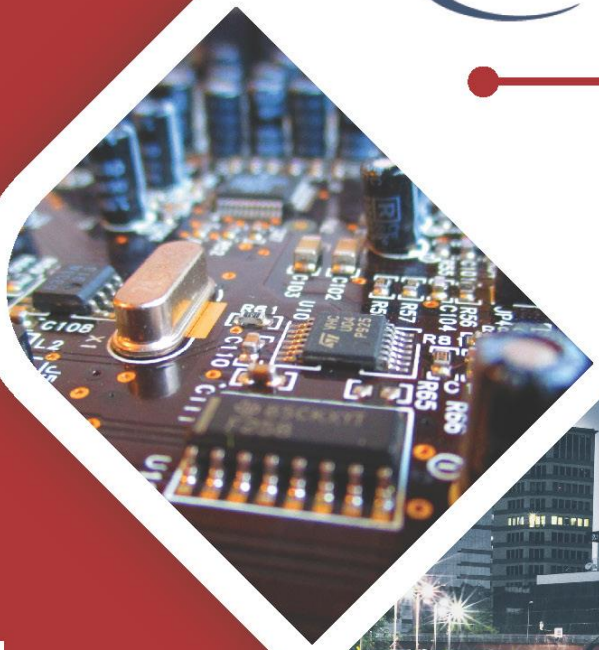
THAILAND AUTOMOTIVE INSTITUTE
สถาบันยานยนต์

หลักสูตร

พื้นฐานระบบอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์สมัยใหม่



วิชาระบบอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่เบื้องต้น

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(Parts Transformation)

02-712-2414 www.thaiauto.or.th @thaiauto

สารบัญ

บทที่ 1 พื้นฐานเบื้องต้นระบบอิเล็กทรอนิกส์ 1
1.1 หน่วยมาตราฐานสากล หรือ SI Unit 1
1.2 คำอุปสรรค (Prefix) 1
1.3 กระแสไฟฟ้า และการวัดกระแสไฟฟ้า 2
1.4 แรงดันไฟฟ้า และการวัดแรงดันไฟฟ้า 2
1.5 กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า 3
บทที่ 2 อุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ 4
2.1 ตัวต้านทาน (Resistor) 4
2.2 Linear Resistor 5
2.3 Nonlinear Resistor 5
2.4 แนวทางการอ่านค่าตัวต้านทาน 5
2.5 ตัวเก็บประจุ (Capacitor) 7
2.5.1 วิธีการเลือกตัวเก็บประจุให้เหมาะกับงาน 8
2.6 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors) 8
2.6.1 วิธีการเลือกตัวเหนี่ยวนำให้เหมาะกับงาน 9
2.7 อุปกรณ์ Operational Amplifier 10
2.7.1 การประยุกต์ใช้ Operational Amplifier สำหรับการออกแบบวงจร 11
2.8 อุปกรณ์ Logic Gate 14
2.8.1 OR Gate 14
2.8.2 AND Gate 15
2.8.3 NOR Gate 15
2.8.4 NAND Gate 16
2.8.5 NOT Gate 16
2.9 อุปกรณ์ Microcontroller boards 17
2.10 อุปกรณ์ FPGA boards 17
2.11 อุปกรณ์ Protoboard, Breadborad หรือ Wish Board 18

สารบัญ (ต่อ)

2.11.1 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) 19
2.11.2 Voltage meter 21
2.11.3 Ampere meter 21
2.11.4 Multi meter 22
2.11.5 อินเวอร์เตอร์ (DC to AC Converters or Inverter) 23
2.11.6 วงจรแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรง (Dc to Dc Converters) 23
บทที่ 3 การประยุกต์ใช้อิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์สมัยใหม่ 25
3.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 25
3.1.1 เทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า 27
3.1.2 ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน 28
3.1.3 ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน 29
3.1.4 หน่วยความจำแบตเตอรี่ (Memory Effect) 30
3.1.5 การยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า 31
3.1.6 Thermal Runaway 32
3.2 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System) 33
3.3 หน่วยควบคุมยานพาหนะของยานยนต์สมัยใหม่ (Vehicle Control Unit) 34
3.4 ชนิดของมอเตอร์ที่ใช้ในงานยานยนต์ไฟฟ้า 36
3.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (DC Series Motor) 36
3.4.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor หรือ BDLC) 36
3.4.3 มอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor หรือ PMSM) 37
3.4.4 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Three Phase AC Induction Motors) 38
3.4.5 มอเตอร์สวิตช์รีบัคแตนซ์ (Switched Reluctance Motors) 39
บทที่ 4 มาตรฐานและการทดสอบอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์ 41
4.1 ความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า 41
4.2 ระบบการประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า 41
4.2.1 4.2.1 การชาร์จประจุยานยนต์ไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conductive Charging) 41

สารบัญ (ต่อ)

4.2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อสำหรับการชาร์จประจุไฟฟ้า 43
4.2.3 ชนิดของหัวชาร์จ.....44
4.3 เปรียบเทียบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่สอดคล้องกับมาตรฐาน IEC.....46
4.4 ข้อควรทราบเกี่ยวกับมาตรฐาน มอก. 47

บทที่ 1 พื้นฐานเบื้องต้นระบบอิเล็กทรอนิกส์

1.1 หน่วยมาตราฐานสากล หรือ SI Unit

หน่วยมาตราฐานสากล หรือ SI Unit ที่จำเป็นต้องทราบในทางไฟฟ้าคือ แรงดันหรือประจุไฟฟ้า (Volt) กระแสไฟฟ้า (Current) ความนำไฟฟ้า (Conductance) ความต้านทาน (Resistance) โดยเราจำเป็นที่ต้องทราบเพื่อ สามารถทำความเข้าใจเลขที่แสดงบนอุปกรณ์ต่างๆมีความหมายว่าอย่างไรเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ต่อ มีจุดสังเกตในการเปรียบเทียบให้คือ กำหนดให้แรงดันไฟฟ้า (Volt) เปรียบเสมือนแรงดันน้ำที่ไหลในท่อน้ำ โดยถ้ายิ่งแรงดันเยอะทำให้กระแสน้ำที่ไหลไปรุนแรง เปรียบเสมือนกระแสไฟฟ้า (Current) แต่ถ้าท่อน้ำของเรามีขนาดที่เล็ก เปรียบเสมือนมีความต้านทานที่มาก (Resistance) ทำให้น้ำไหลได้ยากขึ้น ดังนั้นจึงความเลือกความเหมาะสมของค่าต่างๆที่จะนำมาใช้ ในการแสดงความหมายและสัญลักษณ์จะแสดงในรูปที่ 1

