

การออกแบบระบบตรวจสอบการทำงานของเครื่องวิทยุสื่อสารโดยใช้ Node-RED

Design of a radio communication monitoring system using Node-RED

บารมี ชูเจริญพิพัฒน์¹ จิรพัฒน์ แสงทอง² และ วินัย ศีลารวม³
สถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร^{1,3}
สถาบันนวัตกรรมมหานคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร²
E-mail: 6419220001@mut.ac.th¹, jirapats@mut.ac.th², vinai@mut.ac.th³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบตรวจสอบการทำงานของเครื่องวิทยุสื่อสารด้วยการประยุกต์ใช้งานแอปพลิเคชัน Node-RED เพื่อช่วยในการพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งให้สามารถแสดงค่ากำลังส่งและค่า VSWR ของเครื่องวิทยุสื่อสารจากพื้นที่ห่างไกล โดยใช้โปรโตคอล MQTT ส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อนำมาแสดงผลบน Dashboard UI ของ Node-RED ที่ติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์ควบคุมสั่งการ นอกจากนี้ ในส่วนการตรวจจับกำลังงานที่ใช้ตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางในย่านความถี่ VHF ช่วง 100 - 200 MHz ที่สามารถแบ่งกำลังงานที่เหมาะสมกับการใช้งานเซนเซอร์ AD8307 ที่มีราคาถูกและแม่นยำสูง โดยการออกแบบระบบดังกล่าวเป็นส่วนสำคัญในการลดต้นทุน ลดบุคลากรด้านเทคนิคและลดเครื่องมือในการดูแลบำรุงรักษาเครื่องวิทยุสื่อสารให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทาง, โหนดเรด, เซนเซอร์, เอ็มคิวทีที, วีเอสดีบีเบิ้ลยูอาร์

Abstract

This article presents the design of a radio communication monitoring system using the Node-RED application to use the Internet of Things (IoT) system to display the transmission power and VSWR of radios from remote areas. It uses the MQTT protocol to send data from sensors through the Internet to display on Node-RED's Dashboard UI installed on the computer at the operation center. In addition, the power detection realization of directional couplers operating in the VHF band of 100 - 200 MHz provides coupling power for the use of low-cost and high-accuracy AD8307 sensors. Designing such system offers the advantage of reduced costs and maintenance for efficient radio communication use.

Keywords: Directional couplers, Node-RED, Sensor, MQTT, VSWR

1. บทนำ

เครื่องวิทยุสื่อสาร เป็นอุปกรณ์สื่อสารที่ทำการมอดูเลต (modulation) สัญญาณเสียงกับสัญญาณคลื่นพาห้ (carrier) เพื่อส่งสัญญาณผ่านทางสายอากาศไปยังเครื่องรับสัญญาณ ทำให้สามารถส่งสัญญาณเสียงออกอากาศได้ในระยะทางไกลและรับฟังได้หลายเครื่องในเวลาเดียวกัน ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องวิทยุสื่อสารในงานที่ต้องการความสะดวกรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น งานรับ - ส่งต่อผู้ป่วย งานติดต่อประสานงานภายในหน่วยงาน หรืองานประชาสัมพันธ์ต่างๆของระบบงานสาธารณสุข ซึ่งพบว่ายังมีเครื่องวิทยุสื่อสารอีกหลายรุ่นที่ยังไม่มีฟังก์ชันที่สามารถรายงานข้อมูลสถานะผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้และยังขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในการบำรุงรักษาเครื่องวิทยุสื่อสารเป็นอย่างมาก จึงทำให้ยากต่อการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันระบบให้พร้อมใช้งานอย่างต่อเนื่อง

