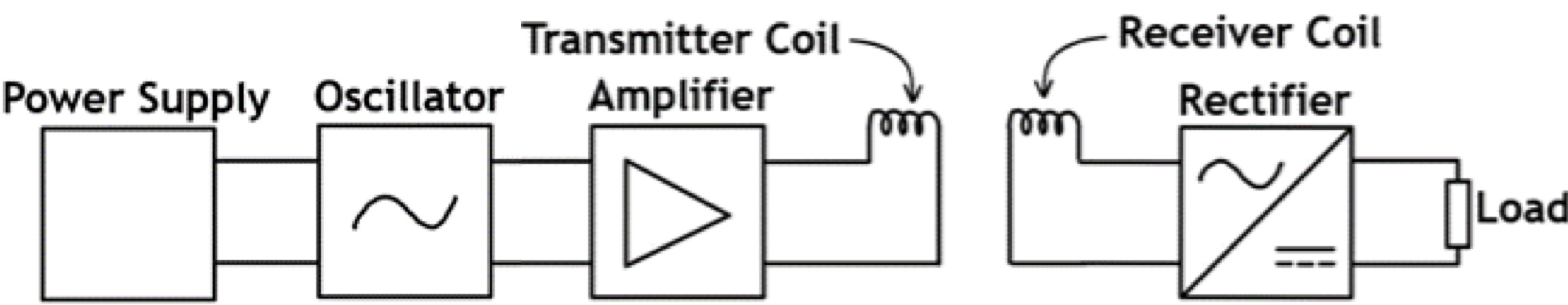


การคิดค้นรถยนต์พลังงานไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาขาดแคลนน้ำมันและสภาวะโลกร้อน ได้เริ่มต้นจากปัญหาการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ส่งผลให้คว้นไอเสียออกมาจากท่อของรถยนต์ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนารถยนต์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ระบบรับ-ส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย เพื่อประหยัดเวลาในการชาร์จประจุไฟฟ้า โครงการวิศวกรรมไฟฟ้าชื่อ "Demonstration of Resonant Wireless Power Transfer using Toy Racing Cars and Tracks" โดย Wisessri และ Promsatarnporn (2022) มีข้อจำกัดที่ยังไม่สามารถขับเคลื่อนได้บนเส้นทางโค้งและยังไม่มีความสะดวกและสมรรถนะในการขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้าไร้สายอย่างเพียงพอ โครงการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบคมนาคมขนส่ง เพื่อชาร์จประจุไฟฟ้าให้ยานพาหนะในขณะที่ยานพาหนะกำลังขับเคลื่อนอยู่ โดยไม่ต้องจอดยานพาหนะหยุดนิ่ง มีประโยชน์ต่อยานพาหนะที่ต้องการใช้งานอย่างเร่งด่วน เช่น รถพยาบาลหรือรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในช่วงเวลาที่มีการเคลื่อนย้ายมวลคนมากๆ เช่น ช่วงเวลาเช้าและเย็น ที่มีผู้โดยสารจำนวนมากเดินทางไปทำงานหรือกลับบ้านที่พักได้สะดวกขึ้น

- วัตถุประสงค์**
- สามารถส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ
  - โมเดลรถสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างเสถียรและสามารถเคลื่อนที่ตามทิศทางของรางได้
  - สามารถออกแบบอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ระดับใหญ่ขึ้นได้

