

ระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์โดยใช้เทคโนโลยี RFID ย่านความถี่
ต่ำสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน

TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM USING LOW-FREQUENCY RFID
ENERGY HARVESTING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2567

KMITL-2024-EN-M-047-194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM USING LOW-FREQUENCY RFID
ENERGY HARVESTING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONIC ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2024
KMITL-2024-EN-M-047-194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์โดยใช้เทคโนโลยี RFID ย่านความถี่ต่ำสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน
นักศึกษา	นายสมมาตร เหลิมทอง
รหัสประจำตัว	61601147
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุเมฆ วิศยทัตภิชิน

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการใช้เทคโนโลยี RFID เพื่อใช้ในระบบตรวจวัดความดันในลมยางรถยนต์ (TPMS) โดยใช้เทคโนโลยี RFID ที่มีคุณสมบัติพิเศษในการส่งพลังงานไร้สายไปยังอุปกรณ์ TPMS ซึ่งทำให้ระบบ TPMS ทำงานได้โดยไม่ต้องใช้แบตเตอรี่และเอาชนะข้อเสียที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ ระบบที่นำเสนอรับสัญญาณคลื่นความถี่ต่ำ 134.2 kHz เพื่อรับพลังงานและเก็บไว้ในตัวเก็บประจุเพื่อให้อุปกรณ์ TPMS สามารถทำงานได้ พลังงานนี้เพียงพอต่อใช้งานและส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ผ่านคลื่นความถี่สูง 433 MHz ไปยังเครื่องรับข้อมูลภายในรถได้ ผลการทดลองแสดงว่าใช้เวลาเพียง 34 วินาทีในการชาร์จพลังงานเมื่อระยะทางการติดตั้งระหว่างเซนเซอร์กับของเครื่องส่งพลังงานเป็น 6 ซม. และความเร็วของรถคือ 100 กม./ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Tire Pressure Monitoring System Using Low-Frequency RFID Energy Harvesting
Student	Mr. Sommart Lermthong
Student ID.	61601147
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2024
Thesis Advisor	Asst. Prof. Sumek Wisayataksin, Ph.D.

ABSTRACT

We propose RFID technology for a tire pressure monitoring system (TPMS). RFID has the distinguishing feature for transmitting power wirelessly to a TPMS device. This enables the TPMS system to work battery-less and overcome the disadvantages associated with batteries. Our proposed system receives power from a low-frequency 134.2 kHz transmitter and stores it in a capacitor to enable the TPMS transponder. This power can successfully operate and transmit data from the sensor through the ultra-high-frequency 433 MHz to a receiver installed inside the vehicle. The experimental results showed that it took only 34 seconds to fully charge the power when installing the sensor, the power transmitter's distance was 6 cm, and the speed was 100 km/h.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุเมธ วิชาญทัตทิน อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำและคำชี้แจง ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาการศึกษา และการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คณะอาจารย์กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อแก้ไขในเรื่องเอกสารการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณสถานศึกษา ร.ร.นารีวิทยา, ร.ร.ดร.บูรณราชบุรี, มหาวิทยาลัยบูรพา และ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้านครินทร์เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนในสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นกำลังใจให้ สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดที่คอยให้การเลี้ยงดูและให้การศึกษาอย่างดี จนข้าพเจ้าสามารถทำงานออกมาได้อย่างที่ตั้งใจไว้

สมมาตร เหลี่ยมทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดความคิดที่ใช้ในการวิจัย	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.8 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	6
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 เทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification).....	7
2.2 ประเภทของ RFID.....	8
2.3 การเก็บเกี่ยวพลังงานโดยใช้เทคโนโลยี RFID.....	9
2.4 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดแรงดันสมภายในยางรถยนต์.....	10
2.5 การส่งข้อมูลผ่านคลื่นความถี่ UHF.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6	ระบบการทำงานของ TPMS (Tire presser monitoring system).....	16
บทที่ 3 การออกแบบวงจร		19
3.1	ภาพรวมของระบบ	20
3.2	การออกแบบภาคส่งพลังงานบนคลื่นสัญญาณความถี่ต่ำ	22
3.3	การออกแบบวงจร RFID สำหรับรับพลังงานจากคลื่นความถี่.....	25
3.3.1	การออกแบบวงจรสำหรับเก็บสะสมพลังงาน	25
3.3.2	การเพิ่มประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน	26
3.3.3	การออกแบบเสาอากาศ	27
3.3.4	การปรับแต่งเสาอากาศให้เหมาะสมกับความถี่ใช้งาน	28
3.4	การออกแบบวงจรเซนเซอร์วัดแรงดันลม	29
3.5	การออกแบบตัวประมวลผลของเซนเซอร์วัดแรงดันลม	30
3.6	การออกแบบรูปแบบการส่งข้อมูล	31
3.6.1	การออกแบบรูปแบบโปรโตคอลการสื่อสาร	31
3.7	การออกแบบการแสดงผลข้อมูลและการแจ้งเตือน	33
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....		34
4.1	การกำหนดตัวแปรสำหรับการทดสอบ	35
4.1.1	ตัวเก็บประจุ.....	35
4.1.2	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ	36
4.1.3	ระยะการติดตั้งเสาอากาศ รับ-ส่ง พลังงาน.....	36
4.1.4	ขนาดเสาอากาศ.....	38
4.2	ประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน	39
4.2.1	ความสามารถของตัวเก็บประจุ.....	40
4.2.2	อัตราความเร็วการเคลื่อนที่ของรถ.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3	ตำแหน่งการติดตั้งตัว รับ-ส่ง พลังงาน.....	44
4.2.4	ขนาดของเสาอากาศ	46
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....		48
5.1	สรุปผลการทดลอง	48
5.2	ข้อจำกัดในการทดสอบ.....	49
5.3	ข้อเสนอแนะ	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประเภทของ RFID	9
ตารางที่ 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดตัวเก็บประจุ	40
ตารางที่ 4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว	42
ตารางที่ 4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างของเสาอากาศ	44
ตารางที่ 4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเสาอากาศ	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบ TPMS ที่มีแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน	2
รูปที่ 1.2 ระบบ TPMS ที่มีแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานพร้อมวงจรปลุกการทำงาน	3
รูปที่ 2.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ RFID	7
รูปที่ 2.2 โครงสร้าง RFID tag	10
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซนเซอร์ความดันแบบพายโซรีซิสทีฟแบบซิลิคอน	11
รูปที่ 2.4 รูปแบบการเข้ารหัส RF	14
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการส่ง RF ร่วมกับ SOM และ EOM	15
รูปที่ 2.6 ระบบ TPMS ทางตรงและทางอ้อม	16
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบ	20
รูปที่ 3.2 ภาพอุปกรณ์วัดแรงดันลมภายในยางและส่วนประกอบ	21
รูปที่ 3.3 ภาพอุปกรณ์ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ	22
รูปที่ 3.4 ภาพรวมการออกแบบวงจรเครื่องอ่าน RFID	23
รูปที่ 3.5 วงจรภาคส่งพลังงานบนคลื่นสัญญาณความถี่ต่ำ	24
รูปที่ 3.6 การออกแบบวงจร RFID	25
รูปที่ 3.7 วงจรการเพิ่มประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน	26
รูปที่ 3.8 การออกแบบเสาอากาศ	27
รูปที่ 3.9 วงจรเซนเซอร์วัดแรงดันลม	29
รูปที่ 3.10 โปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์	30
รูปที่ 3.11 รูปแบบการส่งข้อมูล	31
รูปที่ 3.12 รูปแบบโปรโตคอลการสื่อสาร	32
รูปที่ 3.13 การแสดงผลข้อมูลและการแจ้งเตือน	33
รูปที่ 4.1 ภาพการทดสอบระบบวัดแรงดันลมภายในยาง	34
รูปที่ 4.2 ตัวเก็บประจุไฟฟ้า	35
รูปที่ 4.3 ลักษณะการติดตั้งระบบตรวจวัดแรงดันลมภายในยาง	37
รูปที่ 4.4 รูปแบบเสาอากาศภาครับพลังงาน	38
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้า	41
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างของเสาอากาศ. 45	45
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเสาอากาศ..... 47	47
รูปที่ 5.1 เซนเซอร์วัดแรงดันลมภายในยาง..... 54	54
รูปที่ 5.2 อุปกรณ์แสดงผลการวัดแรงดันลมภายในยาง..... 54	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาในการดำเนินงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย ทฤษฎีแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย และขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย

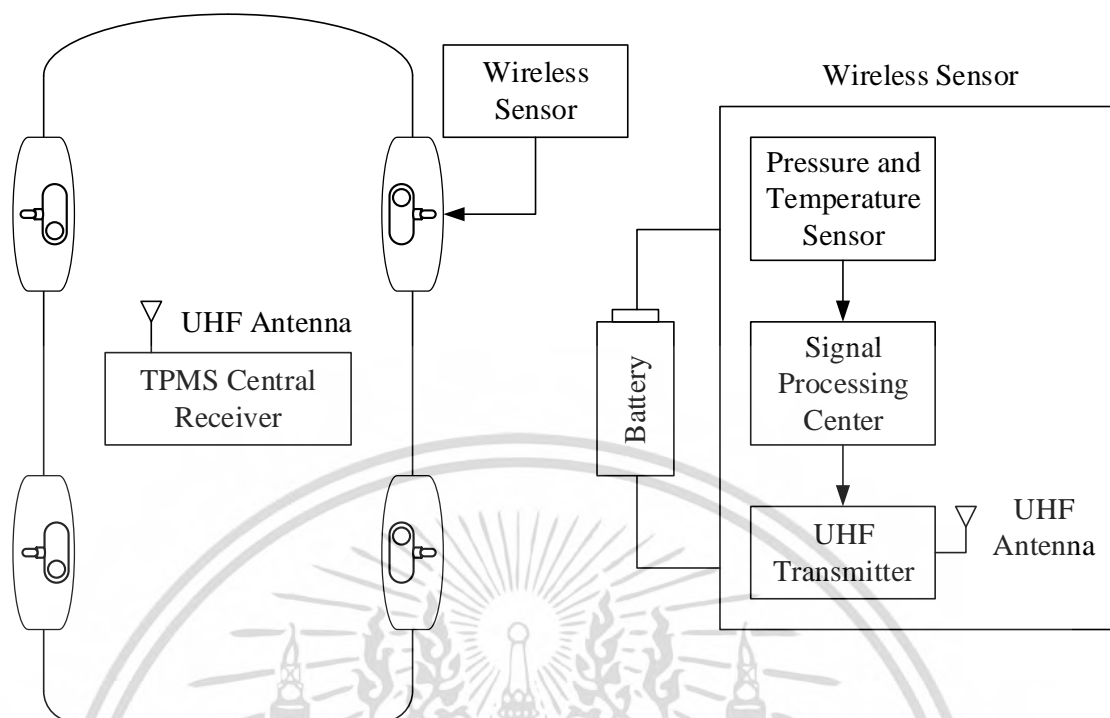
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์ (Tire Pressure Monitoring System - TPMS) เป็นส่วนสำคัญและบังคับใช้อย่างมากในอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อรักษาความปลอดภัยของผู้โดยสาร และรถยนต์ TPMS มีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์และแจ้งเตือนในกรณีที่แรงดันลมในยางไม่อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ซึ่งในรายงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนา ระบบ TPMS ที่ใช้เทคโนโลยี Radio-Frequency Identification (RFID) ที่มีความพิเศษมาเป็นแหล่งพลังงานโดยไม่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

ในด้านความปลอดภัยของผู้โดยสารและรถยนต์ ระบบ TPMS เป็นระบบที่สำคัญอย่างมากในความปลอดภัยของรถยนต์และผู้โดยสาร แรงดันลมในยางที่ไม่ถูกตรวจสอบหรือลดลงต่ำกว่าค่าที่ปลอดภัยสามารถทำให้เกิดอุบัติเหตุหรือสามารถทำให้การควบคุมของยานยนต์เสี่ยงต่ออันตราย การพัฒนา TPMS ที่ใช้เทคโนโลยี RFID ที่ไม่ใช้แบตเตอรี่ช่วยลดความเสี่ยงของระบบ TPMS ที่อาจต้องการการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ตลอดระยะเวลาการใช้งาน

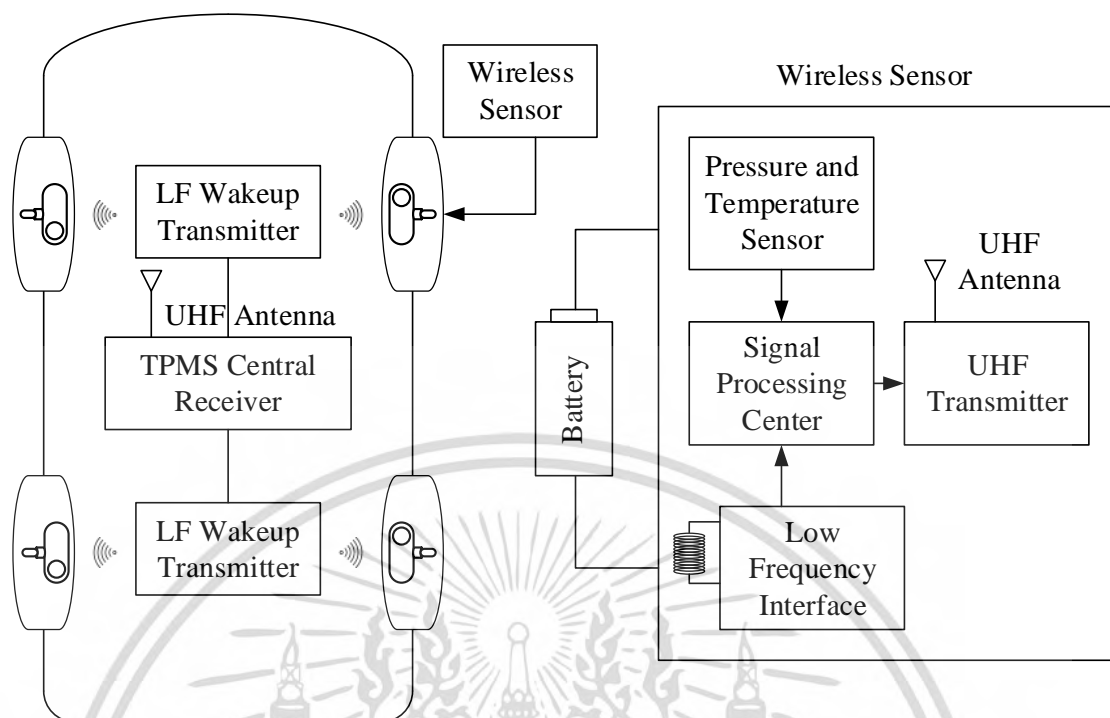
ระบบตรวจสอบความดันในล้อ (TPMS) ที่เป็นสิ่งสำคัญในเรื่องความปลอดภัยของรถยนต์แล้ว ในปัจจุบัน TPMS เป็นอุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งบังคับในรถยนต์ ดังนั้น ผู้พัฒนาได้ประดิษฐ์อุปกรณ์ TPMS ขึ้นมาหลายชนิด

ชนิดแรกของ TPMS คือเซนเซอร์วัดความดันลมในล้อแบบไร้สายที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย [1][2] ประกอบด้วยวงจรวัดและวงจรถูกส่งข้อมูลไร้สาย UHF พร้อมแบตเตอรี่ภายใน ดังที่แสดงใน รูปที่ 1.1 โดย TPMS ชนิดนี้จะมีการทำงานอยู่เสมอเพื่อวัดความดันและส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับในเวลาที่กำหนด โดยเนื่องจาก TPMS ชนิดนี้ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานหลัก ข้อดีของ TPMS ชนิดมีแบตเตอรี่รวมอยู่คือ สามารถวัดระดับความดันภายในล้อได้ตลอดเวลาหากแบตเตอรี่ยังคงมีพลังงาน อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคือ ต้องมีการเปลี่ยนแบตเตอรี่เป็นระยะ ๆ เนื่องจากอายุการใช้งานขึ้นอยู่กับพลังงานของแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ ซึ่งยังเป็นข้อจำกัดอายุการใช้งานของเซนเซอร์



รูปที่ 1.1 ระบบ TPMS ที่มีแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน

ชนิดที่สองของ TPMS คือ TPMS พร้อมการปลุกการทำงานด้วยช่วงความถี่ต่ำ (LF wakeup) [3][4] ได้ถูกพัฒนาออกมาเพิ่ม อุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบด้วยวงวัด วงจรส่งข้อมูลไร้สาย และวงจรปลุก ซึ่งยังคงมีแบตเตอรี่อยู่ใน TPMS ดังที่แสดงใน รูปที่ 1.2 การออกแบบมีวงปลุกและสั่งให้อุปกรณ์ทำงานเมื่อมีความต้องการเท่านั้น ในชนิดของ TPMS นี้ ต้องมีระบบอุปกรณ์ปลุกเพิ่มเติมที่ต้องติดตั้งกับเครื่องอ่าน วงจรปลุกสามารถสั่งงานโดยสัญญาณความถี่ต่ำ 125 kHz เพื่อสั่งงานวงจรวัดแรงดันด้วยความช่วยเหลือของกลไกการปลุก อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะยาวนานขึ้น แต่ก็ยังต้องพึ่งพากำลังพลังงานของแบตเตอรี่อยู่



รูปที่ 1.2 ระบบ TPMS ที่มีแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานพร้อมวงจรปลุกการทำงาน

ระบบ TPMS ที่ใช้แบตเตอรี่มักต้องมีการเปลี่ยนแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ, ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นและอายุการใช้งานของเซ็นเซอร์มีจำกัด การพัฒนาระบบ TPMS ที่ใช้เทคโนโลยี RFID ช่วยลดปัญหาในส่วนนี้และเป็นการยืดอายุการใช้งานของเซ็นเซอร์

การพัฒนาระบบ TPMS ที่ใช้เทคโนโลยี RFID เป็นการสนับสนุนนวัตกรรมในด้านยานยนต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งช่วยเสริมสร้างภาพลักษณ์ให้กับอุตสาหกรรมรถยนต์ในการใช้เทคโนโลยีใหม่เพื่อความก้าวหน้าและความแข็งแกร่งในการแข่งขันในตลาดโลก และยังเป็นหัวข้อวิทยานิพนธ์ที่สามารถสรุปความสำคัญของการปรับปรุงและพัฒนาระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์ที่มีผลต่อความปลอดภัยและอายุการใช้งานของเซ็นเซอร์ ระบบนี้เป็นระบบที่มีศักยภาพและส่งเสริมอุตสาหกรรมยานยนต์ในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

รายงานวิจัยนี้มุ่งหมายที่จะแสดงถึงการพัฒนาระบบ TPMS ที่ใช้เทคโนโลยี Radio-Frequency Identification (RFID) ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสัญญาณ RF คลื่นความถี่ต่ำ 134.2 kHz โดยตรงเพื่อแทนแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน เทคนิคนี้ช่วยให้ TPMS ทำงานได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์เนื่องจากการใช้งานแบตเตอรี่ที่จำกัดและสามารถทำงานได้ตลอดเวลาเมื่อมีการเก็บเกี่ยวพลังงาน เทคโนโลยี RFID ทำให้ระบบ TPMS สามารถส่งข้อมูลเกี่ยวกับแรงดันลมและอุณหภูมิของยางไปยังอุปกรณ์เครื่องรับข้อมูลด้วยความถี่สูง 433 MHz ที่สามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาครับได้ในระยะไกลมากกว่า 10 เมตร ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะสำหรับรถบรรทุกที่มีระยะทางระหว่างล้อและเครื่องรับข้อมูลที่อยู่ใกล้กัน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การนำเอาเทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่ต่ำมาใช้เพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานสำหรับระบบตรวจวัดลมยางโดยใช้การส่งและรับพลังงานผ่านคลื่นความถี่ต่ำ เป็นแนวคิดสำคัญที่ต้องการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้

เทคโนโลยี RFID มีความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถใช้พลังงานที่เก็บเกี่ยวได้มาเป็นแหล่งพลังงานของระบบตรวจวัดลมยาง ซึ่งเพียงพอสำหรับตัวเซนเซอร์และอุปกรณ์ประมวลผล รวมถึงภาคการส่งข้อมูล ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้เทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่ต่ำสามารถส่งและรับพลังงานผ่านคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีโลหะหรือของเหลวที่อยู่ใกล้เคียง เช่น ระบบตรวจวัดลมยางซึ่งรถยนต์มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโลหะ การออกแบบระบบตรวจวัดลมยางโดยใช้เทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่ต่ำจะต้องคำนึงถึงการออกแบบอุปกรณ์ภาครับพลังงานและภาคส่งพลังงานให้เหมาะสมกับการใช้งาน และสามารถรับส่งพลังงานได้อย่างเพียงพอ ซึ่งต้องปรับแต่งให้เข้ากับความต้องการใช้งาน รูปแบบของเสาอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบตรวจวัดลมยางโดยใช้เทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่ต่ำ เนื่องจากจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการรับส่งพลังงาน

การศึกษานี้จะสรุปถึงความสามารถและประสิทธิภาพของการใช้เทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่ต่ำในการเก็บเกี่ยวพลังงานสำหรับระบบตรวจวัดลมยาง ผลการศึกษานี้จะมีความสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงระบบตรวจวัดลมยาง และเปิดโอกาสในการใช้เทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่ต่ำในการเก็บเกี่ยวพลังงานในการใช้งานอื่นๆ ในอนาคต

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ความสำคัญของระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานบนสัญญาณคลื่นความถี่ต่ำของตัวตรวจวัดแรงดันลมในยางรถยนต์นั้น ระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานมีบทบาทสำคัญ เนื่องจากระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานที่มีประสิทธิภาพจะสามารถดึงพลังงานและเลี้ยงระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยจำเป็นต้องคำนวณและกำหนดความต้องการพลังงานของระบบตรวจวัดแรงดันลมในยางรถยนต์เพื่อให้ระบบสามารถทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยคำนวณพลังงานที่ต้องใช้ในการวัดแรงดันลม การประมวลผลและการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสาอากาศสำหรับตัวส่งและตัวรับพลังงานเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในระบบ การออกแบบเสาอากาศควรพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาดของเสาอากาศ เพื่อให้สามารถรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่ต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ผลลัพธ์การเก็บเกี่ยวพลังงานที่เพียงพอ

การกำหนดเวลาการทำงานของระบบตรวจวัดแรงดันลมในยางรถยนต์เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ระบบสามารถตรวจวัดแรงดันลมตามพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้และตรงตามความต้องการของการใช้งาน

การศึกษานี้คาดหวังที่จะช่วยให้ระบบตรวจวัดแรงดันลมในยางรถยนต์มีประสิทธิภาพในการทำงานและสามารถตรวจวัดแรงดันลมในยางรถยนต์ได้อย่างแม่นยำสมบูรณ์ และสามารถใช้งานในสถานการณ์จราจรจริง.