ปริมาณ	สัญลักษณ์	หน่วย	ตัวย่อ	การอนุพันธ์
ความถี่ (Frequency)	f	เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz	$1\ Hz = 1s^{-1}$
แรง (Force)	F	นิวตัน (Newton)	N	$1\ N = \frac{1kg \cdot m}{s^2}$
พลังงาน (Energy) หรือ งาน	W	จูล (Joule)	J	$1\ J = 1Nm$
กำลังไฟฟ้า (Electric Power)	P	วัตต์ (Watt)	W	$1\ W = \frac{1J}{s}$
แรงดันไฟฟ้า (Potential)	E	โวลต์ (Volt)	V	$1\ V = \frac{1W}{A}$
ความต้านทาน (Resistance)	R	โอห์ม (Ohm)	Ω	$1\ \Omega = \frac{1V}{A}$
ความนำไฟฟ้า (Conductance)	G	ซีเมนส์ (Siemens)	S	$1\ S = \frac{1A}{V}$

รูปที่ 1 หน่วยมาตราฐานสากล

ที่มา: https://unitmeasurement.blogspot.com/2013/11/unit-si-internationalsystem-of-unit-si.html

1.2 คำอุปสรรค (Prefix)

สิ่งที่เราจะต้องทราบต่อไปคือคำอุปสรรค เพราะในทางวิศวกรรมไฟฟ้านิยมใช้หน่วยของตัวเลขต่างๆ เพื่อระบุขนาดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาใช้ เช่นตัวต้านทาน 1MΩ แปลความหมายได้ว่า ตัวต้านตัวนี้มีค่า 1 ล้านโอห์ม เป็นต้น โดยการเขียนข้อมูลให้อยู่ในรูปสัญลักษณ์จะแสดงในรูปที่ 2

Symbol	Prefix	Multiplication Factor	
T	tera	10^{12}	1,000,000,000,000
G	giga	10^{9}	1,000,000,000
M	mega	10^{6}	1,000,000
k	kilo	10^{3}	1,000
h	hecto	10^{2}	100
da	deka	10^{1}	10
d	deci	10^{-1}	0.1
c	centi	10^{-2}	0.01
m	milli	10^{-3}	0.001
μ	micro	10^{-6}	0.000,001
n	nano	10^{-9}	0.000,000,001
p	pico	10^{-12}	0.000,000,000,001

รูปที่ 2 การแปลงค่าของคำอุปสรรค

ที่มา: https://goodtitevs.best/product_details/25944406.html

1.3 กระแสไฟฟ้า และการวัดกระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า คืออัตราการเปลี่ยนประจุไฟฟ้าเทียบกับเวลา โดยกระแสไฟฟ้านั้นจำเป็นที่จะต้องมีทั้งทิศทางและขนาดโดยต้องกำหนดทิศทางการไหลของกระแสให้ชัดเจน เช่นไหลขึ้นบน หรือลงล่าง ไหลไปทางซ้ายหรือทางขวา รวมถึงต้องมีการกำหนดปริมาณของกระแสให้ชัดเจนว่ามีปริมาณบวกหรือลบ โดยเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าจะใช้ Ammeter ในการวัด และมีข้อควรระวังในการใช้เครื่องวัด Ammeter ที่เป็นลักษณะเป็นเข็มควรจะตรวจสอบความถูกต้องก่อนที่จะวัด

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt(t)}$$

โดยที่ I = กระแสไฟฟ้าในตัวกลาง (A)

Q = ปริมาณประจุไฟฟ้าที่ผ่าน

T = เวลาที่ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน

1.4 แรงดันไฟฟ้า และการวัดแรงดันไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของงานเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของประจุ โดยการระบุขนาดของแรงดัน เราจำเป็นต้องมีการระบุคือจะต้องมีการกำหนดจั้วแรงดันที่ส่วนประกอบทางไฟฟ้าให้ชัดเจน เช่นมี

ขั้วบวกอยู่ด้านบนและลลบอยู่ด้านล่าง รวมถึงต้องมีการกำหนดปริมาณหรือขนาดแรงดันให้ชัดเจนว่ามีค่าเป็นบวกหรือลบ โดยเครื่องมือที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าจะใช้ Voltmeter ในการวัด

$$v = \frac{dw}{dq}$$

โดยที่ v = แรงดันไฟฟ้า

W = พลังงานไฟฟ้า

Q = ประจุไฟฟ้า

1.5 กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าคืออัตราการเปลี่ยนแปลงงานเทียบกับเวลา ซึ่งในทางไฟฟ้ากำลังไฟฟ้านั้นสามารถเขียนได้ในหลายรูปแบบหน่วย เช่นในหน่วยแรงม้า (horsepower) หรือ BTU/hr. โดย 1hp มีค่าเท่ากับ 746 watts หรือเท่ากับ 2545 BTU/hr.

