

แบบจำลองระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า  
WIRELESS POWER CHARGING SYSTEM MODEL FOR ELECTRIC  
VEHICLES

อัยลดา ภูพวก  
ILADA PHOOPHUK

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2557

แบบจำลองระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า  
WIRELESS POWER CHARGING SYSTEM MODEL FOR ELECTRIC VEHICLES

อัยลดา ภูพวก  
ILADA PHOOPHUK

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2557

# WIRELESS POWER CHARGING SYSTEM MODEL FOR ELECTRIC VEHICLES

ILADA PHOOPHUK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า
Thesis Title	WIRELESS POWER CHARGING SYSTEM MODEL FOR ELECTRIC VEHICLES
ชื่อนักศึกษา	นางสาวอัยลดา ภูพวก รหัสนักศึกษา 54011539
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อ.สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า โดยสร้างเป็นแบบจำลองการทำงานของภาคส่งและภาครับพลังงานเพื่อชาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ของยานพาหนะไฟฟ้า พลังงานจากภาคส่งจะถูกส่งผ่านอากาศไปยังภาครับโดยอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำ ระบบสามารถเปิดและปิดอัตโนมัติเมื่อยานพาหนะซึ่งประกอบด้วยภาครับพลังงานเคลื่อนที่เข้าสู่แท่นชาร์จซึ่งเป็นภาคส่งพลังงาน ที่ภาครับจะประกอบด้วยเซนเซอร์สำหรับตรวจจับวัตถุทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการควบคุมรีเลย์สำหรับเปิดหรือปิดวงจรทางด้านภาคส่งพลังงาน

Thesis Title	WIRELESS POWER CHARGING SYSTEM MODEL FOR ELECTRIC VEHICLES
Student	Miss. Ilada Phoophuk Student ID. 54011539
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Information Engineering
Academic Year	2557
Thesis Advisor	Mr. Sorapong Wachirarattanapornkul
Thesis Co-Advisor	Asst. Prof. Paisan Sithiyopasakul

## Abstract

The thesis aim at presenting and developing the wireless power charging system model for electric vehicles by build a model to explain how transmitter and receiver charge power into a battery of electrical vehicle. This model uses an electromagnetic field to transfer electric energy between a transmitter circuit and a receiver circuit. This system can open and close automatic when vehicle that consist of receiver move into chargers (transmitter). The receiver consist of sensor for detecting material, This receiver responsibility for sending signal to microcontroller for control relay to open or close the circuit of transmitter.

## กิตติกรรมประกาศ

การทำปฏิญานิพนธ์แบบจำลองระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า ในด้านการออกแบบ สร้างต้นแบบ และการทดสอบ มีรายละเอียดเชิงลึกทั้งทางด้านทฤษฎีและด้านการปฏิบัติงานซึ่งจำเป็นต้องขอคำปรึกษาจากผู้มีประสบการณ์และความชำนาญ จึงขอขอบพระคุณผู้ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ดังนี้ อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล และ ผศ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล ที่ให้แรงผลักดันแนวทางการทำงาน รวมทั้งมีส่วนช่วยให้คำปรึกษาแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการจัดทำโครงงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ผู้ร่วมประเมินผลทุกท่านที่ให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในการจัดทำปฏิญานิพนธ์ จนทำให้ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์

อัยลดา ภูพวก

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตปริญญาานิพนธ์.....	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	1
1.5 ขั้นตอนการทำงาน.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี.....</b>	<b>3</b>
2.1 ระบบส่งพลังงานแบบไร้สาย.....	3
2.1.1 การกำเนิดของระบบส่งพลังงานแบบไร้สาย.....	3
2.1.2 ประเภทของระบบส่งพลังงานแบบไร้สาย.....	3
2.2 แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก.....	5
2.2.1 คุณสมบัติของแม่เหล็ก.....	6
2.2.2 เส้นแรงแม่เหล็ก.....	6
2.2.3 แม่เหล็กไฟฟ้า.....	6
2.3 ตัวเหนี่ยวนำ.....	7
2.3.1 การเรียกชื่อตัวเหนี่ยวนำ.....	7
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวเหนี่ยวนำ.....	9
2.3.3 สูตรการเหนี่ยวนำขดลวดแกนอากาศ.....	12
2.3.4 การต่อตัวเหนี่ยวนำ.....	14
2.4 วงจรวงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้น.....	15
2.5 วงจรกรองสัญญาณ.....	16
2.6 การต่อวงจร RLC.....	19
2.6.1 การต่อ RLC แบบอนุกรม.....	19

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6.2 การต่อ RLC แบบขนาน.....	21
2.7 Arduino.....	22
2.7.1 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino.....	23
2.8 โฟโตอิเล็กทรอนิกส์เซอร์.....	26
2.8.1 คุณลักษณะโดยทั่วไป.....	26
2.8.2 ประเภทโฟโตอิเล็กทรอนิกส์เซอร์.....	26
2.9 รีเลย์.....	28
บทที่ 3 การออกแบบระบบ.....	29
3.1 ภาพรวมโครงการ.....	29
3.2 โครงสร้างของระบบ.....	29
3.2.1 เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ.....	30
3.2.2 ส่วนควบคุมการเปิด/ปิดระบบ.....	30
3.2.3 วงจรภาคส่งและภาครับ.....	32
3.2.4 การเชื่อมต่อวงจร.....	36
3.3 ภาพชิ้นงานภาคส่ง-ภาครับ.....	37
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	38
4.1 การหาประสิทธิภาพของภาครับ-ภาคส่ง.....	38
4.2 การวัดสัญญาณจากเครื่องออสซิลโลสโคป.....	45
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์.....	47
5.1 สรุปผลปริญญาานิพนธ์.....	47
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	48
5.3 แนวการพัฒนา.....	48
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก.....	51

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าประเภทต่างๆ.....	7
รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบต่างๆ.....	7
รูปที่ 2.3 ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ.....	8
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ.....	9
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ.....	10
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ.....	11
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ.....	12
รูปที่ 2.8 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรมหรืออันดับ.....	14
รูปที่ 2.9 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน.....	14
รูปที่ 2.10 แผนผังของวงจรออสซิลเลเตอร์.....	15
รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมวงจรกรองสัญญาณ.....	16
รูปที่ 2.12 วงจรกรองสัญญาณ.....	17
รูปที่ 2.13 การทำงานของวงจรคาปาซิเตอร์ในการกรองสัญญาณ.....	18
รูปที่ 2.14 วงจรขดลวดเหนี่ยวนำในการกรองสัญญาณ.....	19
รูปที่ 2.15 วงจร RLC แบบอนุกรม.....	20
รูปที่ 2.16 รูปสัญญาณไซน์ที่แสดงค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อม R L และ C.....	20
รูปที่ 2.17 แผนภาพแสดงเฟสของความต่างศักย์ที่ตกคร่อมอุปกรณ์แต่ละตัว.....	21
รูปที่ 2.18 วงจร RLC ต่อแบบขนาน และแผนภาพสามเหลี่ยมของกระแสในวงจร.....	21
รูปที่ 2.19 รูปแสดงการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรมการทำงาน.....	23
รูปที่ 2.20 เลือกบอร์ด Arduino ที่ต้องการอัปโหลด.....	23
รูปที่ 2.21 เลือกหมายเลขคอมพอร์ตของบอร์ด.....	24
รูปที่ 2.22 กดปุ่ม verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคอมไพล์โค้ดโปรแกรม.....	24
รูปที่ 2.23 อัปโหลดโค้ดโปรแกรม.....	25
รูปที่ 2.24 รูปแบบและตำแหน่งขาการใช้งาน Arduino Nano Board.....	25
รูปที่ 2.25 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ประเภท Diffuse Mode.....	26
รูปที่ 2.26 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ประเภท Retro reflective Mode.....	27
รูปที่ 2.27 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ประเภท Opposed Mode.....	27
รูปที่ 2.28 สัญลักษณ์ในวงจรไฟฟ้าของรีเลย์.....	28
รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ.....	29
รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานภาคส่ง.....	31

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.3 โพล์ชาร์ตการทำงานภาครับ.....	31
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับ.....	32
รูปที่ 3.5 วงจรภาคส่ง.....	32
รูปที่ 3.6 วงจรภาครับ.....	33
รูปที่ 3.7 คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดโดยใช้โปรแกรม Multilayer Air Core Inductor Calculator.....	34
รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อวงจรภาคส่ง.....	34
รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อวงจรภาครับ.....	36
รูปที่ 3.10 ภาคส่ง (transmitter) .....	37
รูปที่ 3.11 ภาครับ (Receiver).....	37
รูปที่ 3.12 โมดูลจำลองของระบบ.....	37
รูปที่ 4.1 การวัดภาครับ-ภาคส่งด้วยมิเตอร์แบบไม่มีสิ่งกีดขวาง.....	38
รูปที่ 4.2 กราฟประสิทธิภาพของการรับแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง.....	39
รูปที่ 4.3 กราฟประสิทธิภาพของการรับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง.....	40
รูปที่ 4.4 กราฟประสิทธิภาพของการรับแรงดันไฟฟ้าแบบมีสิ่งกีดขวาง.....	42
รูปที่ 4.5 กราฟประสิทธิภาพของการรับกระแสไฟฟ้าแบบมีสิ่งกีดขวาง.....	43
รูปที่ 4.6 การวัดสัญญาณจากเครื่องออสซิลโลสโคป.....	45
รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณคลื่นไซน์ที่วัดได้จากขดลวดภาคส่ง.....	45
รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณคลื่นไซน์ที่วัดได้จากขดลวดภาครับ.....	46

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงาน.....	2
ตารางที่ 2.1 ค่าความชื้นขาบได้ของวัสดุชนิดต่างๆ.....	12
ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการรับแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง.....	39
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการรับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง.....	40
ตารางที่ 4.3 สรุปข้อมูลจำเพาะของระบบเมื่อใช้งานในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่าง ภาคส่ง-ภาครับ.....	41
ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการรับแรงดันแบบมีสิ่งกีดขวาง.....	41
ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการรับกระแสแบบมีสิ่งกีดขวาง.....	42
ตารางที่ 4.6 สรุปข้อมูลจำเพาะของระบบเมื่อใช้งานในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางระหว่าง ภาคส่ง-ภาครับ.....	43
ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพ (%) และระยะห่างระหว่างภาคส่ง-ภาครับ (cm) .....	44

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

วิกฤติพลังงานเป็นประเด็นที่หลายประเทศทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญและพยายามหาทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการคิดค้นนวัตกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวกับพลังงานสะอาดเพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน ยานพาหนะสำหรับขนส่งในปัจจุบันก็มีแนวโน้มหันมาใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น ผู้เขียนจึงได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ของพลังงานไฟฟ้าจึงได้ทำการศึกษาการนำพลังงานไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อระบบขนส่งในประเทศไทย ในที่นี้ได้นำเทคโนโลยีการส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายมาประยุกต์กับยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง โดยสร้างเป็นแบบจำลองระบบการชาร์จพลังงานแบบไร้สายที่สามารถนำไปพัฒนาให้ใช้ได้จริงในอนาคต เพื่อสร้างความสะดวกสบายในการชาร์จ (Charging) พลังงานไฟฟ้าโดยไม่ต้องต่อพ่วงสาย ซึ่งคำนึงถึงความสะดวกและปลอดภัยเป็นหลัก

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อออกแบบระบบการชาร์จพลังงานแบบไร้สายให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เวลาในการชาร์จพลังงานที่เหมาะสมและมีค่าการสูญเสียพลังงานต่ำ
2. เพื่อนำความรู้จากทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของระบบที่สร้างขึ้น
3. เพื่อสร้างแบบจำลองระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า

### 1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

ช่วงเวลาการดำเนินงาน

สิงหาคม พ.ศ. 2557 – พฤษภาคม พ.ศ. 2558

เงื่อนไขการทำระบบ

สร้างระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายซึ่งประกอบด้วยภาคส่งและภาครับพลังงาน

เพื่อจ่ายไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ของยานพาหนะไฟฟ้าจำลอง

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ระบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปพัฒนาให้ใช้งานในระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้าในอนาคต

## 1.5 ขั้นตอนการทำงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการทำงาน

ลำดับ	งานที่ดำเนินการ	พ.ศ. 2557					พ.ศ. 2558				
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.	ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย										
2.	ศึกษาการออกแบบวงจรและวิธีพันขดลวดที่ภาคส่ง-ภาครับ										
3.	สร้างต้นแบบสำหรับการทดลองส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายและวิเคราะห์ประสิทธิภาพ										
4.	ปรับปรุงต้นแบบให้มีประสิทธิภาพดีและนำไปติดตั้งกับแบบจำลองระบบขนส่ง										
5.	หาแนวทางในการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ทั้งหมด และศึกษาเทคโนโลยีใหม่ๆ สำหรับการต่อยอดในอนาคต										
6.	จัดทำต้นฉบับปริยญาณิพนธ์										

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ระบบส่งพลังงานแบบไร้สาย

ระบบส่งพลังงานแบบไร้สาย (Wireless energy transfer system) คือ การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงาน (Power source) ไปยังแหล่งเก็บไฟฟ้า (Electrical load) ที่ไม่ผ่านสายไฟ โดยใช้หลักการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อส่งต่อพลังงานจากภาคส่งไปยังภาครับ เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในภาคอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากแหล่งต้นกำเนิดที่ห่างไกลได้ เช่น ภาคการบินหรืออวกาศ เป็นต้น

##### 2.1.1 การกำเนิดของระบบส่งพลังงานแบบไร้สาย

แนวคิดการส่งพลังงานไร้สายเริ่มขึ้นในช่วงศตวรรษที่ 19 โดยนิโกลา เทสลา (Nikola Tesla) เทสลาได้เสนอทฤษฎีในการส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย แต่ในขณะที่กำลังดำเนินการพัฒนาอยู่นั้น อุตสาหกรรมไฟฟ้าของอเมริกาก็สามารถสร้างเทคโนโลยีการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านสายไฟได้สำเร็จ ทำให้แนวคิดของเทสลาถูกละเลยและไม่ได้รับการพัฒนาต่อยอดออกไป แต่ในปัจจุบันเมื่อการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านสายไฟมีข้อจำกัดมากขึ้น แนวคิดการส่งพลังงานไร้สายของของเทสลา ก็กลับมาเป็นที่สนใจอีกครั้ง

##### 2.1.2 ประเภทระบบส่งพลังงานแบบไร้สาย

1. การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction) เป็นวิธีการส่งผ่านพลังงานโดยไร้สายผ่านสนามแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด ในระยะสั้น (Near Field) ซึ่งจะมีเพียงอุปกรณ์ที่รับสัญญาณเท่านั้นจึงจะสามารถรับพลังงานที่ส่งออกมาได้ โดยจะแบ่งประเภทดังนี้

- การเหนี่ยวนำ (Induction)

เป็นพลังงานไร้สายในรูปแบบที่วงจรชั้นปฐมภูมิและวงจรชั้นทุติยภูมิของตัวส่งสัญญาณแยกออกมาในอุปกรณ์ให้พลังงานและรับพลังงานแต่ละอัน การเคลื่อนย้ายพลังงานเกิดขึ้นโดยอุปกรณ์จ่ายพลังงานได้รับพลังงานไฟฟ้าปกติเข้าสู่ขดลวด (Coil) ทำให้เกิดสภาพสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และเข้าเหนี่ยวนำขดลวดที่อยู่ภายในอุปกรณ์รับพลังงานเกิดเป็นพลังงานไฟฟ้า การเหนี่ยวนำของอุปกรณ์ทั้งคู่ทำให้สามารถโอนถ่ายพลังงานโดยไร้สายได้ ตัวอย่างเช่น แปรงสีฟันไฟฟ้า แต่ข้อเสียของระบบการเหนี่ยวนำ คือความสามารถในการทำงานมีในระยะสั้นมาก เพราะตัวรับสัญญาณต้องอยู่ใกล้กับตัวส่งสัญญาณเพื่อให้การเหนี่ยวนำเกิดขึ้นได้

- การเหนี่ยวนำเรโซแนนท์ (Resonant induction)

เป็นการพัฒนาต่อยอดจากแนวคิดการเหนี่ยวนำ โดยเมื่ออุปกรณ์รับส่งสัญญาณทั้งคู่ถูกปรับให้สนามแม่เหล็กมีความสัมพันธ์ (Resonance) ควบคู่กับการปรับคลื่นที่ส่งสัญญาณออกมาให้เป็นสภาพคลื่นที่ไม่ใช่รูปไซน์ (Nonsinusoidal wave) จะทำให้พลังงานจากสนามแม่เหล็กเกิดการส่งสัญญาณได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น ซึ่งอุปกรณ์รับสัญญาณเรโซแนนท์ จะมีอุปกรณ์ปรับความถี่ในสัญญาณที่จะรับได้ และโดยแนวคิดนี้มีข้อดีคือการสร้างเงื่อนไขการสัมพันธ์กันทำให้ช่วยส่งสัญญาณได้ไกลขึ้นกว่าแนวคิดการเหนี่ยวนำที่จะเกิดการเหนี่ยวนำเฉพาะระยะใกล้ๆ เท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถเลือกส่งพลังงานไปให้กับอุปกรณ์รับที่มีขนาดที่เลือกรับเฉพาะความถี่ที่ตั้งไว้ได้หลายอุปกรณ์พร้อมกัน

2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) เป็นวิธีการส่งผ่านพลังงานระยะไกล (Far Field) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพราะการส่งผ่านคลื่นวิทยุหรือคลื่นแสงระยะไกลนี้สามารถปรับให้ส่งเข้าสู่พื้นที่รับที่ต้องการได้สะดวก

- วิธีการส่งผ่านพลังงานระยะไกลโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave Method)