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์โดยใช้เทคโนโลยี RFID ยานความถี่ต่ำสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานนี้ สามารถแบ่งการวิจัยเป็นแต่ละส่วนได้ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบและเลือกใช้ตัวส่งพลังงาน
2. การออกแบบเสาอากาศ
3. การออกแบบตัวเก็บเกี่ยวพลังงาน
4. การคำนวณการใช้พลังงานของระบบ
5. การเลือกใช้เซนเซอร์และตัวส่งข้อมูล

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของระบบ TPMS
2. ค้นคว้าเซนเซอร์วัดลมยางที่เหมาะสม
3. คำนวณปริมาณการใช้พลังงานของเซนเซอร์
4. ออกแบบระบบส่งพลังงานบนสัญญาณคลื่นความถี่ต่ำ
5. ออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน
6. ออกแบบตัวเสาอากาศของตัวส่งพลังงานและตัวรับพลังงาน
7. ทดสอบระบบภาคส่งพลังงาน
8. ทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน
9. ออกแบบระบบสะสมพลังงาน
10. ทดสอบระบบสะสมพลังงาน
11. ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดลมยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ทดสอบการส่งข้อมูลแรงดันลมยาง
13. ตรวจสอบการทำงานในสภาพการจราจร
14. สรุปผลการทดลองและประมวลผล

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำระบบตรวจวัดแรงดันลมยางไปประยุกต์ติดตั้งกับรถยนต์ส่วนบุคคลหรือรถบรรทุกได้
2. สามารถนำเอาเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานนี้ไปใช้กับการใช้งานอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการใช้แบตเตอรี่หรือในอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแบตเตอรี่ยาก
3. ลดปริมาณการใช้งานแบตเตอรี่
4. สนับสนุนการพัฒนานวัตกรรมในอุตสาหกรรมรถยนต์ในยุคปัจจุบันและอนาคต

1.8 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้ได้แยกออกเป็น 5 บท ซึ่งได้แสดงถึงที่มาและแนวคิดของงานวิจัย วิธีการและทฤษฎีต่างๆ ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ รวมถึงผลการทดลองการสรุปผลและ ข้อเสนอแนะมีรายละเอียดในบทต่างๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

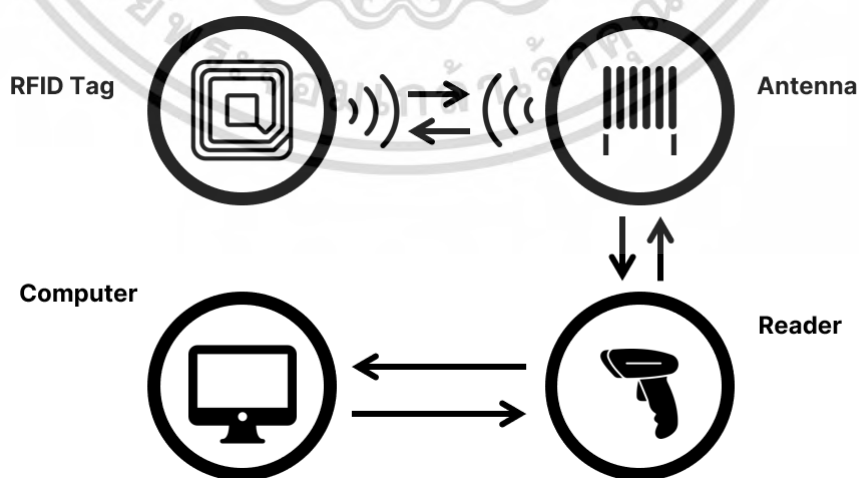
หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวพลังงานโดยใช้เทคโนโลยี RFID บนสัญญาณคลื่นความถี่ต่ำ โดยเริ่มจากการอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยี RFID ประเภทของ RFID ในย่านความถี่ต่างๆ อธิบายวิธีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากเทคโนโลยี RFID อธิบายหลักการทำงานของ เซนเซอร์วัดแรงดันลมภายในยางรถยนต์ อธิบายรูปแบบการส่งข้อมูลแรงดันลมไปยังอุปกรณ์รับข้อมูล ศูนย์กลาง รวมถึงอธิบายระบบการทำงานของ Tire presser monitoring system TPMS

2.1 เทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification)

การระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุหรือ RFID (Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์ในหลากหลายการใช้งาน เช่น เรื่องระบุตัวตนและติดตามวัตถุหรือสิ่งต่างๆ ซึ่งใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารเพื่อระบุตัวตนอย่างเฉพาะเจาะจง ในวิทยานิพนธ์นี้เราจะศึกษาหลักการและทฤษฎีที่อยู่เบื้องหลังเทคโนโลยี RFID และทำความเข้าใจถึงการทำงานของ RFID

ระบบ RFID (Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญและนิยมใช้ในการระบุตัวตนและติดตามวัตถุ สัตว์หรือบุคคลในหลายการใช้งาน เทคโนโลยีนี้มีโครงสร้างหลักที่ประกอบด้วยสี่ส่วนหลัก คือ แท็กหรือทรานสปอนเดอร์ (tag or transponder) เสาอากาศ (antenna) ตัวรับส่งข้อมูล (transceiver) และคอมพิวเตอร์ (computer) โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะทำความเข้าใจถึงหลักการและทฤษฎีของระบบ RFID รวมถึงโครงสร้างและกระบวนการทำงานของระบบนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID ประกอบด้วยเสาอากาศและตัวรับส่งข้อมูลรวมกัน พวกเขาจะถูกเรียกว่าเครื่องอ่านหรืออินเตอร์โรเกเตอร์ RFID (RFID reader or interrogator) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ เครื่องอ่าน RFID แบบคงที่ (fixed readers) และเครื่องอ่าน RFID แบบเคลื่อนที่ (mobile readers) โดยเครื่องอ่าน RFID เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย (network-connected device) สามารถพกพาหรือติดตั้งถาวร และใช้คลื่นวิทยุในการส่งสัญญาณเพื่อเรียกใช้แท็ก (tag) โดยเมื่อแท็กถูกเรียกใช้ แท็กจะส่งคลื่นกลับไปยังเสาอากาศสแกน โดยที่คลื่นนั้นจะถูกแปลเป็นข้อมูล

ทรานสปอนเดอร์ (transponder) ติดตั้งอยู่ในแท็ก RFID โดยระยะการอ่าน (read range) ของแท็ก RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ประเภทของแท็ก ประเภทของเครื่องอ่าน RFID ความถี่ RFID และการรบกวนจากสภาพแวดล้อมรอบข้างหรือจากแท็ก RFID และเครื่องอ่านอื่นๆ แท็กที่มีประสิทธิภาพการจัดการพลังงานที่ดี จะมีระยะการอ่านที่ยาวกว่าได้

2.2 ประเภทของ RFID

ระบบ RFID (Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีที่มีความหลากหลายในประเภทของความถี่ที่ใช้ในการสื่อสาร โดยการเลือกใช้ความถี่ในระบบ RFID จะขึ้นอยู่กับการประยุกต์การใช้งานและความไกลของระยะการอ่านที่ต้องการ ในวิทยานิพนธ์นี้ เราจะศึกษาประเภทหลักๆ ของระบบ RFID ที่มีอยู่ ซึ่งประกอบด้วยระบบความถี่ต่ำ (low frequency), ระบบความถี่สูง (high frequency), และ ระบบความถี่สูงพิเศษ (ultra-high frequency) รวมถึงระบบความถี่ไมโครเวฟ (microwave) ซึ่งมีการใช้งานแตกต่างกันตามประเทศและภูมิภาค และเราจะสนใจถึงหลักการควบคุมระยะการอ่านในระบบ RFID

ประเภทหลักของระบบ RFID

1. ระบบความถี่ต่ำ (Low Frequency, LF) ระบบนี้มีความถี่ต่ำตั้งแต่ 30 KHz ถึง 500 KHz โดยความถี่พื้นฐานทั่วไปคือ 125 KHz ระบบ LF RFID มีระยะการส่งสัญญาณสั้น ๆ ทั่วไปอยู่ที่ระยะไม่เกินหนึ่งเมตร
2. ระบบความถี่สูง (High Frequency, HF) ระบบนี้มีความถี่สูงตั้งแต่ 3 MHz ถึง 30 MHz โดยความถี่ HF ทั่วไปคือ 13.56 MHz ระยะการส่งสัญญาณมาตรฐานอยู่ที่ระยะไม่เกิน 2 เมตร
3. ระบบความถี่สูงพิเศษ (Ultra-High Frequency, UHF) ระบบนี้มีความถี่ตั้งแต่ 300 MHz ถึง 960 MHz โดยความถี่ UHF ทั่วไปคือ 433 MHz และสามารถอ่านได้ระยะไกลถึง 8 เมตร ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระบบความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) ระบบนี้ใช้ความถี่ 2.45 GHz และสามารถอ่านได้ระยะไกลมากถึง 10 เมตร ขึ้นไป

ตารางที่ 2.1 ประเภทของ RFID

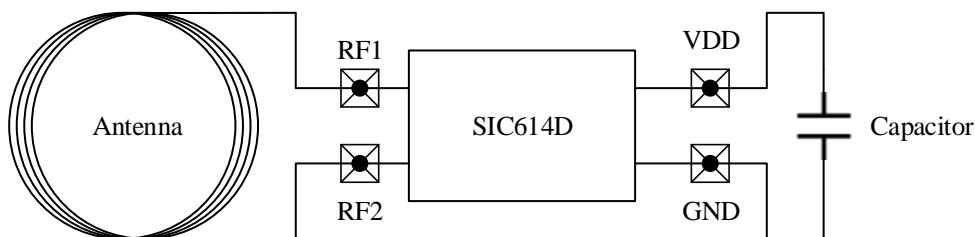
ประเภทความถี่	ย่านความถี่	ระยะการอ่าน
ความถี่ต่ำ (Low Frequency, LF)	30 KHz ถึง 500 KHz, ทั่วไปคือ 125 KHz	น้อยกว่า 1 เมตร
ความถี่สูง (High Frequency, HF)	3 MHz ถึง 30 MHz, ทั่วไปคือ 13.56 MHz	น้อยกว่า 2 เมตร
ความถี่สูงพิเศษ (Ultra-High Frequency, UHF)	300 MHz ถึง 960 MHz, ทั่วไปคือ 433 MHz	มากกว่า 8 เมตร

หลักการควบคุมระยะการอ่าน จะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ในการใช้งานของระบบ RFID โดยระยะการอ่านที่ได้จริงอาจแตกต่างกับความคาดหวัง หากต้องการระยะการอ่านที่ยาวขึ้น สามารถใช้แท็ก RFID ที่มีพลังงานเพิ่มเติมจากภายนอกแบตเตอรี่หรือแหล่งพลังงานอื่น ๆ นอกเหนือจากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นความถี่ ซึ่งจะสามารถเพิ่มระยะการอ่านได้มากขึ้นถึง 50 เมตร ขึ้นไป

2.3 การเก็บเกี่ยวพลังงานโดยใช้เทคโนโลยี RFID

ในเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีในปัจจุบัน หนึ่งในความท้าทายที่น่าสนใจคือการเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ พร้อมกับลดขนาดของแบตเตอรี่ในเทคโนโลยีไร้สายที่มีการใช้พลังงานต่ำและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพาอื่น ๆ วิธีที่น่าสนใจในการให้พลังงานที่จำเป็นในการทำงานของอุปกรณ์ไร้สายอย่างต่อเนื่องโดยไม่เสื่อมประสิทธิภาพจากคุณภาพของแบตเตอรี่ คือการเก็บรวบรวมพลังงานจากสภาพแวดล้อมโดยใช้คลื่นไฟฟ้าที่รู้จักกันในนามว่าการเก็บรวบรวมพลังงาน RF (RF energy harvesting) ซึ่งกำลังเป็นทางเลือกที่ดีในการจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มีแบตเตอรี่ เนื่องจากการใช้งานกันอย่างกว้างขวางของเทคโนโลยีไร้สายหลากหลายชนิดที่รวมถึงเซลล์ลูลาร์ (cellular), ทีวี, วิทยุ, ดาวเทียม, และสัญญาณ Wi-Fi ในสภาพเมือง วิธีการเก็บเกี่ยวพลังงานนี้สามารถให้พลังงานในอัตราที่สามารถรักษาไว้ได้ในระยะยาวในการประยุกต์ใช้สำหรับอุปกรณ์ไร้สายต่างๆ โดยเฉพาะในความถี่ HF และ UHF ดังนั้นการเก็บรวบรวมพลังงานจากคลื่นความถี่วิทยุผ่านอากาศ ได้ดึงดูดความสนใจทางการศึกษาของระบบที่ใช้พลังงานต่ำ เช่น Wireless Body Networks (WBN), ระบบเซนเซอร์ไร้สาย (WSN), RFID, อุปกรณ์ฝังตัวยกรรรมทางการแพทย์, และอุปกรณ์ IOT ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง RFID tag

การเก็บเกี่ยวพลังงานโดยใช้เทคโนโลยี RFID ในกระบวนการนี้จะใช้ชิป RFID ประเภท HDX ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษที่มีความสามารถในการสะสมพลังงาน การทำงานของ RFID HDX นั้นจะรับพลังงานจากเครื่องอ่านก่อนและจะตอบสนองกลับเมื่อเครื่องอ่านหยุดส่งคลื่นสัญญาณความถี่ โดยใช้พลังงานที่ได้เก็บสะสมไว้ในตัวเก็บประจุเป็นแหล่งพลังงานในการตอบสนอง แต่ RFID ประเภท FDX นั้นจะไม่มีกระบวนการสะสมพลังงาน โดยการตอบสนองนั้นจะเกิดขึ้นในระหว่างเครื่องอ่านส่งสัญญาณคลื่นความถี่อยู่

ชิป RFID HDX จะมีตัวเก็บประจุที่อยู่ภายนอกชิปซึ่งสามารถสะสมพลังงานจากคลื่นความถี่ที่ส่งผ่านเสาอากาศไปยังชิป เมื่อชิป RFID ได้รับพลังงานผ่านคลื่นความถี่ ชิปจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณคลื่นเหล่านี้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง และจัดเก็บสะสมที่ตัวเก็บประจุ ความเร็วในการสะสมพลังงานขึ้นอยู่กับค่าลิมิตของกระแสที่ชิป RFID สามารถรับได้และขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้สะสมพลังงาน

การเลือกใช้ชิป RFID ประเภท HDX เป็นส่วนสำคัญในกระบวนการเก็บเกี่ยวพลังงาน เนื่องจากมีการสะสมพลังงานจากคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการนี้ การสร้างระบบที่มีความมั่นคงในการสะสมพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการนำพลังงานไปใช้ในระบบอื่นๆต่อไป

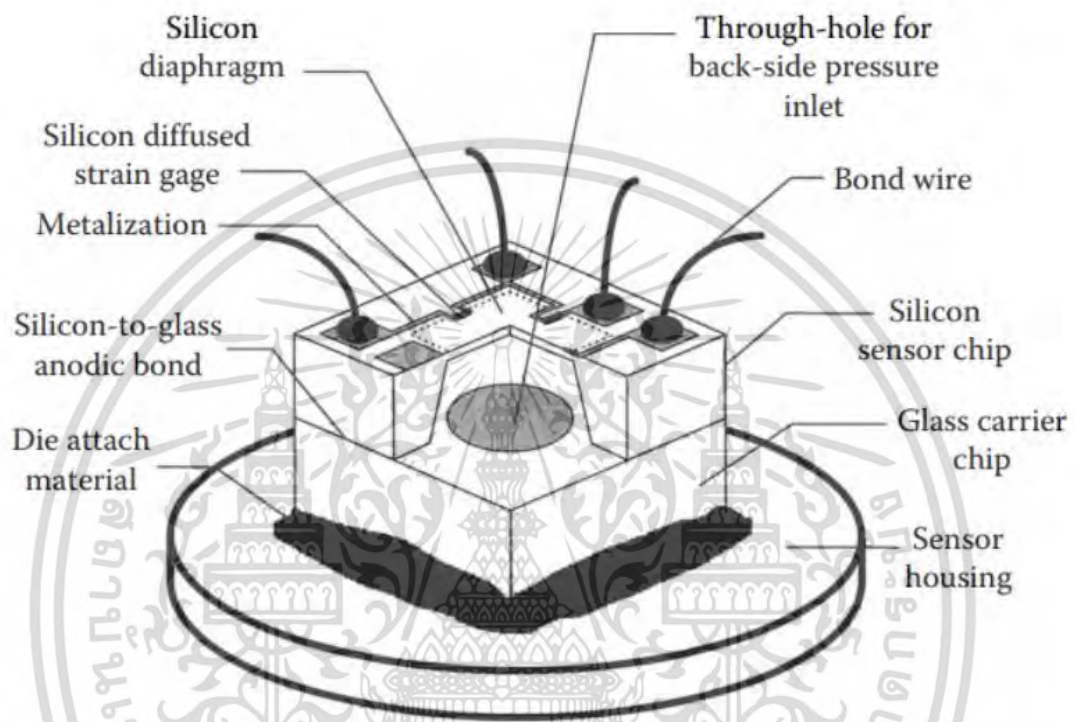
2.4 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดแรงดันลมภายในยางรถยนต์

เซนเซอร์ความดันเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของเซนเซอร์ตรวจสอบแรงดันลมยาง ชิป SP400 สามารถวัดความดันอากาศภายในยางและส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังยูนิตส่วนกลางของรถยนต์ เซนเซอร์ความดันใช้เทคโนโลยี MEMS ซึ่งให้ความแม่นยำ ความเสถียรสูง และความเข้ากันได้ของช่วง

การทำงานของเซนเซอร์วัดความดันที่ทำจากซิลิคอนนี้ เมื่อได้รับแรงดันลมอัดลงมาที่แผ่นซิลิคอน แผ่นซิลิคอนจะเกิดความเครียดส่งผลให้ค่าความต้านทานของซิลิคอนมีการเปลี่ยนแปลง และ

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน แรงดันที่ถูกต่อเข้ากับซิลิคอนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ทำให้สามารถวัดค่าแรงดันที่เปลี่ยนไปแปลงเป็นระดับแรงดันลมที่กระทำได้

การใช้งาน เซนเซอร์วัดความดันมีช่วงการวัดที่ 100 ถึง 1,400 kPa ซึ่งครอบคลุมการใช้งานแรงดันลมบางส่วนใหญ่



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซนเซอร์ความดันแบบพายโซรีซิสทีฟแบบซิลิคอน

การทำงานของเซนเซอร์จะวัดแรงกด โดยใช้ชั้นซิลิคอนบางๆ เป็นไดอะแฟรมซึ่งจะโค้งงอเมื่อมีแรงกด การโค้งงอของไดอะแฟรมจะเปลี่ยนความจุระหว่างชั้นซิลิคอนและชั้นกระจกทำให้ความต้านทานเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยวงจรรออิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ความดันได้รับการปรับเทียบและชดเชยอุณหภูมิและผลกระทบที่ไม่ใช่เชิงเส้น เพื่อให้สามารถอ่านค่าที่เชื่อถือได้และสม่ำเสมอ เซนเซอร์ความดันเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์และตัวควบคุมระบบซึ่งควบคุมการวัดและการส่งข้อมูลความดัน เซนเซอร์วัดความดันยังสามารถสร้างสัญญาณปลูกเมื่อความดันเปลี่ยนแปลงตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานแบตเตอรี่

เซนเซอร์วัดความดันบรรจุอยู่ในแพ็คเกจ PG-DSOSP-14-82 ซึ่งได้รับการออกแบบให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การสั่นสะเทือน และการกระแทกสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การส่งข้อมูลผ่านคลื่นความถี่ UHF

ภาคส่ง RF เป็นส่วนที่ส่งข้อมูลครอบคลุมในย่านความถี่ UHF ทั้ง 315 และ 434 MHz และรองรับการมอดูเลต FSK และ ASK การส่งข้อมูลประกอบด้วยซินธิไซเซอร์ PLL แบบเศษส่วน N ซิกมา-เดลต้า ตัวเข้ารหัสเบสแบนด์ ตัวกรองแบบเกาส์เซียน และเครื่องขยายกำลัง เครื่องส่งสามารถสร้างความถี่พาหะและการมอดูเลตความถี่ตามข้อมูลที่จะส่ง โดยสามารถกำหนดความถี่ของการส่งข้อมูลได้จากสมการ 2.1