$$p = \frac{dw}{dt}$$

โดยที่ p = กำลังไฟฟ้า

W = พลังงานไฟฟ้า

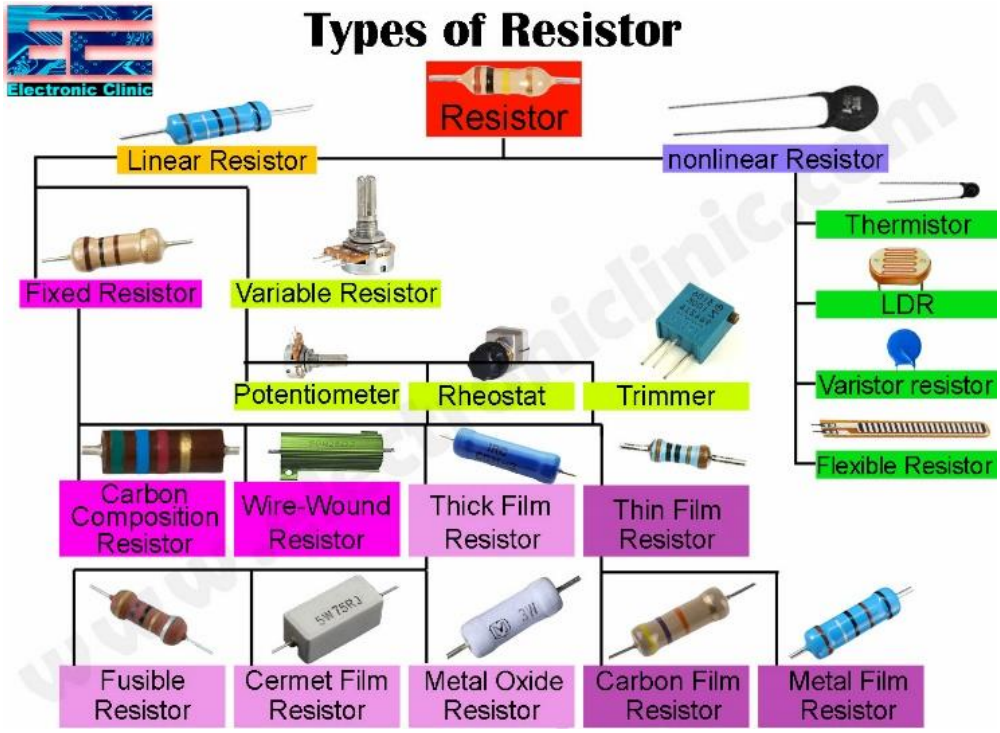
T = เวลาที่ใช้

บทที่ 2 อุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้า ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นชิ้นส่วนที่จะเป็นอุปกรณ์ที่มีการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า โดยมีชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบ จะทำหน้าที่ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อมีการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แล้ว ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางใดทางหนึ่ง เช่น มีขนาดของกระแสไฟฟ้าลดลง หรือมีขนาดความต่างศักย์เปลี่ยนแปลงไป

2.1 ตัวต้านทาน (Resistor)

ตัวต้านทาน (Resistor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการต้านการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้า ทำหน้าที่ลดค่าแรงดันไฟฟ้า และควบคุมปริมาณอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร ตัวต้านทานในท้องตลาดมีรูปแบบ และขนาดนั้นจะแตกต่างกันตามลักษณะของการใช้งาน ซึ่งปัจจุบันได้นำตัวต้านทานมาใช้ในวงจรทางด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ตัวอย่างเช่น เครื่องรับวิทยุ เครื่องขยายเสียง โทรทัศน์ พาวเวอร์ซัพพลาย เป็นต้น ซึ่งตัวต้านทานนั้น แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ Linear Resistor และ Nonlinear Resistor แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชนิดของตัวต้านทาน

ที่มา: https://www.electroniclinic.com/what-is-a-resistor-different-types-of-resistors-applications/

2.2 Linear Resistor

Linear Resistor เป็นตัวต้านทานที่มีค่า electrical resistance (ความต้านทาน) คงที่ตลอดทั้งช่วงการทำงานของมัน โดยความต้านทานของ linear resistor นั้นไม่ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพหรือแรงดันที่มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง และไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านผ่านมันด้วย Linear Resistor สามารถใช้งานในการควบคุมแรงดันหรือกระแสได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมักจะใช้ในงานที่ต้องการควบคุมแรงดันหรือกระแสให้อยู่ในระดับที่แน่นอน

2.3 Nonlinear Resistor

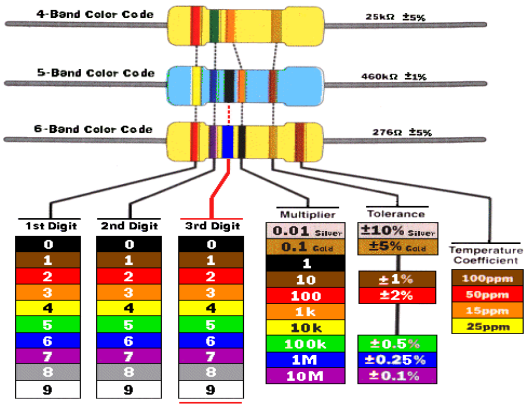
Nonlinear Resistor เป็นตัวต้านทานที่มีค่า electrical resistance (ความต้านทาน) ที่เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับแรงดันหรือกระแส โดยมีการเปลี่ยนแปลง เช่นการเพิ่มค่าความต้านทานเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น (Varistor) หรือลดค่าความต้านทานเมื่อกระแสเพิ่มขึ้น (Thermistor) โดยตัวต้านทานเหล่านี้มักถูกใช้ในการป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือการควบคุมกระแสและแรงดันในงานต่าง ๆ ที่ต้องการการปรับค่าความต้านทานโดยอัตโนมัติตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

2.4 แนวทางการอ่านค่าตัวต้านทาน

ในการเลือกใช้งานตัวต้านทานถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานที่จะทำ โดยวิธีการเลือกให้เหมาะสมนั้นเราจำเป็นที่ต้องอ่านค่าตัวต้านทานให้ถูกต้อง โดยจะต้องแยกชนิดของตัวต้านทานตามแถบสีที่แสดง จุดสังเกตคือลักษณะที่แสดงบนตัวต้านทานในปัจจุบันแบ่งได้ 3 รูปแบบ คือ

1. 4-Band color code เป็นตัวต้านทานที่มีแถบสี 4 แถบ
2. 5-Band color code เป็นตัวต้านทานที่มีแถบสี 5 แถบ
3. 6-Band color code เป็นตัวต้านทานที่มีแถบสี 6 แถบ

โดย ในการอ่านค่าตัวต้านทานนั้น จะเริ่มนับจากทางซ้ายไปขวา และตรวจสอบสีตามตารางมาตราฐานกล่าวคือแถบที่ 1 คือตัวเลขหลักที่ 1, แถบที่ 2 คือตัวเลขหลักที่ 2 ,แถบที่ 3 คือตัวเลขยกกำลัง (คล้ายกับคำอุปสรรค), แถบที่ 4 คือแถบสีแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด และแถบที่ 5 คือแถบสีแสดงค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบและอ่านค่าตัวต้านทาน

ที่มา: https://www.circuitspecialists.com/blog/resistor-color-codes/

2.1.4 วิธีการเลือกตัวต้านทานให้เหมาะกับงาน

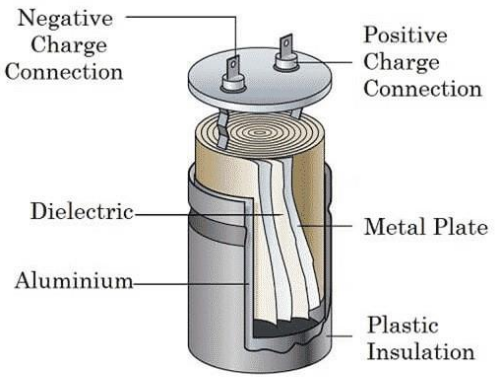
ในการเลือกตัวต้านทานมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องควรระวัง โดยในหัวข้อนี้จะเป็นการแนะนำสิ่งที่ควรทราบก่อนที่จะเลือกใช้