เป็นวิธีการส่งพลังงานด้วยคลื่นวิทยุรูปแบบหนึ่ง ที่สามารถกำหนดทิศทางได้ในระยะไกล โดยการทำให้อายุความยาวคลื่นลดขนาดลงจนถึงระดับของคลื่นไมโครเวฟ จากเสาส่ง (Antenna) และอุปกรณ์รับสัญญาณแบบพิเศษชื่อเรคเทนนา (Rectenna) จะแปรคลื่นไมโครเวฟที่รับได้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งคลื่นไมโครเวฟสามารถผ่านชั้นบรรยากาศได้ง่าย โดยปัจจุบันอุปกรณ์นี้สามารถแปรเปลี่ยนพลังงานจากอินพุตไปเอาต์พุตได้ถึง 95%

แนวคิดในวิธีการนี้ถูกนำไปใช้กับโครงการสร้างพลังงานในอวกาศ เช่น การสร้างแผงโซลาร์เซลล์ขึ้นจำนวนมากในอวกาศเพื่อให้สามารถรับพลังงานได้เต็มที่โดยไม่ผ่านชั้นบรรยากาศโลก จากนั้นจึงส่งพลังงานกลับมาในรูปแบบไมโครเวฟ ในปี ค.ศ. 1978 หรือช่วงแรกที่นาซ่าเริ่มทำการค้นคว้า ได้คาดการณ์ว่าจะต้องใช้อุปกรณ์ส่งเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 กิโลเมตร และเรคเทนนาที่ใช้รับถึง 10 กิโลเมตร แต่ภายหลังสามารถปรับลดขนาดลงมาได้มากผ่านการปรับความยาวคลื่นให้สั้นลง ถึงแม้จะมีโอกาสถูกรบกวนการขึ้นบรรยากาศและสภาพอากาศที่เดินทางผ่านได้ ซึ่งแนวคิดนี้ปัจจุบันก็กำลังกำลังถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยในปี ค.ศ. 1997 สามารถส่งพลังงานได้ในระดับกิโลเมตรแล้ว

ทั้งนี้แนวคิดการใช้คลื่นไมโครเวฟ มีจุดด้อยอยู่คือการใช้งานจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาอย่างใกล้ชิด ทำให้ต้องมีคนประจำสถานีอวกาศหรือดาวเทียมที่ใช้สร้างพลังงานตลอดเวลา อีกทั้งการส่งสัญญาณกลับสู่พื้นโลกนั้นดาวเทียม 1 ดวงมีพื้นที่จำกัดในการส่งสัญญาณ จึงจำเป็นต้องใช้ดาวเทียมหลายดวงในการสะท้อนคลื่นเพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลก



### 2.2.1 คุณสมบัติของแม่เหล็ก

1. ถ้าแฉวนแท่งแม่เหล็กให้เคลื่อนที่อย่างอิสระ เมื่อหยุดนิ่งแล้วจะชี้ตามแนวทิศเหนือและทิศใต้ ถ้าขั้วที่ชี้ไปทางทิศเหนือเรียกว่าขั้วเหนือ (N) และขั้วที่ชี้ไปทางทิศใต้เรียกว่าขั้วใต้ (S)
2. ขั้วแม่เหล็กทั้งขั้วเหนือ และขั้วใต้จะดูดสารแม่เหล็กเสมอ
3. ขั้วเหมือนกันเข้าใกล้กันจะเกิดแรงผลักกัน และขั้วต่างกันเมื่อเข้าใกล้กันจะเกิดแรงดึงดูดกัน
4. อำนาจแรงดึงดูดจะมีมากที่สุดที่บริเวณขั้วทั้งสองแม่เหล็ก
5. เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

### 2.2.2 เส้นแรงแม่เหล็ก

เมื่อนำกระดาษแข็งวางบนแท่งแม่เหล็ก โรยเศษผงเหล็กละเอียดบนกระดาษแล้วค่อยๆ เคาะด้วยนิ้วเบาๆ ผงเหล็กจะเรียงตัวตามเส้น แรงแม่เหล็กจากขั้ว N ไปขั้ว S อย่างสวยงาม โดยในที่ที่มีเส้นแรงแม่เหล็กเราเรียกว่ามีสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field)

### 2.2.3 แม่เหล็กไฟฟ้า

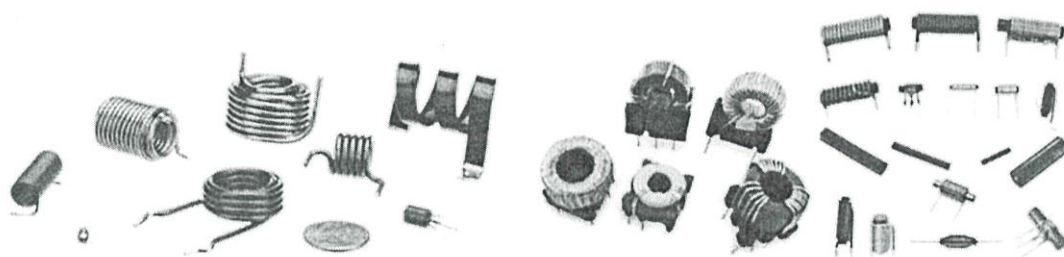
แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnets) หมายถึง อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำหมายความว่าถ้าปล่อยให้ กระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำจะทำให้เกิด สนามแม่เหล็ก รอบๆ ตัวนำนั้น

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ เส้นลวดตัวนำนั้น แต่อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีเพียงจำนวนเล็กน้อย ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การจะเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ทำได้โดยการนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในแต่ละส่วนของเส้นลวดตัวนำจะเสริมอำนาจกัน ทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ การพันจำนวนรอบของเส้นลวดตัวนำมากเกิดสนามแม่เหล็กมาก ในทางกลับกันถ้าพันจำนวนรอบน้อยการเกิดสนามแม่เหล็กก็น้อยตามไปด้วย
2. ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดตัวนำ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นมาก และถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยสนามแม่เหล็กเกิดน้อย
3. ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุต่างชนิดกันจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กต่างกัน เช่น แกนอากาศจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าแกนที่ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) หรือสารที่สามารถเกิดอำนาจแม่เหล็กได้เช่น เหล็กเฟอร์ไรท์ เป็นต้น สารเหล่านี้จะช่วยเสริมอำนาจแม่เหล็กในขดลวดทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากขึ้น
4. ขนาดของแกนแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า แกนที่มีขนาดใหญ่จะให้สนามแม่เหล็กมาก ส่วนแกนที่มีขนาดเล็กจะให้สนามแม่เหล็กน้อย

## 2.3 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง โดยมีการใช้งานกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป มีตั้งแต่ขนาดเล็กมากๆ ประมาณปลายนิ้วมือจนกระทั่งถึงขนาดใหญ่เท่าห้องปฏิบัติการ ลักษณะของตัวเหนี่ยวนำจะเป็นการนำเอาลวดตัวนำมาพันเรียงกันเป็นขดลวด อาจมีจำนวนรอบไม่กี่รอบจนกระทั่งถึงพันรอบแล้วแต่ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้อง การใช้งาน การพันขดลวดของตัวเหนี่ยวนำอาจพันบนแกนชนิดต่างๆ หรือเป็นแบบไม่มีแกน (แกนอากาศ) ซึ่งแต่ละแบบก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.1 ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าประเภทต่างๆ

(อ้างอิงโดย <http://www.legaeng.com/FAQ-by-LEGA-Engineering/>)

หลักการทำงานของตัวเหนี่ยวนำใช้หลักการสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ตัวเหนี่ยวนำแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือแบบค่าคงที่และแบบปรับค่าได้ ตัวเหนี่ยวนำเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อินดักเตอร์ หรือคอยล์หรือเรียกย่อๆ ว่าตัวแอล (L) หน่วยของการเหนี่ยวนำคือเฮนรี่ (Henry)

### 2.3.1 การเรียกชื่อตัวเหนี่ยวนำ

การเรียกชื่อตัวเหนี่ยวนำ เรียกตามโครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยขดลวด (Coil) พันรอบแกน (Core) ซึ่งแกนนี้อาจจะเป็นแกนอากาศ, แกนเหล็ก, หรือแกนเฟอร์ไรท์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการเหนี่ยวนำไฟฟ้า แบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด ได้แก่



รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ของตัวเหนี่ยวนำแบบต่างๆ

(อ้างอิงโดย <http://kpp.ac.th/elearning/elearning3/book-04.html>)

### 1. ตัวเหนี่ยวนำอากาศ (Air Core Inductor)



รูปที่ 2.3 ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ

(อ้างอิงโดย [http://www.everychina.com/m-precision-tv-remote-control?cpc\\_kw=precision%20attachment&cpc\\_flag=c66082](http://www.everychina.com/m-precision-tv-remote-control?cpc_kw=precision%20attachment&cpc_flag=c66082))

ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองทำมาจากวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น คาร์บอน พลาสติก ไฟเบอร์ และ PVC เป็นต้น หรืออาจพันลอยๆ ไว้โดยไม่มีอะไรรองรับ ตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้นิยมนำไปใช้งานกับพวกความถี่สูงๆ หรือความถี่วิทยุ (RF) จึงมักเรียกตัวเหนี่ยวนำประเภทนี้ว่า RF โข้ก ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศเป็นตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ เพราะแกนไม่สามารถช่วยเสริมค่าความเหนี่ยวนำได้ การจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นต้องใช้จำนวนรอบในการพันขดลวดเพิ่มขึ้น

### 2. ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัด (Powdered - Iron Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัด เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยผงเหล็กชนิดอัดแน่น โดยนำผงเหล็กผสมกับกาวอัดแน่นเป็นแท่ง ช่วยลดการสูญเสียสัญญาณจากกระแสไหลวน (Eddy Current) ลงได้ สัญญาณส่งผ่านตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็กอัดได้สูงขึ้น เกิดการสูญเสียสัญญาณภายในตัวเหนี่ยวนำลดลง ใช้งานได้ดีในย่านความถี่สูงๆ มีความเหนี่ยวนำสูงแต่มีขนาดเล็ก

### 3. ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยเฟอร์ไรต์ ส่วนผสมของเฟอร์ไรต์มีความแตกต่างกันหลายอย่าง เช่น แมกนีเซียมกับสังกะสี แมกนีเซียมกับแมงกานีส แมกนีเซียมกับทองแดง นิกเกิลกับสังกะสี และแมงกานีสกับสังกะสี เป็นต้น แต่ละชนิดของเฟอร์ไรต์ให้ความเข้มของค่าความเหนี่ยวนำแตกต่างกัน ข้อดีของตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรต์ คือ สามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆ ได้ ใช้งานได้ดีทั้งความถี่ต่ำและความถี่สูง

### 4. ตัวเหนี่ยวนำแกนทอรอยด์ (Toroidal Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนทอรอยด์ เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยผลึกชนิดอัดแน่น หรือเฟอร์ไรต์ โดยสร้างขึ้นเป็นรูปวงแหวน ขดลวดถูกพันรอบแกนทอรอยด์โดยรอบ ข้อดีของการใช้แกนทอรอยด์ คือเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่แพร่กระจายออกไปภายนอก และ

สนามแม่เหล็กจากภายนอกก็ไม่เข้ามารบกวน สามารถทำให้ตัวเหนี่ยวนำแบบนี้มีความเหนี่ยวนำสูงในขนาดที่สร้างได้เล็กลง นิยมนำไปใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง ที่ต้องการหาค่าความเหนี่ยวนำสูงและมีสนามแม่เหล็กรบกวนต่ำ

#### 5. ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็ก (Laminated - Iron Core Inductor)

ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็กแผ่น เป็นตัวเหนี่ยวนำที่แกนหรือฐานรองรับเส้นลวดทำด้วยเหล็กแผ่นบางวางซ้อนกัน เหล็กแผ่นบางแต่ละแผ่นเคลือบฉนวนไว้ เพื่อช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนและช่วยทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น การใช้งานนิยมนำไปใช้งานในย่านความถี่ต่ำในย่านความถี่เสียง (AF) มักเรียกว่า AF โช้ก เช่นใช้เป็นตัวกรองไฟ (Filter) แรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรง เป็นต้น

### 2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความเหนี่ยวนำ

ค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปร 4 ประการคือ

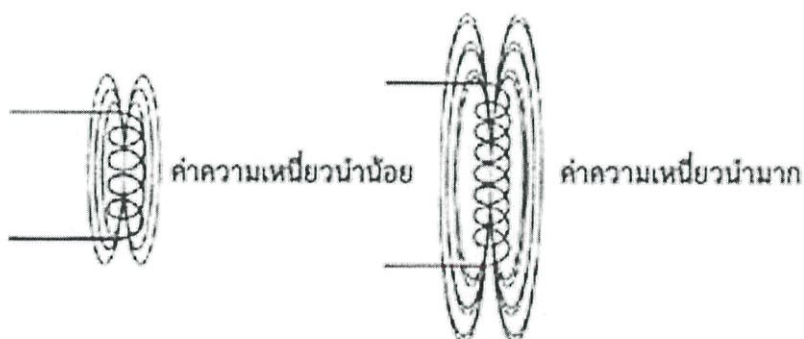
#### 1. จำนวนรอบของขดลวด

ถ้าตัวเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดก็จะเกิดขึ้นมากด้วย สนามแม่เหล็กปริมาณมากนี้ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในตัวเหนี่ยวนำที่เรียกว่า "Counter EMF หรือ Back EMF" และจากการที่มีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนมากตัดกับขดลวด จึงส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำมากตามไปด้วย ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด (N) ดังสมการที่ 2.1

$$L \propto N \quad (2.1)$$

โดยที่ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ

N คือ จำนวนรอบของขดลวด



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ

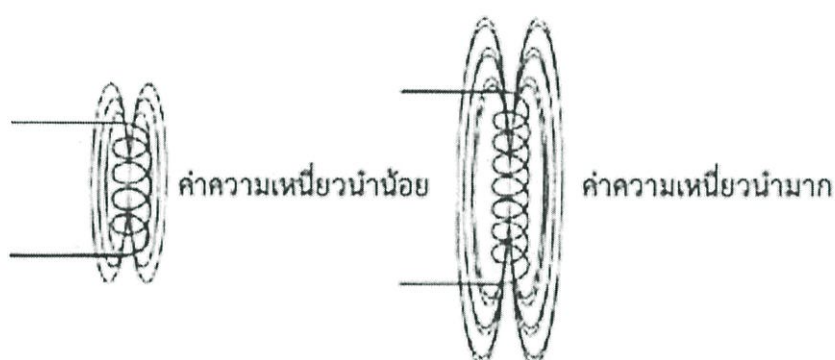
(อ้างอิงโดย <http://eakza.igetweb.com/index.php?lite=article&qid=585909>)

## 2. พื้นที่ของขดลวด

ถ้าพื้นที่ของขดลวดเพิ่มขึ้นสำหรับขดลวดที่มีจำนวนรอบใดๆ ดังแสดงในรูป จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีจำนวนมากขึ้นด้วย และการมีสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำ (L) จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ของขดลวด (A) ดังสมการที่ 2.2

$$L \propto A \quad (2.2)$$

โดยที่ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ  
A คือ พื้นที่ของขดลวด



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ

(อ้างอิงโดย <http://eakza.igetweb.com/index.php?lite=article&qid=585909>)

## 3. ความยาวของขดลวด

ถ้าทำให้ขดลวดจำนวน 4 รอบ ขยายพื้นที่ออก (นั่นคือความยาวของขดลวดเพิ่มขึ้น) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละขดจะมีปริมาณลดลงในทางกลับกันถ้าขดลวดที่มีจำนวนเท่าเดิมนี้นำมาพันให้อยู่ชิดกันมากขึ้น (ความยาวของขดลวดสั้นลง) สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดในแต่ละขดจะเสริมซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวของขดลวด ดังสมการที่ 2.3

$$L \propto \frac{1}{l} \quad (2.3)$$

โดยที่ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ  
l คือ ความยาวของขดลวด



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ  
(อ้างอิงโดย <http://eakza.igetweb.com/index.php?lite=article&qid=585909>)

#### 4. วัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวด ( $\mu$ )

ตัวเหนี่ยวนำส่วนมากมีแกนที่ทำจากวัสดุจำพวกนิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก เฟอร์ไรต์ หรือ อัลลอย ซึ่งแกนเหล่านี้มีคุณสมบัติที่จะช่วยรวมหรือเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นค่าความซาบซึมได้ (Permeability) จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความเหนี่ยวนำ โดยถ้าค่าความซาบซึมได้ของวัสดุที่ใช้ทำแกนมีค่ามาก ก็จะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของวัสดุหลายชนิดที่นำมาใช้ทำแกน

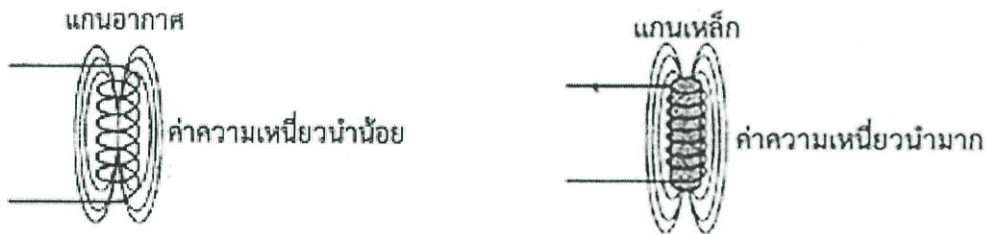
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างความซาบซึมได้ของวัสดุชนิดต่างๆ

ค่าความซาบซึมได้ของวัสดุชนิดต่างๆ	
วัสดุ	ค่าความซาบซึมได้ ( $\mu$ )
อากาศหรือสุญญากาศ	$1.26 \times 10^{-5}$
นิกเกิล	$6.28 \times 10^{-5}$
เดบอลต์	$7.56 \times 10^{-5}$
เหล็กหล่อ	$1.1 \times 10^{-4}$
เหล็กแท่ง	$5.56 \times 10^{-4}$
แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า	$6.9 \times 10^{-3}$
เหล็กซิลิกอน	$8.8 \times 10^{-3}$
เฟอร์มาลอย	0.126
ซูเปอร์เฟอร์มาลอย	1.26

$$L \propto \mu \quad (2.4)$$

โดยที่  $L$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำ

$\mu$  คือ ค่าความซึมซาบได้ของชนิดของแกน



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุที่นำมาทำแกนภายในขดลวดกับค่าความเหนี่ยวนำ  
(อ้างอิงโดย <http://eakza.igetweb.com/index.php?lite=article&qid=585909>)