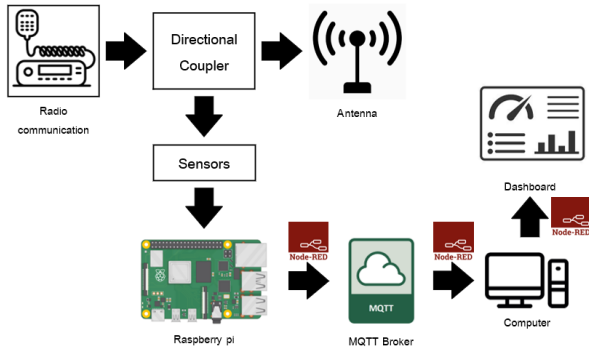
ปัจจุบันแนวคิดเรื่องอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (internet of things : IoT) นิยมใช้โปรโตคอล MQTT (message queuing telemetry transport) ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ช่วยในการรับ - ส่งข้อมูลในรูปแบบของข้อความ (message) ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) และ MQTT brokers ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต [1-7] อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจำเป็นต้องมีทักษะในการพัฒนาโปรแกรมในรูปแบบภาษาต่างๆ จึงได้มีการพัฒนาแอปพลิเคชัน Node-RED ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เข้ากับ API (application programming interface) โดยการปรับการทำงานในรูปแบบ flow-based programming

ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาอุปกรณ์ IoT [3-6] ซึ่งการที่จะใช้เซนเซอร์ในการวัดค่าของสัญญาณนั้น ตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทาง (directional couplers) [7-13] ก็เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลผ่านของสัญญาณและแบ่งสัญญาณออกจากระบบ การตรวจวัดค่า SWR ของระบบ นั้นยังมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้บุคคลกรและเครื่องมือ เพื่อวัดค่าของระบบ ณ จุดที่ติดตั้ง ทำให้มีต้นทุนในการดูแลรักษาระบบมากขึ้น

บทความนี้เสนอการออกแบบระบบตรวจสอบการทำงานของเครื่องวิทยุสื่อสารด้วยการประยุกต์ใช้งานแอปพลิเคชัน Node-RED ร่วมกับวงจรตรวจจับกำลัง (power detector) ที่ประยุกต์ใช้งานตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางที่ใช้ไมโครสตริป (microstrip) ในย่านความถี่ 100 – 200 MHzและวงจรรวม AD8307 โดยใช้โปรโตคอล MQTT ในการรับ - ส่งข้อมูล เพื่อแสดงผลข้อมูลสถานะการทำงานของเครื่องวิทยุสื่อสารบนแผงควบคุม (dashboard)

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดเบื้องต้นของระบบที่นำเสนอได้แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งมาจากเครื่องวิทยุสื่อสารจะถูกแบ่งจากระบบด้วยตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางและป้อนให้กับวงจรเซนเซอร์เพื่อตรวจจับกำลังงาน จากนั้นจะส่งค่าที่วัดได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry PI) ซึ่งใช้แอปพลิเคชัน Node-RED ทำหน้าที่ปรับแต่งและจัดการการเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry PI กับ MQTT Broker ด้วยโปรโตคอล MQTT ผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อแสดงผลข้อมูลบนแผงควบคุม ในหัวข้อนี้จึงจะกล่าวถึงหลักการเหล่านี้ พอสังเขปดังต่อไปนี้ คือ



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

2.1 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (standing wave ratio : SWR) เป็นค่าที่ใช้ชี้วัดการแมทชิงอิมพีแดนซ์ (impedance matching) ระหว่างอุปกรณ์สื่อสารกับตัวโหลด (load) ซึ่ง SWR มักจะหมายความในแง่ของจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าในสายส่งสัญญาณ จึงถูกเรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดัน (voltage standing wave ratio : VSWR) คลื่นนิ่งในรูปแบบแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดคลื่นตกกระทบจากแหล่งกำเนิดและสะท้อนของคลื่นที่ตัวต้านทานโหลด