- **ค่าความคลาดเคลื่อน (Tolerance)** คือค่าความคลาดเคลื่อนความต้านทานของตัวต้านทานระบุไว้ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงจากค่าเป้าหมายได้ ตัวต้านทานส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อน 1% และ 5% โดยตัวต้านทานที่สามารถรองรับกำลังไฟฟ้าได้สูงๆ มักจะมีค่าความคลาดเคลื่อน 10% หรือ 20% ทั้งนี้ก็มีตัวต้านทานความแม่นยำสูงที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.1% และ 0.01% อย่างไรก็ดี ตัวต้านทานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำจะมีราคาแพงกว่าตัวต้านทานสูง โดยตัวต้านทานที่มีค่าความคลาดเคลื่อน 5% ส่วนใหญ่เหมาะสำหรับงานเครื่องมือวัดอุปกรณ์วัดที่มีความแม่นยำ
- **รูปแบบทางกายภาพที่ส่งผลต่อการติดตั้งใช้งาน (Package and mounting)** คือตัวต้านทานรูปร่างทางกายภาพที่ส่งผลต่อการติดตั้งใช้งาน ซึ่งมีผลกระทบต่อการออกแบบ Printed-Circuit-Board (PCB) ทั้งในส่วนของขนาดและแนวทางการเชื่อมต่อวงจร
- **ขนาดกำลังไฟฟ้า (Power Dissipation Rating)** คือตัวต้านทานที่ขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้า จึงเป็นเรื่องที่เลี่ยงไม่ได้ที่จะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปของความร้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้าของตัวต้านทานขนาดของอุปกรณ์ที่วางไว้และความทนทานต่อความร้อนของอุปกรณ์
- **ระดับแรงดันไฟฟ้า (Rated Voltage)** ในอุปกรณ์ขนาดเล็ก พิกัดแรงดันไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะต่ำ ในระบบไฟฟ้าแรงสูงขนาดใหญ่โดยทั่วไปจะดีกว่าและปลอดภัยกว่าในการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของวงจร โดยการเชื่อมต่อตัวต้านทานหลายตัวแบบอนุกรม แทนที่จะใช้ตัวต้านทานตัวเดียวที่แรงดันไฟฟ้าสูงสุด

- **ชนิดวัสดุที่ใช้ผลิตตัวต้านทาน (Resistive Material)** ถ้าไม่นับรวมวัสดุชนิดเซมิคอนดักเตอร์วัสดุต้านทานมี 3 ประเภทพื้นฐาน คือส่วนประกอบ ฟิล์มโลหะและลวดพัน แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ของตัวเองตัวอย่างเช่น ตัวต้านทานแบบฟิล์มทำจากโลหะออกไซด์ที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าบนพื้นผิวเซรามิกและถูกตัดด้วยเลเซอร์เนื่องจาก สัญญานรบกวนต่ำและมีเสถียรภาพด้านอุณหภูมิตัวต้านทานแบบฟิล์มจึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานความถี่วิทยุหรือความถี่สูง
- **ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน (Temperature Range)** ที่อุณหภูมิแวดล้อมปกติ การสูญเสียพลังงานของตัวต้านทานเป็นเรื่องปกติ แต่หากตัวต้านทานทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างมากนั้น สิ่งที่สำคัญ คือ ตรวจสอบจาก Datasheet ว่าเมื่อตัวต้านทานเข้าใกล้อุณหภูมิสูงสุดที่รองรับ อาจจะเสี่ยงที่ทำให้ตัวต้านทานเกิดความเสียหาย
- **สัญญานรบกวน (Noise)** โดยทั่วไปแล้วตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานต่ำจะสร้างสัญญาณรบกวนน้อยกว่าตัว ต้านทานที่มีค่าสูง ถ้าต้องการลดสัญญาณรบกวนควรใช้ตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานต่ำ

2.5 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

กล่าวคือ ตัวต้านจะทำหน้าทีเผาพลังงาน แต่สำหรับตัวเก็บประจุนั้นเป็นจะทำหน้าที่เป็นตัวสะสมพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 5 โดยมีชนิดและโครงสร้างภายในที่ต่างกันตามเทคโนโลยี หรือยี่ห้อที่ผลิต โดยในทางอิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมใช้งานคือ แบบมีขั้ว และในระบบอิเล็กทรอนิกส์อุปกรณ์นี้มักจะเป็นอุปกรณ์ที่เกิดความเสียหายเป็นอันดับแรก



รูปที่ 5 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ

ที่มา: https://www.linquip.com/blog/what-is-electrolytic-capacitor/

2.5.1 วิธีการเลือกตัวเก็บประจุให้เหมาะกับงาน

ในการเลือกตัวเก็บประจุมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องควรระวัง โดยในหัวข้อนี้จะเป็นการแนะนำสิ่งที่ควรทราบก่อนที่จะเลือกใช้

- **ค่าความจุ (ฟารัด F)** เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุ ทั้งนี้ค่าความจุขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ในการสร้างตัวเก็บประจุด้วย
- **วัสดุอิเล็กทริก (Dielectric Material)** ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุ วัสดุทั่วไป ได้แก่ เซรามิก พลาสติก และกระดาษ
- **ความต้านทานอนกรมที่เทียบเท่า (ESR)** คือความต้านทานภายในแฝงอยู่ภายในตัวเก็บประจุ โดย ESR ต่ำกว่าจะดีกว่า
- **ปัจจัยการกระจาย (Dissipation Factor)** เป็นหนึ่งตัวชีวัดค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุ โดยทั่วไปการกระจายตัวที่ต่ำจะดีกว่า
- **อุณหภูมิ (Temperature)** ตัวเก็บประจุควรทำงานภายใต้ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน
- **ขนาดและรูปทรง (Size and Shape)** ขนาดของตัวเก็บประจุควรพอดีกับการออกแบบวงจร
- **การตอบสนองความถี่ (Frequency Response)** ตัวเก็บประจุควรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความถี่ที่เหมาะสมกับวงจร
- **ประเภทของตัวเก็บประจุ (Types of Capacitor)** ตัวเก็บประจุมีหลายประเภท การเลือกขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบวงจร

2.6 ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors)