### 2.3.3 สูตรการเหนี่ยวนำขดลวดแกนอากาศ

#### 1. ขดลวดแบบแกนอากาศทรงกระบอก

$$L = \frac{1}{l} \mu_0 K N^2 A \quad (2.5)$$

โดยที่  $L$  = ค่าการเหนี่ยวนำหน่วยเป็น henry (H)

$\mu_0$  = ค่าการซึมผ่านของอากาศ =  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m

$K$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Nagaoka

$N$  = จำนวนรอบ

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของขดลวดเป็นตารางเมตร ( $m^2$ )

$l$  = ความยาวของขดลวดเป็นเมตร (m)

#### 2. ขดลวดแกนอากาศทรงกระบอกสั้น

$$L = \frac{r^2 N^2}{9r + 10l} \quad (2.6)$$

โดยที่  $L$  = ค่าการเหนี่ยวนำ ( $\mu H$ )

$r$  = รัศมีด้านนอกของขดลวด (in)

$l$  = ความยาวของขดลวด (in)

$N$  = จำนวนรอบ

## 3. ขดลวดแกนอากาศหลายชั้น

$$L = \frac{4}{5} \cdot \frac{r^2 N^2}{6r+9l+10d} \quad (2.7)$$

โดยที่  $L$  = ค่าการเหนี่ยวนำ ( $\mu\text{H}$ )

$r$  = รัศมีเฉลี่ยของขดลวด (in)

$l$  = ความยาวจริงของขดลวดของขดลวด (in)

$N$  = จำนวนรอบ

$d$  = ความลึกของขดลวด (รัศมีนอกลบด้วยรัศมีใน) (in)

## 4. ขดลวดแกนอากาศเกลียวแบน

$$L = \frac{r^2 N^2}{20r+28d} \quad (2.8)$$

โดยที่  $L$  = ค่าการเหนี่ยวนำ ( $\mu\text{H}$ )

$r$  = รัศมีเฉลี่ยของขดลวด (cm)

$N$  = จำนวนรอบ

$d$  = ความลึกของขดลวด (รัศมีนอกลบด้วยรัศมีใน) (cm)

หมายเหตุ แม่นยำถึงภายใน 5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ  $d > 0.2 r$ .

$$L = \frac{r^2 N^2}{8r+11d} \quad (2.9)$$

โดยที่  $L$  = ค่าการเหนี่ยวนำ ( $\mu\text{H}$ )

$r$  = รัศมีเฉลี่ยของขดลวด (in)

$N$  = จำนวนรอบ

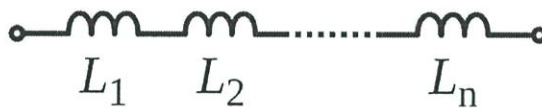
$d$  = ความลึกของขดลวด (รัศมีนอกลบด้วยรัศมีใน) (in)

### 2.3.4 การต่อตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่ด้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในวงจร การต่อตัวเหนี่ยวนำจะมีรูปแบบการต่อเช่นเดียวกับการต่อตัวต้านทาน นั่นคือ ต่อแบบอนุกรมหรืออันดับ และต่อแบบขนาน กรณีนี้ตัวเหนี่ยวนำจำนวน 2 ตัว หรือมากกว่ามาต่อกันแบบอนุกรมจะเป็นการเพิ่มความยาวให้กับขดลวด และทำให้ค่าความเหนี่ยวนำรวมเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน การหาค่าความเหนี่ยวนำรวมจะใช้วิธีคำนวณเช่นเดียวกับวิธีของตัวต้านทาน โดยที่ค่าความเหนี่ยวนำรวมที่ได้ จะมีค่าน้อยกว่าค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าร้อยละน้อยที่สุดในวงจร

1. การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรมหรือแบบอันดับ คือการนำเอาตัวเหนี่ยวนำตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมาต่ออนุกรมหรืออันดับ การต่อลักษณะนี้เป็นการเพิ่มความยาว ให้กับขดลวด มีผลทำให้ค่าความเหนี่ยวนำรวมเพิ่มขึ้น ค่าความเหนี่ยวนำรวมหาได้จากสมการที่ 2.10

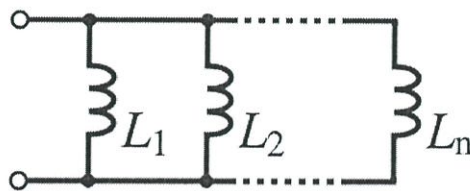
$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.8 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบอนุกรมหรืออันดับ  
(อ้างอิงโดย <http://www.wikiwand.com/th/ตัวเหนี่ยวนำ>)

2. การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน คือการนำเอาตัวเหนี่ยวนำตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมาต่อขนานกัน ค่าความเหนี่ยวนำรวมทั้งหมด จะมีค่าน้อยกว่าค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าน้อยที่สุดที่ต่ออยู่ในวงจร ค่าความเหนี่ยวนำรวมหาได้จากสมการที่ 2.11

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.9 การต่อตัวเหนี่ยวนำแบบขนาน  
(อ้างอิงโดย <http://www.wikiwand.com/th/ตัวเหนี่ยวนำ>)

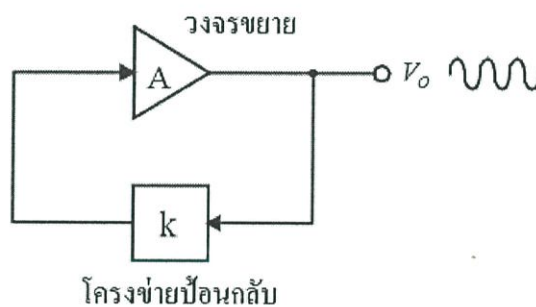
## 2.4 วงจรออสซิลเลเตอร์เบื้องต้น

ออสซิลเลเตอร์มีความหมายในตัวเอง แปลว่าที่แกว่งไปแกว่งมา สำหรับกรณีของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ออสซิลเลเตอร์มีความหมายถึงการเปลี่ยนไปมาของแรงดันหรือกระแสระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด หรือกล่าวได้ง่ายๆ คือเป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณนั่นเอง

วงจรออสซิลเลเตอร์ส่วนใหญ่จะให้สัญญาณรูปไซน์ ดังนั้นวงจรออสซิลเลเตอร์จึงถูกนำมาใช้งานในวงจรเครื่องส่ง วงจรสร้างสัญญาณเสียงดนตรีวงจรในเครื่องมือสร้างสัญญาณเสียงเป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณความถี่ต่างๆ นอกจากนี้วงจรออสซิลเลเตอร์ยังเป็นวงจรในส่วนประกอบย่อยของวงจรอื่นๆ อีกเป็นจำนวนมาก

การกำเนิดสัญญาณด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์มีหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็มีลักษณะสำคัญพิเศษอื่นๆ ประกอบด้วยเช่นให้ความถี่ต่างๆ หรือให้ความถี่สูงๆ ดีเสถียรภาพทางความถี่ดีการปรับความถี่เป็นไปได้ยากหรือง่าย เป็นต้น

หลักการของวงจรออสซิลเลเตอร์นี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ วงจรขยายและโครงข่ายป้อนกลับ (Feedback Network)



รูปที่ 2.10 แผนผังของวงจรออสซิลเลเตอร์

ที่มา : [http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_oscillator](http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_oscillator)

เมื่อเริ่มจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์จะมีสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าที่อินพุตของโครงข่ายป้อนกลับ วงจรนี้ทำหน้าที่เลือกความถี่จากสัญญาณไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบความถี่อยู่มากมายออกมาที่เอาต์พุต สัญญาณนี้จะถูกขยายด้วยวงจรขยายจนมีขนาดของสัญญาณสูงขึ้น และสัญญาณนี้จะถูกขยายไปเรื่อยๆ จนขนาดของสัญญาณคงที่ที่ค่าๆ หนึ่ง ที่จุดนี้เราเรียกว่าสภาวะคงตัว (Steady state)

ในทางปฏิบัติแล้ววงจรส่วนนี้สร้างจากตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่กำหนดค่าเพื่อเลือกความถี่ได้ ส่วนวงจรขยายนั่นอาจจะสร้างจากทรานซิสเตอร์หรือออปแอมป์ (Op Amp) ก็ได้

สัญญาณไซน์เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่นิยมใช้งานมากทั้งในด้านระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ หรือในการทดลองต่างๆ การผลิตสัญญาณไซน์เพื่อใช้งานเราจะใช้วงจรผลิตสัญญาณไซน์โดยใช่วงจร

ออสซิลเลเตอร์ วงจรนี้จะผลิตสัญญาณไซน์ได้โดยไม่ต้องใช้สัญญาณอินพุตจากภายนอกแต่สัญญาณเริ่มต้นในการกำเนิดสัญญาณมาจากไฟเลี้ยงของวงจร โดยความถี่และขนาดของสัญญาณสามารถกำหนดได้จากความต้องการของผู้ใช้

การสร้างวงจรถูกกำเนิดสัญญาณรูปไซน์แบบที่ง่ายที่สุด ทำได้โดยให้วงจรขยายที่มี อัตราขยายสูงเช่น ออปแอมป์ต่อกับอุปกรณ์พาสซีฟ RC หรือ LC ในลักษณะป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) ความถี่ของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ลักษณะนี้ ควบคุมได้โดยการปรับค่าความต้านทาน (R) และ/หรือค่าความเก็บประจุ (C) บางตัวในวงจร

## 2.5 วงจรกรองสัญญาณ

วงจรฟิลเตอร์ (Filter Circuit) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับกรองกระแสและแรงดันจากวงจรเรกติไฟร์ให้เรียบเพื่อให้สามารถนำไปใช้งาน เนื่องจากแรงดันที่ได้จากวงจรเรกติไฟร์ที่เรียกว่าพัลส์เซตติงดีซี (Pulsating D.C) นั้นยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เพราะแรงไฟที่ได้อาจยังมีลักษณะที่เป็นรูปคลื่น ซึ่งจะทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เกิดปัญหาในการทำงาน ดังนั้นจะต้องทำแรงดันที่เป็นคลื่นเรียบเสียก่อนโดยวงจรฟิลเตอร์วงจรกรองสัญญาณที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือวงจรคาปาซิเตอร์ในการกรองสัญญาณฟิลเตอร์จะทำหน้าที่กรองแรงดันที่ได้จากวงจรเรกติไฟร์ให้เรียบ เพื่อที่จะนำแรงดันนั้นไปใช้งาน วงจรกรองสัญญาณจะอยู่ระหว่างวงจรเรกติไฟร์กับโหลด ดังรูปที่ 2.11



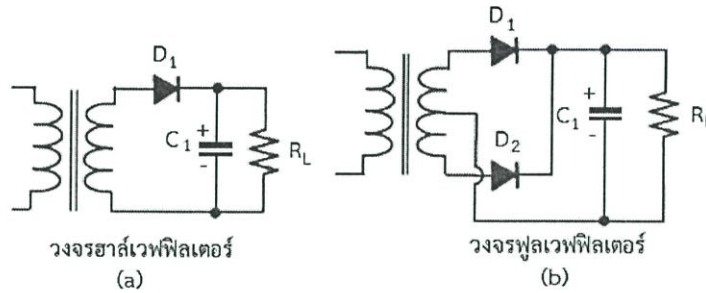
รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมวงจรกรองสัญญาณ

(อ้างอิงโดย [http://km.cric.ac.th/files/10112911113603661\\_10122215154115.pdf](http://km.cric.ac.th/files/10112911113603661_10122215154115.pdf))

การกรองกระแสหรือแรงดันทำได้โดยการต่อตัวเก็บประจุขนานกับโหลด หรือต่อไข้ก หรืออินดักเตอร์อนุกรมกับโหลดโดยตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่กรองแรงดันให้เรียบเรียกว่าคาปาซิเตอร์ในการกรองสัญญาณ หรืออินดักเตอร์ทำหน้าที่กรองกระแสให้เรียบเรียกว่าขดลวดเหนี่ยวนำในการกรองสัญญาณ (Inductor Filter)

### 1. วงจรคาปาซิเตอร์ (Capacitor Filter Circuit)

เป็นวงจรกรองสัญญาณที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันทำหน้าที่กรองแรงดันให้เรียบ ตัวเก็บประจุกรองสัญญาณจะทำการเก็บประจุเมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าน้อยกว่าแหล่งจ่าย และจะทำการคายประจุให้กับโหลดเมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่ามากกว่าแหล่งจ่าย ดังนั้นเมื่อมีแรงดันจากวงจรเรกติไฟร์มาป้อนที่วงจรฟิลเตอร์จะทำให้ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุและเมื่อไม่มีแรงดันจากวงจรเรกติไฟร์ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่ในการคายประจุให้กับโหลด



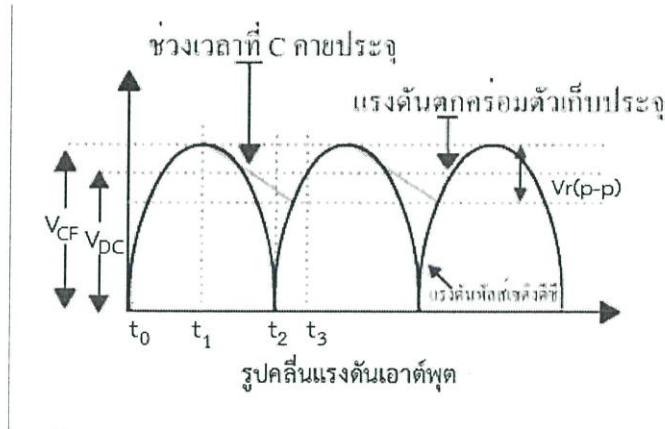
รูปที่ 2.12 วงจรกรองสัญญาณ

(อ้างอิงโดย [http://km.cric.ac.th/files/10112911113603661\\_10122215154115.pdf](http://km.cric.ac.th/files/10112911113603661_10122215154115.pdf))

รูปที่ 2.12 (a) เป็นวงจรแบบครึ่งคลื่นเรกติไฟร์ ซึ่งมี  $D_1$  ทำหน้าที่เรียงกระแส และ  $C_1$  เป็นตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่กรองแรงดันจากวงจรเรกติไฟร์ โดยมีตัวต้านทาน  $R_L$  เป็นโหลดเพื่อรับค่าแรงดันที่ได้ส่วนรูปที่ 2.12 (b) เป็นวงจรแบบเต็มคลื่นเรกติไฟร์ โดยมี  $D_1$  และ  $D_2$  ทำหน้าที่เรียงกระแสและมี  $C_1$  เป็นวงจรฟิลเตอร์ทำหน้าที่กรองแรงดัน

เมื่อมีแรงดันพัลส์เซตติงดีซีจากวงจรเรกติไฟร์ป้อนเข้าวงจรกรองสัญญาณตัวเก็บประจุจะทำการเก็บประจุทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุสูงขึ้นจนค่า  $V_m$  จากนั้นแรงดันพัลส์เซตติงดีซีที่มีค่าสูงสุดจะมีค่าลดลงเหลือศูนย์โวลต์ในช่วงเวลานี้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่ามากกว่าแรงดันพัลส์เซตติงดีซีทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุให้กับโหลดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าลดลงจนแรงดันพัลส์เซตติงดีซีมีค่าเพิ่มขึ้นอีก (แต่ในช่วงแรกๆ แรงดันพัลส์เซตติงดีซียังมีค่าน้อยตัวเก็บประจุจะยังคงคายประจุ) เมื่อแรงดันพัลส์เซตติงดีซีจากวงจรเรกติไฟร์มีค่ามากกว่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะทำให้ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุอีกครั้งจนแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าถึงค่า  $V_m$  หลังจากนั้น ตัวเก็บประจุจะทำการคายประจุอีกครั้ง

ที่เวลา  $t_0$  แรงดันพัลส์เซตติงดีซีจะมีค่าเป็นศูนย์และแรงดันตกคร่อม  $C_1$  มีค่าเป็นศูนย์โวลต์เมื่อเวลาผ่านไป  $(t_0-t_1)$  แรงดันพัลส์เซตติงดีซีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ  $C_1$  จะทำการเก็บประจุทำให้แรงดันตกคร่อม  $C_1$  มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดันพัลส์เซตติงดีซี



รูปที่ 2.13 การทำงานของวงจรคาปาซิเตอร์ในการกรองสัญญาณ

(อ้างอิงโดย [http://km.cric.ac.th/files/10112911113603661\\_10122215154115.pdf](http://km.cric.ac.th/files/10112911113603661_10122215154115.pdf))

เมื่อเวลา  $t_1$  แรงดันพัลส์เซตติงมีค่าเท่ากับค่า  $V_m$  ดังนั้น  $C_1$  จะเก็บประจุแรงดันตกคร่อมคือ  $V_{C_1} = V_m$  ด้วย หลังจากนั้นแรงดันพัลส์เซตติงจะมีค่าลดลง  $C_1$  จะทำการคายประจุให้กับโหลดที่เวลา  $t_2$  แรงดันพัลส์เซตติงมีค่าเท่ากับศูนย์  $C_1$  ยังคงคายประจุให้กับโหลดเนื่องจากแรงดันตกคร่อม  $C_1$  มีค่ามากกว่าแรงดันพัลส์เซตติงขึ้นเมื่อเวลา  $t_3$  แรงดันพัลส์เซตติงมีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่ามากกว่า แรงดันตกคร่อม  $C_1$  ตัวเก็บประจุ  $C_1$  จะเริ่มทำการเก็บประจุอีกครั้ง ซึ่งแรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อม  $C_1$  จะคำนวณได้จากสมการ

