

การพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่ C ร่วมกับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบน้ำยางปนเปื้อน

ประพันธ์ ลีกุล¹, ธัญวัฒน์ ลิ้มปิติ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

²สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

Email : prapan.l@rbru.ac.th¹, thunyawat.li@wu.ac.th²

Received: July 1, 2019

Revised: Aug 5, 2019

Accepted: Aug 22, 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่ C เพื่อประยุกต์ใช้ตรวจวัดน้ำยางปนเปื้อนด้วยสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) สายอากาศพัฒนาบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR4 หนา 1.414 เซนติเมตร ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง 4.1 ขนาดสายอากาศถูกคำนวณด้วยทฤษฎีพื้นฐานและจำลองการปรับโครงสร้างอย่างละเอียดด้วยโปรแกรมจำลองสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และได้ค่าพารามิเตอร์ S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วงความถี่ 3.8 ถึง 6.0 กิกะเฮิรตซ์ จำลองการตรวจวัดโมเดลน้ำยางปนเปื้อนด้วยการเปลี่ยนค่าคงที่ไดอิเล็กตริกตั้งแต่ 40 ถึง 48 ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง และผลการจำลองที่ได้ของ S_{11} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่น ความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ค่าที่ได้อยู่ที่ -17.29 ถึง -15.6 เดซิเบล ค่า S_{11} ของการจำลองถูกใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก โครงสร้างที่เหมาะสมประกอบด้วย 10 โหนดอินพุต 20 โหนดซ่อนเร้น อัตราการเรียนรู้ 0.001 และเป้าหมาย คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำยางปนเปื้อน ผลการทดสอบให้อัตราความผิดพลาด 0.15 ความแม่นยำ 97.8% จากการตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียมแสดงถึงความเป็นไปได้ในการตรวจวัดน้ำยางปนเปื้อน ดังนั้นสายอากาศจึงได้รับการสร้างและทดสอบ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วงความถี่ 3.7 ถึง 6.1 กิกะเฮิรตซ์ ข้อดีของสายอากาศนี้ คือ ขนาดเล็กกะทัดรัด ไม่ซับซ้อน และสร้างง่าย ซึ่งเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบตรวจวัดการปนเปื้อนของน้ำยาง

คำสำคัญ : สายอากาศโมโนโพล, โครงข่ายประสาทเทียม, น้ำยางปนเปื้อน

Development of C-band monopole antenna with Artificial Neural Networks Cooperation for Latex Contamination Detecting Application

Prapan Leekul¹, Thunyawat Limpiti²

¹Department of Telecommunication and Information Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

²Department of Electrical Engineering, School of Engineering and Technology, Walailak University
Email : prapan.l@rbru.ac.th¹, thunyawat.li@wu.ac.th²

Received: July 1, 2019

Revised: Aug 5, 2019

Accepted: Aug 22, 2019

Abstract

Development of a monopole antenna operating at the frequency of C band for applying in detecting contaminated latex by using the reflection coefficient (S_{11}) is presented. The antenna is implemented on the FR4 printed circuit board which the dielectric constant is 4.1 and the thickness of the substrate is 1.414 mm. The dimension of the antenna was initially calculated with the basic theory; then was optimized in the electromagnetic simulator program. The simulated $S_{11} < -10$ dB was in the range of 3.8-6.0 GHz. To simulate the contaminated latex detection, the latex was modeled by varying the dielectric constant each step by 1 from 40-48 so that there are all 9 samples. The simulation results showed that S_{11} increased at the frequency of 5 GHz which were -17.29 to -15.6 dB. Then, they were used to train the artificial neural networks (ANN) to find the weights value. The suitable structure of ANN consists of 10 input nodes, 20 hidden nodes, 0.001 learning rate, and the target is dielectric constant of contaminated latex. To validate the performance of ANN, it was tested and the results showed that the error rate and the accuracy were 0.15 and 97.8%, respectively. According to the decision result of ANN, it is possible to detect the contaminated latex. Therefore, the antenna was fabricated and tested. The $S_{11} < -10$ dB is in the range of 3.7-6.1 GHz. The advantages of this antenna are compact size, simple construction, and easy to fabricate which are suitable for applying in detecting contaminated latex.