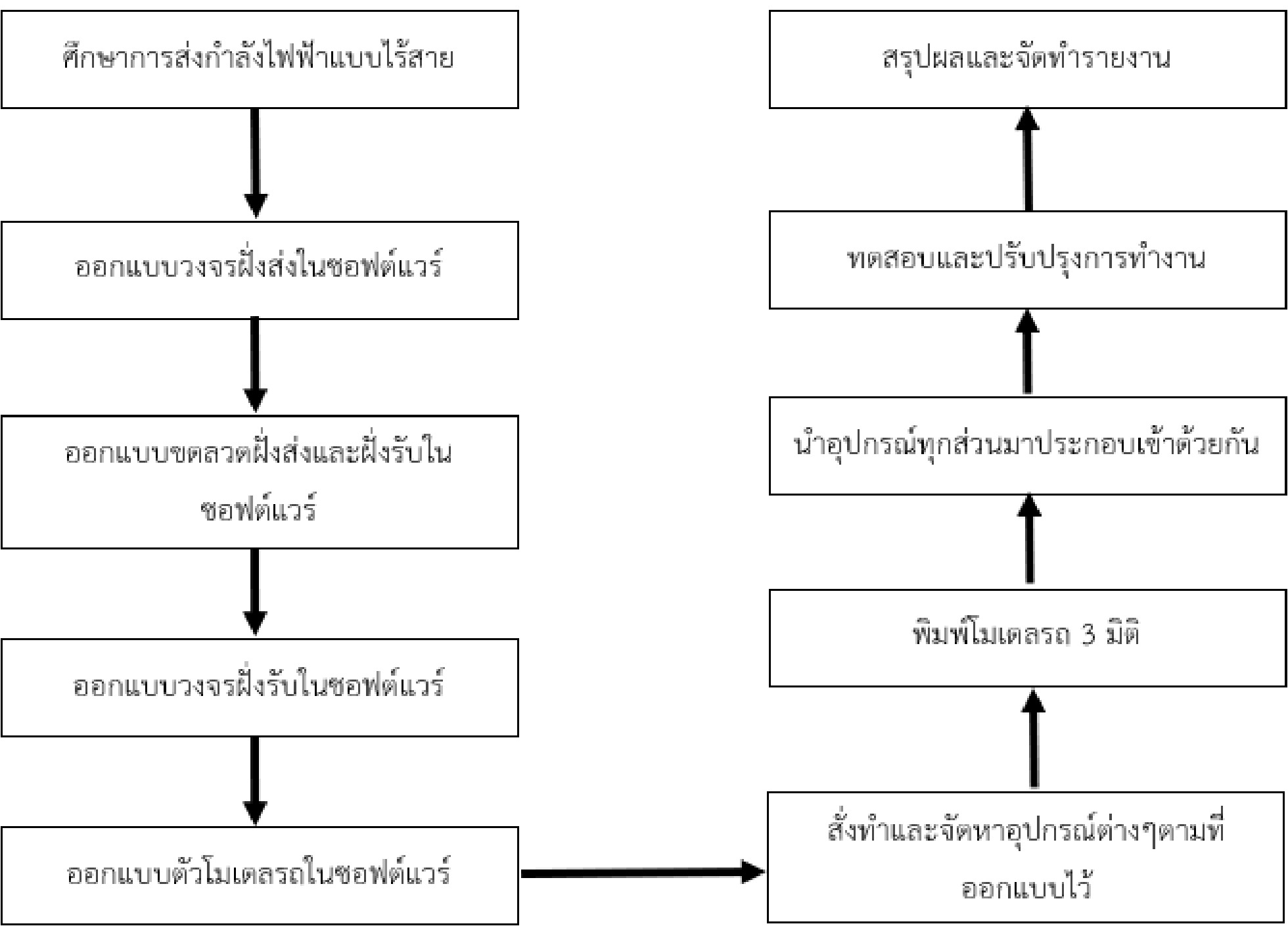
- ขอบเขตของโครงการ**
- โครงการนี้จะแสดงให้เห็นว่าการส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายสามารถทำได้จริงและมีประสิทธิภาพ โดยใช้ขดลวดเป็นอุปกรณ์ในการรับ-ส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งโมเดลรถจะเคลื่อนที่ได้อย่างเสถียรและสามารถเคลื่อนที่ตามทิศทางของรางได้ โดยตัววงจรของโครงการครั้งนี้จะแสดงให้เห็นดังภาพ



- ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**
- ในโครงการนี้ได้ใช้ทฤษฎีต่างๆ ในการออกแบบระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายซึ่งใช้ขดลวดฝั่งส่งหรือ Transmitter Coil ส่งไปยังขดลวดฝั่งรับหรือ Receiver Coil แบบไร้สายที่ความถี่ 13.56MHz โดยใช้ทฤษฎีต่างๆ ดังนี้
- ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- จากกฎของแอมแปร์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นโดยรอบขดลวด และหากสนามแม่เหล็กนี้พุ่งผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวดอีกชุดหนึ่ง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนของฟลักซ์แม่เหล็ก (ฟลักซ์แม่เหล็กคือปริมาณสนามแม่เหล็กในพื้นที่พื้นที่หนึ่ง) ซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นในขดลวดชุดนั้นๆ ในขดลวดชุดดังกล่าวจะมีอิเล็กตรอนอยู่ เมื่อเกิดสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้ากระทำกับอิเล็กตรอนภายในขดลวด ดังนั้นอิเล็กตรอนจะเกิดการเคลื่อนที่ไปตามขดลวด จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดชุดนั้นๆ
- คุณสมบัติก่อนาคสั้น
  - ทฤษฎี SMA
  - ขดลวด (Coil)
  - คุณสมบัติทางวัสดุของ FR4 PCB
  - วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)