- f_{RF_center} คือ ความถี่ที่ต้องการส่งข้อมูล
- f_{XTAL} คือ ความถี่ของตัวสร้างสัญญาณความถี่ที่ใช้ในวงจร
- PLLINT คือ ค่ารีจิสเตอร์สำหรับกำหนดความถี่จำนวนเต็ม
- PLLFRAC คือ ค่ารีจิสเตอร์สำหรับกำหนดความถี่ที่เป็นทศนิยม

$$f_{RF_CENTER} = f_{XTAL} \left(PLLINT \frac{PLLFRAC}{2^{21}} \right) \quad (2.1)$$

การส่ง RF ถูกกระตุ้นโดยแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ ซึ่งสามารถใช้เกณฑ์ที่แตกต่างกัน เช่น ช่วงเวลา การเปลี่ยนแปลงความดัน การตรวจจับการเคลื่อนไหว หรือคำสั่งภายนอก การส่ง RF สามารถทำได้ในโหมดต่างๆ เช่น โหมดต่อเนื่อง หรือโหมดรอบการทำงานต่ำ ขึ้นอยู่กับความต้องการการใช้พลังงานและอัตราการส่งข้อมูล

โปรโตคอลของเครื่องส่งสัญญาณ RF คือชุดของรูปแบบที่กำหนดวิธีที่อุปกรณ์ SP400 สื่อสารกับเครื่องรับโดยใช้สัญญาณความถี่วิทยุ โปรโตคอลของเครื่องส่งสัญญาณ RF ประกอบด้วยประเด็นต่อไปนี้

- Carrier frequency ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำพาข้อมูล อุปกรณ์ SP400 สามารถสร้างความถี่พาหะในย่านความถี่ UHF ทั้ง 315 และ 434 MHz ซึ่งมักใช้สำหรับแอปพลิเคชัน TPMS แอปพลิเคชันซอฟต์แวร์สามารถตั้งค่าความถี่พาหะได้โดยใช้ซินธิไซเซอร์ Fractional-N sigma-delta PLL ในบล็อกเครื่องส่งสัญญาณ RF

- Modulation กระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของคลื่นพาหะตามข้อมูลที่จะส่ง อุปกรณ์ SP400 รองรับการปรับสองประเภทคือ การเปลี่ยนความถี่ (FSK) และการเปลี่ยนแอมพลิจูด (ASK) การมอดูเลต FSK จะเปลี่ยนความถี่ของคลื่นพาหะตามบิตข้อมูล ในขณะที่การมอดูเลต ASK จะเปลี่ยนความกว้างของคลื่นพาหะตามบิตข้อมูล แอปพลิเคชันซอฟต์แวร์สามารถเลือกประเภทการมอดูเลตได้โดยใช้ตัวเข้ารหัสแบบแบนด์ในบล็อกเครื่องส่งสัญญาณ RF

การกำหนดความถี่มอดูเลตแบบ FSK สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.2 และ 2.3

- FSK_{HIGH} คือ ความถี่มอดูเลต FSK ความถี่สูง
- FSK_{LOW} คือ ความถี่มอดูเลต FSK ความถี่ต่ำ
- f_{RF_center} คือ ความถี่ที่ต้องการส่งข้อมูล
- f_{XTAL} คือ ความถี่ของตัวสร้างสัญญาณความถี่ที่ใช้ในวงจร
- FDEV คือ รีจิสเตอร์ในการกำหนดความแตกต่างระหว่างความถี่สูงและความถี่ต่ำ

$$FSK_{HIGH} = f_{RF_CENTER} + FDEV \frac{95f_{XTAL}}{2^{23}} \quad (2.2)$$

$$FSK_{LOW} = f_{RF_CENTER} - FDEV \frac{95f_{XTAL}}{2^{23}} \quad (2.3)$$

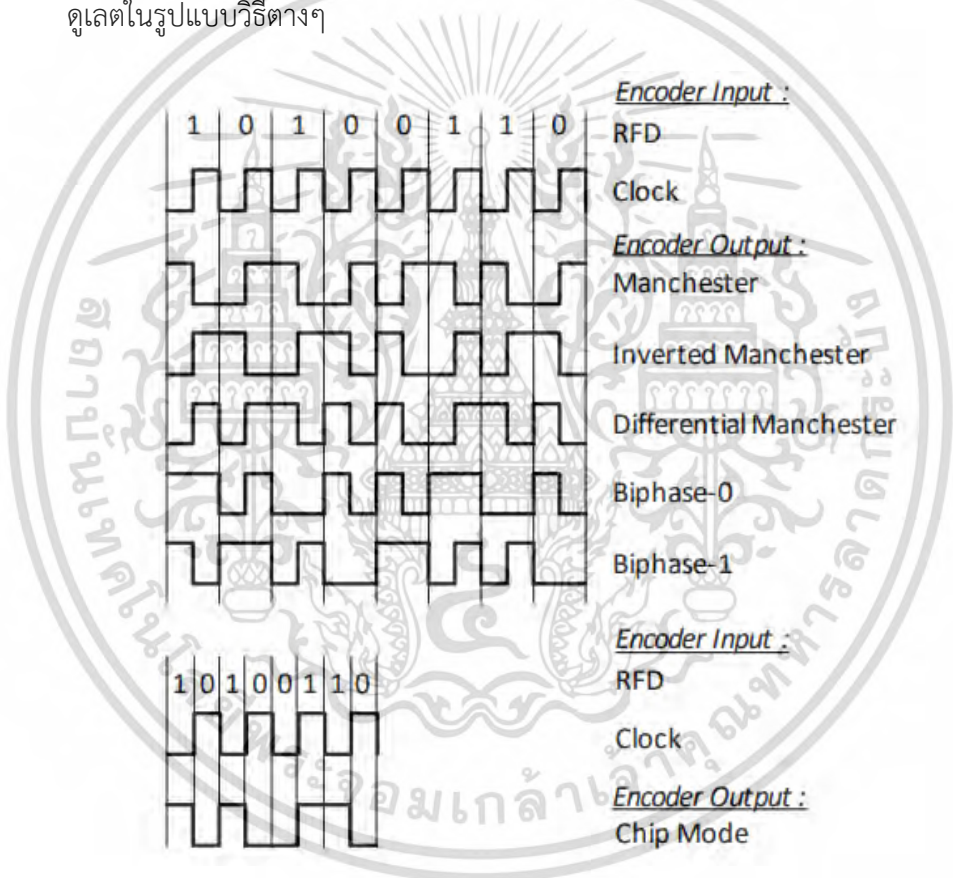
การกำหนดความถี่มอดูเลตแบบ ASK สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.4

- t_{r_up} คือ เวลาในการเปลี่ยนข้อมูลจากศูนย์เป็นหนึ่ง
- T_{r_down} คือ เวลาในการเปลี่ยนข้อมูลจากหนึ่งเป็นศูนย์
- HLEVEL คือ รีจิสเตอร์ระดับแรงดันข้อมูลหนึ่ง
- LLEVEL คือ รีจิสเตอร์ระดับแรงดันข้อมูลศูนย์
- f_{XTAL} คือ ความถี่ของตัวสร้างสัญญาณความถี่ที่ใช้ในวงจร
- SLOPE คือ รีจิสเตอร์ค่าความชันในการเปลี่ยนแปลงข้อมูล
- RATE_DIV คือ รีจิสเตอร์อัตราการส่งข้อมูล

$$t_{r_up} = t_{r_down} = \frac{(HLEVEL - LLEVEL)}{f_{XTAL}(SLOPE + (RATE_DIV + 1)/16)} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปแบบข้อมูล โครงสร้างและการจัดระเบียบของข้อมูลที่จะส่ง อุปกรณ์ SP400 ใช้รหัสแมนเชสเตอร์เพื่อเข้ารหัสบิตข้อมูลเป็นกระแสพัลส์ ซึ่งเครื่องรับสามารถตรวจจับและถอดรหัสได้อย่างง่ายดาย รหัสแมนเชสเตอร์ยังรับประกันรอบการทำงานที่สมดุลและส่วนประกอบ DC (ระดับไฟฟ้ากระแสตรง) คงที่ของสัญญาณ ซึ่งมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานและคุณภาพของสัญญาณคงที่และสม่ำเสมอ รูปแบบข้อมูลยังรวมถึงค่านำ คำซิงค์ เพย์โหลด และ CRC ซึ่งใช้ในการซิงโครไนซ์ ระบุ และตรวจสอบการส่งข้อมูล แอปพลิเคชันซอฟต์แวร์สามารถกำหนดรูปแบบข้อมูลได้โดยใช้ไลบรารีเฟิร์มแวร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ รูปที่ 2.4 จะแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบลักษณะของสัญญาณการมอดูเลตในรูปแบบวิธีต่างๆ



รูปที่ 2.4 รูปแบบการเข้ารหัส RF

- โหมดการส่งข้อมูล เวลาและความถี่ของการส่งข้อมูล อุปกรณ์ SP400 สามารถส่งข้อมูลในโหมดต่างๆ ขึ้นอยู่กับความต้องการพลังงานและอัตราข้อมูล แอปพลิเคชันซอฟต์แวร์สามารถกระตุ้นโหมดการส่งข้อมูลได้โดยใช้เกณฑ์ที่แตกต่างกัน เช่น ช่วงเวลา การเปลี่ยนแปลงความดัน การตรวจจับการเคลื่อนไหว หรือคำสั่งภายนอก โหมดการส่งข้อมูลอาจเป็นโหมดใดโหมดหนึ่งต่อไปนี้

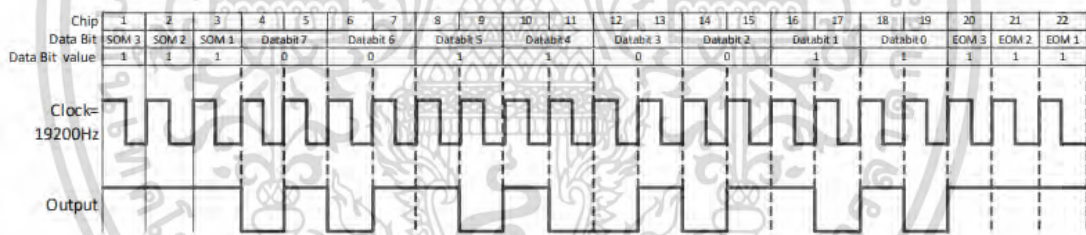
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โหมดต่อเนื่องอย่างรวดเร็ว อุปกรณ์ส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะน้อยกว่า 1 วินาที โหมดนี้ให้อัตราข้อมูลและความน่าเชื่อถือสูงสุด แต่ยังใช้พลังงานมากที่สุดอีกด้วย
- ต่อเนื่อง อุปกรณ์จะส่งข้อมูลเป็นระยะในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 60 วินาที โหมดนี้ให้อัตราการส่งข้อมูลและความน่าเชื่อถือในระดับปานกลาง แต่ยั้งสิ้นเปลืองพลังงานในระดับปานกลางด้วย
- โหมดรอบการทำงานต่ำ อุปกรณ์ส่งข้อมูลเป็นระยะๆ ตามช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 300 วินาที โหมดนี้ให้อัตราข้อมูลและความน่าเชื่อถือต่ำที่สุด แต่ยังใช้พลังงานน้อยที่สุดอีกด้วย

การส่งข้อมูลผลการวัดจากเซนเซอร์วัดแรงดันลมในข้อมูลหนึ่งเฟรม จะประกอบไปด้วย

SOM (Start of Memory) ทำหน้าที่แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของข้อมูล, Databit x คือข้อมูลที่ต้องการส่งไปยังตัวประมวลผลกลางสำหรับแสดงผล และ EOM (End of Memory) ทำหน้าที่แสดงตำแหน่งสิ้นสุดของข้อมูล โดยแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.5

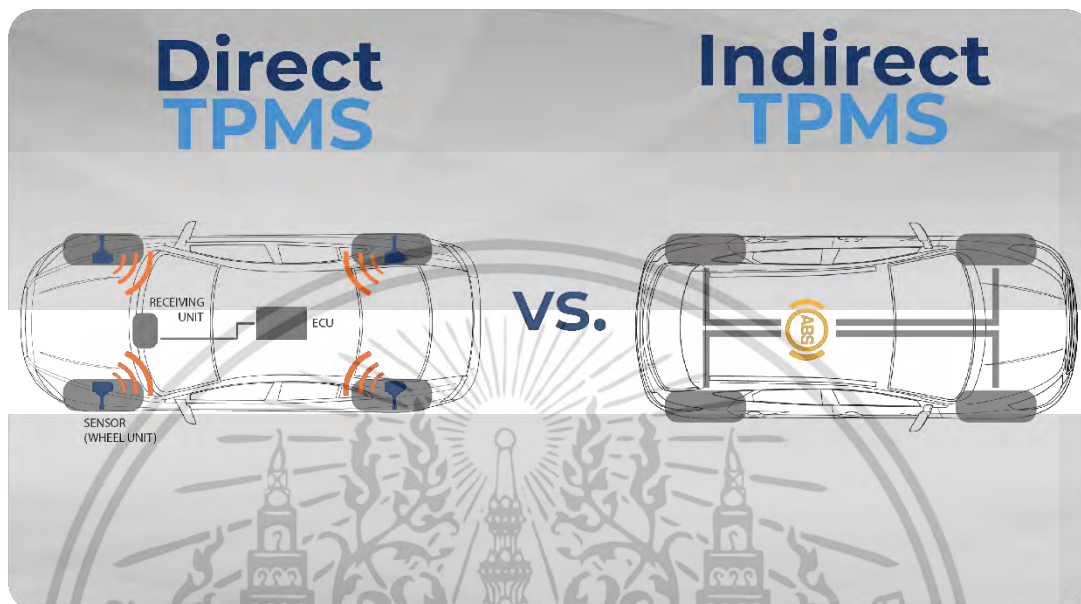
3 bit SOM, 8 bit data (Manchester coded, Baud rate=9600), 3 bit EOM



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการส่ง RF ร่วมกับ SOM และ EOM

2.6 ระบบการทำงานของ TPMS (Tire pressure monitoring system)

ระบบ TPMS เป็นอุปกรณ์ที่ตรวจสอบความดันอากาศภายในยางของยานพาหนะและแจ้งเตือนผู้ขับขี่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ปลอดภัย ระบบ TPMS มีสองประเภทคือ ทางตรงและทางอ้อม



รูปที่ 2.6 ระบบ TPMS ทางตรงและทางอ้อม

ระบบ TPMS ทางตรงใช้เซ็นเซอร์ความดันที่ติดตั้งอยู่ภายในยางแต่ละเส้น และส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนกลางหรือจอแสดงผลบนแผงหน้าปัด เซ็นเซอร์จะวัดความดันอากาศตามจริงในยางและยังสามารถตรวจจับอุณหภูมิและสถานะแบตเตอรี่ของเซ็นเซอร์ได้อีกด้วย เซ็นเซอร์จะส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถแสดงแรงกดของยางแต่ละเส้นแยกกันหรือเป็นกลุ่มก็ได้ คอมพิวเตอร์ยังสามารถเตือนผู้ขับขี่เกี่ยวกับสถานการณ์ความกดอากาศต่ำได้โดยการแสดงแสงไฟเตือนหรือส่งเสียงสัญญาณเตือน ระบบ TPMS ทางตรงมีความแม่นยำและเชื่อถือได้มากกว่าระบบทางอ้อม แต่ก็มีราคาแพงกว่าและต้องการการบำรุงรักษามากกว่าเช่นกัน จำเป็นต้องเปลี่ยนเซ็นเซอร์เป็นระยะ และจำเป็นต้องตั้งโปรแกรมใหม่หรือปรับเทียบใหม่เมื่อมีการหมุน เปลี่ยน หรือซ่อมแซมยาง

ระบบ TPMS ทางอ้อมไม่ได้ใช้เซ็นเซอร์ความดันในยาง แต่ใช้เซ็นเซอร์ความเร็วล้อซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบเบรกป้องกันล้อล็อกแทน เซ็นเซอร์ความเร็วล้อจะวัดอัตราการหมุนของล้อแต่ละล้อและเปรียบเทียบกับล้ออื่นๆ และความเร็วของยานพาหนะ คอมพิวเตอร์สามารถอนุมานขนาดสัมพัทธ์ของยางตามอัตราการหมุน และถือว่ายางที่หมุนเร็วกว่าที่คาดไว้นั้นเติมลมอ่อนเกินไป ระบบ TPMS ทางอ้อมไม่ได้วัดความดันอากาศตามจริงในยาง แต่จะประมาณค่าโดยอิงจากข้อมูลความเร็วล้อเท่านั้น นอกจากนี้ยังไม่สามารถตรวจจับการรั่วไหลที่ช้าหรือสถานการณ์ที่ยางทั้งสี่ล้อมีลมอ่อนเกินไปเท่ากัน ระบบ TPMS ทางอ้อมมีราคาถูกกว่าและต้องการการติดตั้งและบำรุงรักษาน้อยกว่าระบบโดยตรง แต่ก็มี ความแม่นยำและเชื่อถือได้น้อยกว่าเช่นกัน อาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น สภาพเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถนน การสึกหรอของยาง และน้ำหนักของยาง นอกจากนี้ คนขับยังจำเป็นต้องรีเซ็ตระบบการวิเคราะห์ยางด้วยตนเองเมื่อยางถูกเติมลม หมุน เปลี่ยน หรือซ่อมแซม

ระบบ TPMS ทั้งสองประเภทมีเป้าหมายเดียวกันคือ เพื่อช่วยให้ผู้ขับขี่รักษาแรงดันลมยางที่เหมาะสมที่สุดเพื่อความปลอดภัย การประหยัดเชื้อเพลิง และอายุการใช้งานของยาง โดยทั่วไปแรงดันลมยางที่แนะนำสำหรับรถยนต์จะระบุไว้บนสติ๊กเกอร์ที่ประตูคนขับหรือในคู่มือการใช้งาน ระบบ TPMS ไม่ใช่สิ่งทดแทนการบำรุงรักษาตามปกติ แต่เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ที่สามารถแจ้งเตือนผู้ขับขี่ถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ คนขับควรตรวจสอบแรงดันลมยางด้วยตนเองโดยใช้เกจ และเติมลมยางหรือปล่อยลมยางตามความจำเป็น

ส่วนประกอบหลักของระบบ TPMS ทางตรงคือ:

- เซนเซอร์ TPM ทางตรงที่ติดตั้งอยู่ที่ด้านหลังของก้านวาล์วบนล้อแต่ละล้อ เซนเซอร์ประกอบด้วยตัวแปลงสัญญาณแรงดัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ เครื่องส่งความถี่วิทยุ และแบตเตอรี่ ตัวแปลงสัญญาณแรงดันจะแปลงแรงดันอากาศในยางให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจากนั้นจะถูกประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่งผ่านเครื่องส่งความถี่วิทยุ แบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับเซนเซอร์
- ไฟเตือน TPM บนแผงหน้าปัดหรือจอรูปสัญลักษณ์แสดงแรงดันลมยางแต่ละเส้น ไฟเตือนหรือจอแสดงผลเชื่อมต่อกับชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ของเครื่องวัดแรงดันลมยาง ซึ่งจะรับสัญญาณจากเซนเซอร์และแปลความหมาย ECU ยังสามารถทำการวินิจฉัยและปลุกเซนเซอร์เป็นระยะ ECU ยังสามารถสื่อสารกับระบบอื่นๆ ของยานพาหนะได้ เช่น ระบบเบรกป้องกันล้อล็อก ระบบควบคุมเสถียรภาพ หรือระบบนำทาง
- เส้าอากาศที่รับสัญญาณจากเซนเซอร์ เส้าอากาศสามารถรวมเข้ากับ ECU หรือติดตั้งแยกต่างหากใกล้แต่ละล้อได้ เส้าอากาศยังสามารถแชร์กับระบบอื่นๆ ของรถยนต์ได้ เช่น ระบบกุญแจรีโมท

ส่วนประกอบหลักของระบบ TPMS ทางอ้อม ได้แก่:

- เซนเซอร์วัดความเร็วล้อที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบเบรกป้องกันล้อล็อก เซนเซอร์ความเร็วล้อจะวัดอัตราการหมุนของล้อแต่ละล้อโดยใช้เซนเซอร์แม่เหล็กหรือออปติคัล เซนเซอร์จะส่งสัญญาณไปยัง ECU ระบบเบรกป้องกันล้อล็อก จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยัง ECU TPMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- TPMS ECU ซึ่งคำนวณขนาดสัมพัทธ์ของยางตามข้อมูลความเร็วล้อและเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ECU TPMS ยังสามารถทำการวินิจฉัยและรีเซ็ตระบบเมื่อผู้ขับขี่เติมลม หมุน เปลี่ยน หรือซ่อมแซมยาง TPMS ECU ยังสามารถสื่อสารกับระบบอื่นๆ ของรถยนต์ได้ เช่น ระบบควบคุมเสถียรภาพหรือระบบนำทาง
- ไฟเตือน TPM บนแผงหน้าปัด ซึ่งบ่งชี้ถึงสถานการณ์แรงดันต่ำหรือระบบขัดข้อง ไฟเตือนเชื่อมต่อกับ TPMS ECU ซึ่งจะสว่างเมื่อขนาดยางที่คำนวณเบี่ยงเบนไปจากค่าอ้างอิงตามเกณฑ์ที่กำหนด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