Keywords : Monopole antenna, Artificial neural networks, Contaminated latex

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งสิ้น 14.6 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศมีอยู่ทุกภูมิภาค โดยปลูกมากที่สุดในภาคใต้ นอกจากนี้ยังเป็นอันดับ 2 ของโลก (Office of Agricultural Economics, 2017) ส่งผลให้ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นสินค้าที่มีมูลค่าทางการตลาดสูง รวมถึงยังเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศและในปี 2560 มีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับหนึ่งอยู่ที่ 204,837.65 ล้านบาท ซึ่งเป็นอัตราการขยายตัวสูงถึง 13.7% (Office of Permanent Secretary Ministry of Commerce, 2018) ผลผลิตของยางพาราและกระบวนการรับซื้อประกอบด้วยหลายปัจจัย เช่น ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยาง การไม่ปนเปื้อน เป็นต้น ปัญหาการปนเปื้อนเกิดจากการลักลอบเติมสิ่งปลอมปนลงไปในน้ำยางเพื่อหวังเพิ่มน้ำหนักหรือเพิ่มเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง สิ่งปลอมปนที่เกษตรกรเติมลงในน้ำยางสดมีหลายชนิด ส่วนมากมีสีขาวและมีลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำยาง เช่น แป้งมัน และปูนขาว เมื่อน้ำยางปนเปื้อนถูกผลิตเป็นยางแผ่นดิบทำให้ขาดคุณภาพ ยางดิบที่มีสิ่งปลอมปนหรือสิ่งสกปรกอาจกระทบต่อภาพลักษณ์สินค้ายางพาราไทยทำให้ประเทศคู่ค้าขาดความเชื่อมั่น ดังนั้นเกษตรกรต้องให้ความสำคัญในการผลิตยาง จึงได้มีการศึกษาและวิเคราะห์น้ำยางพาราสด ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งหรือสิ่งปลอมปนในน้ำยางพาราสด เช่น Julrat et al. (2012) ได้พัฒนาระบบตรวจสอบเปอร์เซ็นต์เนื้อยางจากการประยุกต์ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นแบบ 6 พอร์ต ที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ พร้อมศึกษาค่าสภาพยอมไฟฟ้าของเปอร์เซ็นต์เนื้อยางในช่วง 28-61% และใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับตัดสินใจ ระบบยังคงมีความซับซ้อนเนื่องจากใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมทั้งหมด รวมถึงความถี่ที่ใช้งานมีเพียง 1 ความถี่ อย่างไรก็ตามระบบยังคงแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ใน

การประยุกต์ใช้คลื่นความถี่เพื่อตรวจสอบน้ำยางปนเปื้อน และต่อมา Somwong et al. (2015) ได้ศึกษาค่าสภาพยอมไฟฟ้าของน้ำยางพาราปนเปื้อนในช่วง 0.5-2.0 กิกะเฮิร์ตซ์ เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบ และผลการวิจัยพบว่าค่าสภาพยอมไฟฟ้ามีคุณสมบัติสามารถจำแนกความแตกต่างน้ำยางปนเปื้อนในน้ำยางพาราสด แต่ยังคงเป็นการทดสอบเบื้องต้นและไม่ถูกพัฒนาเป็นเครื่องมือเพื่อใช้งานจริง จึงเห็นได้ว่าระบบเซนเซอร์ไมโครเวฟเป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจและนำมาใช้ในการตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำยาง ซึ่งคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่แตกต่างกันของวัสดุมีผลต่อกำลังงานการส่งผ่านและกำลังงานการสะท้อนคลื่นความถี่เมื่อเดินทางผ่านวัสดุนั้นๆ รวมถึงการตัดสินใจยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบที่ต้องการความแม่นยำ ระบบการตัดสินใจที่ได้รับความสนใจและถูกประยุกต์อย่างแพร่หลาย คือ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks: ANNs) เทคนิคนี้ใช้การเรียนรู้การจดจำรูปแบบ และปรับตัวให้เข้ากับปัญหาที่ต้องการแก้ไขการฝึกสอนใช้คุณลักษณะเด่นของข้อมูลในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้เหมาะสม เช่น Pizzai et al. (2018) ได้นำเสนอการคัดแยกเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า (Arabica) โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพถ่ายและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และได้พัฒนาระบบภาษาไพทอน (Python) มีการเรียนรู้ลักษณะของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า เช่น รูปร่าง ขนาด สี และพื้นผิวของเมล็ดกาแฟ ใช้อินพุต 5 โนต โนตซอเรน 100 โนต และเอาต์พุตเป็นเลขไบนารี 1 โนต ความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 94.10% ระบบจึงมีมาตรฐานการคัดแยกใกล้เคียงกันรวมถึงต้นทุนที่ลดลง และในปีเดียวกันนั้น Khan et al. (2018) ได้เสนอการพัฒนาขนาดของสายอากาศไมโครสตรักเจอร์พวงแหวน (ARMAs) ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น เรียนรู้การปรับขนาดของสายอากาศต่อความถี่ที่ทำงาน (Resonant frequency) และเทียบผลที่