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r(p-p)}{2} \quad (2.12)$$

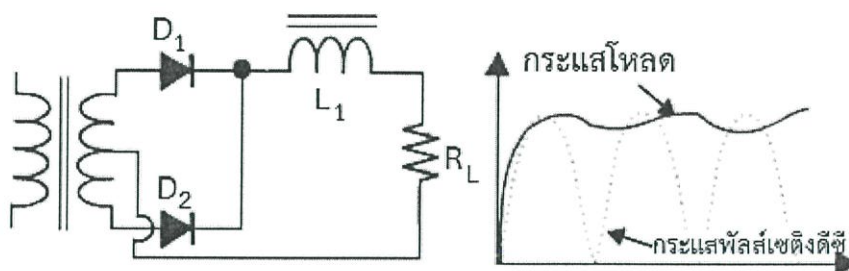
โดยที่  $V_{dc}$  คือ แรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมโหลด

$V_m$  คือ แรงดันพีกสูงสุดที่ขดทุติยภูมิของหม้อแปลงซึ่งมีหน่วยเป็น  $V_p$

$V_r(p-p)$  คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่มีค่าสูงสุดเนื่องจากการเก็บประจุและเปลี่ยนแปลงต่ำสุดเนื่องจากการคายประจุให้กับโหลดของ  $C_1$  มีหน่วยเป็น  $V_{p-p}$

## 2. วงจรขดลวดเหนี่ยวนำในการกรองสัญญาณ

วงจรขดลวดเหนี่ยวนำในการกรองสัญญาณหรือบางครั้งเรียกว่าโชกฟิลเตอร์ จะต่ออนุกรมกับโหลดของวงจรเรกติไฟร์ซึ่งขดลวดหรือโชกจะมีคุณสมบัติในการต้านการไหลของกระแสทำให้กระแสเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า



รูปที่ 2.14 วงจรขดลวดเหนี่ยวนำในการกรองสัญญาณ

(อ้างอิงโดย [http://km.cric.ac.th/files/10112911113603661\\_10122215154115.pdf](http://km.cric.ac.th/files/10112911113603661_10122215154115.pdf))

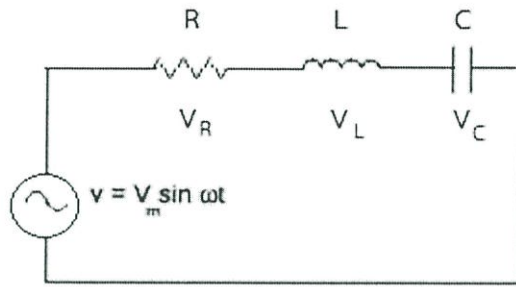
ในขณะที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดและโหลดของวงจร จะทำให้ระยะเวลาในการไหลของกระแสหน่วงออกไปเนื่องจากค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (Inductive Reactance) ของขดลวด ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (EMF) จะคอยต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสในตอนแรกค่าอินดักทีฟจะต้านการไหลของกระแสให้ไหลผ่านไปอย่างช้าๆ และในช่วงหลังจะพยายามหน่วงเหนี่ยวกระแสให้ลดลงอย่างช้าๆ

เมื่อมีแรงดันป้อนจากขดลวดทุติยภูมิทำให้ไดโอดนำกระแส ดังนั้นจะมีกระแสไหลผ่านไดโอดผ่านขดลวดทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด  $R_L$  ในขณะที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดนั้น เนื่องจากกระแสมีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจึงทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ที่ขดลวดขยายตัวออกตัดกับขดลวดเกิดค่า EMF ขึ้น ค่า EMF จะคอยต้านการไหลของกระแสให้มีความเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระแสที่ไหลผ่านไดโอดมีค่าสูงสุด จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดขยายถึงจุดอิ่มตัวและเมื่อกระแสที่ไหลผ่านไดโอดมีค่าลดลงจากค่าสูงสุดจะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กยุบตัวลงตัดกับขดลวดอีกครั้ง ทำให้เกิดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (Back EMF) ขึ้น ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับจะคอยหน่วงให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดมีค่าลดลงอย่างช้าๆ

## 2.6 การต่อวงจร RLC แบบอนุกรมและขนาน

### 2.6.1 การต่อ RLC แบบอนุกรม

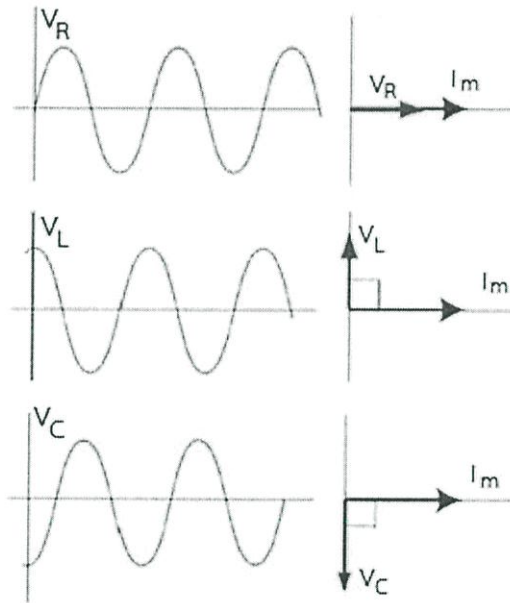
เมื่อนำตัวต้านทานขดลวดเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุมาต่ออนุกรม แล้วต่อปลายทั้งสองที่เหลือของวงจรเข้ากับแหล่งจ่ายไฟสลับที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า  $v = V_m \sin \omega t$  ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจร RLC แบบอนุกรม

(อ้างอิงโดย <https://sites.google.com/site/physicsbydreammy/kar-tx-wngcrrlc-baeb-xnukrm-laea-khnan>)

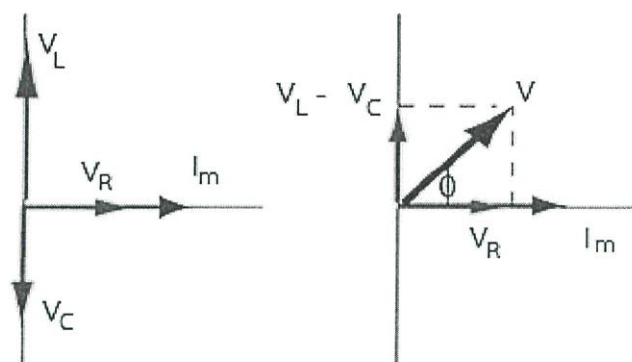
เมื่อ  $V_R$   $V_L$  และ  $V_C$  คือความต่างศักย์ค่าสูงสุด (Voltage Amplitude) ที่ตกคร่อมอุปกรณ์แต่ละตัว



รูปที่ 2.16 รูปสัญญาณไซน์ที่แสดงค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อม R L และ C

(อ้างอิงโดย <https://sites.google.com/site/physicsbydreammy/kar-tx-wngcrrlc-baeb-xnukrm-laea-khnan>)

ผลรวมของความต่างศักย์ที่ตกคร่อมอุปกรณ์ทั้งสามชิ้นไม่สามารถรวมกันแบบ พีชคณิตเพราะต่างมีเฟสไม่ตรงกัน จะต้องใช้แผนภาพแสดงเฟสช่วยในการรวม

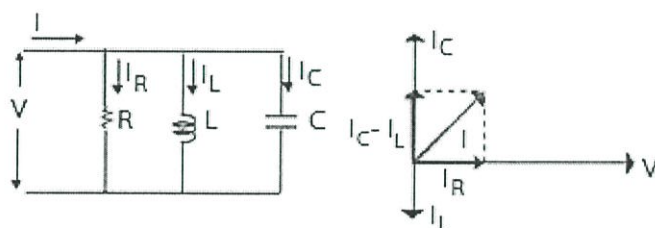


รูปที่ 2.17 เฟสของความต่างศักย์ที่ตกคร่อมอุปกรณ์แต่ละตัว

(อ้างอิงโดย <https://sites.google.com/site/physicsbydreammy/kar-tx-wngcrrlc-baeb-xnukrm-laea-khnan>)

### 2.6.2 การต่อ RLC แบบขนาน

อุปกรณ์ต่าง ๆ เมื่อต่อกันแบบขนานคร่อมกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ สามารถวิเคราะห์วงจรได้เช่นเดียวกับการต่อแบบอนุกรม แต่จะใช้กฎเกี่ยวกับกระแสของเคอร์ชอฟ (Kirchhoff's Current Law หรือ KCL) ช่วยในการวิเคราะห์



รูปที่ 2.18 วงจร RLC ต่อแบบขนาน และแผนภาพสามเหลี่ยมของกระแสในวงจร

(อ้างอิงโดย <https://sites.google.com/site/physicsbydreammy/kar-tx-wngcrrlc-baeb-xnukrm-laea-khnan>)

เพราะตัวต้านทาน ขดลวดและตัวเก็บประจุต่อขนานกันแล้วนำไปต่อกับแหล่งจ่ายไฟสลับ ดังนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คร่อมอุปกรณ์แต่ละชิ้นจึงมีค่าเท่ากัน แต่เฟสของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน ขดลวดและตัวเก็บประจุจะไม่เหมือนกัน การเขียนแผนภาพแสดงเฟสจะใช้กระแสแสดงความต่างเฟส (ไม่เหมือนกับการต่อแบบอนุกรม ซึ่งใช้ ความต่างศักย์แสดงความต่างเฟสในแผนภาพ) กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ( $R$ )

$$IR = \frac{V}{R} \text{ มีเฟสตรงกับ } V \quad (2.13)$$

กระแสที่ไหลผ่านขดลวด (L)

$$IL = \frac{V}{X_L} \text{ ตามหลังความต่างศักย์ } 90 \text{ องศา} \quad (2.14)$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ (C)

$$IC = \frac{V}{X_C} \text{ นำหน้าความต่างศักย์ } 90 \text{ องศาจากแผนภาพแสดงเฟส} \quad (2.15)$$

จะเห็นว่ากระแสรวมของวงจร คือ I (สมมติว่า  $IC > IL$ )

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} \quad (2.16)$$

$$I = \sqrt{\left(\frac{V}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2} \quad (2.17)$$

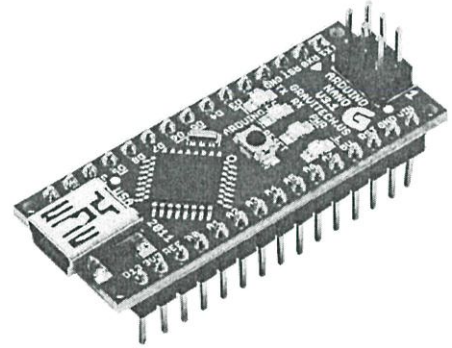
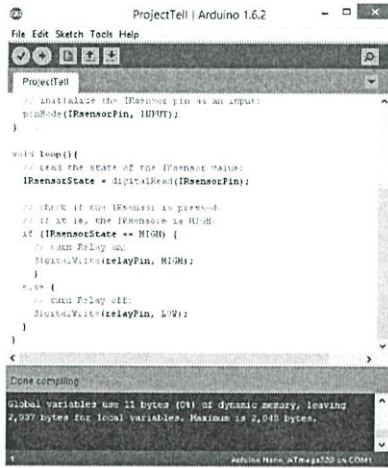
$$I = V \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2} \quad (2.18)$$

## 2.7 Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open โดยตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ผู้ใช้งานสามารถดัดแปลงพัฒนาทั้งตัวบอร์ดและโปรแกรมต่อได้อย่างอิสระ

ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

## 2.7.1 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino



Computer

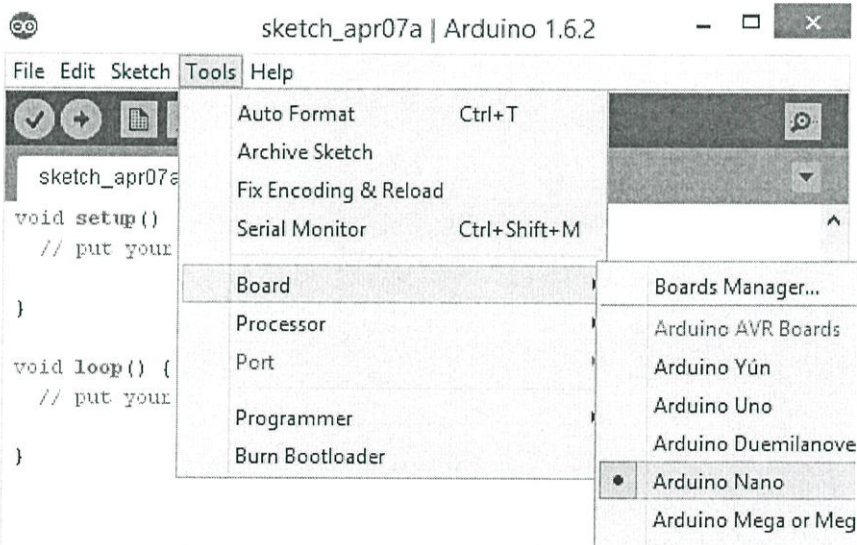
เชื่อมต่อผ่านUSB  
↔

Arduino

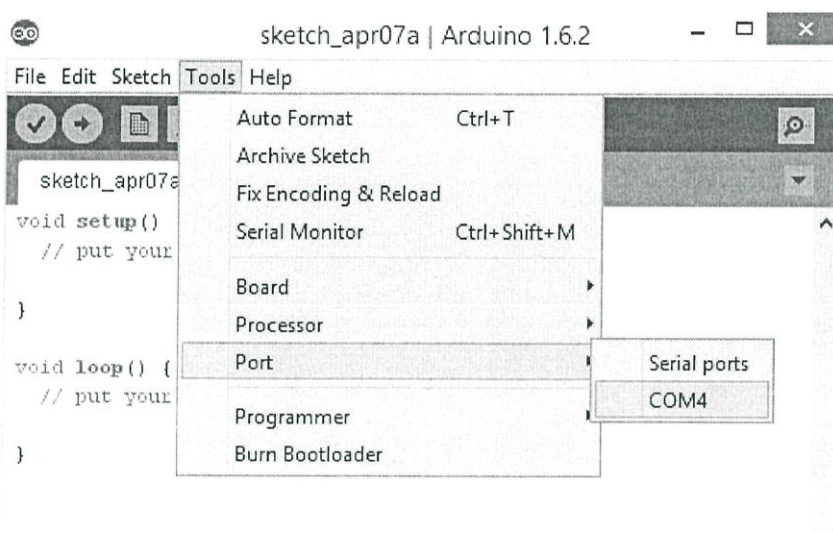
รูปที่ 2.19 รูปแสดงการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรมการทำงาน

1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE
2. เมื่อเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานจะต้องเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และ

หมายเลขคอมพอด

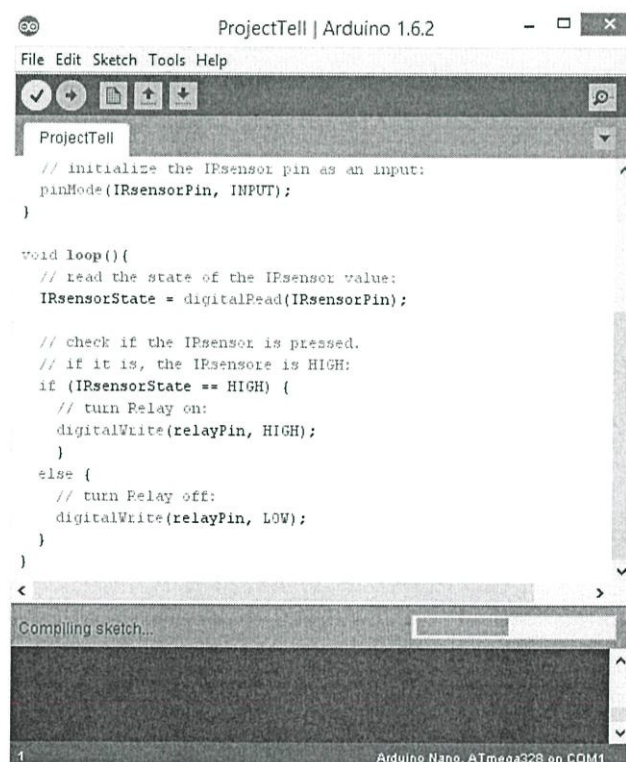


รูปที่ 2.20 เลือกุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการอัปโหลด



รูปที่ 2.21 เลือกหมายเลขคอมพอร์ตของบอร์ด

3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคอมไพล์โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



รูปที่ 2.22 กดปุ่ม verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคอมไพล์โค้ดโปรแกรม

```

void setup()
{
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(Relay1, OUTPUT);
}

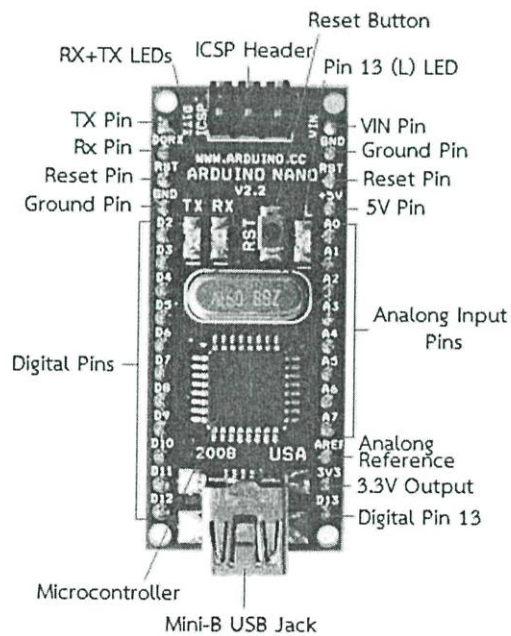
// the loop routine runs over and over again forever:
void loop()
{
  digitalWrite(Relay1, HIGH);
  delay(5595);
  digitalWrite(Relay1, LOW);
  delay(5000);
  digitalWrite(Relay1, HIGH);
  delay(4380);
  digitalWrite(Relay1, LOW);
  delay(5000);
}

```

Compiling sketch...