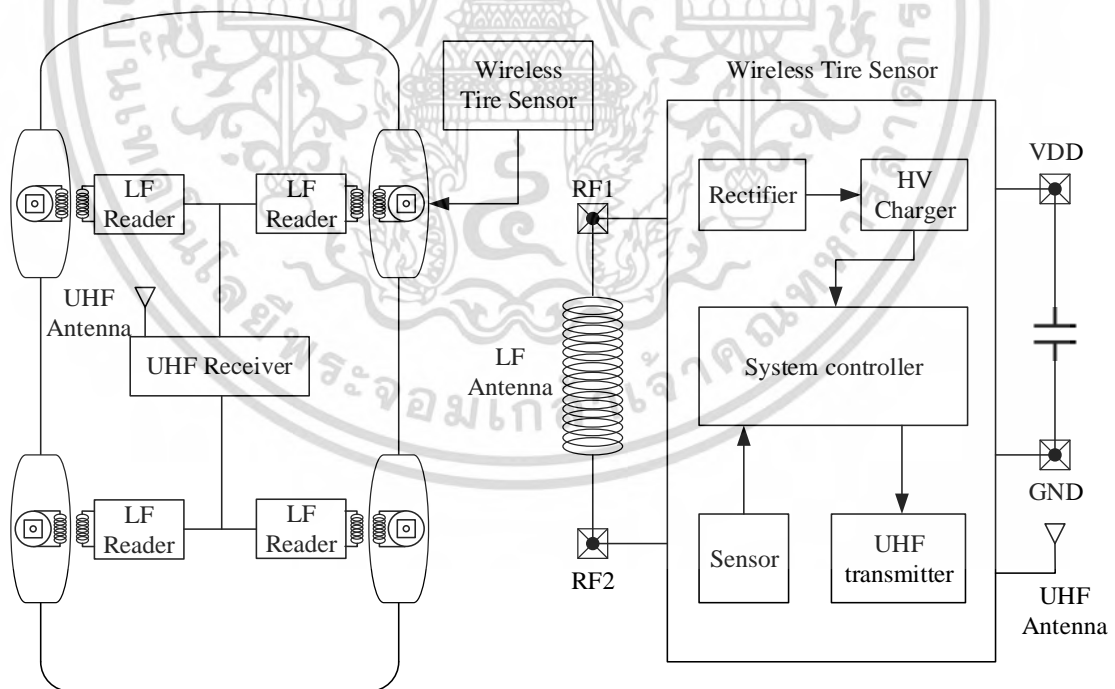
การออกแบบวงจร

แนวคิดในการออกแบบวงจรเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาระบบที่ใช้ในการส่งพลังงานและข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ เชื่อมโยงกับการพัฒนาเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นการสร้างวงจรที่สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและความต่อเนื่อง จะสอดคล้องกับการแสดงถึงภาพรวมของกระบวนการออกแบบวงจร โดยเน้นการอธิบายและเกี่ยวกับแต่ละส่วนของวงจร เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจในเรื่องการทำงานของระบบ การอธิบายเกี่ยวกับการออกแบบวงจรสำหรับการรับส่งพลังงานและข้อมูลผ่านคลื่นสัญญาณ รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยี RFID ที่มีบทบาทสำคัญในการรับส่งพลังงาน และการอธิบายรายละเอียดของการออกแบบวงจรสำหรับการเก็บสะสมพลังงาน ปรับปรุงเสอาอากาศ เพื่อให้เหมาะสมกับความถี่การใช้งาน รวมถึงการวิเคราะห์แนวคิดในการสร้างโปรโตคอลการสื่อสาร และการออกแบบภาครับข้อมูลที่สามารถจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและการแสดงผลข้อมูลและการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้เข้าใจได้อย่างชัดเจนและสะดวกสบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

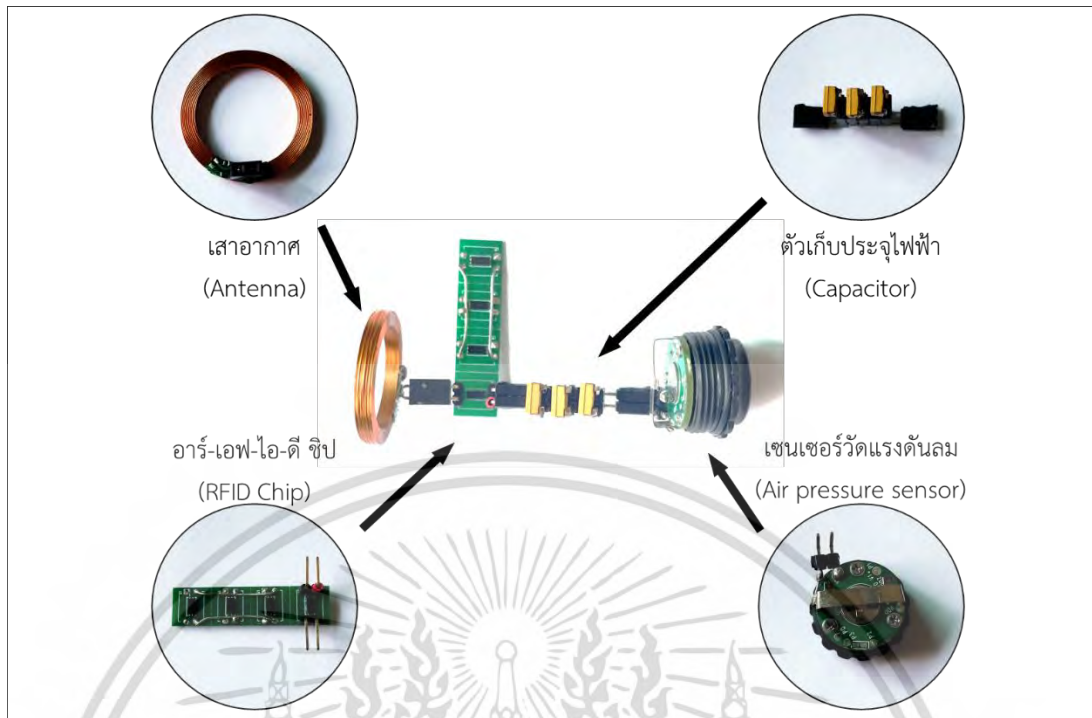
3.1 ภาพรวมของระบบ

การออกแบบระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์โดยใช้เทคโนโลยี RFID ย่านความถี่ต่ำ สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานนั้น มีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้ 1) เซนเซอร์วัดแรงดันลมภายในยาง อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่วัดแรงดันลมที่อยู่ภายในยางรถยนต์รวมถึงวัดอุณหภูมิภายในยางอีกด้วย ซึ่งตัวเซนเซอร์นี้จะมีหน่วยประมวลสำหรับการจัดการข้อมูล และมีภาคส่งข้อมูลในรูปแบบคลื่นความถี่ UHF สำหรับส่งข้อมูลไปยังหน่วยรับผลกลางรวมอยู่ด้วย 2) ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับตัวเซนเซอร์ ระบบนี้จะใช้เทคโนโลยี RFID ย่านความถี่ LF ทำหน้าที่เก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นความถี่ที่ถูกปล่อยออกมาจากตัวส่งพลังงานโดยคลื่นความถี่ต่ำ และจะเก็บสะสมพลังงานในตัวเก็บประจุเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้แก่ตัวเซนเซอร์ 3) ตัวจ่ายพลังงานผ่านคลื่นความถี่ LF อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งส่งพลังงานให้แก่ตัวเซนเซอร์ ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งใกล้กับล้อรถ โดยจะมีการส่งพลังงานเมื่อต้องการวัดแรงดันลมภายในยาง 4) ภาครับข้อมูลผลการวัดแรงดันลมและอุณหภูมิของยาง อุปกรณ์ส่วนนี้จะถูกติดตั้งไว้ที่ส่วนกลางของรถ ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวเซนเซอร์เพื่อแสดงผลให้กับผู้ขับขี่หากมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันลมหรืออุณหภูมิยางที่ผิดปกติ จะแสดงการแจ้งเตือนให้ผู้ขับขี่ทราบ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

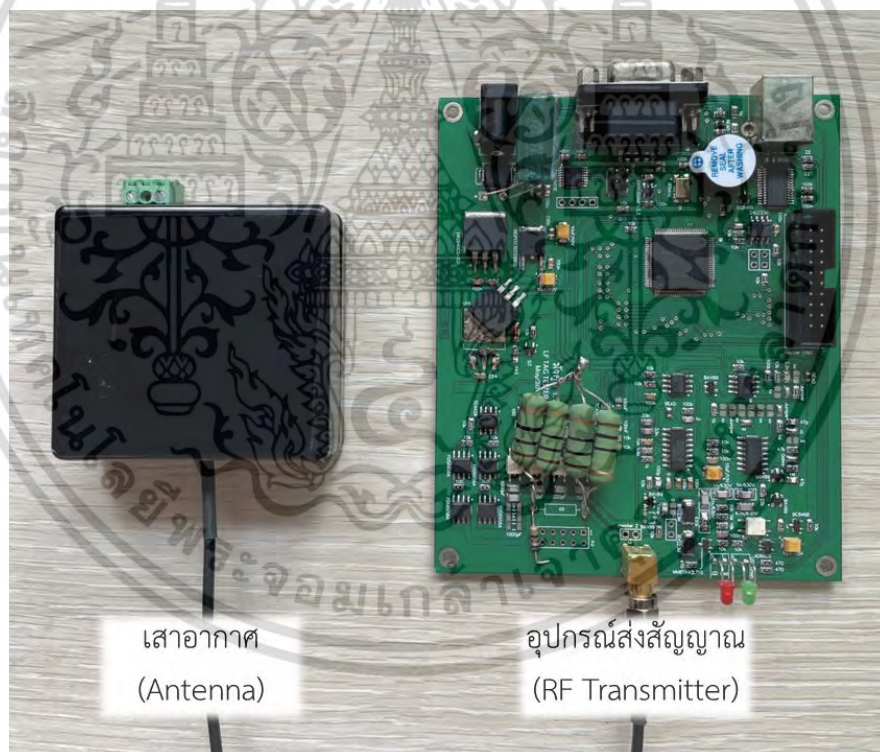


รูปที่ 3.2 ภาพอุปกรณ์วัดแรงดันลมภายในยางและส่วนประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบภาคส่งพลังงานบนคลื่นสัญญาณความถี่ต่ำ

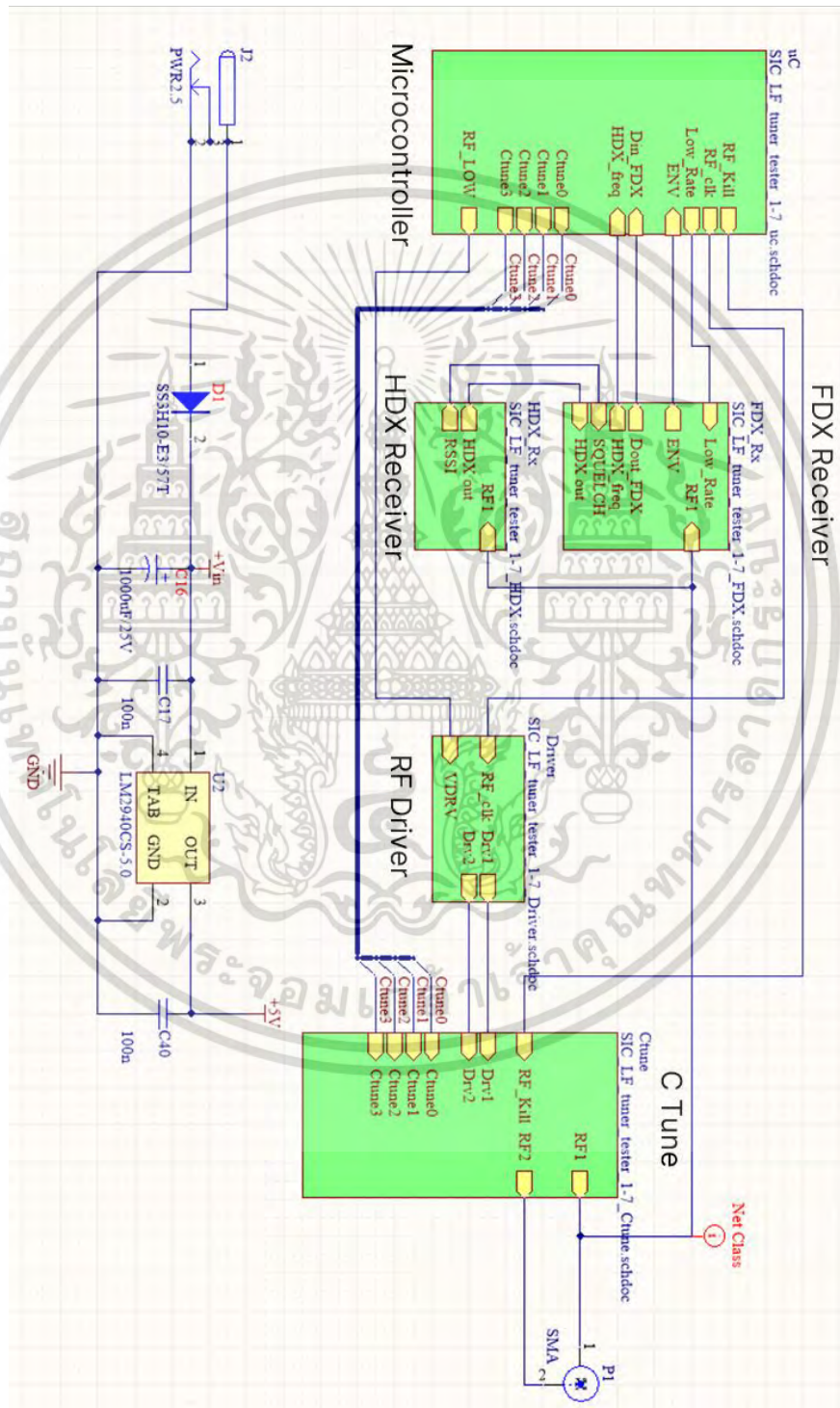
การออกแบบระบบส่งพลังงานบนคลื่นความถี่นี้ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณความถี่ ซึ่งจะถูกสร้างออกมาในรูปแบบของสัญญาณนาฬิกา ในที่นี้จะใช้ความถี่ที่ 134.2 kHz สัญญาณนาฬิกานี้จะถูกจ่ายให้กับ Dual High-Speed Power MOSFET Drivers: TC4428 จะทำหน้าที่แยกสัญญาณออกเป็นสองช่องทาง โดยช่องทางแรกจะเป็นสัญญาณปกติ และช่องทางที่สองเป็นสัญญาณที่ถูกกลับทิศทาง (Invert) เพื่อใช้สำหรับสร้างสัญญาณคลื่นความถี่ในรูปแบบ Sine wave ภาคส่งพลังงานจำเป็นต้องมีกำลังส่งที่สูงเพื่อให้สามารถส่งพลังงานได้ไกล ในการออกแบบระบบภาคส่งพลังงานจึงจำเป็นต้องมีวงจรสำหรับขยายสัญญาณ โดยการออกแบบนี้จะใช้ Dual N & P-Channel Power Trench MOSFET: FDS8958A เป็นตัวขยายสัญญาณ ตามที่แสดงในรูปที่ 3.3, รูปที่ 3.4 และ รูปที่ 3.5



รูปที่ 3.3 ภาพอุปกรณ์ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรเครื่องอ่าน RFID จะประกอบด้วย 1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลหลัก การสร้างสัญญาณความถี่และถอดรหัสข้อมูล 2) ภาครับสัญญาณ FDX และ HDX ทำหน้าที่แปลงข้อมูลในรูปของสัญญาณความถี่ให้เป็นสัญญาณข้อมูลดิจิทัล 3) ภาคส่งพลังงานทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่เพื่อส่งพลังงานและข้อมูลออกทางเสาอากาศไร้สาย

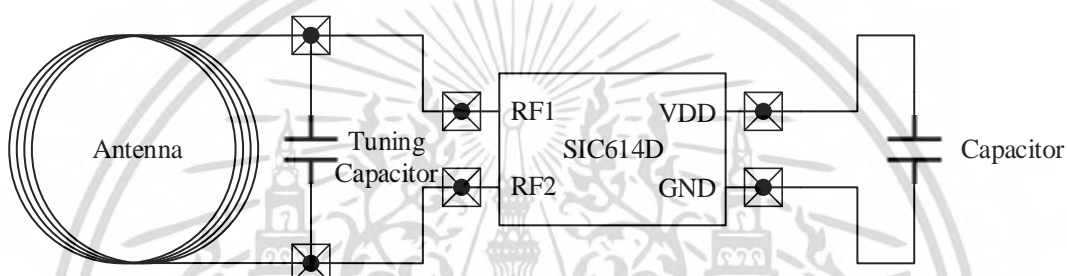


รูปที่ 3.4 ภาพรวมการออกแบบวงจรเครื่องอ่าน RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจร RFID สำหรับรับพลังงานจากคลื่นความถี่

การออกแบบวงจรสำหรับ RFID นั้น ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ 1) เสาอากาศ ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณคลื่นความถี่ ทั้งในรูปแบบการรับส่งพลังงานและข้อมูล โดยรูปแบบและขนาดของเสาอากาศจะขึ้นอยู่กับแอปพลิเคชันการใช้งาน 2) RFID ชิพ เป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับแท็ก RFID ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลของ RFID เป็นตัวแปลงพลังงานจากคลื่นสัญญาณวิทยุเพื่อใช้สำหรับการทำงานของชิพ รวมถึงเป็นตัวส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านเมื่ออยู่ในโหมดที่ต้องตอบสนอง 3) ตัวเก็บประจุ ใช้สำหรับจูนค่า frequency resonance เพื่อให้แท็ก RFID มีความถี่ที่เหมาะสมตรงกับเครื่องอ่านที่ใช้งาน



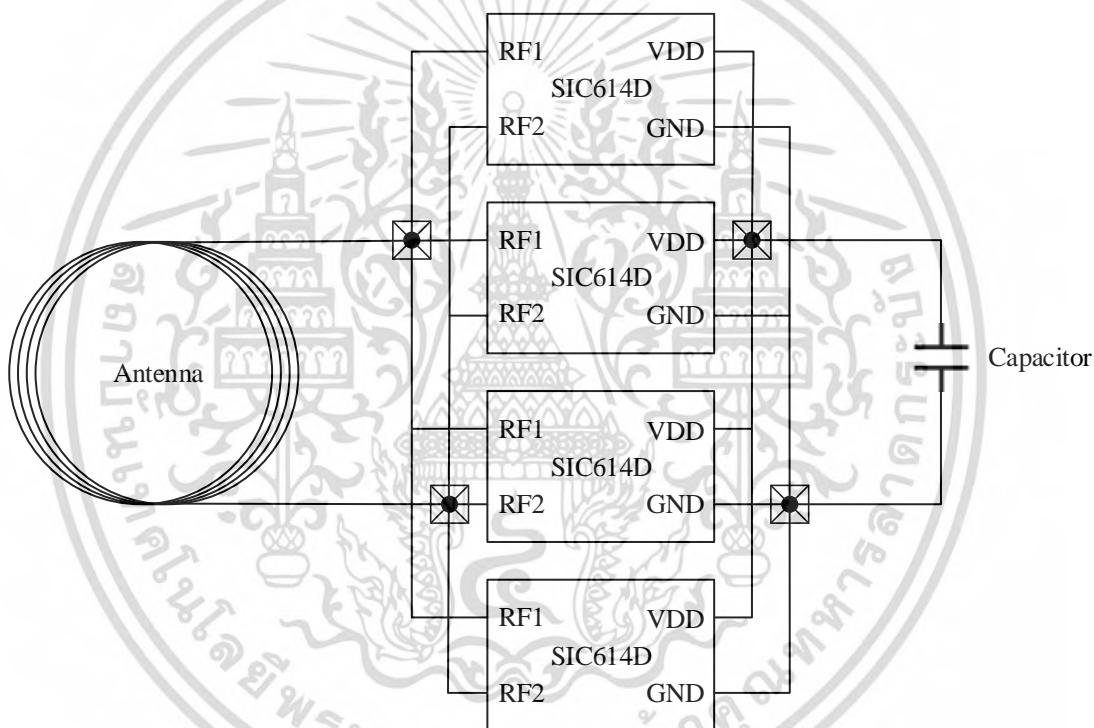
รูปที่ 3.6 การออกแบบวงจร RFID

3.3.1 การออกแบบวงจรสำหรับเก็บสะสมพลังงาน

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคโนโลยี RFID มาใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานสำหรับตัวเซนเซอร์วัดแรงดันลมยาง โดยเลือกใช้ RFID ประเภท Half Duplex (HDX) เนื่องจาก RFID ประเภทนี้จะมีตัวเก็บประจุอยู่ภายนอกชิพเป็นตัวสะสมพลังงาน ในขณะที่แท็ก RFID ต้องการที่จะตอบสนองต่อคำสั่งหรือส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน จะใช้พลังงานจากส่วนนี้เพื่อทำงาน จึงได้นำหลักการนี้มาเป็นวิธีในการสร้างตัวเก็บสะสมพลังงาน ซึ่งการออกแบบวงจรสำหรับเก็บสะสมพลังงานนี้ ได้มีการออกแบบให้ขนาดของตัวเก็บประจุมีความเหมาะสมสำหรับการทำงานของเซนเซอร์ หากขนาดของตัวเก็บประจุมีขนาดเล็กเกินไป พลังงานจะไม่พอสำหรับการทำงานของระบบเซนเซอร์ แต่หากตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้ใช้เวลาในการสะสมพลังงานมากเกินไปไม่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดขนาดตัวเก็บประจุที่ใช้งานอยู่ที่ 300 μF ซึ่งเหมาะสมกับแอปพลิเคชันการใช้งาน