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์อีกหนึ่งชนิดที่เก็บสะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็ก แสดงในรูปที่ 6 และอุปกรณ์ตัวนี้เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้วงจรไฟฟ้ามีน้ำหนักมากที่สุด เนื่องจากเป็นขดลวด โดยมักจะมีการออกแบบวงจรให้มีพลังงานความถี่สูงๆ เพื่อให้ตัวเหนี่ยวนำมีขนาดที่เล็กลง

รูปที่ 6 ตัวเหนี่ยวนำต่างๆ

ที่มา: https://circuitdigest.com/article/what-is-an-inductor-construction-and-working

2.6.1 วิธีการเลือกตัวเหนี่ยวนำให้เหมาะกับงาน

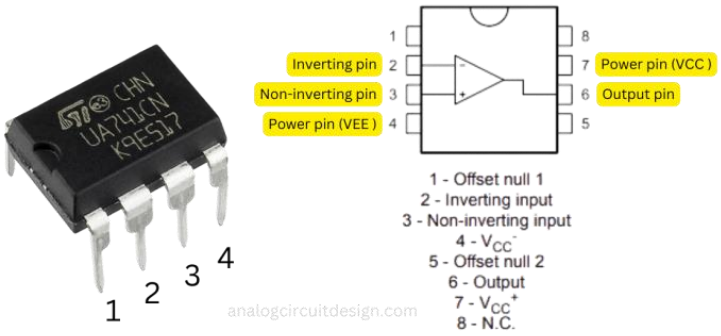
ในการเลือกตัวเหนี่ยวนำปัจจัยหลายอย่างที่ต้องควรระวัง โดยในหัวข้อนี้จะเป็นการแนะนำสิ่งที่ควรทราบก่อนที่จะเลือกใช้

- **ค่าเหนี่ยวนำ (Inductance value)** เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการสะสมพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็ก
- **ค่าความคลาดเคลื่อน (Tolerance)** โดยควรตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน เพื่อไม่ให้ส่งผลกระต่อประสิทธิภาพ และการทำงานของวงจร
- **กระแสอิ่มตัว (Saturation Current)** กระแสอิ่มตัวของตัวเหนี่ยวนำที่เลือกควรมีอย่างน้อย 1.5-2 เท่าของระดับกระแส DC หรือ RMS ที่ตัวเหนี่ยวนำในวงจร
- **ประเภทพของกระแสของตัวเหนี่ยวนำ (Type of Inductor)** ตัวเหนี่ยวนำประเภทต่างๆได้รับการออกแบบเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน สำหรับการใช้งานทั่วไปส่วนใหญ่นั้นแนะนำให้ใช้ขดลวดโซลินอยด์หรือแกนแบบ Pot core
- **การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI)** ปัญหาของ EMI สามารถจัดการได้เกือบตลอดเวลาโดยการเลือกประเภทตัวเหนี่ยวนำที่เหมาะสม เช่น ทอรอยด์หรือแกนหม้อ หากต้องการหลีกเลี่ยงการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า
- **แฟกเตอร์ Q (Q-Factor)** ปัยจัย Q หรือปัจจัยด้านคุณภาพ หมายถึงอัตราส่วนค่าตัวเหนี่ยวนำต่อค่าความต้านทานประสิทธิผล ค่านี้ขึ้นอยู่กับความถี่และความถี่ไรการทดสอบมักระบุไว้ใน Datasheet

- **ความถี่เรโซแนนซ์ในตัวเอง (Self-Resonant Frequency SRF)** คือค่าความถี่ที่ตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ 0 สำหรับการใช้งานในงานที่มีย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency RF) ควรเลือกความถี่เรโซแนนซ์ในตัวเองให้เกินความถี่การทำงานของวงจร
- **ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง (DC Resistance DCR)** คือความต้านทานที่มีอยู่ในตัวนำโลหะของตัวเหนี่ยวนำ และสามารถจำลองเป็นตัวต้านทานแบบอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ

2.7 อุปกรณ์ Operational Amplifier

Operational Amplifier (Op-amp) เป็นวงจรที่มีหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณไฟฟ้า (amplifier) โดยที่มีคุณสมบัติที่สำคัญคือมีการขยายสัญญาณได้มาก (high gain) และมีความแม่นยำสูงในการทำงาน (high accuracy) โดยทั่วไป Op-amp มีหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณเข้าสู่ระดับที่ต้องการ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่สูงขึ้นหรือต่ำลง โดยในปัจจุบันเบอร์ที่นิยมใช้คือ IC741 โดยจะมีลักษณะมีขาเป็นคู่ 4 หรือ 5 คู่ จำนวน 8 หรือ 10 ขา แล้วแต่เทคโนโลยีของผู้ผลิต โดยเมื่อจะใช้อุปกรณ์ชนิดนี้จำเป็นที่จะต้องรู้ข้อมูล โดยหาได้จาก Datasheet และสิ่งที่พึงระวังคือการนับขาที่ 1 ซึ่งในความเป็นจริงเราจะมองที่หัวบากของอุปกรณ์ และนับเริ่มต้นที่ขาซ้ายสุด และนับลงมา แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 อุปกรณ์ Operational Amplifier

ที่มา: https://analogcircuitdesign.com/ic-741-op-amp/

โดยออปแอมป์ประกอบไปด้วยขั้วอินพุท 2 ขั้ว และขั้วเอาท์พุท 1 ขั้ว ขั้วอินพุทที่มีเครื่องหมายลบกำกับเรียกว่า Inverting input เมื่อป้อนสัญญานไฟตรงหรือไฟสลับเข้าไป โดยขั้วอินพุทอีกขั้วหนึ่งต่อกับจุดอ้างอิงจุดหนึ่ง สัญญาณที่ออกมาที่ขั้วเอาท์พุทจะกลับเฟส (phase)กับสัญญาณขั้วอิทพุท 180 องศา ส่วนขั้วอินพุทอีกขั้วหนึ่งที่มีเครื่องหมายบวกกำกับ เรียกว่า Noninverting input สัญญาณที่ออกมาจากขั้วเอาท์พุทมีเฟสเดียวกับสัญญาณที่ป้อนที่ขั้วอินพุทนี้

นอกจากขั้วอินพุทและเอาท์พุทดังกล่าวแล้ว การใช้งานจริงของออปแอมป์ยังมีขั้วสำหกรับจ่ายไฟ 2 ขั้ว และขั้วสำหรับปรับออฟเซ็ทหรือการชดเชยความถี่อีก 2 ขั้ว