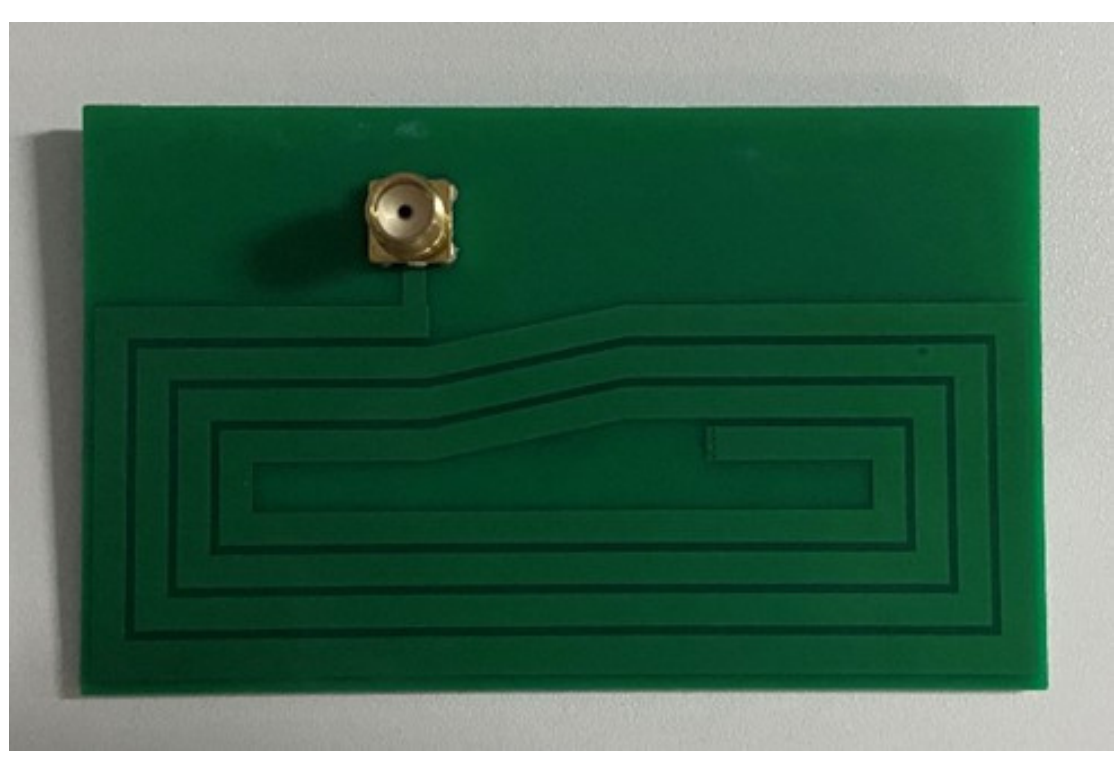
**วิธีการดำเนินโครงการ**



**ผลการดำเนินโครงการ**



Transmitter Coil (TX Coil) - ขดลวดฝั่งส่ง



Receiver Coil (RX Coil) - ขดลวดฝั่งรับ

**วัดค่าความต้านทานของขดลวด**

มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่า ความต้านทานจินตภาพเหนี่ยวนำ เพราะ Coil มีคุณสมบัติเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ เพื่อต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้าในวงจรสูงสุด จึงต้องการปรับให้ค่าความต้านทานจินตภาพของอุปกรณ์เป็นศูนย์ โดยการนำตัวเก็บประจุไฟฟ้ามาต่ออนุกรม โดยที่ตัวเก็บประจุมีความต้านทานจินตภาพเป็นจำนวนจินตภาพลบ เรียกว่า Series Resonance Effect

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า เรียกว่า Vector Network Analyzer

ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ให้เห็น ในรูปแบบ Smith Chart หากจุดไปแสดงที่ตำแหน่งซ้ายสุด คือ Short Circuit หากจุดไปแสดงที่ตำแหน่งขวาสุด คือ Open Circuit หากจุดอยู่ในซีกบนของกราฟ อุปกรณ์จะมีคุณสมบัติเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ แต่หากจุดอยู่ในซีกล่างของกราฟ อุปกรณ์จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า

L ของ Test Coil = 2.16 uH  
ค่า S21 = -21dB phase 122.5 degrees  
S11 ~ 0dB 30.5degrees  
ต้องหาค่า C ที่มีค่า XC = XL ที่ 13.56 MHz  
ต้องเลือกซื้อ Capacitor 0805 ที่มีคุณสมบัติ Ultra Low ESR + HighQ lowloss

และ Tx Coil มีคุณสมบัติดังนี้  
L = 2.16 uH XL = 184 ohm C = 63.8 pF  
ต้องใช้ C = 62 pF 7 ชิ้น สำหรับ Tx Coil และ 2 ชิ้น สำหรับ Test Coil

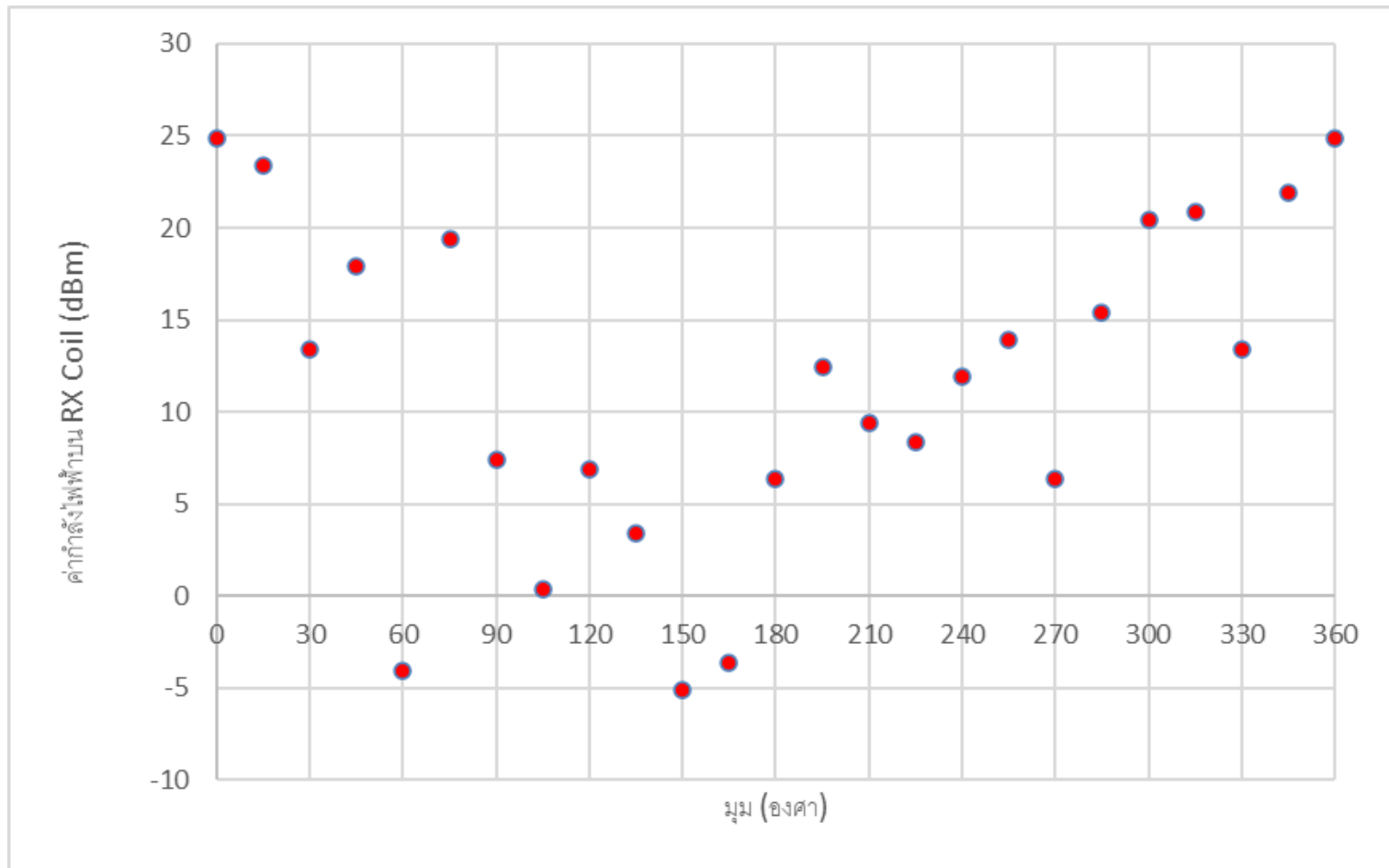
L ของ Rx Coil = 0.763 uH  
ต้องใช้ C = 180 pF 1 ชิ้น สำหรับ Rx Coil

**การติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor)**

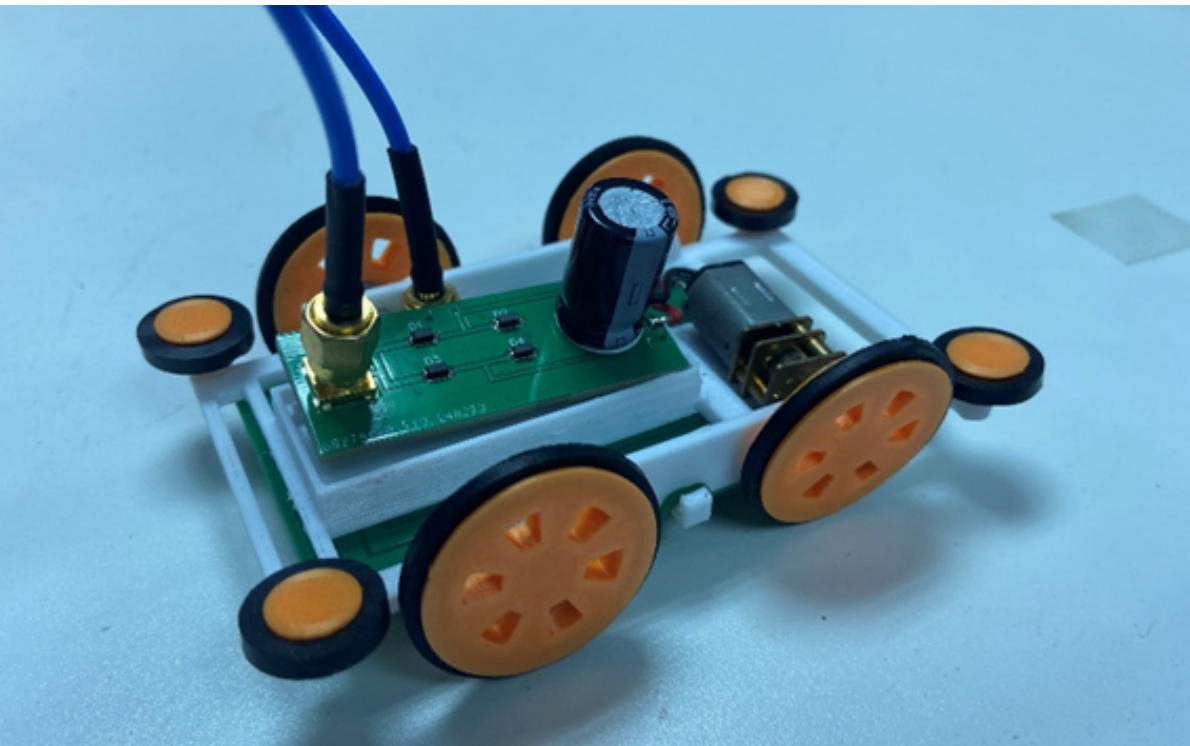
การวัดค่าความต้านทานของ RX Coil ด้วย Vector Network Analyzer พบว่าเหมาะสมที่สุดกับการใช้งานที่ความถี่ 13.56 MHz เมื่อต่อ Capacitor 62 pF เข้าไปแล้ว ยังเหลือค่าความต้านทานจินตภาพอินเนื่องจาก C ที่น้อยไป อยู่ที่ -j203.3 ซึ่งคิดเป็น 58 pF ดังนั้นจึงขาดอีก 4 pF หากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ TX Coil เหมือนกันกับ Test Coil

