี่วิทยุ Moisture Balance Detector of Grain by Using Radio Frequency

วิไลลักษณ์ ทองศิริพงษ์สมบัติ¹, ชัยนาท ลีอจจริยะ¹, วชิรญาณม์ คุ่มเนตร¹, เอกทัศน์ พุกขวรรณ¹,
นิพนธ์ เลิศมนกุล¹, ศุภกิต แก้วดวงตา^{1*}, และ สิทธิชัย เด่นตรี²

Wilailak Thongsiriphongsombat¹, Chainat Leeatchariya¹, Washiraya Kumnat¹, Eakkathas
Pruksawan¹, Nipon Lertmanokul¹, Supakit Kawdungta^{1*}, and Sitthichai Dentr²

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่

²ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

¹Department of Electrical Engineering, faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

²Department of Electronics Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University
of Technology North Bangkok

*Email: Supakitting@gmail.com

Received: January 11, 2021; Revised: March 03, 2021; Accepted: May 05, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเครื่องตรวจวัดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชโดยอ้อมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งเครื่องตรวจวัดปริมาณความชื้นนี้จะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าไดอิเล็กตริกของเมล็ดพืชที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นภายในโดยตัวเครื่องจะประกอบด้วยการทำงานของภาคตรวจจับความชื้นด้วยตัวเก็บประจุไฟฟ้า ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่ 50 MHz ภาคแปลงระดับแรงดันและส่วนประมวลผล เมื่อทำการสร้างและทดสอบด้วยเมล็ดพืชตัวอย่างชนิดข้าวโพดที่มีระดับความชื้นแตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่าสามารถระบุค่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพดได้เปรียบเทียบกับเครื่องที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปและมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 5-10% ซึ่งต้องการพัฒนาและสอบเทียบเครื่องต้นแบบต่อไป

คำสำคัญ : ค่าไดอิเล็กตริก, ความถี่วิทยุ, เครื่องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น, ตัวเก็บประจุไฟฟ้า, เมล็ดพืช

Abstract

This paper presents indirect moisture balance detector of grain by using radio frequency. This moisture detector is based on the principle of vary of the dielectric values of the seeds that change according to the internal moisture content. It consists of the operation of the moisture detection with electrical capacitors, frequency oscillator of 50 MHz, voltage converter and processor unit. It is fabricated and experimented with the samples of maize seeds of 5 different moisture levels. It is found that the moisture of grain could be identified comparable to the commercially available machines with the percentage of error of 5-10%, which requires further development and calibration of the prototype in future work.

Keywords : Dielectric, Radio Frequency, Moisture Balance Detector, Capacitor, Grain

1. บทนำ

ความชื้นในเมล็ดพืชถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งเนื่องจากความชื้นมีผลต่อคุณภาพและการเสื่อมเสียของเมล็ดพืช โดยเฉพาะการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ (Microbial Spoilage) เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และรา เป็นต้น ซึ่งสาเหตุดังกล่าวจะมีผลกระทบต่ออายุการวางจำหน่าย (Shelf Life) จึงกล่าวได้ว่าเมล็ดพืชที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นเมล็ดพืชที่เสื่อมเสียง่ายเนื่องจากมีสภาวะเหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ อีกทั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จากความชื้นนี้จะมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหารโดยเมล็ดพืชที่มีการเจริญของจุลินทรีย์จะก่อโรค (Pathogen) และสร้างสารพิษ (Toxin) ก่อให้เกิดอาหารเป็นพิษที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคทั้งคนและสัตว์ นอกจากนี้ความชื้นยังมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสทำให้เนื้อสัมผัส เช่น ความกรอบ ความหนืด การเกาะติดกันเป็นก้อนได้ เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นความชื้นก็ยังมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) และปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid Oxidation) เป็นต้น โดยคุณสมบัติของความชื้นจะมีผลต่อการเก็บรักษาเมล็ดพืชที่ทุก ๆ 1% ที่ความชื้นในเมล็ดพืชลดลง อายุการเก็บรักษาของเมล็ดพืชนั้นจะนานขึ้นอีกหนึ่งเท่าตัว จากสาเหตุที่กล่าวไปแล้วนั้นเป็นผลกระทบโดยตรงทำให้การกำหนดราคามูลค่าเมล็ดพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด เมล็ดธัญพืช จะถูกกำหนดราคาซื้อขายผันแปรตามปริมาณความชื้นภายในเมล็ดพืช [1]-[4] จึงทำให้การตรวจวัดปริมาณความชื้นภายในเมล็ดพืชนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งโดยทั่วไปมีวิธีการทดสอบปริมาณความชื้นอยู่ 2 แบบ คือ การวัดค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชได้โดยตรง และการวัดค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชได้โดยอ้อม [5]-[6] โดยการวัดค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชได้โดยตรงจะเป็นการวัดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดพืชโดยตรง โดยนำเอาเมล็ดพืชตัวอย่างมาทำการอบเพื่อชั่งน้ำหนัก จากนั้นทำการอบให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดพืชจนน้ำหนักในเมล็ดไม่ลดลง แล้วจึงนำน้ำหนักก่อนอบและน้ำหนักหลังอบของเมล็ดพืชมาคิดคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น ซึ่งวิธีการนี้เป็นที่ยอมรับโดยทั่วกันว่ามีความถูกต้องแม่นยำสูง นิยมใช้