2.7.1 การประยุกต์ใช้ Operational Amplifier สำหรับการออกแบบวงจร

2.7.1.1 วงจรขยายกลับเฟส (Inverting amplifier)

เป็นวงจรที่เปลี่ยนสัญญานอินพุตปริมาณน้อยๆแล้วขยายให้สัญญาณเอาต์พุตมีปริมาณที่สูงขึ้นกว่าเดิม โดยสัญญาณเอาต์พุตจะมีเฟสต่างจากสัญญาณอินพุต 180 องศา วงจรขยายกลับเฟส แสดงดังรูปที่ 8 จะเห็นว่าสัญญานอินพุตจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วลบของออปแอมป์ แล้วส่วนหนึ่งของสัญญาณเอาต์พุตที่กลับเฟสกับสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนกลับที่จุดอินพุตอีกทีโดยผ่านตัวต้านทาน

อัตราขยายของออปแอมป์ คือ

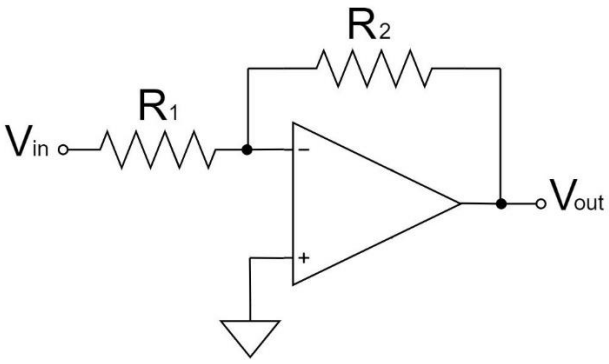
$$Av = Vout/Vin$$

หรือ

$$Av = -Rf/Rin$$

ดังนั้น การหา Vout ของวงจรออปแอมป์ จะได้

$$Vout = Av \cdot Vin = -Vin \cdot Rf/Rin$$



รูปที่ 8 วงจรขยายกลับเฟส

ที่มา: https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2533/tchem0633tt_ch2.pdf

2.7.1.2 วงจรขยายไม่กลับเฟส (Noninverting amplifier)

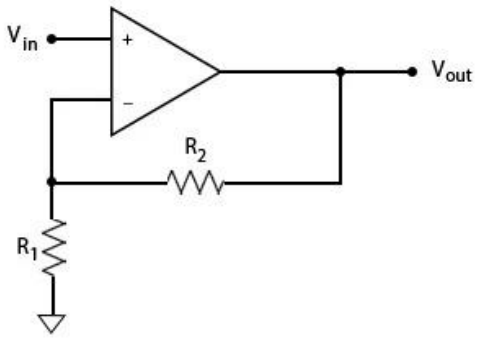
วงจรไม่กลับเฟสจะแตกต่างกับวงจรขยายกลับเฟสในแง่อัตราขยายและเฟสของเอาต์พุตดังแสดงในรูปที่ 9 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส โดยสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วบวกของออปแอมป์ แล้วให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสเดียวกับสัญญานอินพุต แล้วมีการป้อนกลับสัญญาณเอาต์พุตผ่านตัวต้านทาน Ri ลงดิน

อัตราขยายของออปแอมป์ คือ

$$Av = \frac{Rf}{Ri} + 1$$

และการหา Vout ของออปแอมป์ จะได้

$$Vout = Av \cdot Vin = \left(\frac{Rf}{Rin} + 1\right) Vin$$

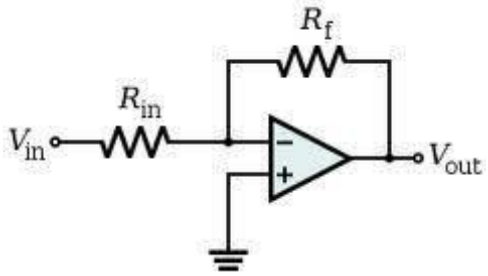


รูปที่ 9 วงจรขยายไม่กลับเฟส

ที่มา: https://www.analog.com/en/resources/glossary/non-inverting-op-amp.html

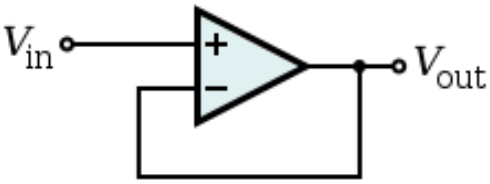
2.7.1.3 วงจรตามแรงดัน (Voltage follower)

เป็นการใช้งานวงจรออปแอมป์ที่มีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง สามารถใช้เป็นทั้งวงจรขยายแบบกลับเฟสหรือขยายแบบไม่กลับเฟสได้ แสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ตามลำดับ วัตถุประสงค์ของการใช้งานในกรณีนี้เพื่อใช้เป็นวงจรบัฟเฟอร์ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้มากที่ขั้วเอาต์พุตในขณะที่กระแสที่ขั้วอินพุตมีค่าเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 10 วงจรตามแรงดันแบบกลับเฟส

ที่มา: https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2533/tchem0633tt_ch2.pdf

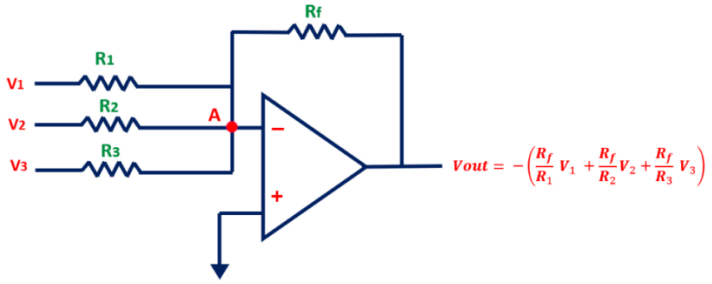


รูปที่ 11 วงจรตามแรงดันแบบไม่กลับเฟส

ที่มา: https://hmong.in.th/wiki/Buffer_amplifier

2.7.1.4 วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ คือ วงจรออปแอมป์ที่รวมอินพุต ตั้งตา 2 อินพุตขึ้นไปมารวมกัน และแรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับผลรวมของแรงดันอินพุต คุณกับอัตราขยายของวงจร ดังแสดงในรูปที่ 12 เป็นตัวอย่างวงจรขยายรวมสัญญาณแบบ 3 อินพุต



รูปที่ 12 วงจรขยายแบบรวมสัญญาณ

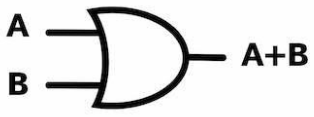
ที่มา: https://www.allaboutelectronics.org/op-amp-as-summing-amplifier/