**การวัดค่ากำลังไฟฟ้าบน RX Coil โดยวัดเทียบจากผลต่างมุม 15 องศา บนขดลวด TX Coil**

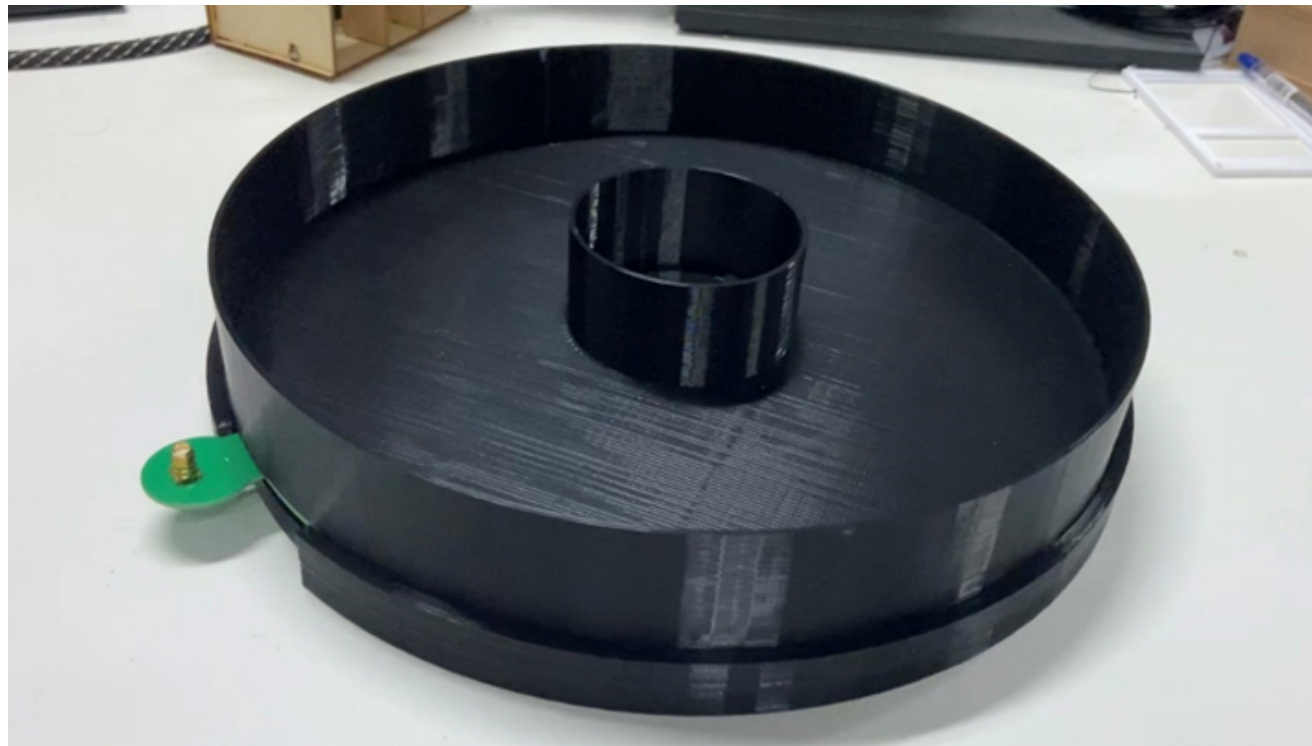
ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าบน RX Coil โดยวัดเทียบจากผลต่างมุม 15 องศา บนขดลวด TX Coil โดยต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 13.0 V 0.34 A และกำหนดจุดเริ่มต้น คือ ขดลวดที่อยู่ติดกันกับ Connector เป็นมุม 0 องศา แล้วเรียงลำดับการวัดแบบตามเข็มนาฬิกา



กำลังไฟฟ้า ของ RX Coil เทียบกับมุมบน TX Coil เมื่อขยับ RX Coil ไปทุกๆ 15 องศา



โมเดลรถที่ประกอบสมบูรณ์แล้ว



ตัวรางที่ประกอบสมบูรณ์แล้ว

**สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ**

DC Generator ทำงานที่ 13 V 0.32 A ได้เป็นอย่างดี Oscillator Circuit เมื่อปรับค่าจนได้กำลังไฟฟ้าออกสูงสุด และได้ความถี่ 13.56 MHz ตามที่ต้องการ ทำงานได้เป็นอย่างดี Amplifier Circuit เมื่อเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 13 V พบว่า เกิดความร้อนขึ้นมา แต่ยังสามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้ SMA Cable มีความยาวไม่มากเกินไป และเมื่อใช้งานกับไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำจึงเกิดการสูญเสียต่ำ โดยทำงานได้เป็นอย่างดี