เป็นค่าความชื้นมาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการอื่น ๆ ก่อนนำค่าที่ได้ไปใช้ประโยชน์ แต่มีข้อเสียคือตัวอย่างทดสอบจะทดสอบได้เพียงครั้งเดียวและตัวอย่างทดสอบเกิดความเสียหาย อีกทั้งการทดสอบต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนาน ถัดมาเป็นวิธีการวัดค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชโดยอ้อมซึ่งเป็นการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืชด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำให้ทราบผลรวดเร็วสะดวก แต่มีข้อเสียคือค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าโดยประมาณการซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธี คือ 1. การวัดด้วยความต้านทานไฟฟ้า (Resistance) ทำได้โดยบรรจุเมล็ดพืชตัวอย่างลงช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในภาชนะปิดแน่นจากนั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะแปรเป็นค่าปริมาณความชื้น 2. การวัดด้วยความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ซึ่งจะวัดความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ด ปริมาณความชื้นในเมล็ดจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ดเปลี่ยนแปลง ซึ่งความถูกต้องของค่าความชื้นที่วัดได้จากวิธีนี้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของความชื้น ดังนั้นการวัดด้วยวิธีนี้ต้องรอเวลานานประมาณ 1-2 ชั่วโมงเพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศต่าง ๆ เกิดสมดุลก่อนวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และ 3. การวัดด้วยความจุไฟฟ้า (Capacitance) ตัวอย่างทดสอบจะถูกบรรจุในภาชนะปิด โดยผนังภาชนะทำหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงออกมา ค่าความชื้นที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะไม่มีความแม่นยำมากกว่าการวัดจากค่าความต้านทานไฟฟ้าและไม่ต้องรอให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศต่าง ๆ

จากความสำคัญของการวัดค่าความชื้นภายในเมล็ดพืชและวิธีการวัดที่แตกต่างกันทำให้มีการพัฒนาเครื่องวัดความชื้นสำหรับเมล็ดพืชในลักษณะต่าง ๆ ดังจะกล่าวต่อไปนี้ ชัยวัฒน์ ชัยกุล ได้มีการผลิตและจำหน่าย เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพันธุ์ EE-KU ซึ่งเป็นเครื่องที่มีขนาดกะทัดรัดและสามารถเคลื่อนย้ายไปทำการทดสอบในสถานที่ต่าง ๆ ได้สะดวก อีกทั้งมีประสิทธิภาพและราคาย่อมเยา [7] ถัดมาได้มีการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องวัดความชื้นเมล็ดพันธุ์ชนิดต่าง ๆ เช่น Steinlite Gann และ CTR800 นำเสนอโดย ภาณี เตมีศักดิ์ และ ประเทือง ดอนสมไพร [8] อีกทั้งในแง่ของการพัฒนาเครื่องวัดความชื้นให้สามารถสื่อสารได้แบบไร้สายนำเสนอโดย กนกศักดิ์ บุญทัน และ