2.8 อุปกรณ์ Logic Gate

อุปกรณ์โลจิกเกตเป็นอุปกรณ์พื้นฐานของวงจรดิจิตอล ซึ่งประกอบไปด้วย OR Gate, AND Gate, NOR Gate, NAND Gate และ NOT Gate

2.8.1 OR Gate

เป็นเกตที่ให้ค่าเป็น 1 เสมอ (ค่า 1 หมายถึง 5 Volt) โดยถ้ามีอินพุตใดๆเป็น 1 และให้ค่า 0 ถ้าไม่มีตัวใดเป็น 1 เลย ดังแสดงรูปที่ 13



2 input OR gate

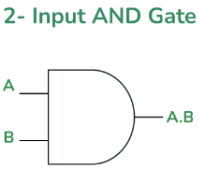
A	B	A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

รูปที่ 13 Logic ของ OR Gate

ที่มา: https://computerengineeringforbabies.com/blogs/engineering/or-gate

2.8.2 AND Gate

เป็นเกตที่ให้ค่า bit 0 ถ้ามีค่า input ใดๆเป็น 0 และให้ค่า 1 ถ้า input ทั้งหมดเป็น 1 ดังรูปที่ 14



Truth Table

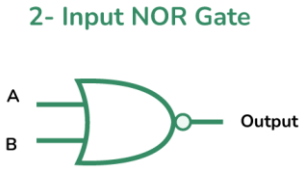
A (Input 1)	B (Input 2)	X = (A.B)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

รูปที่ 14 Logic ของ AND Gate

ที่มา: https://www.geeksforgeeks.org/and-gate/

2.8.3 NOR Gate

เป็นเกตที่ตรงกันข้ามกับ OR คือ ถ้ามี Input ใดๆเป็น 1 จะให้ค่า 0 และถ้า input เป็น 0 ทั้งหมดจะให้ค่า 1 ดังรูปที่ 15



Truth Table

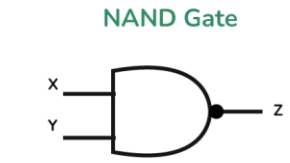
Input A	Input B	0 = (A + B)'
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

รูปที่ 15 Logic ของ NOR Gate

ที่มา: https://www.geeksforgeeks.org/nor-gate/

2.8.4 NAND Gate

เป็นเกตที่ตรงกันข้ามกับ AND คือ ถ้ามี Input ใดๆเป็น 0 จะให้ค่า 1 และถ้า input เป็น 1 ทั้งหมดจะให้ค่า 0 ดังรูปที่ 16



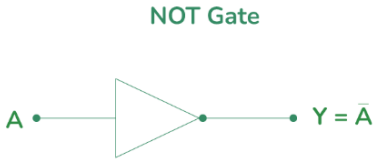
Input (X)	Input (Y)	Output (Z)
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

รูปที่ 16 Logic ของ NAND Gate

ที่มา: https://www.geeksforgeeks.org/implementation-and-from-nand/

2.8.5 NOT Gate

เป็นเกตที่ให้ค่าตรงกันข้ามกับค่า input ที่ใส่เข้าไปเสมอ ดังรูปที่ 17



Truth Table

A (Input)	Y = Ā (Output)
0	1
1	0

รูปที่ 17 Logic ของ NOT Gate

ที่มา: https://www.geeksforgeeks.org/not-gate/

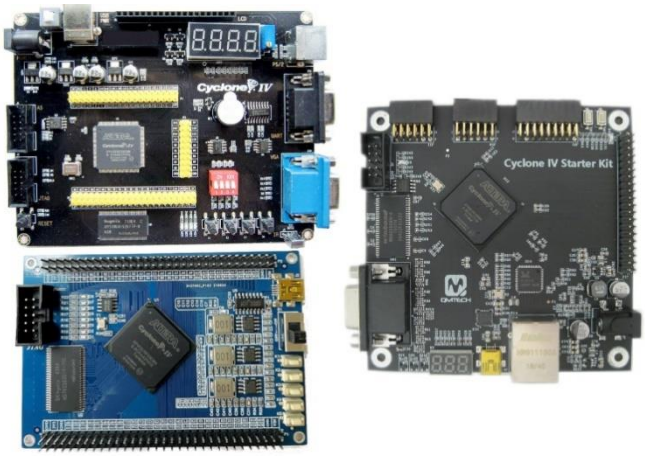
2.9 อุปกรณ์ Microcontroller boards

Micro Controller คือระบบคอนโทรลขนาดเล็ก เรียกอีกอย่างหนึ่งคือเป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กๆ ที่สามารถนำเอามันมาประยุคใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านการออกแบบวงจรให้เหมาะกับงานนั้นๆ และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขา Input หรือ Output เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งก็นับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุคใช้งานได้หลากหลาย โดย Micro Controller ในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบ Network ของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้อีกด้วย และในปัจจุบันได้มีหลากหลายบริษัทผลิต Micro controller ออกมา เช่น Raspberry Pi, Arduino, STM หรือ Microchip ดังรูปที่ 18

รูปที่ 18 Microcontroller แบบต่างๆ
ที่มา: https://all3dp.com/2/what-is-arduino-simply-explained/

2.10 อุปกรณ์ FPGA boards

FPGA ก็คือชิปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รูปแบบหนึ่ง ดังรูปที่ 19 ซึ่งภายในนั้นจะมี Logic Gate จำนวนมากมาย โดยสามารถที่จะลงโปรแกรมเพื่อกำหนดการเชื่อมต่อของ Logic Gate ต่างๆ ซึ่งในทางทฤษฎีนั้นสามารถกำหนดการต่อ Logic Gate ได้ตามต้องการ และสามารถสร้างวงจรทางด้านดิจิตอลอะไรก็ได้ ไม่เว้นแม้กระทั่ง Micro Controller Unit เพราะวงจรทางด้านดิจิตอลทั้งหลายก็คือการเอา Logic Gate มาต่อกัน และการที่สามารถ reprogram ได้ทำให้ถึงแม้ว่าจะออกแบบวงจรมาผิดพลาด แต่ก็จะยังสามารถที่จะแก้ไขใหม่ได้ นอกจากนั้นเนื่องด้วย FPGA เป็นวงจร Logic gate ที่มาต่อกันเรื่อย ไม่ใช่เป็นการบวกคำนวนคำสั่งแบบ CPU ดังนั้นวงจรของ FPGA นั้นทุกวงจรจะทำงานพร้อมกันหมด ทำให้วงจร FPGA นั้นมีการทำงานที่เร็วกว่า อีกข้อหนึ่งที่จะเห็นได้ก็คือการที่สามารถโปรแกรมเพื่อออกออกแบบวงจรอะไรก็ได้ สามารถออกแบบบอร์ด FPGA ให้สามารถไปทำงานร่วมกับหลายๆงานได้ จะทำให้ FPGA นั้น Flexible มากขึ้น