SMA Connector มีการเชื่อมต่อเข้ากับ Coil และ Rectifier Circuit ได้เป็นอย่างดี ไม่หลุดหลวม การบัดกรีในส่วนต่างๆ ทำได้เป็นอย่างดี จุดเชื่อมต่อมีความแข็งแรง เชื่อมต่อทางไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ TX Coil ขดลวดที่อยู่ใกล้ SMA Connector มีการส่งกำลังไฟฟ้าที่มาก ส่วนขดลวดที่อยู่ไกลจาก SMA Connector มีการส่งกำลังไฟฟ้าลดต่ำลง

บริเวณรอยต่อระหว่างขดลวดบางส่วน มีการออกแบบระยะห่างไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้มีการเหนี่ยวนำในบางบริเวณลดน้อยลง แต่ RX Coil, TX Coil, Rectifier Circuit ในภาพรวมทำงานได้ดี โดยมีแรงดันตกคร่อมที่ไดโอดในระดับที่ใช้ได้ ซึ่งไดโอดเกิดความผิดปกติเล็กน้อยเมื่อใช้งานกับไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง Capacitor ทำการเก็บประจุไฟฟ้าและส่งพลังงานให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ได้เป็นอย่างดี

DC Motor มีความเร็วในการหมุนสูง ซึ่งได้รับพลังงานไฟฟ้าและได้รับแรงดันไฟฟ้ามากเพียงพอที่จะใช้งานกับมอเตอร์ชนิดนี้ได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้รถสามารถวิ่งบนรางได้ครบรอบวงกลมและสามารถวิ่งต่อไปได้เรื่อยๆ โดยไม่หยุด

**ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม**

- Test Coil ควรจะออกแบบ Coil และ Connector ให้เหมือนกันทั้งฝั่งซ้ายและขวา
- เพิ่มทางเลือกในการออกแบบคือ ออกแบบ Coil และ Connector ด้วย Copper Area โดยกำหนด Net = GND
- ออกแบบให้ Copper Bottom Layer บริเวณรอบๆ PAD ที่มีสัญญาณ ล้อมรอบ PAD ในรูปแบบวงกลม
- ได้มีการใช้ Footprint SMA Connector โดย 4 PAD รอบๆทำหน้าที่เป็น GND และ PAD ตรงกลางทำหน้าที่เป็นช่องทาง Signal
- เพิ่มพื้นที่บัดกรีสำหรับ Capacitor ใน Test Coil และ Rx Coil
- ทดสอบ Export Gerber File จาก Easyeda แล้วนำมา Import Gerber File เข้าไปใน Sonnet เพื่อ Simulation สำหรับหาค่า L
- ออกแบบ Rx Coil ใน Sonnet ให้มีขนาดแผ่นอย่างมากที่สุดตามที่ต้องการ และเพิ่ม Connector เข้าไปด้วย

**บรรณานุกรม**

- T. Wisessri and C. Promsatarnporn, "Demonstration of Resonant Wireless Power Transfer using Toy Racing Cars and Tracks," B.Eng. Senior Project, Kasetsart University, Thailand, 2022.
- C. Rakluea, A. Worapishet, S. Chaimool, Y. Zhao, and P. Akkaraekthalin, "True nulls-free magnetoinductive waveguides using alternate coupling polarities for batteryless dynamic wireless power transfer applications," IEEE Trans. Power Electron., vol. 37, no. 8, pp. 8835–8854, 2022.
- “วงจรเรียงกระแส คืออะไร?”, ช่างไฟดอกคอม | ทีมงานช่างไฟฟ้าที่ดีที่สุดในกรุงเทพฯ, 18-Nov-2021. [Online]. Available: <https://www.changfi.com/fix/2021/11/18/14296/>. [Accessed: 11-Oct-2023].
- Digikey.co.th. [Online]. Available: <https://www.digikey.co.th/th/articles/the-smith-chart-an-ancient-graphical-tool-still-vital-in-rf-design>. [Accessed: 29-Mar -2024].