ได้กับการจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ช่วงความถี่ที่ใช้ทดสอบ คือ GSM LTE WLAN และ WiMAX การจำลองใช้วิธีการสุ่มข้อมูลจากขนาดสายอากาศ 80 ข้อมูล จากนั้นใช้ในการฝึกสอน 70 ข้อมูล และทดสอบ 10 ข้อมูล โดยใช้ข้อมูลอินพุต 4 โหนด จำนวนโนดซ่อนเร้น 4 โหนด และโนดเอาต์พุต 1 โหนด ซึ่งสามารถหาขนาดที่เหมาะสมและใช้เวลาในการประมวลผลน้อย สายอากาศเป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบเซนเซอร์ไร้สายใช้เพื่อรับส่งคลื่นความถี่ การพัฒนาทำได้หลายแบบและที่ได้รับความนิยม คือ การพัฒนาบนแผ่นวงจรพิมพ์ เนื่องจากความซับซ้อนต่ำ การบ่อนสัญญาณทำได้หลายแบบรวมถึงปรับให้สายอากาศทำงานที่ความถี่กว้าง เช่น Vyas and Singhal (2014) นำเสนอสายอากาศแพทช์ ที่ใช้ CPW-fed ให้ค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วง 2.7-6.5 กิกะเฮิร์ตซ์ บนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 การเพิ่มความกว้างแบนด์ของสายอากาศใช้การปรับรูปทรงของระนาบกราวด์ (MGS) แบบขั้นบันได ปรับด้วยการจำลองจากโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบสื่อสารสายอากาศมีโครงสร้างขนาดเล็กไม่ซับซ้อน ระนาบกราวด์วางอยู่ด้านเดียวกับองค์ประกอบของสายอากาศ เหมาะสำหรับการพัฒนาต่อเพื่อใช้งานกับระบบที่ต้องการ จากนั้น Lakrit et al. (2015) ได้เสนอสายอากาศแพทช์วงกลมย่านความถี่กว้าง (UWB) เพื่อใช้ในระบบสื่อสารใช้ การเพิ่มช่องรูปตัวที ที่ระนาบกราวด์ด้านหลัง เพื่อปรับช่วงความถี่ให้กว้างขึ้น 3.52-13.67 กิกะเฮิร์ตซ์ จำลองการปรับขนาดระนาบกราวด์ทั้งหมด 3 แบบ ที่เหมาะสมคือ inverted T-shaped ให้ค่า S_{11} น้อยกว่า -20 เดซิเบล ระนาบกราวด์ด้านหลังถูกปรับเพื่อเพิ่มสมรรถนะ นอกจากนี้ พรพิมล ฉายแสง และ ประพันธ์ ลีกุล (2561) ได้ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยที่มีระดับของเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งแตกต่างกัน พบว่านำมาใช้คัดแยกอายุยางก้อนถ้วยได้ โดยช่วงความถี่ที่เหมาะสม คือ 4.77 ถึง 5.39 กิกะเฮิร์ตซ์

ช่วงความถี่ดังกล่าวเหมาะสำหรับพัฒนาสายอากาศ เนื่องจากตอบสนองได้ดีต่อคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ

ดังนั้นจึงนำเสนอการพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่กว้าง โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณและปรับขนาดละเอียดด้วยการจำลอง เพื่อให้ทำงานที่ความถี่ 4-6 กิกะเฮิร์ตซ์ และจำลองสายอากาศร่วมกับระบบเซนเซอร์ เพื่อตรวจสอบโมเดลน้ำยางที่เปลี่ยนค่าคงที่ไดอิเล็กตริกตามลักษณะการปนเปื้อน นำค่า S_{11} ที่ได้มาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้เรียนรู้เทียบกับระดับปนเปื้อน ปรับโครงสร้างการใช้จำนวนโนดอินพุต (Input node) จำนวนโนดซ่อนเร้น (Hidden node) อัตราการเรียนรู้ (Learning rate) อัตราความผิดพลาด (Error rate) และค่าถ่วงน้ำหนัก (Weights) จากนั้นทำการพัฒนาสายอากาศเป็นต้นแบบพร้อมทดสอบสมรรถนะด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่กว้างในช่วง C แบนด์
2. เพื่อจำลองการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้ตรวจสอบน้ำยางปนเปื้อน