3.3.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน

การปรับปรุงส่วนนี้ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสะสมพลังงานของชิป RFID โดยการเพิ่มจำนวนชิป RFID เพิ่มมากขึ้น วิธีการที่นำมาใช้คือการต่อขานานชิป RFID เพื่อเพิ่มอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้า ผลของการปรับปรุงนี้คือการลดเวลาในการสะสมพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ มันช่วยให้การสะสมพลังงานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ด้วยการสะสมพลังงานที่เร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การปรับปรุงนี้เป็นที่สอดคล้องกับความต้องการในการใช้งานและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าโดยเป็นการเพิ่มกระแสที่ไหลผ่านตัวชิป RFID ให้สูงขึ้นทำให้การสะสมพลังงานที่ตัวเก็บประจุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

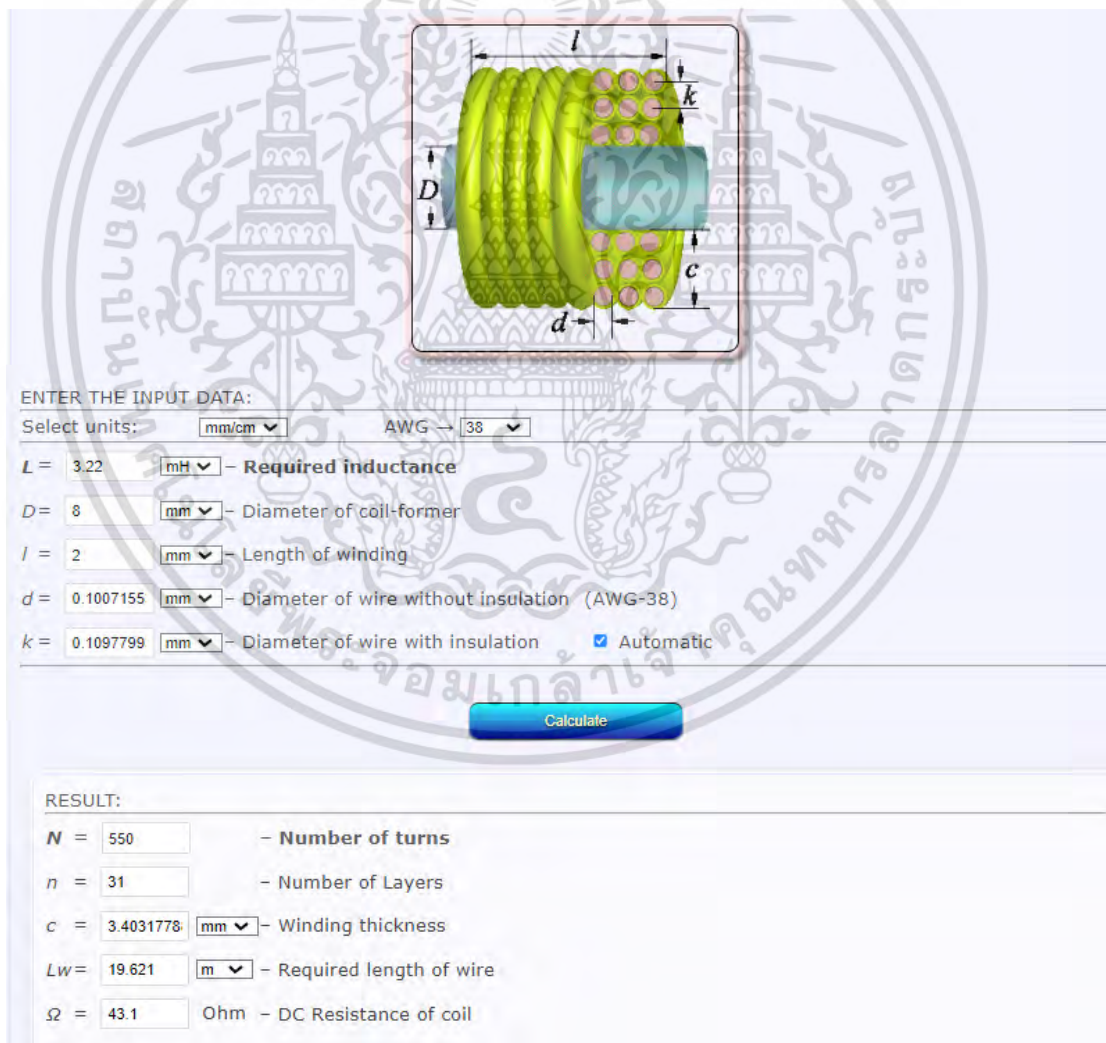


รูปที่ 3.7 วงจรการเพิ่มประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน

ในงานวิจัยนี้ใช้ชิป RFID ต่อขานานกันจำนวน 4 ตัว เพื่อเพิ่มอัตราการไหลของกระแสที่ผ่านชิป RFID สำหรับการชาร์จตัวเก็บประจุ การต่อชิปขานานกัน 4 ตัวนี้ทำให้อัตราการไหลของกระแสเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า จากปกติชิป 1 ตัวจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้สูงสุด 10 ไมโครแอมป์ เมื่อต่อขานานเพิ่มขึ้นเป็น 4 ตัว ทำให้สามารถเพิ่มอัตราการไหลของกระแสได้สูงสุดถึง 40 ไมโครแอมป์ อย่างไรก็ตาม เมื่อต่อชิปขานานเพิ่มมากขึ้นอีก จะไม่ส่งผลต่ออัตราการไหลของกระแสแล้ว เนื่องจากการส่งพลังงานจากตัวส่งสัญญาณถึงขีดจำกัดแล้ว

3.3.3 การออกแบบเสาอากาศ

การออกแบบเสาอากาศสำหรับแท็ก RFID มักจะมีหลักการออกแบบที่แตกต่างกันไปตามการใช้งานและเป้าหมายที่ต้องการ เสาอากาศสำหรับ RFID ย่านความถี่ต่ำส่วนใหญ่มักถูกออกแบบเพื่อให้มีระยะการอ่านที่มากขึ้น โดยมีลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการทำให้เสาอากาศสามารถรับและส่งสัญญาณ RFID ได้ในระยะทางที่ไกลโดยมีความแม่นยำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการเสาอากาศที่มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน และมีประสิทธิภาพในการรับพลังงานจากสัญญาณคลื่นความถี่ที่ตีเหมาะกับแอปพลิเคชันที่ใช้งาน การออกแบบเสาอากาศจึงต้องพิจารณาถึงการปรับแต่งระยะการรับพลังงานให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งานที่ต้องการบนเสาอากาศ โดยมีการทดลองและปรับปรุงการออกแบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดกับการใช้งานในแต่ละสถานการณ์ได้ดีที่สุด รูปที่ 3.8 คือผลการจำลองการออกแบบของเสาอากาศที่ใช้งาน



รูปที่ 3.8 การออกแบบเสาอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเสาอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการรับส่งพลังงาน จำเป็นต้องทำให้เสาอากาศมีขนาดใหญ่พอ เพื่อให้สามารถส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้กว้างและแรงขึ้น นอกจากนี้ ขนาดของเสาอากาศทั้งภาคส่งและภาครับต้องสอดคล้องกันหรือเท่ากัน เพื่อให้สามารถรับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม การออกแบบเสาอากาศให้มีขนาดใหญ่อาจไม่เหมาะสมในการใช้งานจริง หากเสาอากาศภาคส่งมีขนาดใหญ่ ชุดส่งพลังงานก็ต้องมีขนาดใหญ่ตาม และหากเสาอากาศภาครับมีขนาดใหญ่ การนำไปติดตั้งกับเซนเซอร์ที่มีขนาดเล็กจะทำได้ยากและไม่สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.4 การปรับแต่งเสาอากาศให้เหมาะสมกับความถี่ใช้งาน

การปรับแต่งความถี่เสาอากาศในการออกแบบวงจร RFID ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อให้แท็กสามารถรับหรือส่งพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การปรับแต่งนี้มีทางเลือกในการปรับค่าตัวเหนี่ยวนำหรือค่าตัวเก็บประจุ โดยสามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้จากสมการของเรโซแนนซ์

ในทางทฤษฎี ความถี่เรโซแนนซ์เป็นค่าลักษณะเฉพาะที่สูงที่สุดของการสั่นในระบบไฟฟ้า ซึ่งถูกกำหนดขึ้นโดยสมการที่ตั้งขึ้นเพื่อใช้คำนวณ โดยสมการนี้เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) กับตัวเหนี่ยวนำ (L) และความจุไฟฟ้า (C) ซึ่งสามารถเข้าใจได้จากสมการที่ 3.1

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.1)$$

ความถี่เรโซแนนซ์เกิดขึ้นเมื่อค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) และค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance) มีค่าเท่ากัน (เมื่อค่าอินพีแดนซ์แบบคาปาซิทีฟและค่าอินพีแดนซ์แบบเหนี่ยวนำเท่ากับ 1) ซึ่งทำให้ระบบสามารถสร้างความสัมพันธ์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการรับหรือส่งพลังงานได้ดีที่สุด

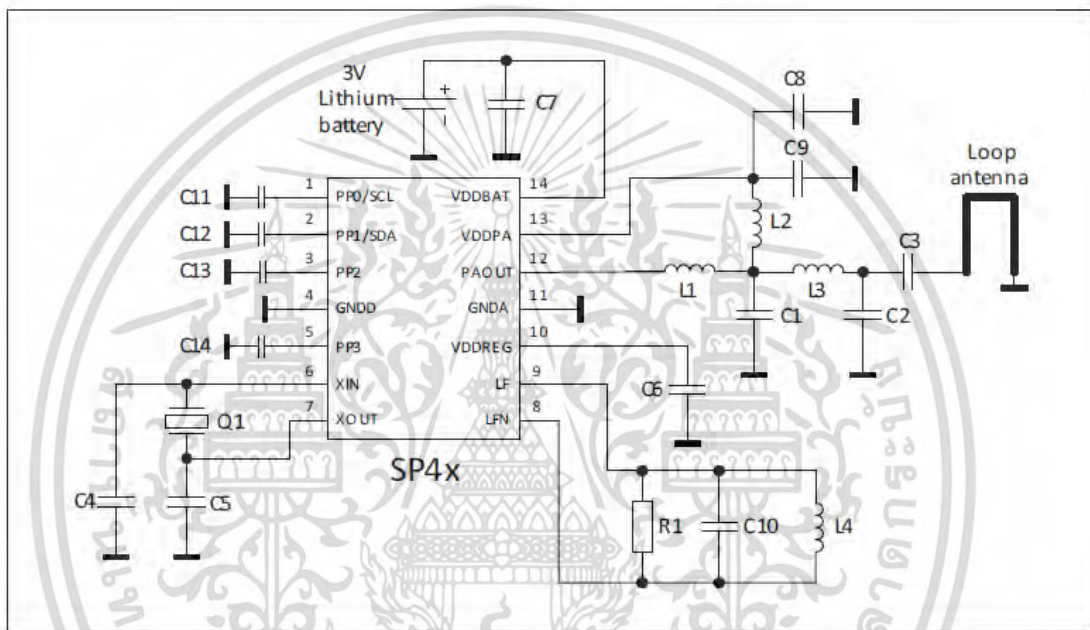
3.4 การออกแบบวงจรเซนเซอร์วัดแรงดันลม

วงจรเซนเซอร์วัดแรงดันลมสำหรับยางรถยนต์ ถูกออกแบบอย่างไม่ซับซ้อนโดยใช้ชิปที่มีคุณสมบัติเฉพาะสำหรับการวัดลมอย่าง SP400 ซึ่งเป็นชิปเดียวที่รวมคุณลักษณะของเซนเซอร์วัดแรงดันลม การประมวลผลข้อมูล และการส่งข้อมูลทั้งหมดไว้ในชิปเดียวกัน การออกแบบวงจรนี้มุ่งเน้นการออกแบบส่วนของการเชื่อมต่อพลังงานและเสาอากาศ UHF เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดียิ่งขึ้น และเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับวัดลมของรถยนต์ทั่วไป รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างวงจรของเซนเซอร์

SP400

สำหรับการใช้งาน

TPMS



รูปที่ 3.9 วงจรเซนเซอร์วัดแรงดันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบตัวประมวลผลของเซนเซอร์วัดแรงดันลม

เซนเซอร์วัดแรงดันลมภายในยารุ่น SP400 มาพร้อมกับโครงสร้างตัวประมวลผลอย่าง 8051 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นแบบที่ให้ความยืดหยุ่นสูงในการปรับแต่งและออกแบบระบบการทำงานของเซนเซอร์ตามความต้องการของผู้ใช้ หลายๆ ด้าน เช่น การกำหนดรูปแบบการวัดแรงดันลม และการกำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลผลการวัด ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์เหล่านี้ตามความต้องการได้ โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงฮาร์ดแวร์ภายในเซนเซอร์

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์นี้สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือ Keil IDE ร่วมกับ 8051 compiler ซึ่งสนับสนุนการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ที่เป็นภาษาโปรแกรมมิ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในวงการอิเล็กทรอนิกส์ การใช้เครื่องมือเหล่านี้ทำให้นักพัฒนาสามารถสร้างโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพ และสามารถควบคุมและปรับการทำงานของเซนเซอร์ให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์และความต้องการของผู้ใช้งาน



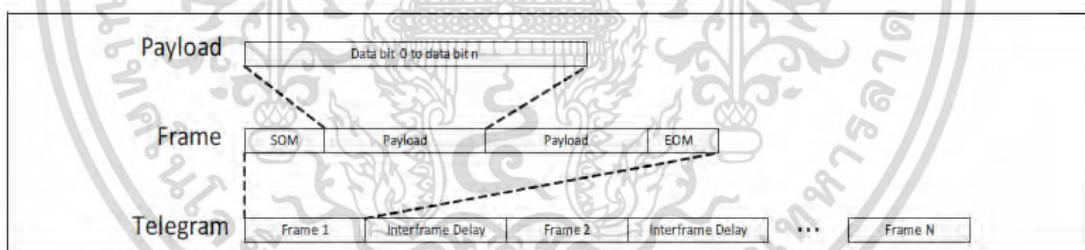
รูปที่ 3.10 โปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6 การออกแบบรูปแบบการส่งข้อมูล

การส่งสัญญาณข้อมูลบนคลื่นสัญญาณความถี่ UHF มักใช้รูปแบบการส่งข้อมูลแบบเฟรม โดยแต่ละเฟรมจะมีการเว้นช่วงหรือช่องว่างระหว่างเฟรมที่ 1 และ เฟรมที่ 2 เพื่อให้เครื่องรับสัญญาณสามารถแยกแยะข้อมูลในแต่ละเฟรมได้อย่างถูกต้อง โดยทั่วไปแล้ว เฟรมข้อมูลประกอบด้วยส่วนที่บ่งบอกจุดเริ่มต้นของเฟรม (Start of frame - SOM), ข้อมูลที่ต้องการส่ง (Payload), และส่วนที่บ่งบอกจุดสิ้นสุดของเฟรม (End of frame - EOM)

การจัดรูปแบบการส่งข้อมูลให้เหมาะสมและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ใช้งานจะช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล การเลือกใช้ขนาดของเฟรมและการจัดเรียงข้อมูลภายในเฟรมให้เหมาะสม สามารถช่วยลดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลและช่วยให้ข้อมูลถูกต้องที่สุดเมื่อถูกรับสัญญาณ

การออกแบบรูปแบบการส่งข้อมูลที่เหมาะสม จะเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารและลดการสูญเสียข้อมูลที่เป็นไปได้ในระหว่างการส่ง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้คลื่นความถี่ UHF ที่มีการแทรก interference และสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้บ่อยครั้ง ดังนั้น การเลือกใช้และการปรับแต่งรูปแบบการส่งข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้การสื่อสารดีและเสถียรได้ในทุกสภาพการใช้งาน



รูปที่ 3.11 รูปแบบการส่งข้อมูล

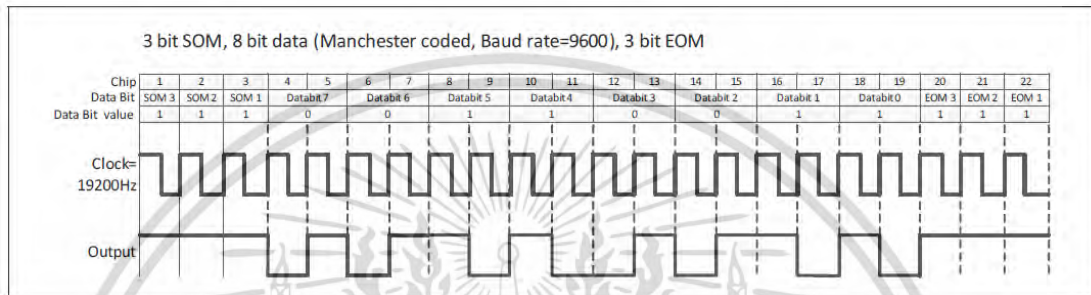
3.6.1 การออกแบบรูปแบบโปรโตคอลการสื่อสาร

การ encoding ข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารผ่านคลื่นความถี่ UHF ใช้รูปแบบ Manchester ซึ่งเป็นมาตรฐานที่แพร่หลาย การส่งข้อมูลในรูปแบบ Manchester ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่ช่วยในการระบุและส่งข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ

รูปแบบ Manchester ประกอบด้วยตัวบ่งชี้เริ่มต้น (Start of frame - SOM) ที่ประกอบด้วยบิต “111” จำนวน 3 บิตเพื่อระบุจุดเริ่มต้นของข้อมูลที่จะถูกส่ง ตามด้วยข้อมูลที่ต้องการส่ง ซึ่งความ

ยาวของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลนั้นๆ เพื่อปิดท้ายเฟรมข้อมูล จะมีส่วนของ End of frame (EOM) ที่ประกอบด้วยบิต “111” จำนวน 3 บิต เพื่อระบุว่าข้อมูลที่ส่งไปนั้นสิ้นสุดลงแล้ว

รูปแบบ Manchester ช่วยให้เราสามารถแยกแยะข้อมูลได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ SOM และ EOM เป็นตัวบ่งบอกจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของข้อมูล ทำให้การสื่อสารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้อง เป็นการแสดงเส้นทางที่ชัดเจนของข้อมูลผ่านระบบสื่อสารไร้สายในรูปแบบ Manchester



รูปที่ 3.12 รูปแบบโปรโตคอลการสื่อสาร

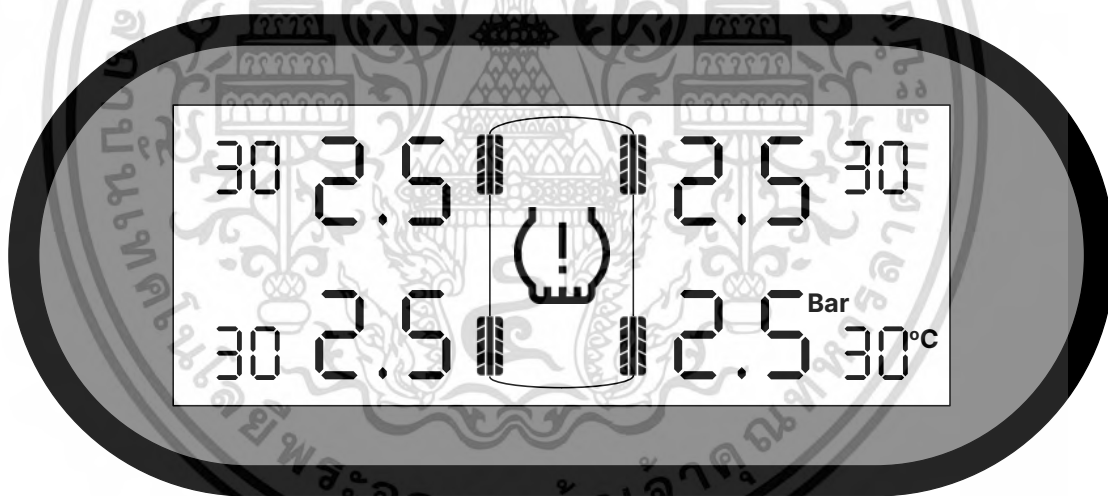
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบการแสดงผลข้อมูลและการแจ้งเตือน

การแสดงผลและการแจ้งเตือนสำหรับระบบวัดแรงดันลมในยางรถยนต์เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ผู้ขับรถทราบถึงสถานะของยางในระหว่างการขับขี่อย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบการแสดงผลนี้เน้นการแสดงผลข้อมูลเกี่ยวกับแรงดันลมในยางและอุณหภูมิที่ถูกวัดได้จากเซนเซอร์ โดยมีการแสดงสถานะของทั้งสี่ล้อเพื่อแจ้งให้ผู้ขับรถทราบถึงตำแหน่งของล้อที่มีปัญหา

นอกจากนี้ ระบบยังมีการแจ้งเตือนผ่านเสียง เมื่อมีค่าแรงดันลมหรืออุณหภูมิของยางผิดปกติจากค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งช่วยให้ผู้ขับรถทราบเพื่อทำการปรับปรุงหรือแก้ไขได้ทันที เพื่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการขับขี่ที่มีความน่าเชื่อถือขึ้น

การรวบรวมข้อมูลและการแสดงผลอย่างชัดเจนและการแจ้งเตือนทันที ช่วยเสริมสร้างการตอบสนองที่รวดเร็วและฉับไวในการดูแลรักษาระบบยางของรถยนต์ ซึ่งมีผลทำให้ผู้ขับขี่สามารถรักษาสภาพยางได้ดี และลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการขับขี่อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานอย่างมาก