Arduino Nano, ATmega328 on COM1

รูปที่ 2.23 อัฟโหลดโค้ดโปรแกรม



รูปที่ 2.24 รูปแบบและตำแหน่งการใช้งาน Arduino Nano Board

(อ้างอิงโดย <http://electronics.stackexchange.com/questions/60199/powering-arduino-nano-12volts>)

## 2.8 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ (Photoelectric Sensors)

เซนเซอร์ชนิดหนึ่งที่ใช้ลำแสงในการตรวจจับวัตถุ สามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกชนิด มีระยะตรวจจับวัตถุไกล เวลาตอบสนองรวดเร็ว ใช้กับงานที่ต้องการความเร็วในการตรวจจับสูง และตรวจจับวัตถุได้โดยไม่ต้องสัมผัส หลักการทำงานคือจะตรวจจับการปรากฏของวัตถุ โดยการที่วัตถุตัดผ่านลำแสงหรือสะท้อนแสงที่สร้างขึ้นจากตัวเซนเซอร์ ส่วนประกอบหลักของเซนเซอร์จะมีสองส่วนคือส่วนที่หนึ่งตัวส่งสัญญาณ (Emitter) ซึ่งอาจจะสร้างแสงในย่านที่ตาเรามองเห็นได้ไปจนถึงแสงอินฟราเรด แสงที่สร้างขึ้นจากเซนเซอร์จะมีความถี่เดียวเพื่อให้แตกต่างจากแสงที่อยู่รอบๆ ตัวเรา จากนั้นแสงจะถูกส่งไปทั่วรับแสง และส่วนที่สองตัวรับสัญญาณ (Receiver) ซึ่งจะทำหน้าที่แยกแยะว่ามีแสงจากแหล่งกำเนิดมาตกกระทบหรือไม่ เพื่อให้ข้อมูลในการสั่งการทำงานของวงจรเอาต์พุตในเซนเซอร์ต่อไป

### 2.8.1 คุณลักษณะโดยทั่วไป

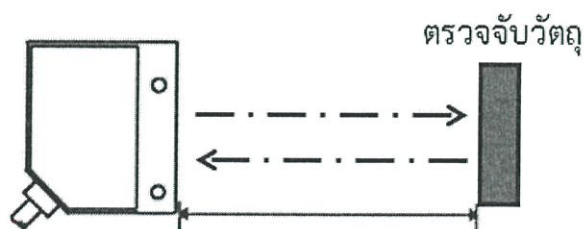
1. สามารถตรวจจับวัตถุแบบไม่ต้องสัมผัส
2. สามารถตรวจจับวัตถุมากกว่า 10 เมตร
3. สามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกชนิด
4. สามารถตรวจจับ สี, ขนาด, ความลึก, ตำแหน่ง, พื้นที่, และ อื่นๆ
5. แสดงการตอบสนองโดยการกระพริบของ LED
6. ความละเอียดสูง

ข้อควรระวังในการใช้เซนเซอร์ชนิดนี้คือ ฝุ่นละอองจะมีผลต่อความแม่นยำในการตรวจจับ ดังนั้นในการเลือกพื้นที่ในการติดตั้ง หรือการนำไปใช้งานควรคำนึงถึงเรื่องฝุ่นละอองด้วย

### 2.8.2 ประเภทโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์

โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ สามารถแบ่งได้หลักๆ 3 ประเภท คือ

1. Diffuse Mode

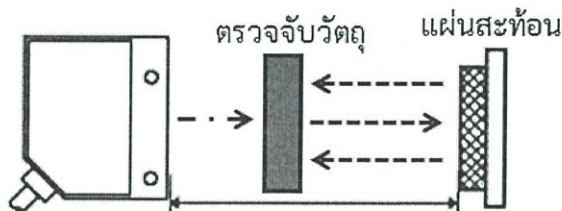


รูปที่ 2.25 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ประเภท Diffuse Mode

(อ้างอิงโดย <http://www.fargocontrols.com/proximity-sensors.html>)

เป็นเซนเซอร์ที่อาศัยหลักการยิงแสงไปที่วัตถุแล้วสะท้อนกลับมา ซึ่งเซนเซอร์ลักษณะนี้นิยมใช้งานโดยทั่วไปเนื่องจากใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย เพราะใช้ผิววัตถุที่ตรวจจับเป็นตัวสะท้อนแสงกลับมา

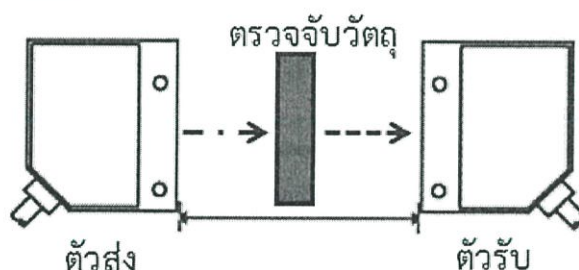
## 2. Retro reflective Mode



รูปที่ 2.26 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ประเภท Retro reflective Mode  
(อ้างอิงโดย <http://www.fargocontrols.com/proximity-sensors.html>)

เป็นเซนเซอร์ที่ต้องอาศัยแผ่นสะท้อน (Reflect) เป็นตัวสะท้อนแสงกลับมา เซนเซอร์ลักษณะนี้สามารถนำไปใช้งานได้ดีในบริเวณที่มีการจำกัดพื้นที่การติดตั้ง นอกจากนี้แผ่นสะท้อนยังส่งผลทำให้ระยะการตรวจจับวัตถุสามารถทำได้ไกลขึ้น

## 3. Opposed Mode



รูปที่ 2.27 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ประเภท Opposed Mode  
(อ้างอิงโดย <http://www.fargocontrols.com/proximity-sensors.html>)

เป็นเซนเซอร์แบบที่ใช้ตัวส่งและตัวรับ เนื่องจากเซนเซอร์ลักษณะนี้มีทั้งตัวส่งและตัวรับ ดังนั้นจึงทำให้ระยะการตรวจจับวัตถุสามารถตรวจจับได้ระยะไกลมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นมากกว่าปกติได้

จากประเภทของโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ทั้ง 3 ประเภทข้างต้น ทำให้ในเบื้องต้นเราสามารถตัดสินใจเลือกใช้รูปแบบการติดตั้งได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่สำคัญ ดังนี้

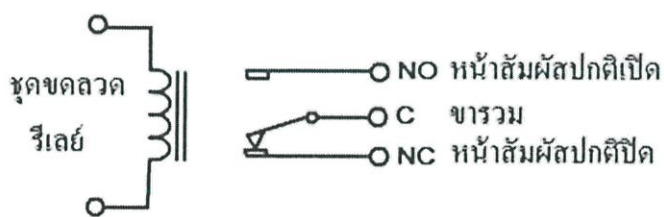
- สี พื้นผิวของวัตถุที่ตรวจจับ (Color, Surface) สีต่างๆ กัน มีผลต่อการดูดซับของแสง ลักษณะพื้นผิว เช่น ผิวมันวาว ผิวขรุขระ มีผลต่อการสะท้อนของแสง
- ความโตของลำแสง (Beam Pattern) ถ้าความโตของลำแสงมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุที่ตรวจจับ ก็จะทำให้แสงนั้นยังผ่านวัตถุไป บางครั้งทำให้ไม่สามารถตรวจจับได้ ดังนั้นความโตของลำแสงจึงต้องมีขนาดเล็กกว่าวัตถุที่ต้องการตรวจจับ

- ความแตกต่างของระดับความเข้มของวัตถุกับพื้นหลัง (Contrast) เนื่องจากโฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์จะมองเห็นวัตถุที่ต้องการตรวจจับเป็น Gray Scale หรือเป็นสีเทานั้นเอง ดังนั้นโฟโตเซนเซอร์ จะตรวจจับวัตถุที่มีค่าความแตกต่างของระดับความเข้มของวัตถุกับพื้นหลัง สูงได้ดีกว่า วัตถุที่มีค่าความแตกต่างของระดับความเข้มของวัตถุกับพื้นหลังต่ำ ทั้งนี้โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์จะมีระยะการตรวจจับที่เปลี่ยนแปลงตามสีของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ และเปลี่ยนแปลงตามประเภทของเซนเซอร์

## 2.9 รีเลย์

รีเลย์ (Relay) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่ตัดต่อวงจรแบบเดียวกับสวิตช์ โดยควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า รีเลย์มีหลายประเภทตั้งแต่รีเลย์ขนาดเล็กที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป จนถึงรีเลย์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานไฟฟ้าแรงสูง โดยมีรูปร่างหน้าตาแตกต่างกันออกไป แต่มีหลักการการทำงานที่คล้ายคลึงกันสำหรับการนำรีเลย์ไปใช้งานจะใช้ในการตัดต่อวงจร ทั้งนี้รีเลย์ยังสามารถเลือกใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ

### 2.9.1 สัญลักษณ์ในวงจรไฟฟ้าของรีเลย์



รูปที่ 2.28 สัญลักษณ์ในวงจรไฟฟ้าของรีเลย์

(อ้างอิงโดย <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/4/11/relay/relay.htm>)

ภายในรีเลย์จะประกอบไปด้วยขดลวดและหน้าสัมผัส หน้าสัมผัส NC (Normally Close) เป็นหน้าสัมผัสปกติปิด โดยในสภาวะปกติหน้าสัมผัสนี้จะต่อเข้ากับขา COM (Common) และจะลดยหรือไม่สัมผัสกันเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด

หน้าสัมผัส NO (Normally Open) เป็นหน้าสัมผัสปกติเปิด โดยในสภาวะปกติจะลดยอยู่ไม่ถูกต่อกับขา COM (Common) แต่จะเชื่อมต่อกันเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด

ขา COM (Common) เป็นขาที่ถูกใช้งานร่วมกันระหว่าง NC และ NO ขึ้นอยู่กับว่า ขณะนั้นมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดหรือไม่ หน้าสัมผัสในรีเลย์ 1 ตัวอาจมีมากกว่า 1 ชุด ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต และลักษณะของงานที่ถูกนำไปใช้

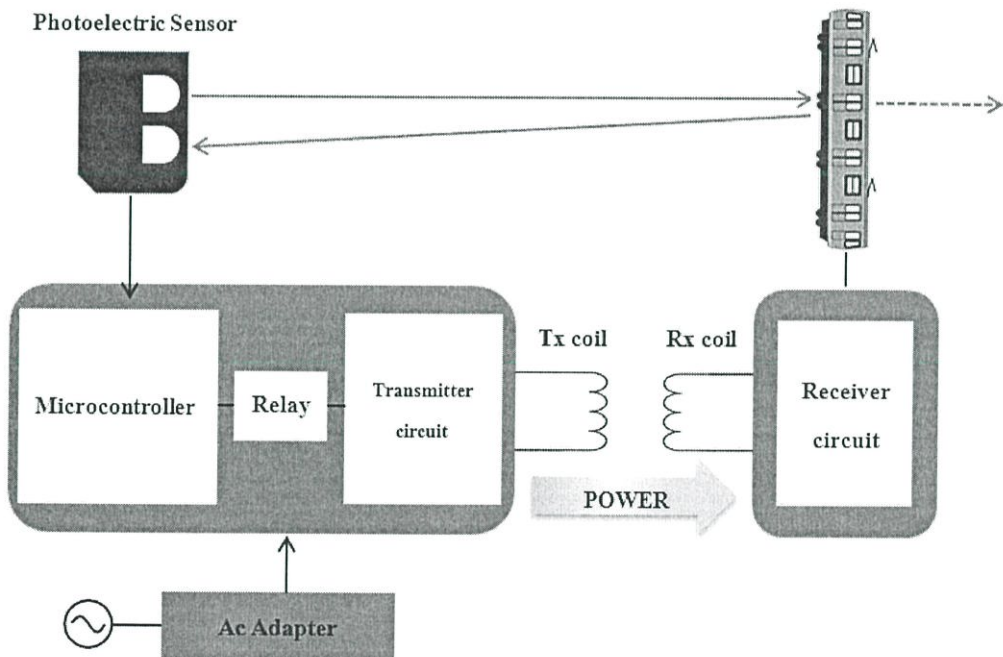
## บทที่ 3

### การออกแบบระบบ

#### 3.1 ภาพรวมโครงการ

แบบจำลองระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า เป็นแบบจำลองระบบการชาร์จพลังงานจากแหล่งจ่ายเข้าสู่แบตเตอรี่ของยานพาหนะไฟฟ้าโดยไม่มีการสัมผัสทำให้ไม่ต้องต่อสายไฟระหว่างแหล่งจ่ายและตัวรถ มีกลไกการส่งต่อพลังงานโดยใช้ขดลวดเหนี่ยวนำ หลักการคือขดลวดด้านส่ง (Primary coils) เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นสนามแม่เหล็กแผ่ออกไปยังขดลวดด้านรับ (Secondary coils) เพียงยานพาหนะเข้ามาหยุดอยู่ในระยะที่กำหนดก็จะชาร์จโดยอัตโนมัติ และรถสามารถขับออกไปได้โดยไม่ต้องมีการปลดการเชื่อมต่อของสายไฟ ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องส่งกำลังไฟฟ้าติดตั้งบนพื้น เครื่องรับพลังงานสำหรับชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ติดตั้งในยานพาหนะไฟฟ้า ระบบสามารถแสดงค่าแรงดันขณะชาร์จแบบเวลาจริง (Real-Time) ผ่านจอมอนิเตอร์

#### 3.2 โครงสร้างของระบบ



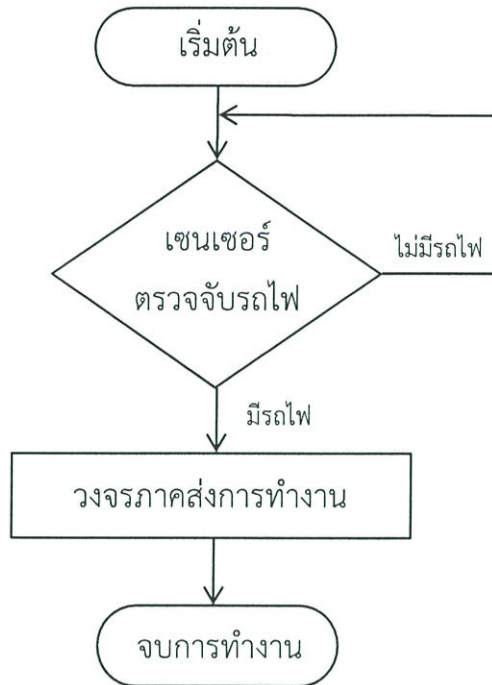
รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ

### 3.2.1 เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ

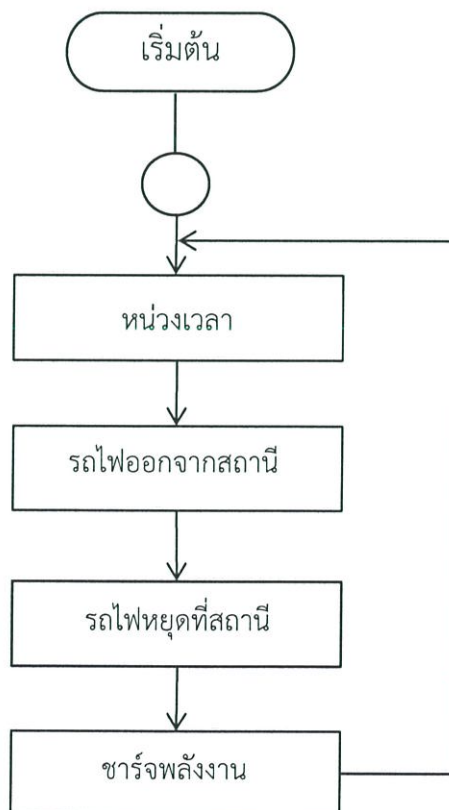
ใช้โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ แบบ Diffuse reflection เพื่อตรวจจับวัตถุ ในที่นี้คือ ยานพาหนะจำลอง โดยการวัดการสะท้อนกลับของแสงอินฟราเรด สามารถตรวจจับในระยะ 5 เซนติเมตร โดยปรับระยะการทำงานให้สั้นลงได้จากตัวต้านทานที่ติดอยู่ด้านหลัง ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ให้ผลการทำงานเหมือนกับสวิทช์ หากไม่มีวัตถุผ่านเอาต์พุตจะเป็น OFF คือไม่มีแรงดันออกมา เมื่อมีวัตถุหรือสิ่งของผ่านหน้าเซนเซอร์จะสะท้อนอินฟราเรดจากตัวส่งกลับเข้ามาที่ตัวรับให้เอาต์พุตเป็น ON มีแรงดันออกมาเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยงคือ 5 โวลต์ เมื่อนำไปใช้กับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เทียบได้กับสถานะ HIGH หรือลอจิก 1 ของ TTL เมื่อยานพาหนะเข้ามาจอด ณ จุดที่เซนเซอร์ตรวจจับได้ เซนเซอร์จะส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino Nano

### 3.2.2 ส่วนควบคุมการเปิด/ปิดระบบ

ส่วนควบคุมจะประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และรีเลย์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับเซนเซอร์รับค่าจากเซนเซอร์มาประมวลผลเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุได้ จะสั่งการทำงานไปที่รีเลย์โมดูลเพื่อเปิดวงจรภาคส่งให้กระแสไหลผ่านวงจรได้ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวดเหนี่ยวนำ