ระเบียบวิธีวิจัย

1. สายอากาศโมโนโพล

สายอากาศโมโนโพลมีขนาด 1 ใน 4 ของความยาวคลื่น จึงมีรูปทรงกะทัดรัด สะดวกต่อการประยุกต์ใช้งาน ถูกพัฒนาให้ทำงานช่วงความถี่ 4-6 กิกะเฮิร์ตซ์ ขนาดเบื้องต้นถูกคำนวณให้เหมาะสมกับความถี่ทำงานต่ำสุด (f_L) ของสายอากาศ โมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมที่ 4 กิกะเฮิร์ตซ์ ใช้สมการของ (Ray, 2006) จากความสัมพันธ์ของความถี่ใช้งานกับขนาดสายอากาศ แสดงในสมการที่ (1)

$$f_L = \frac{c}{\lambda} = \frac{7.2}{l + r + p \times \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

$$S_{11} = \frac{V_{i1}}{V_{r1}} = \Gamma_1 \quad (2)$$

เมื่อ f_L หน่วยเป็นกิกะเฮิรตซ์ ขนาดสายอากาศในสมการหน่วยเป็นเซนติเมตร l คือ ความยาวสายอากาศ r คือ รัศมีประสิทธิผลสายอากาศรูปวงกลมสมมูลภายใน p คือ ความยาวสายป้อนสัญญาณ ขนาดจากการคำนวณได้รับการพัฒนาต่อด้วยโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Hobbies 10.0) เพื่อปรับขนาดอย่างละเอียดและให้ทำงานได้ดีในช่วงความถี่ 4-6 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้คุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r') ของวัสดุฐานรองอยู่ที่ (Substrate) 4.1 มีความหนา 1.414 มิลลิเมตร

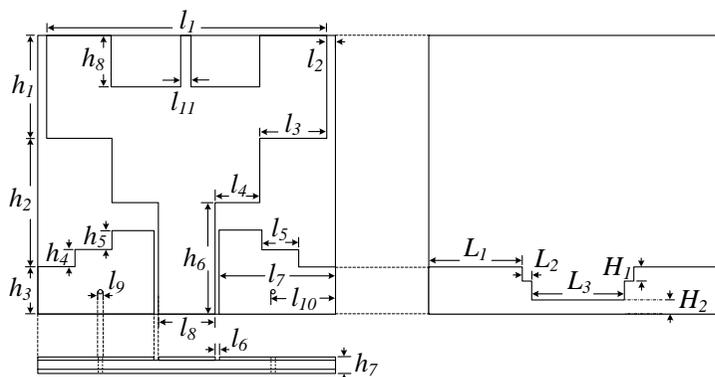
โดย V_{i1} คือ แอมพลิจูดคลื่นส่ง ส่วน V_{r1} คือ แอมพลิจูดคลื่นสะท้อนที่พอร์ต 1 และ Γ_1 คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นที่พอร์ต 1 สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นความถี่ระหว่างรอยต่อตัวกลางอากาศและตัวกลางค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ϵ_r) คำนวณได้ในสมการที่ (3) (Pozar, 2012)

$$\Gamma = \left| \frac{\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} - 1}{\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} + 1} \right| \quad (3)$$

2. สัมประสิทธิ์การสะท้อน

ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) หรือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหาได้จากเมตริกซ์กระจายของวงจรข่ายแบบ 2 พอร์ต เมื่อกำหนดให้คลื่นสะท้อนที่พอร์ต 2 มีค่าเป็นศูนย์ ค่าพารามิเตอร์ S_{11} คำนวณได้จากสมการที่ 2

กรณีที่คลื่นกระทบกับรอยต่อของตัวกลางที่ค่าสภาพยอมไฟฟ้าต่างกัน กำลังงานและเฟสของคลื่นจะเกิดการสะท้อน เลี้ยวเบนหรือหักเหไม่เท่ากันขึ้นกับคุณสมบัติไดอิเล็กตริก