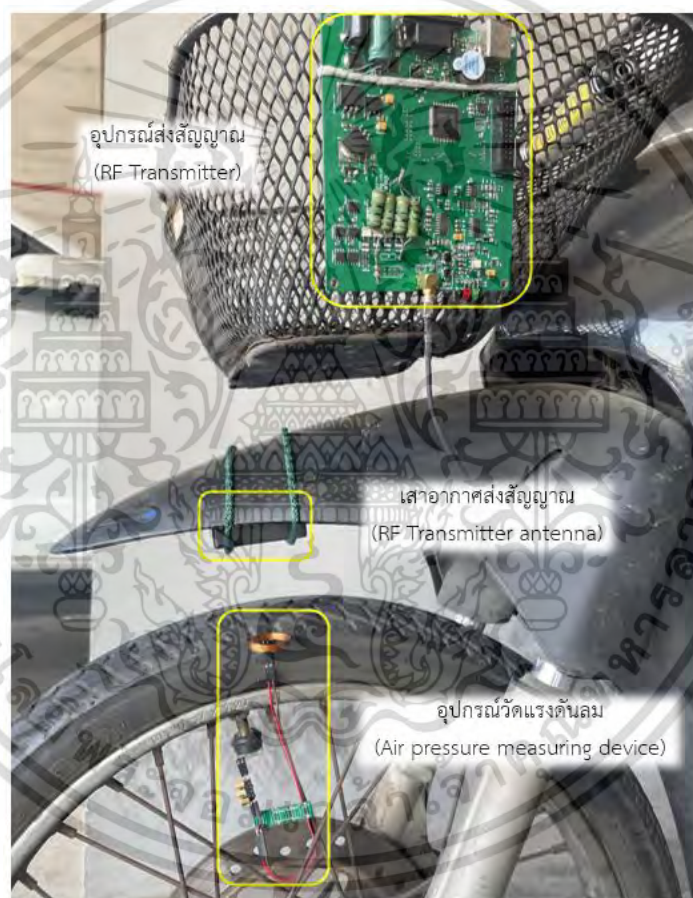


รูปที่ 3.13 การแสดงผลข้อมูลและการแจ้งเตือน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและท้าทายที่ต้องผ่านการวางแผนและดำเนินการอย่างรอบคอบเพื่อเข้าถึงความรู้ใหม่ ในบทนี้ เราจะสรุปผลการดำเนินงานวิจัยในที่สุดของโครงการนี้ โดยเน้นไปที่การพัฒนาและการทดสอบของวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เราได้ทำการศึกษาในช่วงเวลาที่ผ่านมา



รูปที่ 4.1 ภาพการทดสอบระบบวัดแรงดันลมภายในยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การกำหนดตัวแปรสำหรับการทดสอบ

ในการประเมินผลประสิทธิภาพการสะสมพลังงานในงานวิจัยนี้ มีหลายตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการวัดประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน เพื่อให้เข้าใจและกำหนดขอบเขตของการวัดได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น ต่อไปนี้คือตัวแปรที่ถูกกำหนดไว้เพื่อทดสอบการสะสมพลังงาน

4.1.1 ตัวเก็บประจุ

ในการใช้ตัวเก็บประจุประเภท Tantalum Capacitor ขนาด $100\ \mu\text{F}$ ที่แรงดันไฟฟ้า $10\ \text{V}$, พบว่ามีความเสถียรทางเคมีและการทำงานที่ยอดเยี่ยม ความต้านทานต่ำของมันทำให้มีการสูญเสียพลังงานต่ำ นอกจากนี้, มีขนาดเล็กทำให้ง่ายต่อการบรรจุในอุปกรณ์ที่มีพื้นที่จำกัด Tantalum Capacitor เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับแอปพลิเคชันที่ต้องการการเก็บพลังงานอย่างยาวนานและมีความเสถียร



รูปที่ 4.2 ตัวเก็บประจุไฟฟ้า

เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูง, การใช้ Tantalum Capacitor $100\ \mu\text{F}$ ที่แรงดันไฟฟ้า $10\ \text{V}$ ในงานที่ต้องการความเสถียรและความต้านทานต่ำเป็นทางเลือกที่ดี ไม่เพียงแต่มีความสามารถในการทำงานที่เสถียร, แต่ยังมีคุณสมบัติปรับปรุ้ของขนาดเล็ก, ทำให้มีความสะดวกในการบรรจุลงในอุปกรณ์ที่มีพื้นที่จำกัด. ดังนั้น, Tantalum Capacitor $100\ \mu\text{F}$ $10\ \text{V}$ เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเสถียร, ความต้านทานต่ำ, และขนาดเล็ก

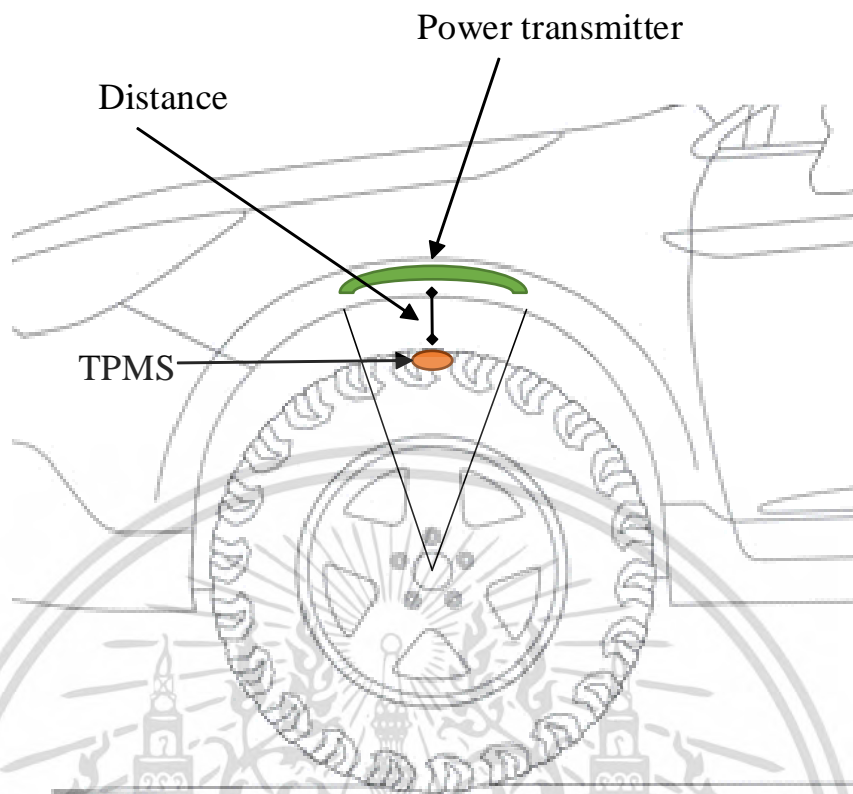
4.1.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ

การทดสอบการสะสมพลังงานนี้ได้รับการตั้งค่าความเร็วทั้งหมด 4 ระดับ, คือ 0 km/h, 20 km/h, 60 km/h, และ 100 km/h ในระดับความเร็ว 0 km/h, นั้นหมายความว่ารถและล้อรถไม่มีการเคลื่อนที่, และตัวส่งพลังงานและตัวรับพลังงานอยู่ในตำแหน่งและองศาที่ใกล้กันมากที่สุด

สำหรับการทดสอบนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อรถที่ใช้มีขนาดเท่ากับ 17 นิ้ว นอกจากนี้ระดับความเร็ว 0 km/h, ที่เป็นการทดสอบในเงื่อนไขที่รถไม่เคลื่อนที่ และระดับความเร็วอื่นๆ ได้มีการกำหนดเพื่อทดสอบการสะสมพลังงานนี้ได้รับการเลือกไว้เพื่อนำไปใช้ในสถานการณ์การเคลื่อนที่ที่ต่างกัน การทดสอบที่แตกต่างกันนี้ช่วยให้เราเข้าใจถึงความสามารถของระบบในการสะสมพลังงานในเงื่อนไขที่หลากหลายของความเร็ว

4.1.3 ระยะการติดตั้งเสาอากาศ รับ-ส่ง พลังงาน

การกำหนดระยะทางการติดตั้งของเสาอากาศสำหรับระบบรับ-ส่งพลังงาน ได้ถูกกำหนดเป็นทั้งหมด 3 ระดับ, ได้แก่ 6 เซนติเมตร, 7 เซนติเมตร, และ 8 เซนติเมตร การเลือกระดับระยะห่างที่ต่างกันนี้ช่วยให้สามารถปรับแต่งระบบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ได้ตามเงื่อนไขและความต้องการของการรับ-ส่งพลังงาน ในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งช่วงระยะห่างที่ถูกกำหนดในการทดสอบนี้เป็นระยะห่างที่ใกล้ที่สุดที่ระยะเวลาเหมาะสมในการสะสมพลังงานต่อการทำงานของระบบใน 1 ครั้งคือไม่เกิน 1 นาที



รูปที่ 4.3 ลักษณะการติดตั้งระบบตรวจวัดแรงดันลมภายในยาง

การตั้งค่าระยะห่างเสาอากาศที่ถูกต้องเหมาะสม ยังสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการ
 สะสมพลังงาน การเลือกวิธีการติดตั้งที่เหมาะสมอาจมีผลทำให้ระบบทำงานได้ดีในเงื่อนไขที่
 หลากหลาย, และเพิ่มประสิทธิภาพของการรับ-ส่งพลังงานทั้งหมด

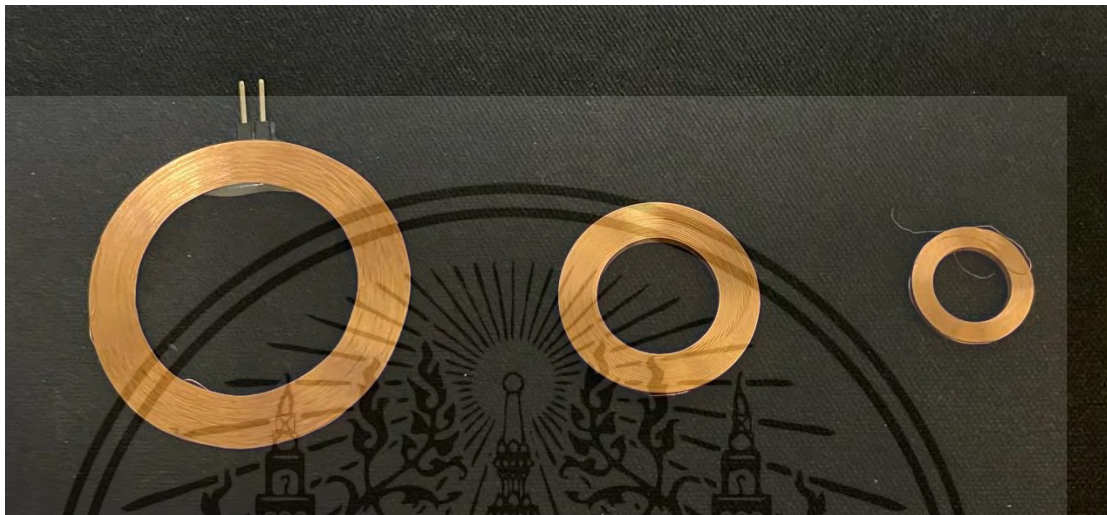
การติดตั้งเสาอากาศที่ตัวรถมีข้อจำกัดอยู่ 2 ประการ คือ

1) ตำแหน่งการติดตั้งเสาอากาศภาคส่งใกล้กับโลหะ โดยปกติโครงสร้างของตัวถังรถยนต์ใน
 บริเวณซุ้มล้อรถมักจะเป็นชิ้นส่วนโลหะ ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อสัญญาณคลื่นความถี่ ทำให้ความ
 แรงของสัญญาณลดลง

2) ระยะห่างระหว่างซุ้มล้อกับยางรถ ระยะห่างนี้อาจไกลเกินไปสำหรับการส่งสัญญาณคลื่น
 ความถี่ให้มีประสิทธิภาพ ระยะห่างที่มากระหว่างเสาอากาศภาคส่งของเครื่องส่งพลังงานกับเสา
 อากาศภาครับของเซนเซอร์ ทำให้ประสิทธิภาพในการสะสมพลังงานลดลงเช่นกัน

4.1.4 ขนาดเสาอากาศ

ขนาดของเสาอากาศภาครับที่ใช้ในการทดสอบนี้มีทั้งหมด 3 ขนาด คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42 มม., 25 มม., และ 15 มม. สำหรับเสาอากาศของภาครับ, และเสาอากาศภาคส่งที่ได้รับการเลือกมีในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มม.



รูปที่ 4.4 รูปแบบเสาอากาศภาครับพลังงาน การทดสอบนี้ทำให้เราสามารถทดสอบประสิทธิภาพของเสาอากาศในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ด้วยขนาดที่แตกต่างกัน, เราสามารถวัดและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรับ-ส่งพลังงานของเสาอากาศที่ใช้ทดสอบได้อย่างครอบคลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน

ประสิทธิภาพในการเก็บสะสมพลังงานจากคลื่นความถี่ ในอุปกรณ์วัดลมยางนั้นมีผลต่อการทำงานของระบบมีหลายตัวแปร ที่สามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพได้ประกอบด้วย ขนาดความจุของตัวเก็บประจุ, อัตราความเร็วของล้อรถที่หมุน, ตำแหน่งการติดตั้งเสาอากาศสำหรับรับส่งพลังงาน, และขนาดของเสาอากาศทั้งฝั่งส่งและฝั่งรับ การปรับค่าทั้งหมดนี้สามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการสะสมพลังงานได้โดยตรง

ผลลัพธ์ของประสิทธิภาพนี้จะถูกแสดงในรูปแบบของเวลาที่ใช้ในการสะสมพลังงานจนถึงระดับพลังงานที่พร้อมใช้งาน หากเวลาที่ใช้น้อยแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบในการสะสมพลังงาน แต่ในทางกลับกัน หากใช้เวลามากในการสะสมพลังงาน นั้นจะแสดงถึงประสิทธิภาพที่ต่ำของระบบ

การทดสอบและปรับปรุงค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบในการเก็บสะสมพลังงานจากคลื่นความถี่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความเหมาะสมในการใช้งานและประสิทธิภาพของระบบทั้งหมดของระบบพลังงานทดแทนนี้

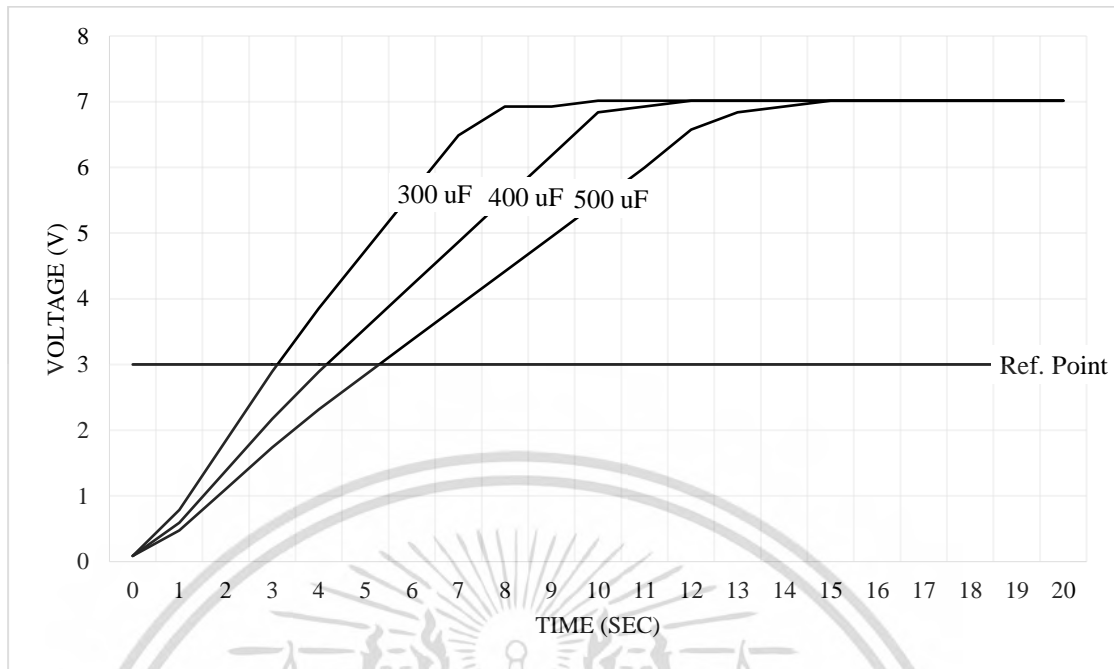
4.2.1 ความสามารถของตัวเก็บประจุ

การทดสอบประสิทธิภาพในการสะสมพลังงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตัวเก็บประจุมีการกำหนดตัวแปรที่สำคัญเพื่อการทดสอบดังนี้: ระยะห่างของเสาอากาศคือ 6 ซม., ขนาดของเสาอากาศเป็น 25 มม., อัตราความเร็วที่ 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมงหมายถึงขณะที่รถหยุดนิ่งและองศาของเสาอากาศทั้งภาคส่งและรับอยู่ในองศาที่มีที่ไกลที่สุด, และมีการทดสอบที่ขนาดตัวเก็บประจุ 300 μF , 400 μF , และ 500 μF ตัวแปรเหล่านี้ถูกเลือกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการสะสมพลังงาน ในสถานการณ์ที่แตกต่างกันของขนาดตัวเก็บประจุที่ใช้งานในระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์

ตารางที่ 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดตัวเก็บประจุ

ขนาดตัวเก็บประจุ Capacitor Value	300 μF	400 μF	500 μF
อัตราความเร็ว Speed	0 km/h	0 km/h	0 km/h
ระยะห่างเสาอากาศ Antenna distance	6 cm	6 cm	6 cm
ขนาดเสาอากาศ \varnothing Antenna size	25 mm	25 mm	25 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้า

จากกราฟที่แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพในการสะสมพลังงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดจุดอ้างอิงการสะสมพลังงานที่ระดับ 3 โวลต์ (volt) ซึ่งเป็นจุดที่ระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์ทำงานได้นั้น พบว่าที่ขนาดตัวเก็บประจุ 300 μF จะใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อให้เซ็นเซอร์พร้อมสำหรับการทำงานที่ 3 วินาที ที่ขนาดตัวเก็บประจุ 400 μF ใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 4 วินาที และที่ขนาดตัวเก็บประจุ 500 μF ใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 5 วินาที สรุปได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มขนาดของตัวเก็บประจุมากขึ้นจะต้องใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งระบบตรวจวัดแรงดันลมภายในยางนี้จะต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดความจุอย่างน้อย 300 μF เพื่อให้พลังงานเพียงพอต่อการใช้งาน

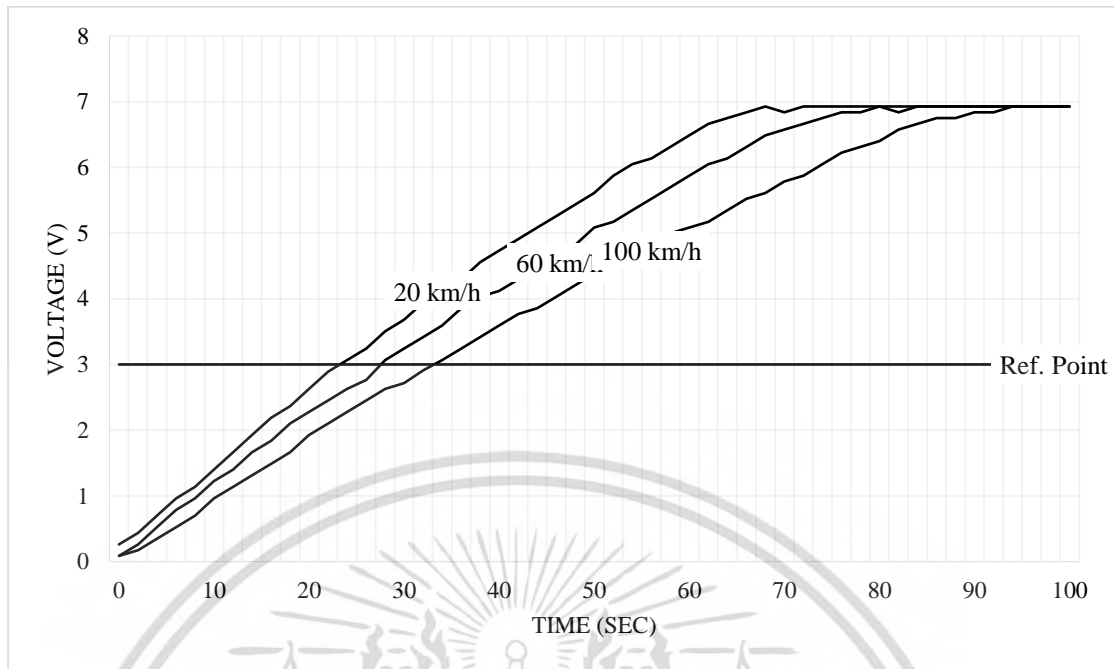
4.2.2 อัตราความเร็วการเคลื่อนที่ของรถ

การทดสอบประสิทธิภาพในการสะสมพลังงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วมีการกำหนดตัวแปรที่สำคัญเพื่อการทดสอบดังนี้: ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการทดสอบคือ 300 μF , ระยะห่างระหว่างเสาอากาศเป็น 6 ซม., ขนาดของเสาอากาศเป็น 25 มม., และมีการทดสอบที่อัตราความเร็วของรถที่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, และ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตัวแปรเหล่านี้ถูกเลือกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุม และเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการสะสมพลังงานในสถานการณ์ที่แตกต่างกันของอัตราความเร็วของรถในการเคลื่อนที่