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง VSWR และสัมประสิทธิ์การสะท้อนได้แสดงดังสมการ (1) และสมการ (2)

$$VSWR = \frac{1-\Gamma}{1+\Gamma} \quad (1)$$

$$\Gamma = \frac{V_{reverse}}{V_{forward}} = \frac{1-VSWR}{1+VSWR} \quad (2)$$

เมื่อ Γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน นอกจากนี้ยังสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบของกำลังงานส่งไปข้างหน้า (forward power) และสะท้อนกลับ (reflected power) แสดงดังสมการ (3)

$$VSWR = \frac{1+\sqrt{P_r/P_f}}{1-\sqrt{P_r/P_f}} \quad (3)$$

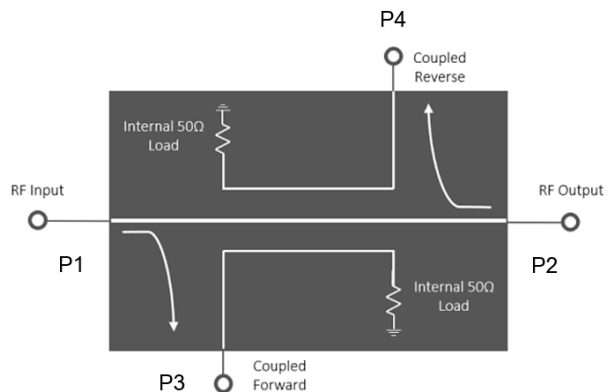
เมื่อ P_f คือ forward power

P_r คือ reflected power

2.2 ตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทาง

ตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทาง (directional couplers) เป็นส่วนประกอบไมโครเวฟแบบพาสซีฟ (passive microwave device) ที่ใช้สำหรับการแบ่งกำลังหรือการรวมกำลัง ในการแบ่งกำลังไฟฟ้า สัญญาณอินพุตจะถูกแบ่งออกเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่มีกำลังน้อยกว่า ในขณะที่ตัวรวมกำลังจะรับสัญญาณอินพุตตั้งแต่สองสัญญาณขึ้นไปและรวมเข้าด้วยกันที่พอร์ตเอาต์พุต ตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางอาจมีสามพอร์ต สี่พอร์ต หรือมากกว่าขึ้นอยู่กับการออกแบบและใช้งาน

สิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อสายส่งสองเส้นอยู่ใกล้กันมากจนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างโดยสายส่งเส้นหนึ่งรบกวนกับสายส่งอีกเส้น ผลที่ได้คือ กำลังงานของสัญญาณบางส่วนของสายนั้นจะถูกถ่ายโอนไปยังสายส่งที่เหลือ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการออกแบบ โดยในบทความนี้จะออกแบบตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางชนิด 4 พอร์ต และใช้ตัวต้านทานขนาด 50 โอห์ม จำนวน 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การออกแบบตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางชนิด 4 พอร์ต

2.3 เซนเซอร์ตรวจจับกำลังงาน

วงจรรวม AD8307 เป็นเซนเซอร์ตรวจจับกำลังงาน ซึ่งใช้วงจรรขยายแบบลอการิทึมแบบหลายขั้น (multistage logarithm amplifiers) ที่มีแรงดันเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันกับกำลังงานอินพุต โดยมีย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 1- 500 MHz โดยมีค่าความผิดพลาดเพียง ± 1 dB ใช้ไฟเลี้ยงวงจรในช่วง 2.7 - 5.5 V และยังสามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -40°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$

2.4 แอปพลิเคชัน Node-RED

แอปพลิเคชัน Node-RED ถูกพัฒนาเป็นโปรแกรมแบบเปิดเผย (open source) ที่ประยุกต์ใช้ JavaScript บนพื้นฐานของ Node.js ซึ่งพัฒนาโดยวิศวกรของ IBM และเหมาะสำหรับการพัฒนาระบบ IoT ซึ่งการใช้งาน Node-RED ในบทความนี้ คือ การเขียนโปรแกรมเสมือนตามกระบวนการในรูปแบบ flow-based programming จากเซนเซอร์ไปยังคลาวด์ จึงเพิ่มสะดวกในการประมวลผลข้อมูล ตัว Node-RED มีแผงควบคุมที่ช่วยให้สร้างอินเทอร์เฟซที่น่าประทับใจและใช้งานง่าย Node-RED ยังมีโหนดที่มีฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งใช้งานร่วมกับ Raspberry Pi ได้อีกด้วย