(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศ

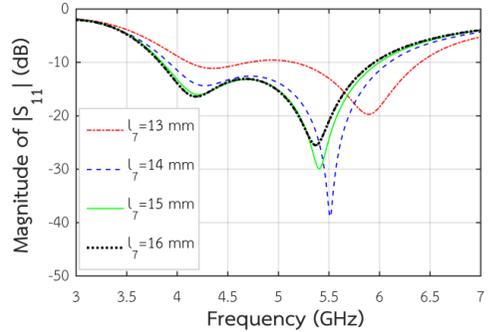
3. โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมถูกประยุกต์ใช้เพื่อตัดสินใจ เช่น เพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น (MLP) ใช้อินพุต m ค่า คือ x_1, x_2 ถึง x_m ค่าถ่วงน้ำหนักคือ w_{f1}, w_{f2} ถึง w_{fm} และ b_k คือค่าไบแอส ค่า v_k หาได้จากผลรวมค่าถ่วงน้ำหนักคูณกับค่าอินพุตและค่าไบแอส เมื่อ v_k ผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) จึงได้เอาต์พุต y_k ส่วนของ y_{sig} คือ ฟังก์ชันแอคทิเวชันไม่เป็นเชิงเส้น คุณลักษณะของฟังก์ชัน $y_{sig} = 1/(1+e^{-x})$ เริ่มด้วยกำหนดค่าเริ่มต้นของ ค่าน้ำหนัก ค่าไบแอส และ เป้าหมาย (Target) $y_{d1}(p), y_{d2}(p), y_{d3}(p), y_{d4}(p)$ โครงข่ายประสาทเทียมถูกฝึกสอนให้เรียนรู้และปรับค่า $w_i, w_j, \theta_j, \theta_k$ ให้เหมาะสำหรับการแก้ปัญหา และตัดสินใจ

ผลการวิจัย

1. การพัฒนาสายอากาศโมโนโพล

สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่พัฒนาประกอบด้วยส่วนการแพร่กระจายคลื่นทางด้านหน้า ระนาบกราวด์ด้านหน้าและด้านหลังที่เชื่อมต่อกัน การป้อนสัญญาณใช้แบบ สตรีปไลน์เพื่อปรับความกว้างของช่วงความถี่ทำงาน l_7 คือ ความกว้างของกราวด์ด้านหน้า h_6 คือ ความสูงสตริปไลน์ป้อนสัญญาณ แสดงดังในรูปที่ 1 สายอากาศถูกพัฒนาต่อด้วยการจำลองเพื่อปรับขนาดอย่างละเอียด ให้สามารถทำงานได้ที่ความถี่ 4-6 กิกะเฮิร์ตซ์ การปรับค่าตัวแปร l_7 เริ่มที่ 13 มิลลิเมตร ให้ค่า S_{11} ที่ต่ำกว่า -10 เดซิเบล แบ่งได้ 2 ช่วง คือ ที่ความถี่ 4.1-4.7 กิกะเฮิร์ตซ์ และที่ 5.2-6.4 กิกะเฮิร์ตซ์ เมื่อปรับตัวแปร l_7 เป็น 14 15 16 และ 17 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วง 3.9-6.1, 3.8-6.0 และ 3.8-5.95 กิกะเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 2

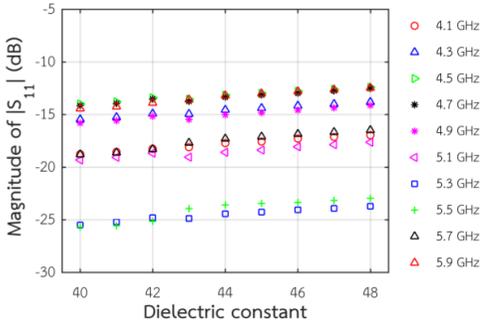


รูปที่ 2 ผลการจำลองการปรับขนาด l_7

การปรับแมทซ์ซึ่งจาก h_6 เริ่มที่ 10 มิลลิเมตร ช่วงความถี่ทำงาน 3.8-6.05 กิกะเฮิร์ตซ์ ค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ต่ำสุดที่ -28 เดซิเบล และเมื่อปรับ h_6 เป็น 11 12 และ 13 มิลลิเมตร ตามลำดับ ช่วงความถี่ทำงาน 3.8-6.1 กิกะเฮิร์ตซ์ ให้ S_{11} ต่ำสุดที่ -32 -42 และ -40 เดซิเบล การปรับตัวแปร l_7 ถูกใช้เพื่อปรับความถี่ให้อยู่ในช่วง 4-6 กิกะเฮิร์ตซ์ การปรับแมทซ์ซึ่งใช้ h_6 และปรับตัวแปรทั้งหมดเพื่อให้ค่า S_{11} ต่ำสุด แสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดสายอากาศโมโนโพล

ด้าน	ด้านหน้า (mm)		ด้านหลัง (mm)		
	ขนาด	ด้าน	ขนาด	ด้าน	
l_1	34	h_1	11	L_1	11.5
l_2	1	h_2	14	L_2	1
l_3	8.5	h_3	5	L_3	11
l_4	5	h_4	2	H_1	1.5
l_5	4.5	h_5	2	H_2	1.5
l_6	0.5	h_6	12		
l_7	14	h_7	1.6		
l_8	7	h_8	8		
l_9	0.5				
l_{10}	8.5				
l_{11}	1				



รูปที่ 3 ขนาดของ S_{11} กับผลการปนเปื้อน

2. จำลองการตรวจวัดน้ำยางปนเปื้อน

สายอากาศถูกจำลองเพิ่มในลักษณะเสมือนจริงในโมเดลระบบ น้ำยางปนเปื้อนบรรจุในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้างยาวสูง 5x12x8 เซนติเมตร มีความหนา 1 มิลลิเมตร สายอากาศถูกติดตั้งอยู่ด้านข้างภาชนะบรรจุ วิเคราะห์ค่า S_{11} เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนจากการปรับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของโมเดลน้ำยางเพื่อเลียนแบบน้ำยางปนเปื้อน Somwong et al. (2017) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกปรับตั้งแต่ 40 ถึง 48 ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง เปรียบเทียบ S_{11} ช่วง จำนวน 10

ตารางที่ 2 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

Input node	Hidden node	Learning	Iteration	33% of Data		44% of Data		56% of Data	
				Error	Accuracy	Error	Accuracy	Error	Accuracy
10	12	0.0005	10^7	0.463	48.9%	0.738	60.0%	0.476	67.8%
		0.001		0.432	71.1%	0.530	71.1%	0.403	74.5%
		0.002		0.450	66.7%	0.521	70.0%	0.415	72.2%
10	15	0.0005	10^7	0.697	73.3%	0.689	65.6%	0.718	63.3%
		0.001		0.242	78.9%	0.527	82.2%	0.388	78.9%
		0.002		0.164	78.9%	0.461	80.0%	0.473	80.0%
10	20	0.0005	10^7	0.219	80.0%	0.207	90.0%	0.750	77.8%
		0.001		0.247	80.0%	0.150	97.8%	0.261	77.8%
		0.002		0.142	92.2%	0.312	85.6%	0.532	73.3%

เริ่มฝึกสอนที่ 10 อินพุตโนด เปลี่ยนโนดซ่อนเร้นที่ 12 15 และ 20 โนด อัตราการเรียนรู้ใช้ 3 ระดับ 0.0005 0.001 และ 0.002 ข้อมูลฝึกสอน

ความถี่ ในช่วง 4-6 กิกะเฮิรตซ์ ดึงค่ามาในลักษณะเชิงเส้นที่ความถี่ 4.1 4.3 ถึง 5.9 กิกะเฮิรตซ์ เมื่อสังเกตที่ความถี่ 4.3 4.5-5.1 มีค่าการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เฉลี่ยที่ 0.56 เพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความถี่ 4.1 และ 5.3 มีค่า σ เฉลี่ยที่ 0.62 เปลี่ยนชัดเจนในช่วง 5.5-5.9 กิกะเฮิรตซ์ ให้ค่า σ เฉลี่ยอยู่ที่ 0.88 เห็นได้ว่าการเปลี่ยนระดับการปนเปื้อนส่งผลต่อขนาดของ S_{11} การเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนบอกลักษณะที่สำคัญของข้อมูลการปนเปื้อน แสดงดังในรูปที่ 3

3. ฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมถูกฝึกสอนด้วยขนาด S_{11} ที่ 4-6 กิกะเฮิรตซ์ เทียบกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำยางปนเปื้อน ซึ่งรวมทั้งหมด 90 ข้อมูล (100%) อัตราความผิดพลาดต่ำสุด 10^{-3} วันซ้ำสูงสุด 10^7 เป้าหมายคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกน้ำยางที่ 40 41 ถึง 48 และถูกทำแมพปิ้งเป็น 4 เอادتพุต กำหนดให้ 40 คือ 0000, 41 คือ 0001, ถึง 48 คือ 1000

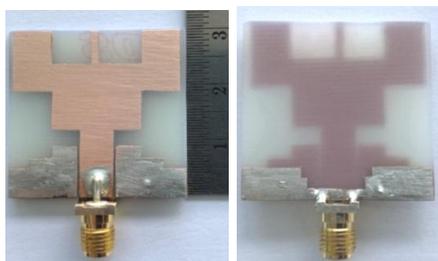
แบ่งอย่างเป็นเชิงเส้น 3 กลุ่ม ที่ 33%, 44% และ 56% ของข้อมูลทั้งหมด จำลองการเรียนรู้จากการเขียนบรรยายข้อสัคด้วยโปรแกรมไซแนล