ตารางที่ 4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว

ขนาดตัวเก็บประจุ Capacitor Value	300 μF	300 μF	300 μF
อัตราความเร็ว Speed	20 km/h	60 km/h	100 km/h
ระยะห่างเสาอากาศ Antenna distance	6 cm	6 cm	6 cm
ขนาดเสาอากาศ \varnothing Antenna size	25 mm	25 mm	25 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว

จากกราฟที่แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพในการสะสมพลังงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดจุดอ้างอิงการสะสมพลังงานที่ระดับ 3 โวลต์ (volt) ซึ่งเป็นจุดที่ระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์ทำงานได้ พบว่าที่อัตราความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีการใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 24 วินาที ที่อัตราความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 28 วินาที และที่อัตราความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 34 วินาที สรุปได้ว่าเมื่อรถมีการเคลื่อนที่ที่เร็วขึ้นจะต้องใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วมีผลต่อเวลาที่ต้องใช้ในการสะสมพลังงาน

การเพิ่มขึ้นของเวลาในการสะสมพลังงานเมื่อรถเคลื่อนที่เร็วขึ้น มีผลมาจากเมื่อเสาอากาศของภาคส่งและภาครับเริ่มเคลื่อนที่เข้าหากันในแนวระนาบ การสะสมพลังงานจะไม่สามารถเริ่มต้นได้ทันที เนื่องจากชิป RFID มีช่วงเวลาที่ต้องสูญเสียไปในระยะเริ่มต้น (Initial time) ทำให้ในช่วงแรกของการเคลื่อนที่เข้าหากัน เสาอากาศยังไม่สามารถเริ่มสะสมพลังงานได้ และเมื่อล้อรถเคลื่อนที่เร็วขึ้นช่วงเวลานี้จะเกิดขึ้นหลายครั้ง ส่งผลให้อัตราเร็วที่สูง การสะสมพลังงานมีประสิทธิภาพลดลง

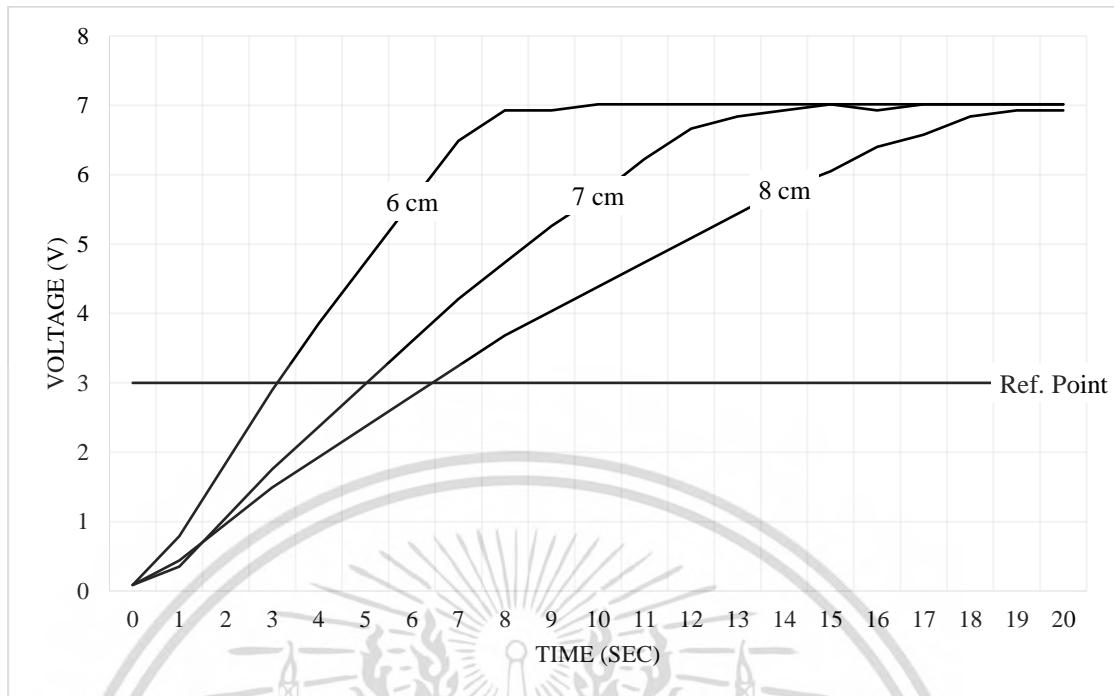
4.2.3 ตำแหน่งการติดตั้งตัว รับ-ส่ง พลังงาน

การทดสอบประสิทธิภาพในการสะสมพลังงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของตำแหน่งการติดตั้งเสาอากาศ ระหว่างตัวส่งพลังงานและตัวรับพลังงานมีการกำหนดตัวแปรที่สำคัญเพื่อการทดสอบดังนี้: ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการทดสอบคือ 300 μ F, ขนาดของเสาอากาศเป็น 25 มม. , อัตราความเร็วที่ 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมงหมายถึงขณะที่รถหยุดนิ่งและองศาของเสาอากาศทั้งภาคส่งและรับอยู่ในองศาที่มีที่ไกลที่สุด, และมีการทดสอบที่ระยะห่าง 6 ซม., 7 ซม., และ 8 ซม. ตัวแปรเหล่านี้ถูกเลือกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมซึ่งเป็นบริเวณที่สามารถติดตั้งในรถมอเตอร์ไซด์เพื่อทำการทดสอบได้ และเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการสะสมพลังงานในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ของระยะห่างของตำแหน่งการติดตั้งเสาอากาศระหว่างตัวส่งพลังงานและตัวรับพลังงาน

ตารางที่ 4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างของเสาอากาศ

ขนาดตัวเก็บประจุ Capacitor Value	300 μ F	300 μ F	300 μ F
อัตราความเร็ว Speed	0 km/h	0 km/h	0 km/h
ระยะห่างเสาอากาศ Antenna distance	6 cm	7 cm	8 cm
ขนาดเสาอากาศ \varnothing Antenna size	25 mm	25 mm	25 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่างของเสาอากาศ

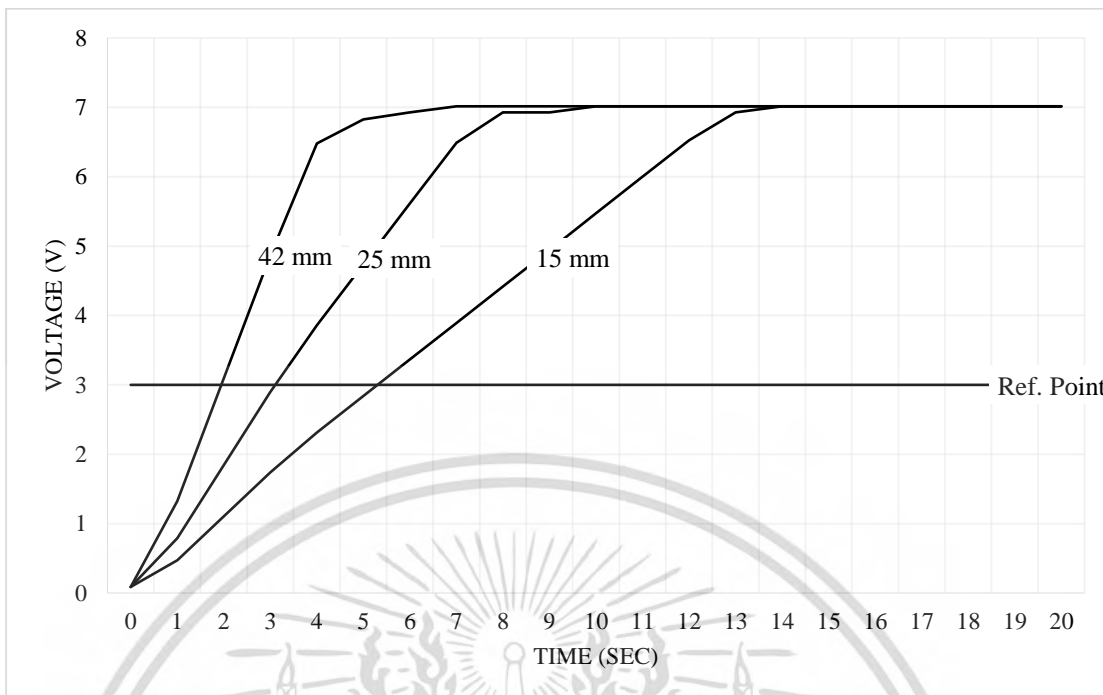
จากกราฟที่แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพในการสะสมพลังงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของเสาอากาศ จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดจุดอ้างอิงการสะสมพลังงานที่ระดับ 3 โวลต์ (volt) ซึ่งเป็นจุดที่ระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์ทำงานได้ พบว่าที่ระยะห่าง 6 ซม. มีการใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 3 วินาที ที่ระยะห่าง 7 ซม. ใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 5 วินาที และที่ระยะห่าง 8 ซม. ใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 7 วินาที สรุปได้ว่าเมื่อมีการติดตั้งเสาอากาศระหว่างตัวรับและตัวส่งที่ห่างกัน จะทำให้ใช้เวลาในการสะสมพลังงานมากยิ่งขึ้นไปด้วย ดังนั้น เป็นที่เข้าใจว่าระยะห่างที่มีการติดตั้งเสาอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพในการสะสมพลังงานที่มีการใช้เวลามากขึ้น

4.2.4 ขนาดของเสาอากาศ

การทดสอบประสิทธิภาพในการสะสมพลังงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของเสาอากาศ ตัวรับพลังงานมีการกำหนดตัวแปรที่สำคัญเพื่อการทดสอบดังนี้: ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการทดสอบคือ 300 μF , ระยะห่างของเสาอากาศคือ 6 ซม., อัตราความเร็วที่ 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หมายถึงขณะที่รถหยุดนิ่งและองศาของเสาอากาศทั้งภาคส่งและรับอยู่ในองศาที่มากที่สุด, และมีการทดสอบเสาอากาศที่ขนาด 15 มม., 25 มม., และ 42 มม. ตัวแปรเหล่านี้ถูกเลือกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการสะสมพลังงาน ในสถานการณ์ที่แตกต่างกันของขนาดเสาอากาศภาครับ ที่ใช้งานในระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์

ตารางที่ 4.4 การทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเสาอากาศ

ขนาดตัวเก็บประจุ Capacitor Value	300 μF	300 μF	300 μF
อัตราความเร็ว Speed	0 km/h	0 km/h	0 km/h
ระยะห่างเสาอากาศ Antenna distance	6 cm	6 cm	6 cm
ขนาดเสาอากาศ \varnothing Antenna size	<u>15 mm</u>	<u>25 mm</u>	<u>42 mm</u>



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะสมพลังงานเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเสาอากาศ

จากกราฟที่แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพในการสะสมพลังงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของเสาอากาศภาครับพลังงานที่ตัวเซนเซอร์ จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดจุดอ้างอิงการสะสมพลังงานที่ระดับ 3 โวลต์ (volt) ซึ่งเป็นจุดที่ระบบตรวจสอบแรงดันลมในยางรถยนต์ทำงานได้ พบว่าที่เสาอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42 มม. มีการใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 2 วินาที ที่ขนาด 25 มม. ใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 3 วินาที และที่ขนาด 15 มม. ใช้เวลาในการสะสมพลังงานเพื่อพร้อมสำหรับการทำงานที่ 5 วินาที สรุปได้ว่าเมื่อขนาดเสาอากาศของภาครับพลังงานมีขนาดเล็กลง จะทำให้ใช้เวลาในการสะสมพลังงานมากยิ่งขึ้น ดังนั้น เข้าใจได้ว่าขนาดของเสาอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพในการสะสมพลังงาน โดยทั่วไปขนาดเสาอากาศยิ่งเล็ก ยิ่งมีการใช้เวลามากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในระบบตรวจวัดแรงดันลมในยางรถยนต์ที่ปัจจุบัน การจ่ายพลังงานให้แก่ตัวเซนเซอร์ถูกทำผ่านแบตเตอรี่ กลายเป็นข้อจำกัดสำคัญที่มีผลต่ออายุการใช้งานของระบบ ในงานวิจัยนี้ เรามุ่งพัฒนาวิธีในการลดขีดจำกัดนี้โดยการเปลี่ยนแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่เป็นการใช้พลังงานจากการสะสมผ่านคลื่นความถี่ทางไฟฟ้า

การทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างระบบตรวจวัดแรงดันลมในยางรถยนต์ที่เชื่อมต่อกับชิป RFID เพื่อรับพลังงาน ได้ทำการทดสอบในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดของตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เหมาะสม, อัตราความเร็วการหมุนของล้อ, ตำแหน่งระยะห่างของเสาอากาศ, และขนาดของเสาอากาศ

ในกระบวนการวิจัยนี้ ได้พัฒนาระบบตรวจวัดแรงดันลมในยางรถยนต์ที่มีการเชื่อมต่อกับชิป RFID เพื่อรับพลังงาน ขั้นตอนการทดสอบได้ดำเนินการที่สถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ ดังนี้

- การทดสอบขนาดของตัวเก็บประจุไฟฟ้า ได้ทำการทดสอบขนาดต่าง ๆ ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าจำนวน 3 ขนาด เพื่อปรับให้เหมาะสมกับการใช้งานและมีพลังงานที่เพียงพอต่อการทำงานของเซนเซอร์ โดยกำหนดให้ อัตราความเร็วการหมุนของล้อ, ตำแหน่งระยะห่างของเสาอากาศ และ ขนาดของเสาอากาศ คงที่
- การทดสอบอัตราความเร็วการหมุนของล้อ ได้ทำการทดสอบล้อที่หมุนด้วยอัตราความเร็วที่แตกต่างกันจำนวน 3 ค่า เพื่อทดสอบความสามารถของระบบในการทำงานเมื่อรถเคลื่อนที่ ทำให้ตำแหน่งการส่งพลังงานไม่ต่อเนื่อง โดยกำหนดให้ ขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้า, ตำแหน่งระยะห่างของเสาอากาศ และ ขนาดของเสาอากาศ คงที่
- การทดสอบตำแหน่งระยะห่างของเสาอากาศ ได้ทำการทดสอบการติดตั้งเสาอากาศพลังงานระหว่างภาครับและภาคส่ง เพื่อดูความแตกต่างในประสิทธิภาพการสะสมพลังงาน จำนวน 3 ตำแหน่ง โดยกำหนดให้ ขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้า, อัตราความเร็วการหมุนของล้อ และ ขนาดของเสาอากาศ คงที่
- การทดสอบโดยการปรับขนาดของเสาอากาศ ได้ทำการทดสอบโดยการปรับขนาดของเสาอากาศภาครับพลังงานที่แตกต่างกัน เพื่อทดสอบความสามารถในการรับพลังงานจำนวน 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด โดยกำหนดให้ ขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้า, อัตราความเร็วการหมุนของล้อ และ ตำแหน่ง ระยะห่างของเสาอากาศ คงที่

การทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเทคโนโลยี RFID ในการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านอากาศ นอกจากนี้ การทดลองยังช่วยทำความเข้าใจความผันผวนของระบบต่อตำแหน่งการติดตั้งและขนาดของเสาอากาศ, และอัตราความเร็วของรถ

จากผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่าเทคโนโลยี RFID สามารถนำมาใช้ร่วมกับระบบตรวจวัดแรงดันลมภายในยางได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองพบว่าความเหมาะสมของขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยที่การทดลองกับตัวเก็บประจุขนาด 300 μF ซึ่งเป็นขนาดตัวเก็บประจุที่เล็กที่สุด ที่สามารถแสดงให้เห็นถึงความเพียงพอต่อการใช้งานและการทำงานของระบบโดยไม่ต้องสะสมพลังงานนานเกินไป

ผลการทดสอบทางด้านอัตราการเคลื่อนที่ของรถแสดงให้เห็นว่าเมื่อรถเคลื่อนที่มีอัตราความเร็วสูงจะต้องใช้เวลาในการสะสมพลังงานนานขึ้น ทั้งนี้ ผลการทดสอบยังชี้ว่าระยะห่างของเสาอากาศในการติดตั้งสำหรับส่งพลังงานมีผลต่อระยะเวลาในการสะสมพลังงาน โดยระยะห่างมากจะทำให้ต้องใช้เวลามากขึ้น

ท้ายที่สุด การทดสอบขนาดของเสาอากาศแสดงให้เห็นว่าเสาอากาศขนาดใหญ่ส่งผลดีต่อการสะสมพลังงาน ทำให้สามารถสะสมพลังงานได้เร็วขึ้น ดังนั้น การปรับขนาดของเสาอากาศให้เหมาะสมเป็นไปตามความต้องการของระบบจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับพลังงาน

ในทำนองเดียวกัน ผลการทดลองรวมถึงขนาดตัวเก็บประจุไฟฟ้า, อัตราความเร็วของล้อ, ระยะห่างของเสาอากาศ, และขนาดของเสาอากาศ, สรุปให้เห็นถึงความสำคัญของการปรับแต่งพารามิเตอร์เหล่านี้ต่อประสิทธิภาพของระบบในการสะสมพลังงาน

5.2 ข้อจำกัดในการทดสอบ

การทดสอบในงานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งระบบ TPMS กับรถมอเตอร์ไซค์ ซึ่งวัสดุขั้วล่อเป็นพลาสติก ต่างจากการติดตั้งในรถยนต์ที่วัสดุขั้วล่อเป็นโลหะ การทดสอบในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันนี้ส่งผลให้ผลการทดสอบมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อเสาอากาศภาคส่งพลังงานถูกติดตั้งใกล้กับวัสดุพลาสติก การรบกวนของสัญญาณจะน้อยกว่า นอกจากนี้ การติดตั้งในรถมอเตอร์ไซค์สามารถวางเสาอากาศได้ใกล้กันมากกว่ารถยนต์ เนื่องจากระยะห่างระหว่างล้อรถกับขั้วล่อแคบกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสะสมพลังงานของการทดสอบบนรถมอเตอร์ไซค์ดีกว่าการทดสอบบนรถยนต์

5.3 ข้อเสนอแนะ

เพื่อการพัฒนางานวิจัยในอนาคต ควรนำเสนอคำแนะนำในการทำการทดลองและทดสอบในย่านคลื่นความถี่ที่แตกต่างกันอื่นๆ เช่น HF หรือ UHF เพื่อตรวจสอบความสามารถในการส่งพลังงานและสะสมพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การพิจารณาในการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถสะสมพลังงานจากคลื่น UHF มีความสำคัญ เนื่องจากนั้นจะสามารถผสมร่วมกับระบบการส่งข้อมูลของระบบตรวจวัดแรงดันลมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

การพิจารณาความสามารถในการสะสมพลังงานจากคลื่น UHF จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ, โดยลดความต้องการในอุปกรณ์ของระบบและลดต้นทุนทั้งหมด ดังนั้น การทดลองและทดสอบที่ถูกต้องที่ความถี่อื่นๆ จะเป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงระบบตรวจวัดแรงดันลมที่ไม่พึ่งพาแบตเตอรี่ในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] “Tire Pressure Monitoring System”, Standard, N.H.T.S. Admin., 2005.
- [2] “Tire Pressure Monitoring Systems for Light Duty Highway Vehicle”, Standard 2004-12, S.o.A. Engineers.
- [3] Velupillai, S., & Guvenc, L. (2007), “Tire Pressure Monitoring [Applications of Control]”, IEEE Control Systems Magazine, 27(6), 22-25. doi:10.1109/MCS.2007.909477
- [4] Leng, Y., Li, Q., Hou, B., Liu, S., & Dong, T., “Wheel Antenna of Wireless Sensors in Automotive Tire Pressure Monitoring System”, 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Sept. 2007
- [5] Cheikh, M., David, J., Tartarin, J. G., Kessler, S., & Morin, A., “RF source characterization of Tire Pressure Monitoring System”, 2009 European Wireless Technology Conference, Sept. 2009
- [6] Guo, Z. j., & Huang, T. L., “Design of UHF RFID reader based on ARM”, 2009 Chinese Control and Decision Conference, June 2009
- [7] Jinyu, Z., Liji, W., Xiangmin, Z., Chen, J., & Chun, Z., “A low-power 433MHz transmitter for battery-less Tire Pressure Monitoring System”, 2011 9th IEEE International Conference on ASIC, Oct. 2011
- [8] Kang, Q., Xie, Z., Liu, Y., & Zhou, M. (2017, 25-28 Oct. 2017). 125KHz wake-up receiver and 433MHz data transmitter for battery-less TPMS. Paper presented at the 2017 IEEE 12th International Conference on ASIC (ASICON).
- [9] D. T. Vuza, S. Chitu and P. Svasta, "An RFID tag simulator for the FDX and HDX protocols," 2010 IEEE 16th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Pitesti, Romania, 2010, pp. 53-58, doi: 10.1109/SIITME.2010.5653722.
- [10] B. W. Ha, J. A. Park, H. J. Jin and C. S. Cho, "Energy transfer and harvesting for RF-Bio applications — Invited," 2015 IEEE MTT-S 2015 International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-BIO), Taipei, Taiwan, 2015, pp. 54-55, doi: 10.1109/IMWS-BIO.2015.7303773.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] C. -L. Chang and T. -C. Lee, "An thermoelectric and RF multi-source energy harvesting system," 2016 2nd International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG), Prague, Czech Republic, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/IGBSG.2016.7539440.
- [12] K. Gudan, S. Shao, J. J. Hull, A. Hoang, J. Ensworth and M. S. Reynolds, "Ultra-low power autonomous 2.4GHz RF energy harvesting and storage system," 2015 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA), Tokyo, Japan, 2015, pp. 176-181, doi: 10.1109/RFID-TA.2015.7379814.
- [13] S. Ghosh, S. K. Ghosh and A. Chakrabarty, "Design of RF energy harvesting system for wireless sensor node using circularly polarized monopole antenna: RF energy harvesting system for WSN node using circularly polarized antenna," 2014 9th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), Gwalior, India, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIINFS.2014.7036513.
- [14] M. Kurvey and A. Kunte, "RF Energy Harvesting System," 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET), Mumbai, India, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSCET.2018.8537306.
- [15] Shiho Kim, "RF energy harvesting techniques for wirelessly powered devices," 2011 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Intelligent Radio for Future Personal Terminals, Daejeon, 2011, pp. 1-2, doi: 10.1109/IMWS2.2011.6027184.
- [16] B. Chowkwale, D. Yadav and R. Abhyankar, "Energy harvesting techniques for low power RF sensors," 2015 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT), PyeongChang, Korea (South), 2015, pp. 49-53, doi: 10.1109/ICTACT.2015.7224755.