ตัว Node-RED มีส่วนประกอบหลัก คือ แผงโหนด แผงโฟลว์ แผงข้อมูล และแผงดีบั๊ก ซึ่งจำเป็นสำหรับการสร้างและกำหนดค่าแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์ได้อย่างง่ายดาย มีความยืดหยุ่นและใช้เวลาอันสั้น จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการสร้างต้นแบบแพลตฟอร์ม Node-RED ในงานอุตสาหกรรม

2.5 โพรโตคอล MQTT

โพรโตคอล MQTT เป็นโพรโตคอลสำหรับใช้ส่งข้อความระหว่างอุปกรณ์ โดยใช้โมเดลเน็ตเวิร์คแบบ publish-subscribe ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลจากที่ห่างไกลซึ่งใช้แบนด์วิธของเน็ตเวิร์คน้อยมากและมีการใช้งาน TCP/IP จึงทำให้การส่งข้อมูลนั้นมีความน่าเชื่อถือและมั่นใจได้ว่าจะสามารถส่งถึงปลายทาง

2.6 Raspberry PI

Raspberry Pi เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่พัฒนาขึ้นในสหราชอาณาจักรโดยมูลนิธิ Raspberry Pi ร่วมกับ Broadcom ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาไม่สูงและสามารถประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงการอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีความเร็วใการประมวลผลที่สูงและสามารถรองรับการเชื่อมต่อได้หลายรูปแบบ ซึ่งในบทความนี้จะใช้ Raspberry Pi 4 Model B เป็นตัวควบคุมระบบ

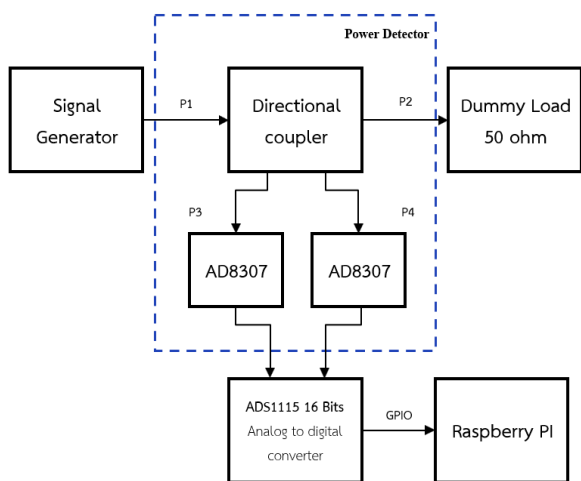
3. การออกแบบระบบ

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการออกแบบระบบที่นำเสนอแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีส่วนของการตรวจจับกำลังงาน และส่วนการแสดงผลบนแผงควบคุมด้วย Node-RED ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

3.1 ส่วนการตรวจจับกำลังงาน

การออกแบบระบบส่วนนี้ได้แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบตัวเชื่อมตัวแบบมีทิศทางและวงจรเซนเซอร์ AD8307 โดยตัวเชื่อมต่อ