(SCILAB) เวอร์ชัน 6.0.2 (64-bit) ปรับค่าถ่วงน้ำหนักด้วยการวนซ้ำแบบมีเงื่อนไข (While loop) มากที่สุดไม่เกิน 10^7 รอบ หรือเมื่ออัตราความผิดพลาดต่ำกว่า 10^{-3}

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูล 33% ค่าความผิดพลาดต่ำสุดอยู่ที่ 0.142 ที่จำนวน 20 โหนดซ่อนเร้น ใช้อัตราการเรียนรู้ 0.002 ให้ความแม่นยำ 92.2% เมื่อฝึกสอนด้วยข้อมูล 44% ค่าความผิดพลาดต่ำสุด 0.152 ที่อัตราการเรียนรู้ 0.001 ใช้ 20 โหนดซ่อนเร้น ให้ความแม่นยำ 97.8% แต่เมื่อใช้ข้อมูลฝึกสอนเพิ่มเป็น 56% ค่าความแม่นยำสูงสุดลดลงอยู่ที่ 80% ที่ใช้อัตราการเรียนรู้ 0.002 และใช้ 15 โหนดซ่อนเร้น และความผิดพลาดต่ำสุดเพิ่มขึ้นเป็น 0.261 ที่ 20 โหนดซ่อนเร้น การฝึกสอนด้วยข้อมูล 56% การเรียนรู้ได้ทำได้ ไม่ครอบคลุมเนื่องจากรอบการวนซ้ำถูกจำกัด ดังนั้นการใช้จำนวนข้อมูล 44% ที่อัตราการเรียนรู้ 0.001 ที่ 20 โหนดซ่อนเร้นจึงเหมาะสมสำหรับตัดสินใจ ดังแสดงในตารางที่ 2

4. สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์

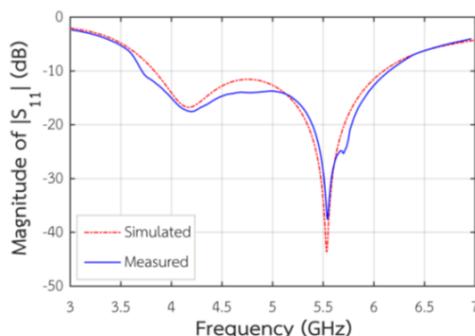
จากการจำลองแสดงถึงความสามารถของสายอากาศโมโนโพลในการตรวจสอบน้ำยาปนเปื้อน ดังนั้นจึงถูกพัฒนาเป็นต้นแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR4 ขนาด 36x30 มิลลิเมตรหนา 1.414 มิลลิเมตร ป้อนสัญญาณแบบสตริปไลน์ มีระนาบกราวด์ 2 ด้าน เจาะทะลุถึงกัน แสดงได้ดังในรูปที่ 4



(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 4 สายอากาศต้นแบบ

สายอากาศต้นแบบได้รับการทดสอบสมรรถนะด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่าย (Network analyzer) ของบริษัท Keysight รุ่น Fieldfox N9916A ทดสอบในช่วงความถี่ 3-7 กิกะเฮิรตซ์ ค่าพารามิเตอร์ S_{11} ที่ได้ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วงความถี่ที่ 3.7-6.1 กิกะเฮิรตซ์ จากนั้นเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศต้นแบบกับผลการจำลอง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการจำลอง แสดงดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดสอบสายอากาศต้นแบบ

สายอากาศทำงานตามที่ออกแบบและมีความกว้างแบนด์ 48.98% Rama Sastry et al. (2014) โครงสร้างไม่ซับซ้อน ขนาดเล็ก ทำงานในช่วงความถี่กว้างทำให้เพิ่มข้อมูลการวัด เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้ในระบบเซนเซอร์

สรุปและอภิปรายผล

สายอากาศโมโนโพลถูกพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้ตรวจสอบน้ำยาปนเปื้อน ได้รับการคำนวณและจำลองการปรับขนาดอย่างละเอียดเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะและขนาด S_{11} รวมถึงจำลองการตรวจวัดน้ำยา ศึกษาความเป็นไปได้ในการแบ่งระดับการปนเปื้อนและเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสายอากาศถูกพัฒนามบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้าชนิด FR4 ใช้การป้อนสัญญาณแบบสตริปไลน์ ระนาบกราวด์ทั้ง 2 ด้านเชื่อมต่อถึงกัน ผลการจำลองค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ตลอดช่วงความถี่ 3.8 ถึง 6.0 กิกะเฮิรตซ์ สายอากาศถูกจำลองเข้ากับระบบวัด