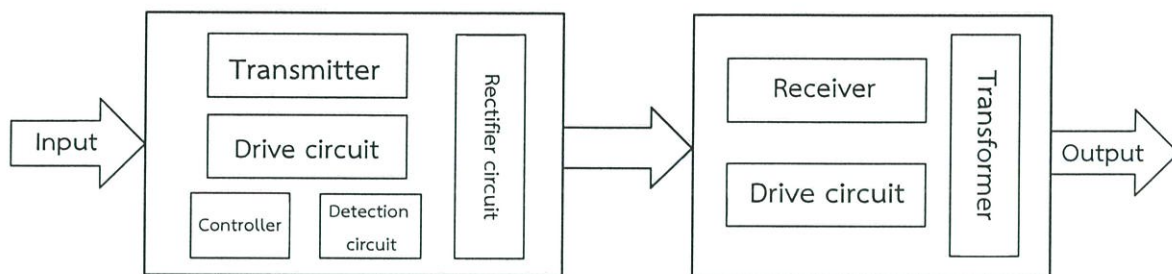


รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานภาคส่ง



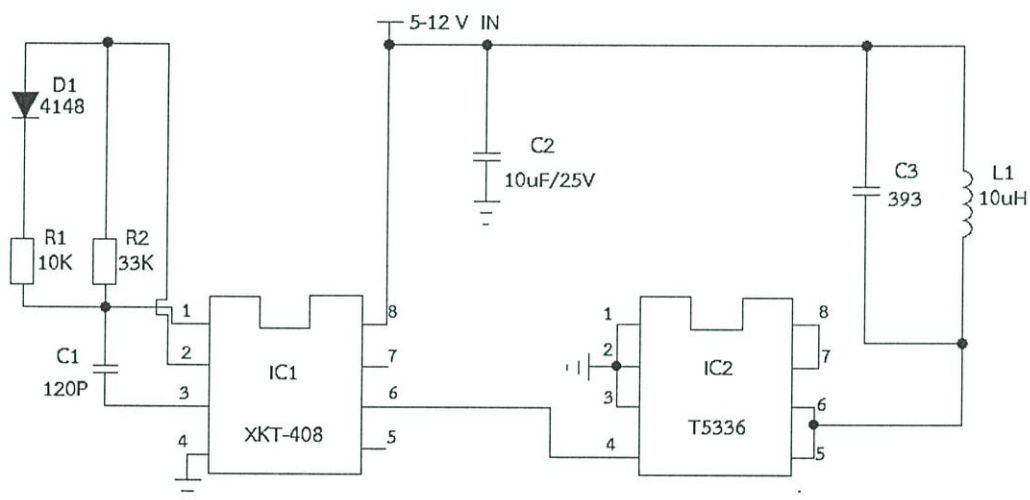
รูปที่ 3.3 โฟลว์ชาร์ตการทำงานภาครับ

### 3.2.3 วงจรภาคส่งและภาครับ



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับ

#### 1. วงจรภาคส่ง

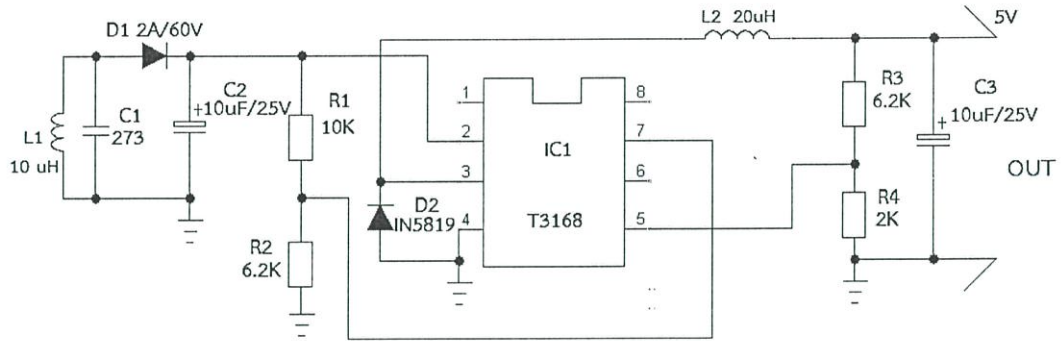


รูปที่ 3.5 วงจรภาคส่ง

วงจรภาคส่งประกอบด้วย

1. IC เบอร์ XKT-408 ทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปไซน์ ที่มีแรงดันต่ำจึงต้องใช้ไอซีมอสเฟตมาขับเพื่อเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น
2. IC เบอร์ T5336 เป็นไอซีมอสเฟตภายในประกอบด้วย SOIC 8 Packet ทำหน้าที่ขับมอสเฟตเพื่อไดรฟ์ขดลวดให้สามารถทำงานได้
3. ขดลวดเหนี่ยวนำภาคส่ง ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ตัวมันเอง

## 2. วงจรภาครับ



รูปที่ 3.6 ภาพแสดงวงจรภาครับ

วงจรภาครับประกอบด้วย

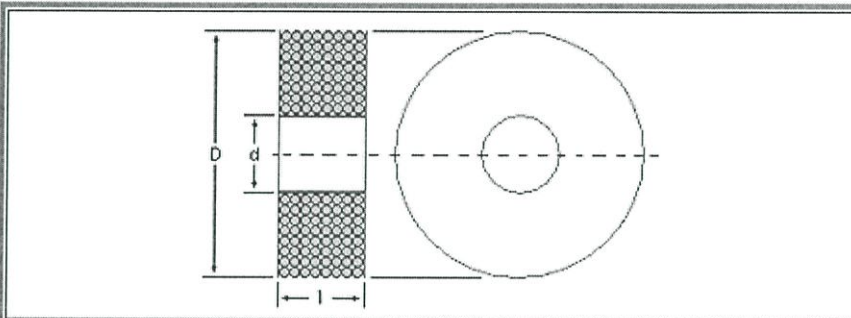
1. ขดลวดเหนี่ยวนำภาครับ สำหรับเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภาคส่ง
2. IC เบอร์ T3168 เป็นไอซี สวิตชิ่ง ที่ใช้ในการแปลงแรงดัน DC-to-DC เพื่อแปลงไฟที่ได้ให้เป็นไฟ 5 VDC สำหรับจ่ายให้หลอดต่อไป
3. วงจรกรองสัญญาณ ในช่วงสุดท้ายจะมีวงจรกรองสัญญาณสำหรับกรองกระแสและแรงดันให้เรียบเพื่อให้นำไปใช้งานได้

### 3. การออกแบบการพันขดลวด

ขดลวดเหนี่ยวนำทางภาคส่ง-รับมีหลักการออกแบบการพันขดลวดเหนี่ยวนำแกนอากาศหลายชั้นโดยใช้โปรแกรม Multilayer Air Core Inductor Calculator ในการคำนวณ

## Multilayer Air Core Inductor Calculator

Enter L, d, l and Wire Gauge (all four are required) to calculate multilayer inductor data.



Inductance (L):	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="uH"/>
Coil Inner Diameter (d):	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="mm"/>
Coil Length (l):	<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="mm"/>
Wire Gauge:	<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="AWG"/>
<input type="button" value="Calculate"/>		<input type="button" value="Clear form"/>
Number of Turns (N):	<input type="text" value="14"/>	
Turns per Layer:	<input type="text" value="3.09"/>	
Number of Layers:	<input type="text" value="4.53"/>	
Coil Outer Diameter (D):	<input type="text" value="34.85"/>	<input type="text" value="mm"/>
Wire Diameter:	<input type="text" value="0.45"/>	<input type="text" value="mm"/>
Wire Length:	<input type="text" value="1.39"/>	<input type="text" value="meter"/>
DC Resistance (R):	<input type="text" value="0.15"/>	<input type="text" value="Ohms"/>

Back to Electronics Reference & Links Collection

รูปที่ 3.7 คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดโดยใช้โปรแกรม Multilayer Air Core Inductor Calculator

(อ้างอิงโดย <http://www.pronine.ca/multind.htm>)

## แทนค่าพารามิเตอร์หลัก

Inductance (ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการ)	= 10 $\mu$ H
Coil Inner Diameter (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดลวด)	= 30 mm
Coil Length (ความสูงของขดลวด)	= 1.5 mm
Wire Gauge (เบอร์ของลวดทองแดงที่ใช้)	= 25 AWG

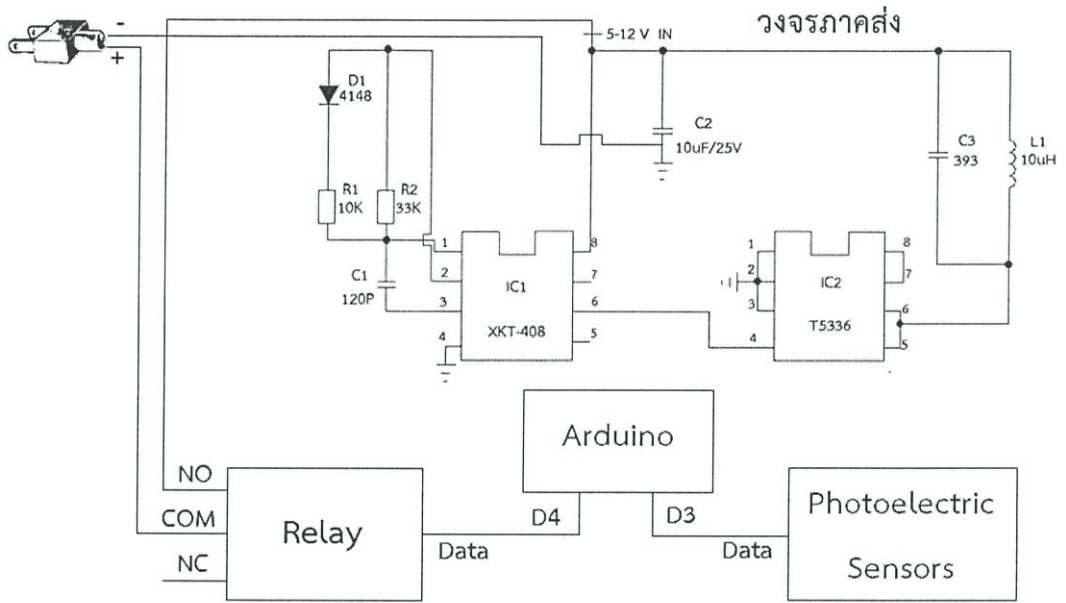
## ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

Number of turns (จำนวนรอบทั้งหมด)	= 14
Turn per Layer (จำนวนชั้น)	= 3.09
Number of layer (จำนวนรอบในแต่ละชั้น)	= 4.53
Coil outer Diameter (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขดลวด)	= 34.85 mm
Wire Diameter (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวด)	= 0.45 mm
Wire Length (ความยาวเส้นลวด)	= 1.39 meter
DC Resistance (ค่าความต้านทาน)	= 0.15 Ohms

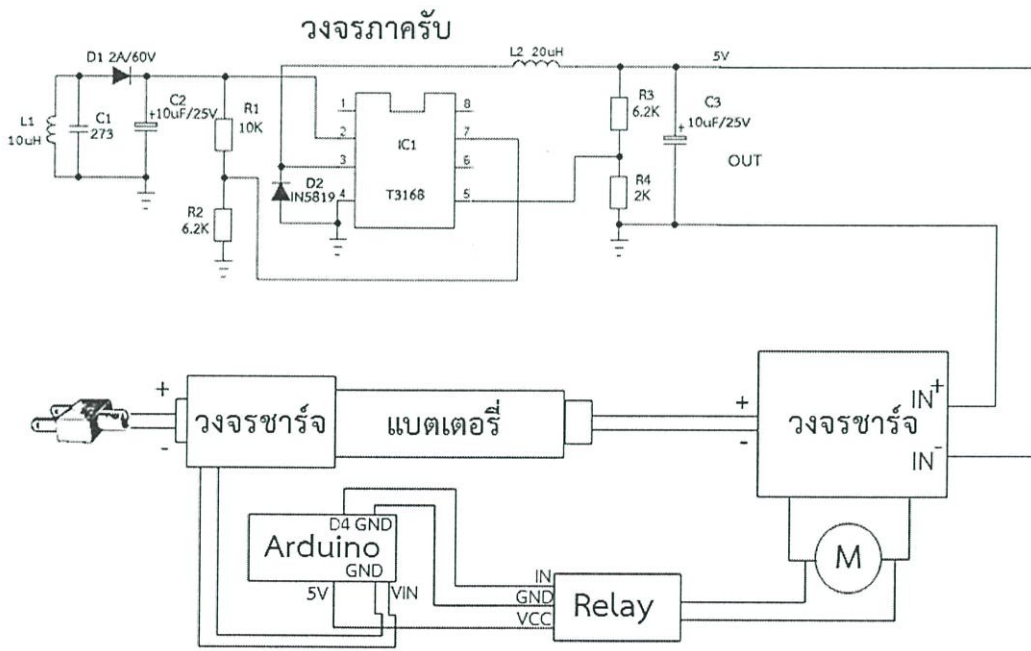
## ค่าที่นำไปใช้จริงในการออกแบบขดลวดแกนอากาศ

Inductance (ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการ)	= 10 $\mu$ H
Coil Inner Diameter (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดลวด)	= 30 mm
Coil Length (ความสูงของขดลวด)	= 1.5 mm
Wire Gauge (เบอร์ของลวดทองแดงที่ใช้)	= 25 AWG
Number of turns (จำนวนรอบทั้งหมด)	= 15
Turn per Layer (จำนวนชั้น)	= 3
Number of layer (จำนวนรอบในแต่ละชั้น)	= 5
Coil outer Diameter (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขดลวด)	= 38 mm
Wire Diameter (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวด)	= 0.45 mm
Wire Length (ความยาวเส้นลวด)	= 1.45 meter
DC Resistance (ค่าความต้านทาน)	= 0.15 Ohms

3.2.4 การเชื่อมต่อวงจร

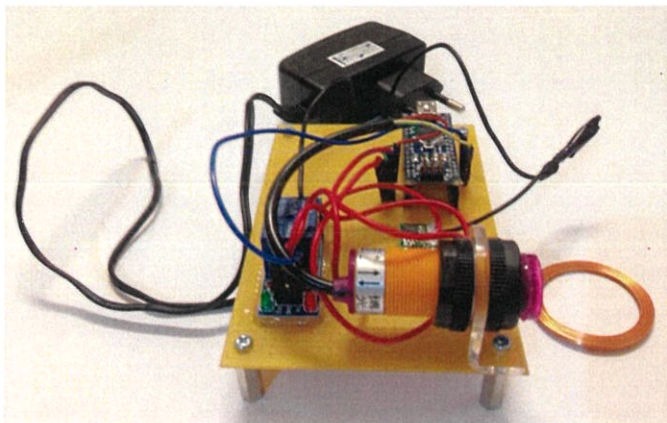


รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อวงจรภาคส่ง

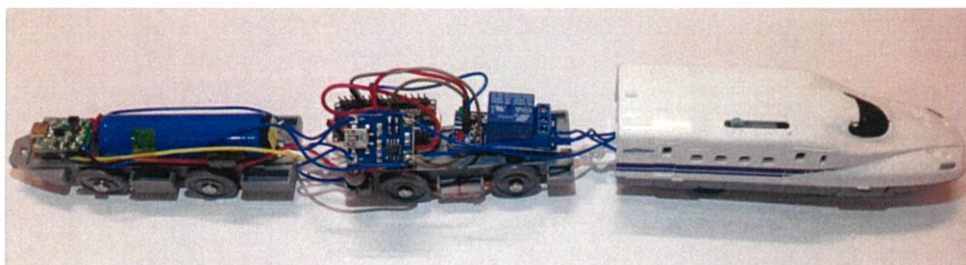


รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อวงจรภาครับ

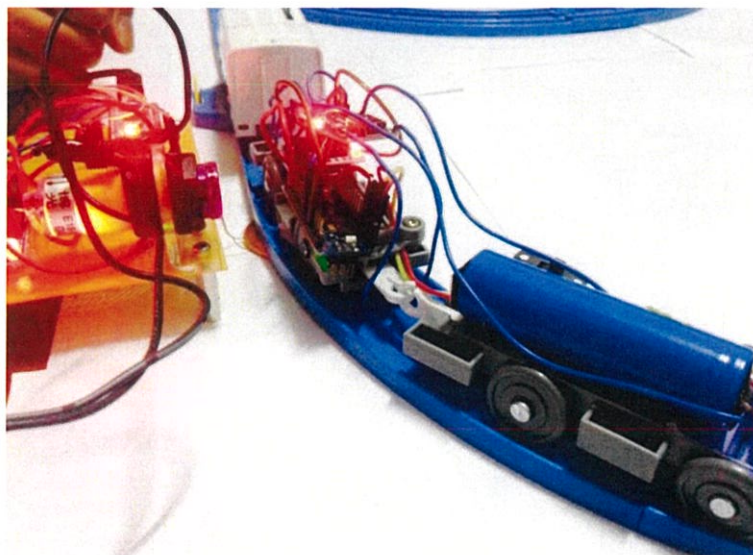
### 3.3 ภาพชิ้นงานภาคส่ง-ภาครับ



รูปที่ 3.10 ภาคส่ง (transmitter)



รูปที่ 3.11 ภาครับ (Receiver)

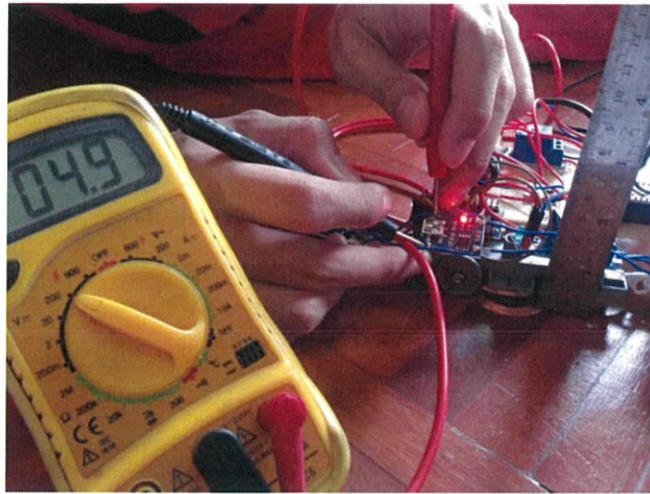


รูปที่ 3.12 โมดูลจำลองของระบบ

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

#### 4.1 การหาประสิทธิภาพของภาครับ-ภาคส่ง



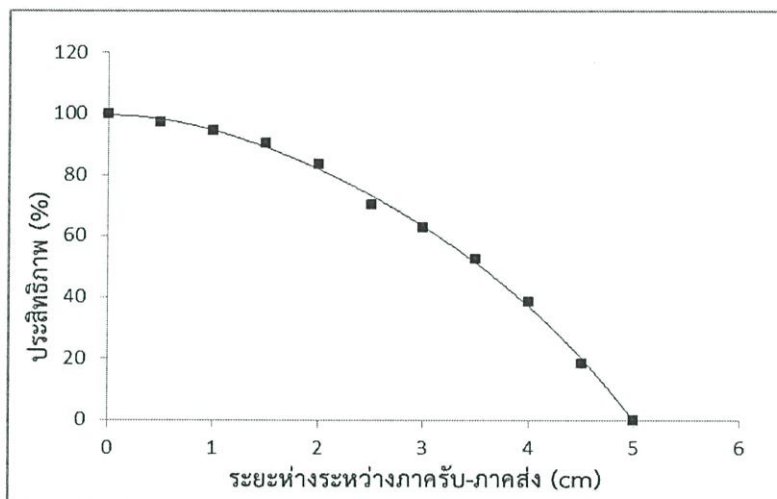
รูปที่ 4.1 การวัดภาครับ-ภาคส่งด้วยมิเตอร์แบบไม่มีสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการรับแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง

ระยะทาง (cm)	ภาคส่ง (V)	ภาครับ (V)						ประสิทธิภาพ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	100
0.5	5	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	4.86	97.2
1	5	4.7	4.8	4.8	4.7	4.6	4.72	94.4
1.5	5	4.5	4.6	4.5	4.6	4.4	4.52	90.4
2	5	4.1	4.2	4.3	4.1	4.2	4.18	83.6
2.5	5	3.6	3.5	3.5	3.4	3.6	3.52	70.4
3	5	3.3	3.2	3.1	3.0	3.1	3.14	62.8
3.5	5	2.5	2.7	2.6	2.7	2.6	2.62	52.4
4	5	1.9	2	1.8	1.9	2.0	1.92	38.4
4.5	5	0.9	0.8	1.1	1	0.8	0.92	18.4
5	5	0	0	0	0	0	0	0

การหาประสิทธิภาพการส่งพลังงานไร้สายสามารถหาได้จากสมการที่ 4.1

$$\text{ประสิทธิภาพแรงดัน (\%)} = \frac{V(\text{ภาครับ}) \times 100}{V(\text{ภาคส่ง})} \quad (4.1)$$



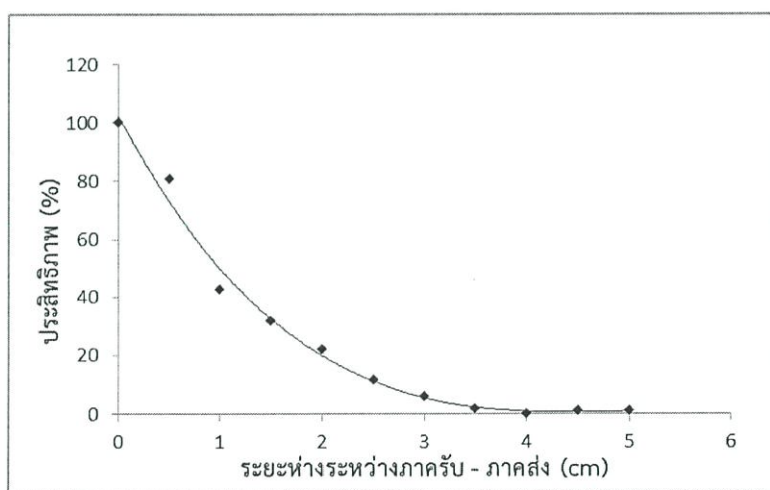
รูปที่ 4.2 กราฟประสิทธิภาพของการรับแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง

จากกราฟเป็นกราฟแสดงประสิทธิภาพ (%) กับระยะห่างระหว่างภาคส่งและภาครับของการรับแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวางโดยระยะทางที่ใช้วัดคือ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5 เซนติเมตร ประสิทธิภาพของแรงดันไฟฟ้าที่รับได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างภาครับ-ภาคส่งเพิ่มขึ้น และระยะห่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีจะอยู่ในช่วง ระยะ 0-2.0 เซนติเมตร โดยที่ระยะห่าง 2.0 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 83.6%

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการรับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง

ระยะทาง (cm)	ภาคส่ง (mAh)	ภาครับ (mAh)						ประสิทธิภาพ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000.00	100
0.5	1000	810	807	812	800	805	806.8	80.68
1	1000	428	428	434	429	424	428.60	42.86
1.5	1000	316	322	319	323	315	319.00	31.90
2	1000	226	215	219	217	221	219.60	21.96
2.5	1000	117	116	112	116	119	116.00	11.60
3	1000	60	54	58	63	58	58.60	5.86
3.5	1000	20	17	18	17	21	18.60	1.86
4	1000	0.5	0.7	0.5	0.5	0.4	0.52	0.052
4.5	1000	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.04	0.004
5	1000	0	0	0	0	0	0	0

$$\text{ประสิทธิภาพกระแส (\%)} = \frac{I(\text{ภาครับ}) \times 100}{I(\text{ภาคส่ง})} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.3 กราฟประสิทธิภาพของการรับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง

จากกราฟเป็นกราฟแสดงประสิทธิภาพ (%) กับระยะห่างระหว่างภาคส่งและภาครับ ของการรับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวางโดยระยะทางที่ใช้วัดคือ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5 เซนติเมตร ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่รับได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่าง

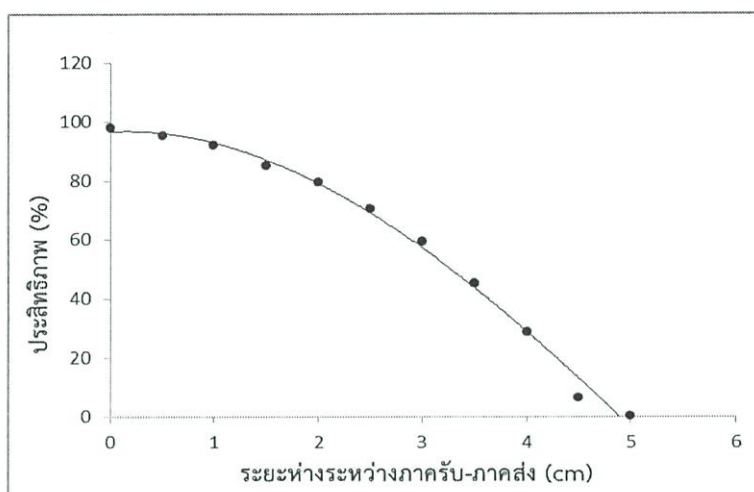
ระหว่างภาครับ-ภาคส่งเพิ่มขึ้น และระยะห่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีจะอยู่ในช่วงระยะ 0-0.5 เซนติเมตร โดยที่ระยะห่าง 0.5 มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 80.68%

ตารางที่ 4.3 สรุปข้อมูลจำเพาะของระบบเมื่อใช้งานในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างภาคส่ง-ภาครับ

แรงดันอินพุตที่ภาคส่ง	5 V
แรงดันสูงสุดที่ภาครับ	5 VDC
กระแสสูงสุดที่ภาครับ	1000 mA
ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดแกนอากาศ	10 $\mu$ H
ระยะห่างระหว่างภาคส่ง-ภาครับ	0-5 cm
ขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำ	เส้นผ่านศูนย์กลาง 38 mm x ความสูง 2 mm

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการรับแรงดันแบบมีสิ่งกีดขวาง

ระยะทาง (cm)	ภาคส่ง (V)	ภาครับ (V)						ประสิทธิภาพ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	5	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	98
0.5	5	4.8	4.8	4.8	4.7	4.7	4.76	95.2
1	5	4.6	4.6	4.5	4.7	4.6	4.6	92
1.5	5	4.3	4.2	4.3	4.1	4.4	4.26	85.2
2	5	4.1	3.9	3.9	4.0	4.0	3.98	79.6
2.5	5	3.5	3.4	3.5	3.6	3.6	3.52	70.4
3	5	3.0	2.9	3.1	2.8	3.0	2.96	59.2
3.5	5	2.4	2.1	2.4	2.4	2.0	2.26	45.2
4	5	1.4	1.6	1.4	1.3	1.5	1.44	28.8
4.5	5	0.2	0.4	0.3	0.4	0.3	0.32	6.4
5	5	0.	0.0	0.0	0.1	0.0	0.02	0.4

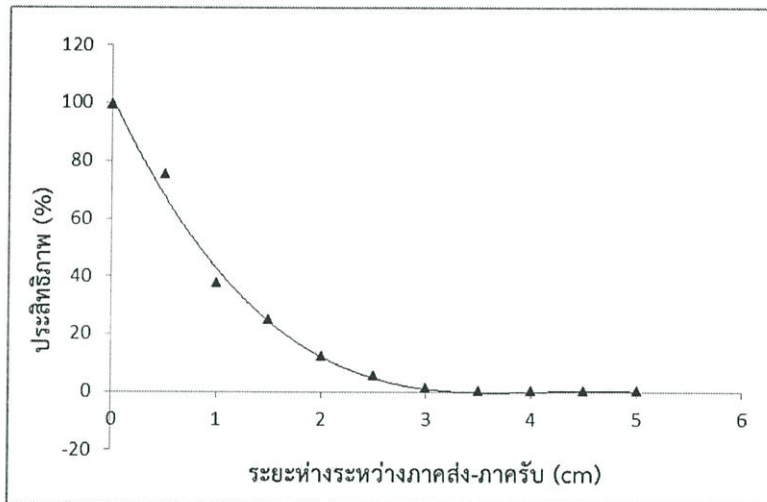


รูปที่ 4.4 กราฟประสิทธิภาพของการรับแรงดันไฟฟ้าแบบมีสิ่งกีดขวาง

จากกราฟเป็นกราฟแสดงประสิทธิภาพ (%) กับระยะห่างระหว่างภาคส่งและภาครับ ของการรับแรงดันไฟฟ้าแบบมีสิ่งกีดขวางโดยระยะทางที่ใช้วัดคือ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5 เซนติเมตร ประสิทธิภาพของแรงดันไฟฟ้าที่รับได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างภาครับ-ภาคส่งเพิ่มขึ้น และระยะห่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีอยู่ในช่วงระยะ 0-1.5 เซนติเมตร โดยที่ระยะห่าง 1.5 มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 85.2%

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการรับกระแสแบบมีสิ่งกีดขวาง

ระยะทาง (cm)	ภาคส่ง (mAh)	ภาครับ (mAh)						ประสิทธิภาพ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
0	1000	990	992	989	989	987	989.4	98.94
0.5	1000	750	748	751	746	750	749.00	74.90
1	1000	376	381	369	377	366	373.8	37.38
1.5	1000	247	245	247	243	242	244.8	24.48
2	1000	112	124	122	127	115	120.0	12.00
2.5	1000	58	57	46	52	46	51.80	5.18
3	1000	10	7	7	9	11	8.80	0.88
3.5	1000	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.05
4	1000	0	0	0	0	0	0	0
4.5	1000	0	0	0	0	0	0	0
5	1000	0	0	0	0	0	0	0



รูปที่ 4.5 กราฟประสิทธิภาพของการรับกระแสไฟฟ้าแบบมีสิ่งกีดขวาง

จากกราฟเป็นกราฟแสดงประสิทธิภาพ (%) กับระยะห่างระหว่างภาคส่งและภาครับ ของการรับกระแสไฟฟ้าแบบมีสิ่งกีดขวางโดยระยะห่างที่ใช้วัดคือ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5 เซนติเมตร ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่รับได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างภาครับ-ภาคส่งเพิ่มขึ้น และระยะห่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีอยู่ในช่วงระยะ 0-0.5 เซนติเมตร โดยที่ระยะห่าง 0.5 มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 74.90%

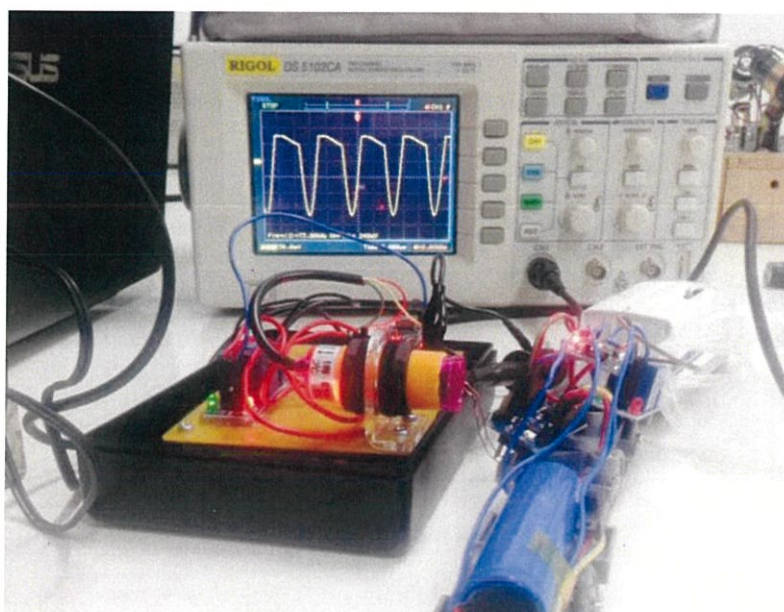
ตารางที่ 4.6 สรุปข้อมูลจำเพาะของระบบเมื่อใช้งานในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางระหว่างภาคส่ง-ภาครับ

แรงดันอินพุทที่ภาคส่ง	5 V
แรงดันสูงสุดที่ภาครับ	5 VDC
กระแสสูงสุดที่ภาครับ	990 mA
ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดแกนอากาศ	10 $\mu$ H
ระยะห่างระหว่างภาคส่ง-ภาครับ	0-5 cm
ขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำ	เส้นผ่านศูนย์กลาง 38 mm x ความสูง 2 mm

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพ (%) และระยะห่างระหว่างภาคส่ง-ภาครับ (cm)

ระยะห่างระหว่าง ภาคส่ง-ภาครับ(cm)	ประสิทธิภาพ(%)			
	ไม่มีสิ่งกีดขวาง		มีสิ่งกีดขวาง (พลาสติกกรองรถไฟจำลอง)	
	แรงดัน	กระแส	แรงดัน	กระแส
0	100	100	98	98.94
0.5	97.2	80.68	95.2	74.90
1.0	94.4	42.86	92	37.38
1.5	90.4	31.90	85.2	24.48
2.0	83.6	21.96	79.6	12.00
2.5	70.4	11.60	70.4	5.18
3.0	62.8	5.86	59.2	0.88
3.5	52.4	1.86	45.2	0.05
4.0	38.4	0.052	28.8	0
4.5	18.4	0.004	6.4	0
5.0	0	0	0.4	0

## 4.2 การวัดสัญญาณจากเครื่องออสซิลโลสโคป



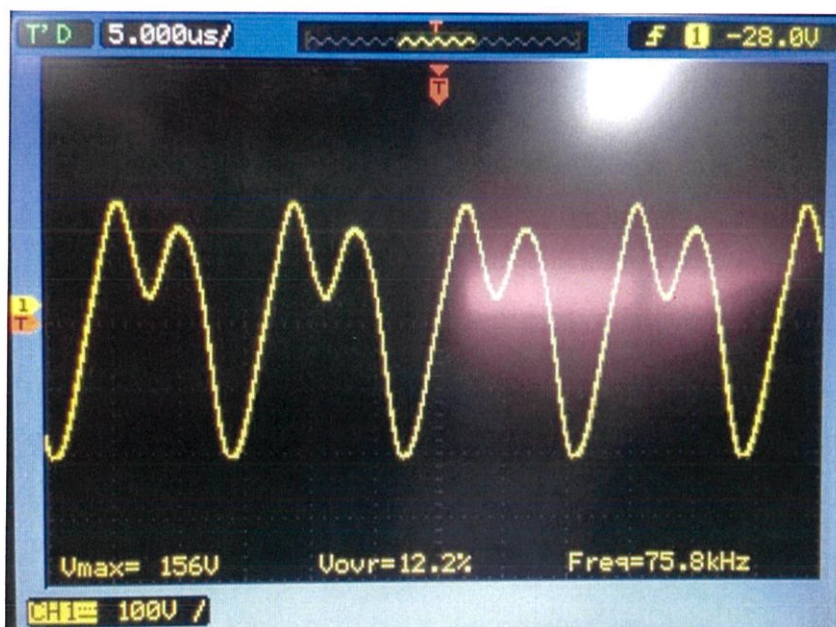
รูปที่ 4.6 การวัดสัญญาณจากเครื่องออสซิลโลสโคป

รูปสัญญาณที่ภาคส่ง



รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณคลื่นไซน์ที่วัดได้จากขดลวดภาคส่ง

## รูปสัญญาณที่ภาครับ



รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณคลื่นไซน์ที่วัดได้จากขดลวดภาครับ

จากรูป สัญญาณที่ได้เมื่อใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดสัญญาณ พบว่าที่วงจรภาคส่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 75.8 kHz เพื่อเป็นสัญญาณคลื่นพาห์ เมื่อสัญญาณส่งไปถึงภาครับ สัญญาณที่รับได้ยังคงเป็นสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 75.8 kHz แต่รูปสัญญาณที่ภาครับมีความเพี้ยนเล็กน้อยเนื่องจากสัญญาณเดินทางผ่านตัวกลางที่มีสัญญาณรบกวน

## บทที่ 5

# บทสรุปและวิจารณ์

### 5.1 สรุปผลปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงแบบจำลองระบบการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายอย่างง่าย เพื่อทดสอบว่าสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านอากาศได้จริง ตามทฤษฎีการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการนำพลังงานไฟฟ้ามาแปลงเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งไม่ต้องอาศัยตัวนำในการเดินทางระหว่างภาคส่งและภาครับ จากนั้นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังภาครับ และพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกแปลงกลับไปเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกครั้งเพื่อนำไปใช้

จากการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวงจรส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายพบว่าวงจรสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าได้และมีประสิทธิภาพ สามารถจ่ายไฟเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ขนาดเล็กได้ โดยประสิทธิภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับ ความถี่ทางภาคส่ง สัญญาณที่วงจรภาคส่งสร้างขึ้นมีความสม่ำเสมอหรือไม่ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดและจำนวนรอบของขดลวดตามทฤษฎี รวมถึงการวางขดลวดทั้งภาคส่งและภาครับต้องวางให้ตรงกันจึงจะสามารถเหนี่ยวนำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อขดลวดวางห่างกันมากขึ้นหรือมีสิ่งกีดขวางความสามารถในการเหนี่ยวนำก็จะลดลงอีกเช่นกัน