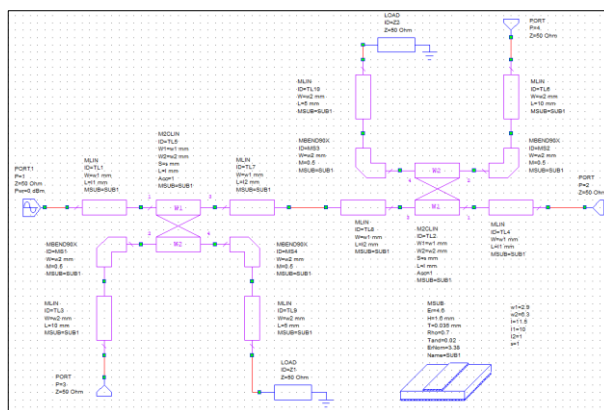
แบบมีทิศทางจะเลือกใช้แบบ 4 พอร์ต ในรูปแบบ microstrip ซึ่งใช้แผ่นวงจรชนิด FR-4 ความหนา 1.6 มิลลิเมตร มีความหนาของทองแดงเท่ากับ 35 ไมโครเมตรและมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ประมาณ 4.6 โดยใช้โปรแกรม AWR Design Environment ในการจำลองการออกแบบและ matching กับโหลดที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม โดยกำลังของสัญญาณจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ กำลังงานที่ถูกส่งออกไปที่พอร์ตที่ P2, P3, P4 และกำลังงานที่สะท้อนกลับที่พอร์ต P1 ซึ่งกำลังงานที่พอร์ต P3 จะเป็น forward power และที่พอร์ต P4 จะเป็น reflected power จะต่อเข้ากับวงจรถนเซออร์ AD8307 จำนวน 2 วงจร เพื่อวัดค่ากำลังงานและคำนวณค่า VSWR ของระบบ โดยนำค่าแรงดัน DC ที่ได้ส่งไป Raspberry Pi และ Broker โดยใช้โปรโตคอล MQTT รวมถึงแอปพลิเคชัน Node-RED ในการนำข้อมูลที่วัดได้มาแสดงผลบนแผงควบคุม



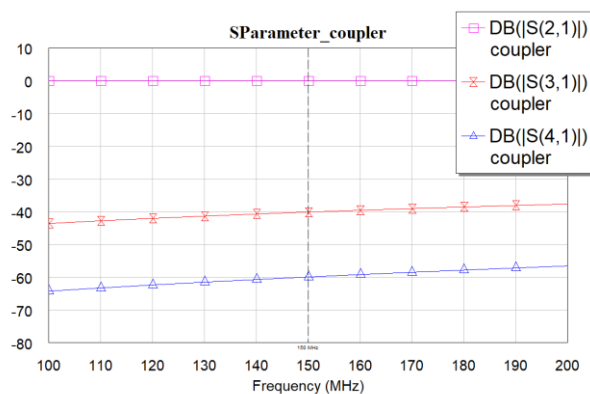
รูปที่ 3 แผนผังของส่วนตรวจจับกำลังงาน

สำหรับการออกแบบและจำลองการทำงาน ของตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางด้วยโปรแกรม AWR

Design Environment ได้แสดงดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ โดยจากรูปที่ 5 จะเห็นว่า ในย่านความถี่ ช่วง 100 - 200 MHz กำลังงานของสัญญาณส่วนใหญ่ ได้ถูกส่งผ่านไปยังพอร์ต P2 และบางส่วนถูกแบ่งมาที่พอร์ต P3 และพอร์ต P4

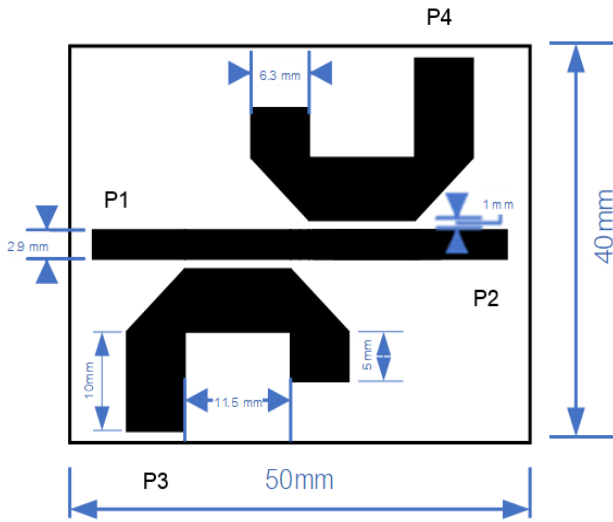


รูปที่ 4 การออกแบบตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางโดยใช้โปรแกรม AWR Design Environment