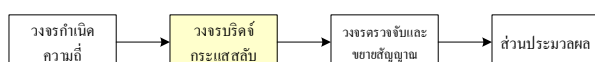
ประกาศิต ต้นตอกลงการ [9] ในขณะเดียวกันก็ยังมีบทความทางวิชาการระดับนานาชาติที่ทำการสรุปและเรียบเรียงเกี่ยวกับเทคโนโลยีการวัดความถี่ขึ้นไว้ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการวัดความถี่ของเมล็ดพีชโดยทั่วไปนั้นต้องการความแม่นยำ สะดวกรวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่างการทดสอบ [10]-[11] ดังนั้นในบทความนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาเครื่องวัดความถี่ของเมล็ดพีชแบบอ้อมด้วยคลื่นความถี่วิทยุและหลักการไดโอดเล็กทริกภายในค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ทั้งนี้เครื่องวัดความถี่จะสามารถทราบผลได้รวดเร็ว มีความแม่นยำ ตัวอย่างทดสอบสามารถทดสอบได้หลายครั้งและไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งหลักการไดโอดเล็กทริกภายในค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุสำหรับการทดสอบหาความถี่ของเมล็ดพีชนี้ได้ถูกกล่าวถึงในเอกสารอ้างอิงที่ [12]-[13]

2. โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดปริมาณความถี่

จากหลักการของเครื่องตรวจวัดปริมาณความถี่ที่ทำการศึกษาคืออาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าไดโอดเล็กทริกของเมล็ดพีชที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความถี่ภายในและการเปลี่ยนแปลงของค่าไดโอดเล็กทริกนั้นจะถูกออกแบบเป็นค่าไดโอดเล็กทริกของตัวเก็บประจุไฟฟ้าทำให้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของเมล็ดพีชจะเป็นผลทำให้ค่าไดโอดเล็กทริกและค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในสมการที่ (1)

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (1)$$

เมื่อ C คือค่าความจุไฟฟ้า A คือพื้นที่แผ่นตัวนำ d คือระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ และ ϵ คือค่าไดโอดเล็กทริกของวัสดุตัวกลางระหว่างแผ่นตัวนำ จากหลักการดังกล่าวทำให้การออกแบบส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดความถี่ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ วงจรกำเนิดความถี่ วงจรบริดจ์ กระแสสลับ วงจรขยายสัญญาณ และส่วนประมวลผลดังแสดงในรูปที่ 1

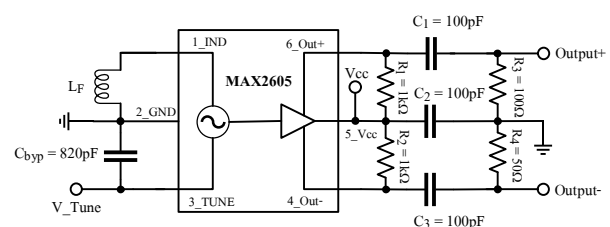


รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดความถี่

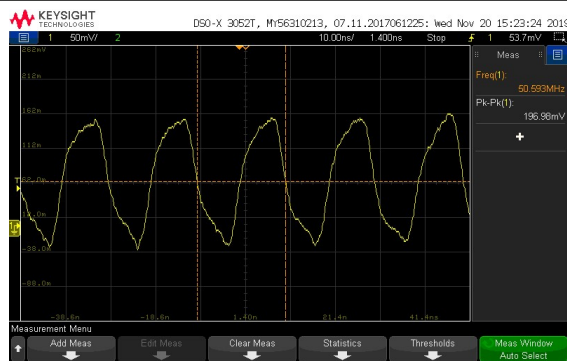
จากรูปที่ 1 สามารถอธิบายหลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดความถี่ขึ้นโดยเริ่มจากวงจรกำเนิดความถี่ให้กำเนิดความถี่วิทยุที่ความถี่ 50 MHz เป็นรูปคลื่นไซน์จากนั้นส่งไปป้อนให้วงจรบริดจ์กระแสสลับโดยวงจรจะประกอบด้วยตัวเก็บประจุเชื่อมต่อกันเป็นวงจรบริดจ์ซึ่งมีตัวเก็บประจุที่ไม่ทราบค่าเชื่อมต่ออยู่ (ในที่นี้คือ ตัวเก็บประจุที่ถูกออกแบบให้เป็นตัวตรวจวัดความถี่จากเมล็ดพีชรูปทรงกล่อ่งสี่เหลี่ยม) เมื่อเมล็ดพีชที่อยู่ภายในตัวเก็บประจุที่ไม่ทราบค่ามีความถี่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ค่าไดโอดเล็กทริกและค่าความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลทำให้วงจรบริดจ์กระแสสลับเกิดสภาวะไม่สมดุลและความต่างศักย์ของความถี่วิทยุจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะของวงจรบริดจ์ทำให้สามารถใช้ค่าความต่างศักย์นี้มาประมวลผลเป็นค่าความถี่ของเมล็ดพีชได้ด้วยวงจรตรวจวัดและส่วนประมวลผล

3. การออกแบบและผลการทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการทดสอบเครื่องตรวจวัดปริมาณความถี่ของเมล็ดพีชด้วยคลื่นความถี่วิทยุโดยจะกล่าวแยกออกเป็นส่วนๆ ตามรูปที่ 1 เริ่มจากวงจรกำเนิดความถี่ที่สามารถให้กำเนิดความถี่วิทยุที่ 50 MHz ถูกออกแบบด้วยชิปไอซีเบอร์ MAX2605 [14] มีลักษณะการควบคุมความถี่เอาต์พุตด้วยระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Voltage Control Oscillator : VCO) เมื่อทำการสร้างและทดสอบพบว่าวงจรกำเนิดความถี่สามารถให้กำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ค่าความถี่เท่ากับ 50.59 MHz 196.98 mVp-p ดังแสดงในรูปที่ 2



(ก) แบบผังวงจร

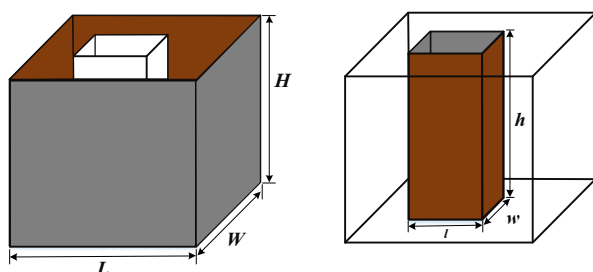
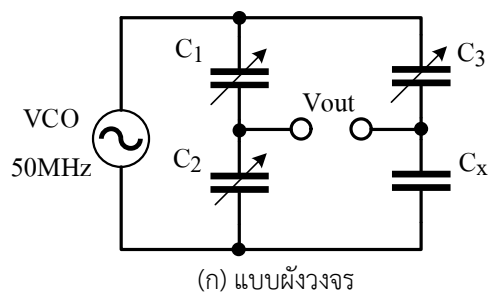


(ข) สัญญาณเอาต์พุต
รูปที่ 2 วงจรกำเนิดความถี่

ถัดมาเป็นส่วนของวงจรบริดจ์กระแสสลับดังแสดงในรูปที่ 3 ประกอบด้วยตัวเก็บประจุจำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุที่ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณความถี่ของเมล็ดพืช 1 ตัว และอีก 3 ตัว ใช้สำหรับปรับสถานะสมดุลของวงจรโดยวงจรนี้ถูกออกแบบให้เกิดสถานะสมดุลที่มีความถี่ 50 MHz ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$Z_1 Z_x = Z_2 Z_3 \quad (2)$$

$$C_1 C_x = C_2 C_3 \quad (3)$$



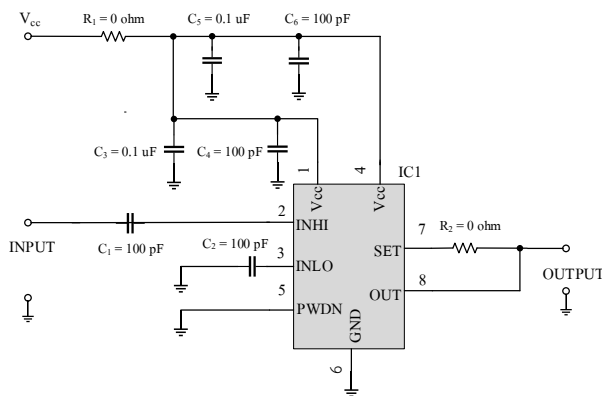
(ข) ตัวเก็บประจุสำหรับตรวจวัดปริมาณความถี่ Cx
รูปที่ 3 วงจรบริดจ์กระแสสลับ

จากวงจรบริดจ์กระแสสลับจะทำให้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของเมล็ดพืชที่อยู่ในตัวเก็บประจุสำหรับตรวจวัดปริมาณความถี่หรือ Cx ในวงจรตามรูปที่ 3 โดยสถานะของวงจรจะเปลี่ยนแปลงจากบริดจ์สมดุลเป็นสถานะไม่สมดุลและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันของสัญญาณความถี่ 50MHz ไปตามปริมาณความถี่ที่อยู่ในเมล็ดพืช เบื้องต้นก่อนที่จะทำการออกแบบในลำดับถัดไปได้ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุสำหรับตรวจวัดปริมาณความถี่ Cx เมื่อใส่เมล็ดข้าวโพดที่แตกต่างกัน 5 ระดับความถี่ว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างไรด้วยเครื่องวัดค่า LCR ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