ในลักษณะเสมือนจริง เพื่อตรวจวัดโมเดลน้ำยางปนเปื้อนที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่างกันทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ขนาด S_{11} ที่วัดได้แตกต่างกันชัดเจน ในช่วงความถี่ 5.5-5.9 กิกะเฮิร์ตซ์ ข้อมูลการวัดถูกใช้เป็นอินพุตฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม เป้าหมาย คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกน้ำยางปนเปื้อน การฝึกสอนที่เหมาะสม คือ ใช้ข้อมูล 44% ที่ 10 โนตอินพุต 20 โนตซ่อนเร้น อัตราการเรียนรู้ 0.001 อัตราความผิดพลาด 0.15 ความแม่นยำ 97.8% ดังนั้นสายอากาศจึงได้ถูกพัฒนาเป็นต้นแบบ ทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่าย ค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วง 3.7-6.1 กิกะเฮิร์ตซ์ ความกว้างแบนด์ 48.98%

สายอากาศที่พัฒนาขึ้นนี้เหมาะสำหรับประยุกต์ในระบบตรวจสอบน้ำยางปนเปื้อน เนื่องจากทำงานในช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับการวัดยางพารา พรทิมลดชายแสง และ ประพจน์ ลีกุล (2561) และสามารถวัดได้หลายความถี่จึงทำให้มีความแม่นยำกว่าการวัดด้วยความถี่เดียว Jultrat et al. (2012) รวมถึงโครงสร้างไม่ซับซ้อน สร้างง่าย และราคาถูก

References

- Chaisaeng, P., & Leekul, P. (2018). The study of dielectric properties of cup lump rubber at 1.5 to 5.5 GHz. *Proceeding of The 18th Graduate Studies of Northern Rajabhat University Network Conference and the 4th Lampang Research*, pp. 109-119.
- Jultrat, S., Chongcheawchamnan, M., Khaorapapong, T., Patarapiboolchai, O., Kririksh, M., & Robertson, I. D. (2012). Single-frequency-based dry rubber content determination technique for in-field measurement application. *IEEE Sensors Journal*, Vol.12 (10), pp.3019-3030.
- Khan, I., tian, Y. I., Ullah, H., Rahman, U., & kamal, M. M. (2018). Design annular ring microstrip antenna based on artificial neural network. *2nd IEEE Advanced Information Management, communicates, Electronic and Automation Control Conference*, pp.2033-2037.
- Lakrit, S., Ammor, H., Terhzaz, J., Chaibi, M., & Sánchez, M. (2015). A new compact circular patch antenna for UWB communication. *Journal of Communications Software and Systems*, Vol.11 (4), pp.210-214.
- Office of Agricultural Economics. (2017). *Agricultural statistics of Thailand 2106*. Bangkok.
- Office of Pemanent Secretary Ministry of Commerce. (2018). *Exporting important products of Thailand by value 2013 - 2017 (January - December)*.
- Pizzaia, J. P. L., Salcides, I. R., Almeida, G. M., Rodrigo, C., & Almeida, R. (2018). Arabica coffee samples classification using a multilayer perceptron network. *13th IEEE International Conference on Industry Application*, Vol.18, pp.80-84
- Pozar, D. M. (2012). *Microwave engineering*. 4th ed. John Wiley & Sons. USA.
- Rama Sastry, I. V. S., & Jaya Sankar, K. (2014). Proximity coupled rectangular microstrip antenna with X-slot for WLAN application. *Global Journal of Researches in Engineering: Electrical and Electronics Engineering*, Vol. 14 (1), pp. 15-18.

- Ray, K. P., & Ranga, Y. (2006). Printed rectangular monopole antennas. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1693-1696.
- Somwong, S., Wunchum, P., & Chongcheawchamnan, M. (2015). Effects of contaminations in rubber latex on relative permittivity at 0.5–2.0 GHz. *12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*.
- Somwong, S., Wunchoum, P., & Chongcheawchamnan, M. (2017). Contamination detection in fresh natural rubber latex by a dry rubber content measurement system using microwave reflectometer. *Biosystems Engineering*, Vol.164, pp. 181-188.
- Vyas K., & Singhal, P. K. (2014). Bandwidth enhancement in CPW fed compact rectangular patch antenna. World Academy of Science, Engineering and Technology *International Journal of Electronics and Communication Engineering*. Vol.8 (2), pp. 378-381.