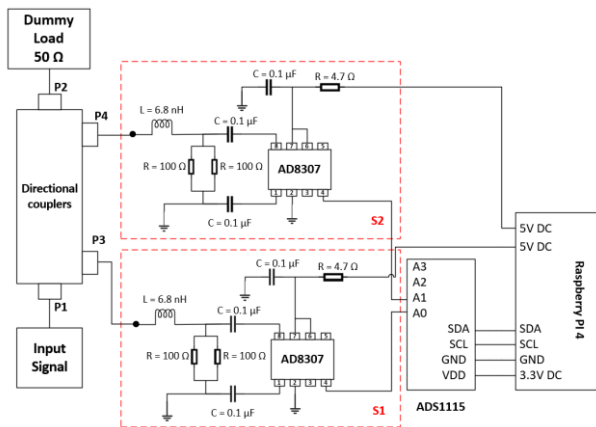


รูปที่ 5 กราฟแสดง S-Parameter ที่ได้จาก simulation

สำหรับรูปเลย์เอาต์ (Layout) ของตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางที่ได้ออกแบบจากโปรแกรม AWR Design Environment เพื่อนำไปสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ ได้แสดงดังรูปที่ 6 ส่วนวงจรถนเซออร์ AD8307 ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานอินพุตให้เป็นแรงดันแล้วนำไปป้อนให้กับวงจรถนเซออร์เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ADS1115 นั้นได้แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 layout แผ่นวงจรพิมพ์ของตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทาง

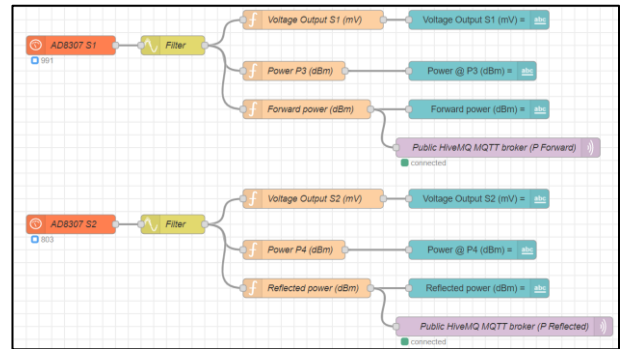


รูปที่ 7 วงจรเซนเซอร์ AD8307

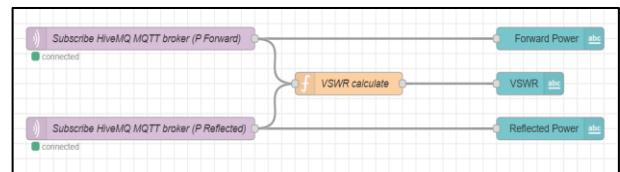
3.2 ส่วนการแสดงผลบนแผงควบคุม

ในส่วนนี้จะนำสัญญาณเอาต์พุตจากส่วนตรวจจับกำลังงานมาแสดงผลบนแผงควบคุม โดยใช้แอปพลิเคชัน Node-RED ซึ่งอาศัยบอร์ด Raspberry Pi กับ MQTT Broker ทำงานร่วมกัน การออกแบบฟังก์ชันการทำงานของ Node-RED (flow function) ในบทความนี้ได้แสดงดังในรูปที่ 8 และรูปที่ 9 โดยในรูปที่ 8 เป็นฟังก์ชันในการรับค่าจากเซนเซอร์ AD8307 แล้วนำค่าแรงดันและกำลังงานไปแสดงผลบนแผงควบคุม ส่วนในรูปที่ 9 เป็นฟังก์ชันในการรับค่าจาก MQTT Broker เพื่อนำมาคำนวณหาค่า VSWR แล้ว