ประสิทธิภาพในการส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายนั้นยังคงต่ำและมีค่าการสูญเสียพลังงานที่สูง หากเทียบกับแบบมีสาย แต่ในด้านความสะดวกและความปลอดภัยนั้นถือว่าเหนือกว่า การจะพัฒนาให้การส่งพลังงานแบบไร้สายมีประสิทธิภาพได้เท่ากับการส่งพลังงานไฟฟ้าแบบมีสายนั้นก็ไม่สามารถทำได้ตรงไปตรงมาที่ยังไม่สามารถควบคุมสนามแม่เหล็กทั้งหมดให้วิ่งไปตามทิศทางที่ต้องการได้ก็ยังคงต้องมีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นอยู่ ผู้พัฒนาในตอนนี้นี้ทำได้เพียงเพิ่มหรือลดกระแสกับความถี่ ขยายขอบเขตของสนามแม่เหล็กให้กว้างและแรงขึ้น แต่ถ้าอุปกรณ์รับอยู่ห่างมากเกินไป พลังงานก็มีการสูญหายมากตามไปด้วย ในทางปฏิบัติจึงยังไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

จากการทดลองสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการรับแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวางทำได้ที่ระยะ 2 cm มีประสิทธิภาพประมาณ 83.6% ส่วนประสิทธิภาพการรับกระแสไฟฟ้าแบบไม่มีสิ่งกีดขวางทำได้ที่ระยะ 0.5 cm มีประสิทธิภาพประมาณ 80.68% และประสิทธิภาพการรับแรงดันแบบมีสิ่งกีดขวางทำได้ที่ระยะ 1.5 cm มีประสิทธิภาพประมาณ 85.2% ส่วนประสิทธิภาพการรับกระแสแบบมีสิ่งกีดขวางเมื่อเพิ่มระยะจาก 0 cm ไป 0.5 cm มีประสิทธิภาพประมาณ 74.90%

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. ต้องใช้ไอซีจากต่างประเทศในการประกอบวงจรซึ่งเป็นไอซีสำหรับการสร้างวงจรรับ-ส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยเฉพาะ ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน
2. การศึกษาหาข้อมูลภายในประเทศนั้นยังมีน้อยมาก
3. การควบคุมมอเตอร์เพื่อให้รถไฟวิ่งและหยุดอัตโนมัตินั้นยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่เนื่องจากในระหว่างที่รีเลย์ควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานหรือหยุดทำงานนั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของเวลาเกิดขึ้น

## 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ใช้นาโนแบตเตอรี่แทนแบตเตอรี่ลิเทียมทั่วไป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอัดและคายประจุช่วยลดระยะเวลาในการชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ได้
2. ประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ รวมถึงยานพาหนะไฟฟ้าชนิดต่างๆ ได้
3. หน้าจอแสดงผลสถานการณ์ชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่แบบเรียลไทม์
4. สร้างรีฟิตเตอร์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อเพิ่มขอบข่ายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้กว้างขึ้นเพื่อรองรับการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเคลื่อนที่

## บรรณานุกรม

- กิตติเชษฐ์ และคณะ. 2555. เครื่องจ่ายไฟกระแสตรงแบบไร้สาย. สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. 2557. รีเลย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://kpp.ac.th/elearning/elearning3/book-09.html>
- ทีมงานสมาร์เลิร์นนิ่ง. 2543. Advance PICMicrocontroller in C ประยุกต์ใช้งาน PIC ขั้นสูง  
ด้วยภาษา C. Smart Learning : กรุงเทพฯ
- นิรันดร คำประเสริฐ. 2544. วิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้าและวิศวกรรมไมโครเวฟ. เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ :  
ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ
- ประสิทธิ์ ทิมพุด. 2540. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล  
มานพ. 2557. แม่เหล็กไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://webhtml.horhook.com/wbi/ec/5magnet-01.htm>
- ยีน ภู่วรรณ. 2557. ทฤษฎี และการใช้งาน อิเล็กทรอนิกส์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.neutron.rmutphysics.com/news>
- วดี. 2555. ชนิดของตัวเหนี่ยวนำ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [https://happypa.wikispaces.com/  
ตัวเหนี่ยวนำแบบปรับค่าได้](https://happypa.wikispaces.com/ตัวเหนี่ยวนำแบบปรับค่าได้)
- วรัฐ และธารินทร์. 2554. “Wireless Power” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://msmisthammasat.blogspot.com/2011/02/wireless-power.html>
- สมเกียรติ.
- Alan's Lab. Wireless Power Experiments. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.vk2zay.net/article/253> 21 พฤศจิกายน 2557
- Anindo Ghosh. 2557. Arduino Nano. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:  
[http://electronics.stackexchange.com/questions/60199/powering-arduino-  
nano-12volts](http://electronics.stackexchange.com/questions/60199/powering-arduino-nano-12volts)
- Héctor Vázquez-Leal, Agustín Gallardo-Del-Angel, Roberto Castañeda-Sheissa and  
Francisco Javier González-Martínez. 2012. The Phenomenon of Wireless  
Energy Transfer: Experiments and Philosophy. University of Veracruz  
Electronic Instrumentation and Atmospheric Science School, México
- Hisayoshi Sugiyama. 2012. Performance Analysis of Magnetic Resonant System  
Based on Electrical Circuit Theory. Dept. of Physical Electronics and  
Informatics, Osaka City University ,Japan

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- INEX. หนังสือ เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์กับ Arduino และบอร์ด Unicon. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.uniconboard.com/2013/index.php/download/file/18--arduino-unicon-1>
- KMITL. 2553. วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [http://www.kmitl.ac.th/~kpteeraw/data\\_com/datacom\\_52/Filter.htm](http://www.kmitl.ac.th/~kpteeraw/data_com/datacom_52/Filter.htm)
- Links and other Resources. 2557. Single and multilayer and spiderweb coils. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [http://www.w0btu.com/files/Crystal\\_Radio/links.htm](http://www.w0btu.com/files/Crystal_Radio/links.htm)
- Nakarin. 2554. ตัวเหนี่ยวนำ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly\\_power/wiki/612f2/](https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_power/wiki/612f2/)
- Patsaraporn. 2555. การต่อวงจรRLCแบบอนุกรมและขนาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://sites.google.com/site/physicsbydreammy/kar-tx-wngcrrlc-baeb-xnukrm-laea-khnan>
- Terrence Blevins, Deji Chen, Mark Nixon and Willy Wojsznis. 2015. **Wireless Control Foundation**. International Society of Automation
- Smart Learning. 2557. รู้จักกับรีเลย์ ( Relay). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/4/11/relay/relay.htm>
- Superiteng. 2557. แม่เหล็ก. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.vcharkarn.com/lesson/1218>
- Wikipedia. 2557. Inductor. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://en.wikipedia.org/wiki/Inductance>
- Wikiwand. 2557. ตัวเหนี่ยวนำ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.wikiwand.com/th/ตัวเหนี่ยวนำ>

ภาคผนวก

## คู่มือการใช้งาน

### หลักการทำงาน

แบบจำลองระบบชาร์จพลังงานแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า เป็นแบบจำลองการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าโดยไม่ใช้สายไฟเพื่อชาร์จพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าจำลองและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กอื่นๆ ระบบประกอบด้วยภาคส่งพลังงานและภาครับพลังงาน ใช้ขดลวดเหนี่ยวนำในการทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านอากาศจากภาคส่งไปยังภาครับและแปลงกลับไปเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกครั้งเพื่อนำไปใช้งาน เมื่อขดลวดเหนี่ยวนำอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกันจะเกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีกระแสไหลผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นรอบๆขดลวดเหนี่ยวนำภาคส่ง สัญญาณจะถูกขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ จากนั้นขดลวดเหนี่ยวนำทางภาครับจะเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดเหนี่ยวนำภาคส่ง และพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกแปลงกลับไปเป็นกระแสไฟฟ้าในวงจรภาครับ โดยแรงดันสูงสุดที่รับได้มีขนาด 5 โวลต์ และกระแสสูงสุดที่รับได้ 990 มิลลิแอมป์

### คุณสมบัติ

ตารางสรุปข้อมูลจำเพาะของระบบเมื่อใช้งานในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างภาคส่ง-ภาครับ

แรงดันอินพุทที่ภาคส่ง	5 V
แรงดันสูงสุดที่ภาครับ	5 VDC
กระแสสูงสุดที่ภาครับ	1000 mA
ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดแกนอากาศ	10 $\mu$ H
ระยะห่างระหว่างภาคส่ง-ภาครับ	0-5 cm
ขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำ	เส้นผ่านศูนย์กลาง 38 mm x ความสูง 2 mm
ขนาดความจุของแบตเตอรี่	2500 mAh

ตารางสรุปข้อมูลจำเพาะของระบบเมื่อใช้งานในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางระหว่างภาคส่ง-ภาครับ

แรงดันอินพุทที่ภาคส่ง	5 V
แรงดันสูงสุดที่ภาครับ	5 VDC
กระแสสูงสุดที่ภาครับ	990 mA
ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดแกนอากาศ	10 $\mu$ H
ระยะห่างระหว่างภาคส่ง-ภาครับ	0-5 cm
ขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำ	เส้นผ่านศูนย์กลาง 38 mm x ความสูง 2 mm
ขนาดความจุของแบตเตอรี่	2500 mAh

ตารางแสดงแรงดันและกระแสที่รับได้เมื่อใช้งานในขณะที่มีสิ่งกีดขวางและไม่มีสิ่งกีดขวาง

ระยะห่างระหว่างขดลวด ภาคส่ง-ภาครับ(cm)	ไม่มีสิ่งกีดขวาง		มีสิ่งกีดขวาง (พลาสติกกรงรถไฟจำลอง)	
	แรงดันเฉลี่ย (V)	กระแสเฉลี่ย (mAh)	แรงดันเฉลี่ย (V)	กระแสเฉลี่ย (mAh)
0	5.0	1000.00	4.9	989.4
0.5	4.86	806.8	4.76	749.00
1.0	4.72	428.60	4.6	373.8
1.5	4.52	319.00	4.26	244.8
2.0	4.18	219.60	3.98	120.0
2.5	3.52	116.00	3.52	51.80
3.0	3.14	58.60	2.96	8.80
3.5	2.62	18.60	2.26	0.5
4.0	1.92	0.52	1.44	0
4.5	0.92	0.04	0.32	0
5.0	0	0	0.02	0

ตารางแสดงระยะเวลาในการชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่แบบไร้สาย

ปริมาณประจุ (%)	ระยะเวลาในการชาร์จ (นาที)
0-10	72
0-20	144
0-30	216
0-40	288
0-50	360
0-60	432
0-70	504
0-80	576
0-90	648
0-100	720

ตารางแสดงระยะเวลาในการชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่แบบใช้สาย

ปริมาณประจุ (%)	ระยะเวลาในการชาร์จ (นาที)
0-10	24
0-20	48
0-30	72
0-40	96
0-50	120
0-60	144
0-70	168
0-80	192
0-90	216
0-100	240

จากตาราง เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่พบว่าระยะเวลาในการชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่แบบไร้สายช้ากว่าระยะเวลาในการชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่แบบใช้สาย โดยคิดเป็นประสิทธิภาพประมาณ 32% และสูญเสียไปในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าประมาณ 68%

### การใช้งาน

ใช้ชาร์จแบตเตอรี่โดยไม่ต้องต่อพ่วงสายไฟ เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่เข้าออก จากจุดชาร์ตตลอดเวลา เช่น รถพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

#### ขั้นตอนการใช้งาน

1. เสียบปลั๊กแอดปเตอร์ภาคส่งเข้ากับปลั๊กไฟบ้าน 220 โวลต์เพื่อเปิดใช้งานภาคส่งพลังงาน
2. เปิดสวิตช์ภาครับพลังงานเพื่อเปิดใช้งานรถไฟฟ้าจำลอง
3. เมื่อระบบทำงานรถไฟฟ้าจำลองจะวิ่งและจอดอัตโนมัติที่จุดชาร์จเป็นเวลา 5 วินาทีแล้ววิ่งต่อ และทำซ้ำจนกว่าจะปิดสวิตช์ที่ภาครับ(ตัวรถไฟฟ้าจำลอง)
4. หากเลิกใช้งานควรถอดปลั๊กที่ภาคส่งและปิดสวิตช์ที่ภาครับให้เรียบร้อย

## Motor Control Code

```
int Relay1 = 13;
// the setup routine runs once when you press
reset:
void setup()
{
// initialize the digital pin as an output.
pinMode(Relay1, OUTPUT);
}
// the loop routine runs over and over again forever:
void loop()
{
digitalWrite(Relay1, HIGH);
delay(5595);
digitalWrite(Relay1, LOW);
delay(5000);
digitalWrite(Relay1, HIGH);
delay(4380);
digitalWrite(Relay1, LOW);
delay(5000);
}
```

## Transmitter Control Code

```
// set pin numbers:
const int IRsensorPin = 3; // the number of the IRsensor pin
const int relayPin = 4; // the number of the Relay pin

// variables will change:
int IRsensorState = 0; // variable for reading the IRsensor status

void setup() {
  // initialize the Relay pin as an output:
  pinMode(relayPin, OUTPUT);
  // initialize the IRsensor pin as an input:
  pinMode(IRsensorPin, INPUT);
}

void loop(){
  // read the state of the IRsensor value:
  IRsensorState = digitalRead(IRsensorPin);

  // check if the IRsensor is pressed.
  // if it is, the IRsensore is HIGH:
  if (IRsensorState == HIGH) {
    // turn Relay on:
    digitalWrite(relayPin, HIGH);
  }
  else {
    // turn Relay off:
    digitalWrite(relayPin, LOW);
  }
}
```

## Copper wire gauge chart

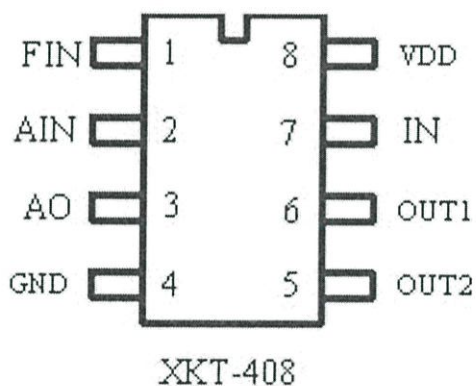
AWG	Diameter (mm)	Diameter (in)	Square (mm <sup>2</sup> )	Resistance (ohm/1000m)
40	0.08	.	0.0050	3420
39	0.09	.	0.0064	2700
38	0.10	0.0040	0.0078	2190
37	0.11	0.0045	0.0095	1810
36	0.13	0.005	0.013	1300
35	0.14	0.0056	0.015	1120
34	0.16	0.0063	0.020	844
33	0.18	0.0071	0.026	676
32	0.20	0.008	0.031	547
30	0.25	0.01	0.049	351
28	0.33	0.013	0.08	232.0
27	0.36	0.014	0.096	178
26	0.41	0.016	0.13	137
25	0.45	0.018	0.16	108
24	0.51	0.02	0.20	87.5
22	0.64	0.025	0.33	51.7
20	0.81	0.032	0.50	34.1
18	1.02	0.04	0.82	21.9
16	1.29	0.051	1.3	13.0
14	1.63	0.064	2.0	8.54
13	1.80	0.072	2.6	6.76
12	2.05	0.081	3.3	5.4
10	2.59	0.10	5.26	3.4
8	3.25	0.13	8.30	2.2
6	4.115	0.17	13.30	1.5
4	5.189	0.20	21.15	0.8
2	6.543	0.26	33.62	0.5
1	7.348	0.29	42.41	0.4
0	8.252	0.33	53.49	0.31
00 (2/0)	9.266	0.37	67.43	0.25
000 (3/0)	10.40	0.41	85.01	0.2
0000 (4/0)	11.684	0.46	107.22	0.16

## Large supply of high-current wireless charging IC

Author: Stand: original Published: 2010-10-15 0:38:09 Publisher: Core Elcoteq Electronics

### 1. Description

XKT-408 series of integrated circuits using CMOS process technology, With high accuracy, good stability characteristics, its dedicated Wireless sensors intelligent charging, power management systems, reliability can be high. XKT-408 handles the radio system can transfer function, using the principle of electromagnetic energy conversion and with reception Section do real-time monitoring of energy conversion and circuits; responsible for various intelligent battery fast charge control, XKT-408 just tie Very few external components can be made highly reliable wireless fast Chargers, wireless power supply unit.



### 2. Features

- Automatic frequency lock
- Automatic detection of load
- Automatic Power Control
- High speed transfer energy output
- Efficient electromagnetic energy conversion
- High-density energy output
- Intelligent detection system, free commissioning
- Operating Voltage: DC 3V ~ 15V
- Highly integrated, only a few external components common
- After rigorous testing and production, stable performance

### 3. Applications

Military products, medical products, security products, waterproofing products, toys, adult products, digital products, MP3, MP4, mobile phones, home appliances and other handheld wireless battery charging, wireless power

### 4. Pin is shown below

Pin number	Function description	
1	FIN	Spectrum rate detection
2	AIN	Power supply cathode
3	AO	Function adjustment
4	GND	Ground
5	OUT2	High pressure working interface
6	OUT1	General output port
7	IN	Interface
8	VDD	Power supply

### 5. Typical Application Circuit

1. DC power transmission circuit
2. The radio reception circuit
3. Low-power long-range wireless transmitter circuit
4. Low-power remote wireless receiver circuit

### 6. Typical operating parameters

Symbol	Working parameter	Working voltage	Minimum value	Typical value	Maximum value	Units
VDD	Working condition	25°C	3	12	15	V
AOUT	Output power	VDD=12V	100	500	800	mA
IA	No-load power consumption	VDD=12V	1	3	10	mA
M	Induction distance	-	1	5	300	mm

## 7. Operating limit parameters

Working temperature : -55 °C to + 125 °C

Storage temperature : -65 °C to + 150 °C

Maximum operating voltage : 15V

Output Drive Current : 800mA

Eight. Package : SOP-8