ภาคผนวก ก.

รายละเอียดเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดแรงดันลมภายในยาง



รูปที่ 5.1 เซนเซอร์วัดแรงดันลมภายในยาง

- ช่วงความดันอากาศ: 0.0 Bar - 8.0 Bar (0 - 100 psi)
- อุณหภูมิในการทำงาน: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $80\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ความแม่นยำของแรงดันอากาศ: $+ 0.1\text{ bar}$
- ความแม่นยำของอุณหภูมิ: $+ 3\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ความถี่ในการทำงานส่งข้อมูล: 433.92 MHz
- Transmit power ในการส่งข้อมูลผ่าน UHF: $< 8\text{ dBm}$

2. คุณสมบัติของอุปกรณ์แสดงผลการวัดแรงดันลมภายในยาง



รูปที่ 5.2 อุปกรณ์แสดงผลการวัดแรงดันลมภายในยาง

- สามารถแสดงผลการวัดแรงดันลมได้ทั้ง 4 ล้อ
- สามารถแสดงผลวัดอุณหภูมิภายในยางได้ทั้ง 4 ล้อ
- มีการแจ้งเตือนเมื่อสถานะแรงดันลมหรืออุณหภูมิภายในยางผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

Sommart Lermthong, Surapan Airphaiboon, and Sumek Wisayataksin “Tire Pressure Monitoring System Using Low-Frequency RFID Energy Harvesting” The 2023 International Electrical Engineering Congress (iEECON2023), March 8-10, 2023.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

iEECON2023

The 2023 International Electrical Engineering Congress

March 8-10, 2023, Deevana Krabi Resort, Krabi, Thailand



The 2023 International Electrical Engineering Congress (iEECON2023) is a premier international academic conference organized by Mahasarakham University, Thailand and the Electrical Engineering Academic Association (Thailand), EEAAT. The iEECON2023 will provide a forum for researchers, engineers and industry experts to discuss recent developments, new ideas and breakthroughs in Electrical Engineering technologies.

Each manuscript will be peer-reviewed, and revised according to the reviewers' comments. Abstract of all submission accepted and presented will be published in the abstract book of iEECON2023, and full manuscript will be submitted for inclusion into IEEE Xplore database. Selected papers will be published in TCI journals.

The iEECON2023 will be held in Krabi, Thailand. Krabi Province, which lies along the coast of the Andaman Sea in southern Thailand, is a top tourist destination as a result of its plentiful natural attractions, including white sandy beaches, crystal clear water, extensive coral reefs, numerous caves, waterfalls, and over 130 islands, including Koh Lanta and the jewels of the Andaman coast, the six islands of Mu Koh Phi Phi National Park.

Conference Topics

COMMUNICATIONS

Communication Theory, Antennas and Propagation Optical Communications, Microwaves, Wireless Communications, Signal Processing for Communication, Channel Coding, Multimedia Communication, Remote Sensing and Applications, Metamaterials, etc.

ELECTRONICS & CONTROL

Analog Circuits, Filters and Data Conversion, Analog and Mixed Signal Processing, Embedded Computer System, Robotics, VLSI Design, Biomedical Electronics, Industrial Electronics and automation, Adaptive Control, Electric Circuit Technology, Fault Tolerance and Detection, Semiconductor Materials, Magnetic Materials, etc.

DIGITAL SIGNAL PROCESSING

Image and Video Processing, Audio and Speech Processing, Pattern Recognition, Biomedical Signal Processing, Computer Vision and Pattern Recognition, Adaptive Signal Processing, Machine Learning for Signal Processing, etc.

POWER & ENERGY

Smart Grid Technology, Planning, Management Operation, and Control; Electric Power Systems: Generation Transmission and Distribution, Electrical Machines, Energy Conversions, Renewable Energy Sources, Power Electronics, Energy Systems, Power Quality, High Voltage Engineering, Insulation and Materials, etc.

COMPUTER & IT

Computer Networks, Cloud Communication and Networking, Data Mining, Artificial Intelligence, Computational Theory, Information System, High Performance Computing, Computer Security, Software Engineering, Distributed and Parallel Computing, Web Services and Internet Computing, Multi-agent Systems, Human Computer Interaction, Internet of Thing (IoT) etc.

INDUSTRIAL TECHNOLOGY

Applied Sciences, Technology Management, Digital Businesses, Engineering, Innovation, Industrial Education, Asefa Technology etc.

WORKSHOP ON RECENT TRENDS IN TECHNOLOGY

Smart Grid, Electric Vehicles, Solar Energy, Artificial Intelligence, Digital Signal Processing, Embedded Systems and Robotics, Power Electronics & Electric Drives, System Modelling & Simulation, Mechatronics, Optimization Techniques, Soft Computing etc.

Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham University, 44150, Thailand. Email: ieecon2023.msu@gmail.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tire Pressure Monitoring System Using Low-Frequency RFID Energy Harvesting

Sommart Lermthong, Surapan Airphaiboon, and Sumek Wisayataksin*
 Department of Electronics Engineering, School of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Ladkrabang, Bangkok Thailand
 61601147@kmitl.ac.th, surapan.ai@kmitl.ac.th, sumek.wi@kmitl.ac.th

Abstract— In this paper, we deploy the RFID technology for a tire pressure monitoring system (TPMS). RFID has the distinguishing feature for transmitting power wirelessly to a TPMS device. This enables the TPMS system to work battery-less and overcome the disadvantages associated with batteries. Our proposed system receives power from a low-frequency 134.2 kHz transmitter and stores it in a capacitor to enable the TPMS transponder. This power can successfully operate and transmit data from the sensor through the ultra-high-frequency 433 MHz to a reader installed inside the vehicle. The experimental results showed that it took only 34 seconds to charge the power when the reader distance was 6 cm, and the speed was 100 km/h.

Keywords— TPMS, RFID, Energy Harvesting, Pressure Sensor

I. INTRODUCTION

Tire Pressure Monitoring System (TPMS) plays a vital role in automobile safety. Currently, TPMS is a compulsory device that must be installed on vehicles. Therefore, developers have invented many types of TPMS devices.

The first type of TPMS, which is a typical wireless tire pressure sensor [1][2], has been widely utilized. It consists of a sensing circuit and a UHF wireless data transmission circuit with a battery inside, as shown in Fig. 1. This TPMS is always active to measure the pressure and transmits data to the receiver at a predetermined time. Since this TPMS uses a battery as the primary power source, the advantage of the TPMS with battery included type is that it can measure the pressure level inside the tire anytime if the battery is energized. However, the disadvantage is that it needs to be replaced periodically since the

lifetime depends on the device's battery power. This also limits the lifetime of the sensor.

The second type of TPMS, which is a TPMS with LF wake-up [3][4], has been further developed. This device consists of a sensing circuit, a wireless transmission circuit, and a wake-up circuit, which also has a battery in the TPMS, as shown in Fig. 2. It is designed to have a wake-up circuit and allows the device to operate only when it is needed. In this type of TPMS, an additional wakeup device system must be attached to the reader. The wake-up circuit can be triggered by a 125 kHz low-frequency signal to activate the sensing circuit. With the help of the wake-up mechanism, the battery life would live longer, but it still needs to rely on battery power.

In this paper, we present the TPMS system to reduce various disadvantages of the old TPMS. RFID technology can harvest energy from RF low frequency directly to replace battery power. This technique allows the TPMS to work without having to replace the device due to the drain on the battery and can work all the time when energy is harvested. For measuring tire pressure and temperature, it transmits ultra-high-frequency data that can be transmitted over a distance. Therefore, it is suitable for trucks with a long distance between wheels and the reader.

The rest of this paper is organized as follows: section II demonstrates the architecture of our system and details the hardware design. Next, the experimental results will be explained in section III. Finally, a conclusion is provided in section IV.

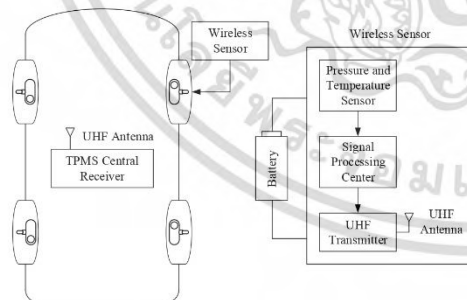


Fig. 1: A typical TPMS architecture

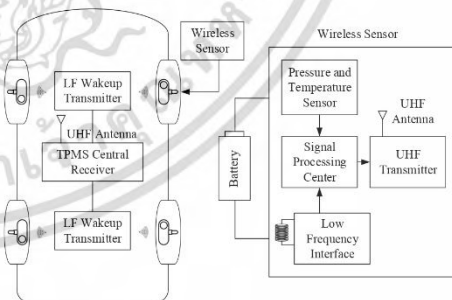


Fig. 2: TPMS with LF wake-up interface

* Corresponding author

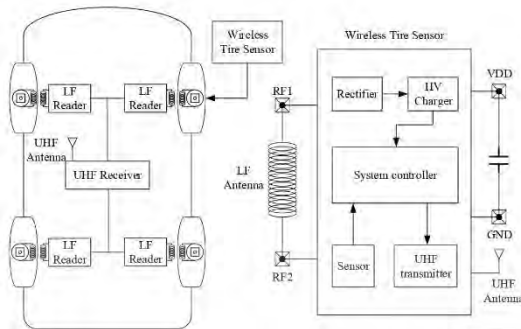


Fig. 3: Proposed wireless tire sensing architecture

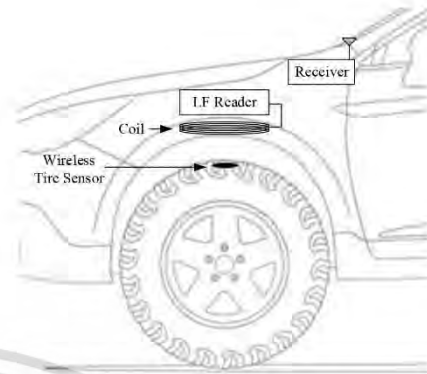


Fig. 4: Implementation of the wireless tire sensor

II. SYSTEM ARCHITECTURE

The wireless tire sensor with an RF power rectifier circuit for energy harvesting does not need any battery, as depicted in Fig.3. The wireless tire sensor includes an LF antenna coil, a rectifier, a high-volt charger, a system controller, a sensor, and a UHF transmitter. This wireless tire sensor is powered by LF readers. The inductive power can feed the wireless tire sensing circuit so that the battery power is not required for a wake-up trigger circuit to operate.

We set the wireless tire sensor with an antenna coil in the tires and installed an LF Reader with another antenna coil in the vehicle body [5]. Besides, the UHF receiver has been installed to receive measurement data.

A. Energy harvesting with RFID

In this research, the energy harvesting method is based on the RFID chip SIC614D from Silicon Craft Technology with HDX technology. The working structure of the RFID chip is illustrated in Fig.5. The structure of the RFID chip in the energy harvesting section consists of a resonance capacitor, a rectifier, a limiter, and an HV charger. An external capacitor is connected to accumulate power for the data response of the RFID chip. The energy harvest property of the RFID chip is utilized as a power supply for the entire wireless tire sensor devices without any battery power required.

B. Power Transmission

This system's power transmitters for wireless tire sensors use the typical RFID LF readers. It works as an RF signal generator to provide power at a low-frequency 134.2 kHz. The reader uses the MCU as the clock generator and connects to the

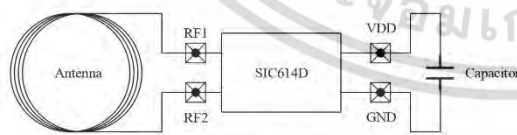


Fig. 5: Typical RFID Structure

driver circuit with the TC4428 MOSFET driver. Power delivery efficiency depends on the voltage applied to the driver and the distance between the LF reader and the transponder.

C. Sensor and Modulation Data

The main sensor of the TPMS is the air pressure sensor. Typically, there is also a temperature sensor inside the TPMS as well because the temperature of the tire can also affect its characteristics. In our system, the SP400 chip from Infineon is employed to create a prototype TPMS without the battery. The pressure sensor can measure from 100 kPa to 1400 kPa, and the ability of the temperature sensor is -40 to +125 C.

Not only the sensor but there is also a UHF wireless transmission for sending data from the sensor to the TPMS central receiver inside this chip. Data transmission uses a Frequency-shift keying (FSK) modulation technique on the 433 MHz band [6][7]. This feature is to display the measurement results to the user.

D. UHF Receiver

The UHF receiver with a frequency band of 433 MHz retrieves the sensor data to display on the monitor, which is installed in the car's passenger compartment. The monitor displays the air pressure and temperature inside the tire. The information on the display can distinguish the measurement results of the sensors installed in each tire because the sensor has a unique ID. When the air pressure or temperature inside the tire is outside the safety range, The receiver will notify the driver on display.

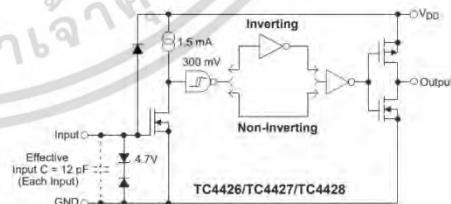


Fig. 6: Driver circuit IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III. RESULT AND ANALYSIS

The experiment consists of a wireless tire sensor, an LF reader, and a UHF receiver. Firstly, the LF reader generates power for the wireless sensor and transmits a signal in the 134.2 kHz radio frequency band. After that, the sensor measures air pressure and temperature inside the tire and transmits data via UHF frequency to a receiver installed in the vehicle. Finally, the measurement data is displayed on the monitor.

In this work, a capacitor with a capacity of 300 μF is specified, which is sufficient for the operation of the sensor and transmitting measurement results to the monitor on the central receiver. The following experimental results show a variety of energy harvesting efficiencies. The parameters are as follows: 1) distance between sensor and LF reader, 2) the vehicle's speed in different movement levels from stationary.

A. When the sensor is not rotated

According to the experimental results under the condition that the wheel is not rotated and the LF reader is installed at the best position to receive energy. A comparison of the energy harvesting time with the distance between the wireless sensor & LF reader installed at different locations by setting a voltage of 3V is observed, as shown in Fig.7. From the experimental

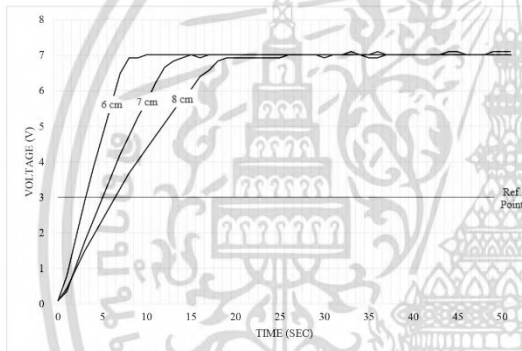


Fig. 7: Energy harvesting efficiency while the sensor is not rotated

results, and it can be seen that if the LF reader is installed close to the sensor, it takes a shorter time to harvest energy. In contrast, it takes a longer time to harvest energy when the LF reader is installed at a further location. However, the installation distance between the LF reader and the sensor slightly affects the energy harvest time.

B. When the sensor is rotated

This experiment was to measure the energy harvesting efficiency of the wireless sensor that moved in a circular motion according to the rotational characteristics of the wheels. The experiments were conducted at different speed rates of 20, 60, and 100 km/h respectively. These are the normal speed at which a vehicle is moving. The mounting distances of the LF reader. It is in accordance with the power transmission efficiency of the reader at 6, 7, and 8 cm, as demonstrated in Fig.8 to Fig.10. As the wheel rotation speed increases, the sensor's energy harvesting time increases slightly. However, when we compare the experiment with a stationary sensor in Fig.7, there is a significant difference in the energy harvesting times. Moreover, when the distance of the LF reader installation is analyzed, the distance also affects energy harvesting efficiency significantly.

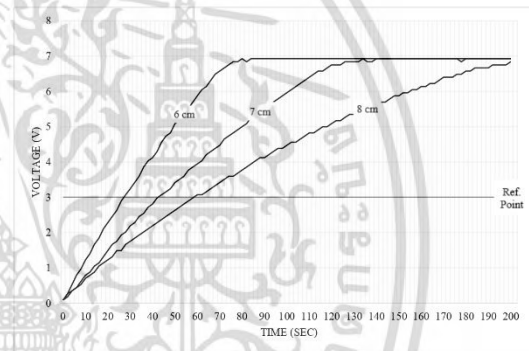


Fig. 9: Sensor rotating at a speed of 60 km/h

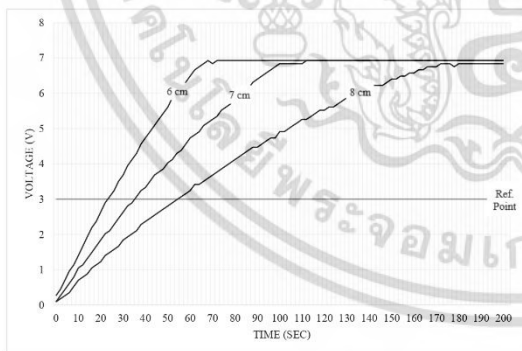


Fig. 8: Sensor rotating at a speed of 20 km/h

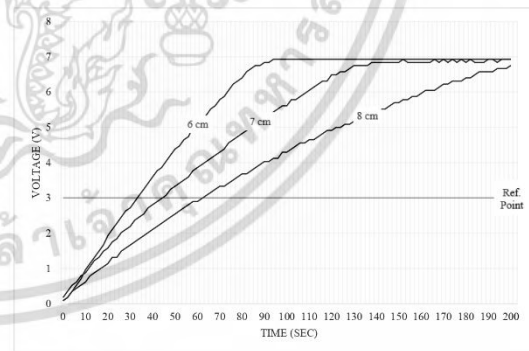


Fig. 10: Sensor rotating at a speed of 100 km/h

TABLE I. ENERGY HARVESTING EFFICIENCY COMPARISON SUMMARY

LF Reader Installation Distance (cm)	Wheel Rotation Speed (km/h)	Energy Harvest Time (S)
6	0	3
	20	24
	60	28
	100	34
7	0	5
	20	36
	60	44
	100	46
8	0	7
	20	56
	60	60
	100	64

IV. CONCLUSION

In this paper, the TPMS system with low-frequency RFID energy harvesting is presented. From the experimental results, it can be concluded that our system can successfully measure the tire pressure without any battery needed. However, the LF reader's mounting location affects the sensor's performance. A closer location makes the harvested energy faster, which allows

measurement results to be also displayed faster. In addition, when comparing system performance with sensors moving at different speeds, we found that the energy harvesting time is slightly different when the vehicle moves at a higher speed. A summary of the comparative experiments is shown in Table I. Typically, the charging time of 64 seconds at a 100 km/h speed is sufficient for use in real applications.

ACKNOWLEDGMENT

The authors appreciate Silicon Craft Technology Public Company Limited for supporting the electronic components for prototyping.

REFERENCES

- [1] "Tire Pressure Monitoring System", Standard, N.H.T.S. Admin., 2005.
- [2] "Tire Pressure Monitoring Systems for Light Duty Highway Vehicle", Standard 2004-12, S.o.A. Engineers.
- [3] Velupillai, S., & Guvenc, L. (2007), "Tire Pressure Monitoring [Applications of Control]", IEEE Control Systems Magazine, 27(6), 22-25. doi:10.1109/MCS.2007.909477
- [4] Leng, Y., Li, Q., Hou, B., Liu, S., & Dong, T., "Wheel Antenna of Wireless Sensors in Automotive Tire Pressure Monitoring System", 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Sept. 2007
- [5] Cheikh, M., David, J., Tartarin, J. G., Kessler, S., & Morin, A., "RF source characterization of Tire Pressure Monitoring System", 2009 European Wireless Technology Conference, Sept. 2009
- [6] Guo, Z. j., & Huang, T. L., "Design of UHF RFID reader based on ARM", 2009 Chinese Control and Decision Conference, June 2009
- [7] Jinyu, Z., Liji, W., Xiangmin, Z., Chen, J., & Chun, Z., "A low-power 433MHz transmitter for battery-less Tire Pressure Monitoring System", 2011 9th IEEE International Conference on ASIC, Oct. 2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายสมมาตร เหลิมทอง
วัน เดือน ปีเกิด	3 ตุลาคม 2530
ที่อยู่	678/44 แอสปาย รัตนาธิเบศร์ ถนน รัตนาธิเบศร์ ต.บางกระสอ อ.เมืองนนทบุรี จ.นนทบุรี 11000
ประวัติการศึกษา	2549 - 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยบูรพา 2561 - 2566 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) ออกแบบระบบสมองกลฝังตัว 2) ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 3) การเขียนโปรแกรมภาษา C, C#

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้