นำไปแสดงผลบนแผงควบคุมร่วมกับค่ากำลัง forward power และ reflected power ซึ่งผลการทดสอบระบบที่นำเสนอจะได้อ่านถึงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 8 ฟังก์ชันการทำงานของ Node RED



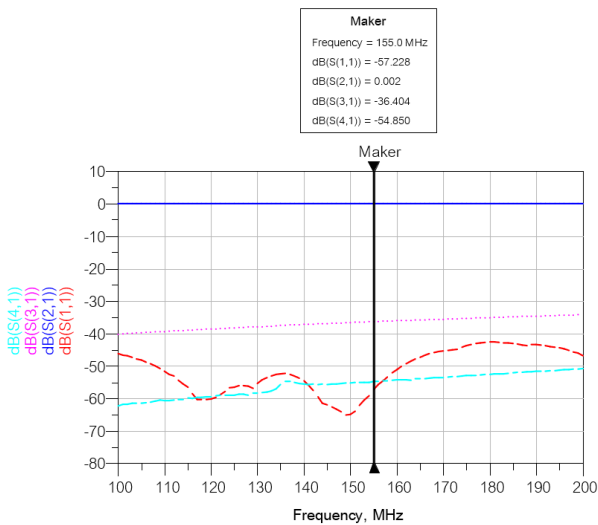
รูปที่ 9 ฟังก์ชันการรับค่าจาก MQTT Broker

4. การทดสอบและผล

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการทดสอบระบบที่สร้างขึ้นด้วยหลักการที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

4.1 การทดสอบตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทาง

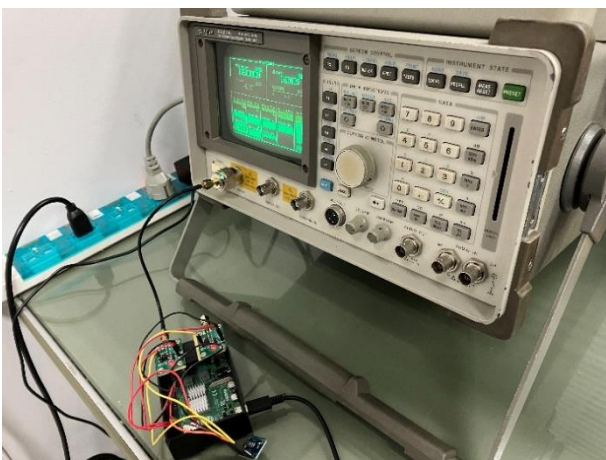
การทดสอบนี้ใช้เครื่อง network analyzer เพื่อวัดค่า S-parameters ของตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางชนิด 4 พอร์ตที่ได้สร้างขึ้น โดยทำการวัดค่ากำลังที่แต่ละพอร์ตในย่านความถี่ 100 – 200 MHz ซึ่งแสดงดังรูปที่ 10 จะเห็นว่า ค่า S-parameters ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการจำลองในหัวข้อที่ 3



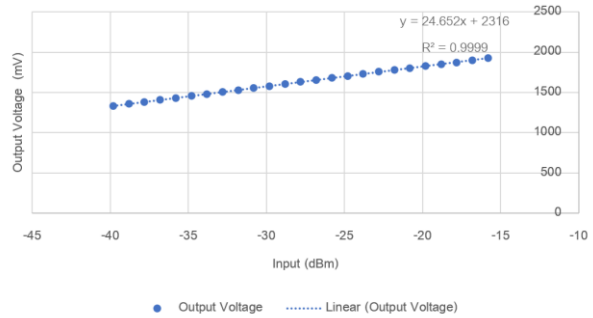
รูปที่ 10 การวัดค่า S-Parameters ของตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางที่นำเสนอสื่อ

4.2 การทดสอบเซนเซอร์

ส่วนในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบการทำงานของวงจรเซนเซอร์ โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ (signal generator) ที่ความถี่ 155 MHz และจ่ายกำลังงานตั้งแต่ -15 ถึง -40 dBm ให้กับวงจร AD8307 ดังแสดงในรูปที่ 11 และวัดความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตและกำลังงานอินพุตได้ดังแสดงในรูปที่ 12 จะเห็นว่า แรงดันเอาต์พุตจะมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 25 mV/dBm