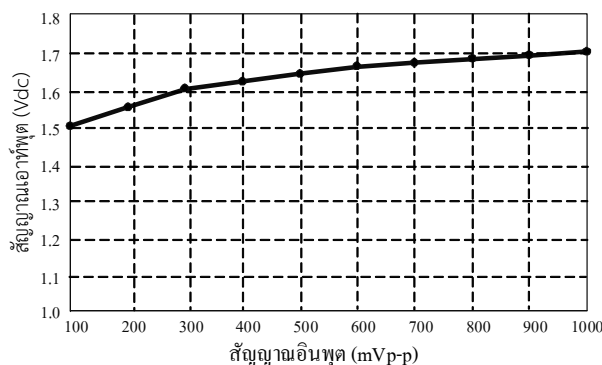
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุสำหรับตรวจวัดปริมาณความถี่ Cx เมื่อใส่เมล็ดข้าวโพดที่แตกต่างกัน 5 ระดับความถี่

ระดับความถี่	ค่าความจุไฟฟ้า (pF)
1	37.60
2	110.40
3	119.50
4	129.20
5	155.20

จากค่าความจุไฟฟ้าที่ได้ในตารางที่ 1 พบว่าค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุสำหรับตรวจวัดปริมาณความถี่ Cx นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความถี่ของเมล็ดข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นจึงใช้วงจรตรวจจับและขยายสัญญาณมารับสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเพื่อแปลงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงและปรับระดับสัญญาณก่อนที่จะส่งเข้าไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและแสดงผลปริมาณความถี่ต่อไป รูปที่ 4 แสดงแบบผังวงจรและผลการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจรตรวจจับและขยายสัญญาณโดยมีลักษณะการแปลงแบบแปรผันตรงตามขนาดของคลื่นความถี่ 50 MHz ที่ได้รับมาจากวงจรบริดจ์กระแสสลับ



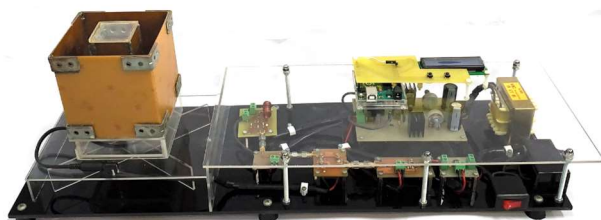
(ก) แบบผังวงจร



(ข) ผลการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 4 วงจรตรวจจับและขยายสัญญาณ [15]

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 [16] ได้รับสัญญาณจากวงจรตรวจจับและขยายสัญญาณจะทำการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลและทำการประมวลผลและแสดงผลเป็นระดับความชื้นต่อไป เมื่อทำการเชื่อมต่อทั้งหมดเข้าด้วยกันจะเป็นเครื่องตรวจวัดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชด้วยคลื่นความถี่วิทยุต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องตรวจวัดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชด้วยคลื่นความถี่วิทยุต้นแบบ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบวัดค่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพดที่แตกต่างกัน 5 ระดับความชื้น

ระดับความชื้น	ค่าความชื้นจากเครื่องมือที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป (%)	ค่าความชื้นจากเครื่องต้นแบบ (%)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	11.48	12.75	7.69
2	13.04	14.67	12.50
3	14.46	15.74	8.85
4	16.02	15.96	0.37
5	17.52	16.03	8.50

จากนั้นได้นำเครื่องต้นแบบมาทดสอบตรวจวัดปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวโพดเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถวัดค่าความชื้นได้และมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปแต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้มีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 5-10% ซึ่งต้องทำการพัฒนาและสอบเทียบเครื่องต้นแบบต่อไป

4. สรุปผล

เครื่องตรวจวัดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชโดยอ้อมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ 50 MHz ต้นแบบที่นำเสนอ ซึ่งจากการทดสอบเทียบกับเครื่องต้นแบบนั้นมีความแตกต่างเล็กน้อยจากเครื่องตรวจวัดปริมาณความชื้นทั่วไปที่ใช้ศักย์ไฟฟ้าบวกและลบ หรือที่ใช้อินฟาเรดความร้อน ทำให้ผลที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยสามารถที่จะตรวจวัดปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวโพดตัวอย่างที่นำมาทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับเครื่องแบบมาตรฐานที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปแต่ยังคงมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ประมาณ 5-10% ซึ่งสามารถที่จะพัฒนาต่อไปด้วยการปรับเทียบเครื่องต้นแบบด้วยเครื่องมือที่มีมาตรฐาน ซึ่งเครื่องต้นแบบที่นำเสนอได้อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าไดโอดเล็กทรอนิกส์ของเมล็ดพืชที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นภายในโดยตัวเครื่องจะประกอบด้วยการทำงานของภาคตรวจจับความชื้นด้วยตัวเก็บประจุไฟฟ้า ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่ 50 MHz ภาคแปลงระดับแรงดันและส่วนประมวลผล เมื่อทำการสร้างและทดสอบด้วยเมล็ดพืชตัวอย่างชนิดข้าวโพดที่มีระดับความชื้น

แตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่าสามารถระบุค่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพดได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Duangpatra, "Seed testing and analysis," Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 194. 1986 (in Thai).
- [2] Agricultural engineering, "Principles and important components of grain dehumidification," Department of Agriculture, year 12(2), Apr. – Jun. 2000 (in Thai).
- [3] C. Samphunphuang K. Pipithsangchan P. Wongchang A. Songserm and S. Dachakumpoo, "Influence of Seed Moisture Content and Storage Temperature to Safflower Seeds Germination," Thai Agricultural Research Journal, vol. 34, no. 1, pp. 65-75, Jan. – Apr. 2016 (in Thai).
- [4] P. Thuainak, M. Chuchonak, M. Yapha and P. Bunyawanichakul, "Review of Development of Paddy Dried in Industry," SWU Engineering Journal, year 9(1), pp. 68-74. Jul.-Sep. 2018 (in Thai).
- [5] K. Thiminkun, "Study of factors affecting the determination of paddy moisture with moisture analyzer," Post-Harvest Engineering, Agricultural Engineer Research Institute, 09-01-47-0202 (in Thai).
- [6] V. Thepent "Measurement of grain moisture," Post-Harvest Engineering, Agricultural Engineer Research Institute, Department of Agriculture (in Thai).
- [7] C. Chaikul. Seed Moisture Meter EE-KU. [Online]. (2015). [Cited July 1, 2015]. Available: <http://www2.rdi.ku.ac.th/> (in Thai).
- [8] P. Temeesak and P. Donsompai, "Efficiency of steinlite, gann and ctr800 seed moisture testers," Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom (Thailand), Kasetsart University Research and Development Institute at Kamphaeng Saen, Central Laboratory and Greenhouse Complex. 1989 (in Thai).
- [9] K. Bunthan and P. Tuntialongkarn, "Wireless Moisture Meter for Unhusked Rice," The 8th National Conference on Technical Education, Bangkok, pp. 7-12. Nov. 2015 (in Thai).
- [10] S. O. Nelson and S. Trabelsi, "Historical Development of Grain Moisture Measurement and Other Food Quality Sensing Through Electrical Properties," IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, vol. 19, issue 1, pp. 16 - 23, February 2016.
- [11] S.O. Nelson, "Sensing Moisture Content in Grain," IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, vol. 3, issue 1, pp. 17 – 20, Mar 2000.
- [12] D. Nathk and P. Ramanathan, "A Simplified and Portable Capacitance Sensor to Measure Moisture Content of Paddy," Gazi University Journal of Science, vol. 31, no. 3, pp. 821- 829, 2018.
- [13] C. V. Kandala and J. Sundaram, "Nondestructive Measurement of Moisture Content Using a Parallel Plate Capacitance Sensor for Grain and Nuts," IEEE Sensors Journal, vol. 10, no. 7, pp. 1282-1287, July 2010.
- [14] Maximintegrated, "Intermediate- frequency (IF) Voltage-controlled Oscillators (VCOs)," MAX2605-MAX2609 data sheet.
- [15] Maximintegrated, "50MHz to 1000MHz, 75dB Logarithmic Detector/ Controller," MAX2014 data sheet.
- [16] arduino. [Online]. (2021). [Cited March 1, 2021]. Available: <https://www.arduino.cc>