รูปที่ 11 การทดสอบเซนเซอร์ AD8307



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตและกำลังงานอินพุตของวงจรเซนเซอร์ AD8307

4.3 การทดสอบและใช้งานระบบโดยรวม

ส่วนแรกจะทำการทดสอบการทำงานของระบบตามฟังก์ชันการทำงานของ Node-RED ที่ได้ออกแบบดังในรูปที่ 8 และรูปที่ 9 เพื่อนำค่าที่ได้จากเซนเซอร์ AD8307 มาแสดงผลบนแผงควบคุม จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 13 และรูปที่ 14 ตามลำดับ

AD8307	
Voltage Output S1 (mV) =	991 mV
Voltage Output S2 (mV) =	799 mV
Power @ P3 (dBm) =	-36.43231027958797 dBm
Power @ P4 (dBm) =	-54.00462476350641 dBm
Forward power (dBm) =	-0.03231027958797483 dBm
Reflected power (dBm) =	-27.604624763506415 dBm

รูปที่ 13 การแสดงผลแผงควบคุมตามรูปที่ 8

Dashboard Power Detector			
Forward Power	Reflected Power	VSWR	
Forward Power	Reflected Power	VSWR	1.118
-0.07435358419171934 dBm	-25.394408240487707 dBm	VSWR	

รูปที่ 14 การแสดงผลแผงควบคุมตามรูปที่ 9

- Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS), pp. 502-505, 2021.
- [4] P. S. B. Macheso, T. D. Manda, A. G. Meela, J. S. Mlatho, G. T. Taulo and B. M'mame, "Environmental Parameter Monitoring System Based on NodeMCU ESP8266, MQTT and Node-RED," 2022 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), 2022.
- [5] C. Rattanapoka, S. Chanthakit, A. Chimchai and A. Sookkeaw, "An MQTT-based IoT Cloud Platform with Flow Design by Node-RED," 2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C), 2019.
- [6] M. Lekic and G. Gardasevic, "IoT sensor integration to Node-RED platform," 2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), pp. 1-5, 2018.
- [7] Syafii, A. Luthfi, Yoli and Rozzi, "Design of Raspberry Pi Web-based Energy Monitoring System for Residential Electricity Consumption," 2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI) Bandung - Padang, October 19 - 23, 2020.
- [8] K. Chaiyawong and S. Akatimagool, "Development of 5.8 GHz SWR Meter for Testing Telecommunication Systems," 2019 6th International Conference on Technical Education (ICTechEd6), pp. 1-4, 2019.
- [9] G. Sunny Kumar, K. Soujanya and V. Revathi, "Design and Development of Stripline Dual Directional couplers for Monitoring Forward Power and Reflected Power" IJECT Vol. 2, Issue 4, Oct. - Dec. 2011.
- [10] T. T-L. Nguyen, T. H. Do, D. V. Trinh, N. V. Nguyen, T. N. Nguyen, D. A. Tran, H. D. Pham and T. Le-Huu, "A High Directivity Directional couplers based on two-Short Asymmetric Coupled Lines for VHF Applications," International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering (IJIEEE), Volume 5, Issue 12, Dec, 2017.
- [11] S-J. Kim, M-Q. Lee, "Three-line microstrip Directional couplers with high directivity," Microw Opt Technol Lett. 2021,1-5.
- [12] G. Sanna, G. Montisci, Z. Jin, A. Fanti and G. A. Casula, "Design of a Low-Cost Microstrip Directional couplers with High Coupling for a Motion Detection Sensor," Electronics 2018, 7, 25.
- [13] M. M. Ali, S. Z. Ibrahim, I. Adam and N. Khalid, "Design and development of RF power detector for microwave application," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol. 13, No. 2, February 2019, pp. 713-720.