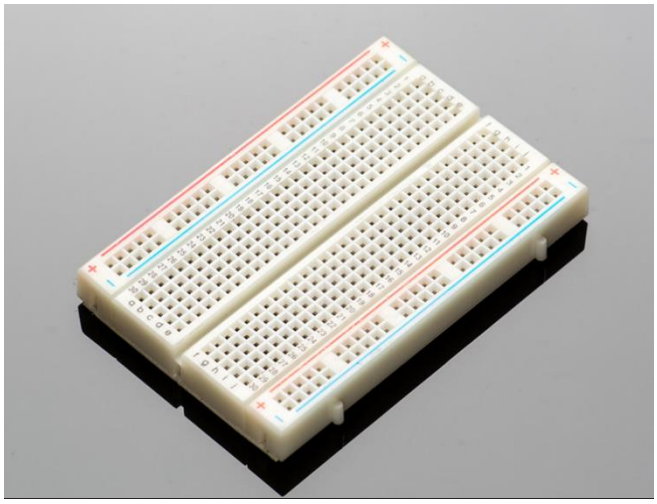
รูปที่ 19 FPGA boards

ที่มา: https://iot-kmutnb.github.io/blogs/fpga/intel_prime_lite_cyc4/

2.11 อุปกรณ์ Protoboard, Breadborad หรือ Wish Board

โพรโทบอร์ด (Protoboard) หรืออาจจะเรียกทับศัพท์ว่า เบรดบอร์ด (Breadboard) เป็นอุปกรณ์ที่จะช่วยให้สามารถเชื่อมต่อวงจรเพื่อทดลองง่ายขึ้น ลักษณะของบอร์ดจะเป็นพลาสติกมีรูจำนวนมาก ภายใต้รูเหล่านั้นจะมีการเชื่อมต่อถึงกันอย่างมีรูปแบบ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 20 เมื่อนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาเสียบ จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสามารถไหลจากอุปกรณ์หนึ่ง ไปยังอุปกรณ์หนึ่งได้ ผ่านรูที่มีการเชื่อมต่อกันด้านล่าง พื้นที่การเชื่อมต่อกันของโพรโทบอร์ด จะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

- กลุ่มแนวตั้ง เป็นกลุ่มที่เป็นพื้นที่สำหรับการเชื่อมต่อวงจร วางอุปกรณ์ จะมีช่องเว้นกลางกลุ่มสำหรับเสียบไอซีตัวถังแบบ DIP และบ่งบอกการแบ่งเขตเชื่อมต่อ
- กลุ่มแนวนอน เป็นกลุ่มที่มีการเชื่อมต่อกันในแนวนอน ใช้สำหรับพักไฟที่มาจากแหล่งจ่าย เพื่อใช้สำหรับเชื่อมต่อไฟจากแหล่งจ่ายเลี้ยงให้วงจรต่อไป และจะมีสี สัญลักษณ์สกรีนเพื่อบอกขั้วที่ของแหล่งจ่ายที่ควรนำมาพักไว้ โดยสีแดง จะหมายถึงขั้วบวก และสีดำ หรือสีน้ำเงิน จะหมายถึงขั้วลบ

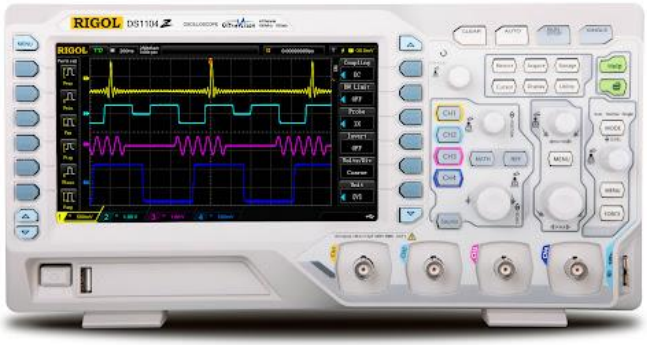


รูปที่ 20 Protoboard หรือ Breadborad
ที่มา: https://www.tido.tech/index.php/product/photoboard400/

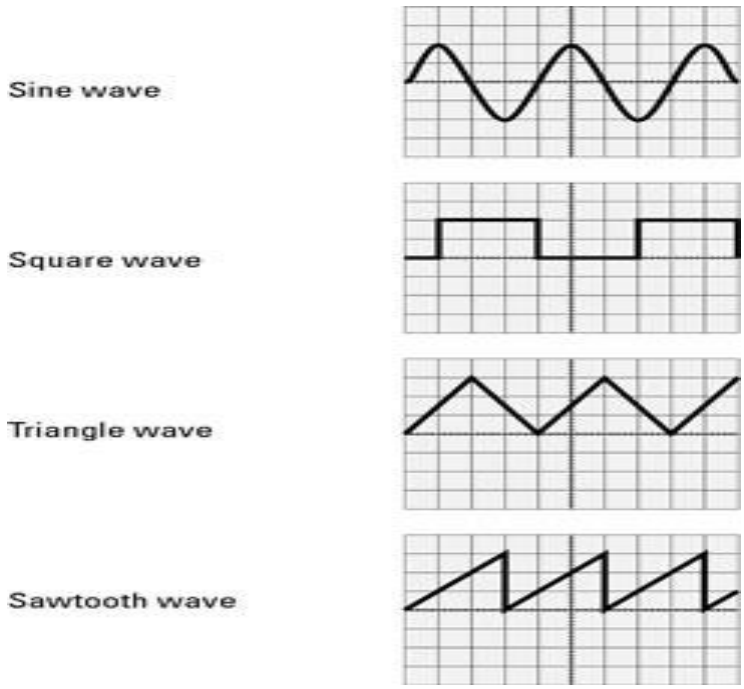
2.11 อุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำงานด้านอิเล็กทรอนิกส์

2.11.1 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

Oscilloscope เป็นเครื่องมือทดสอบอิเล็กทรอนิกส์ที่แสดงแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณ (แกนตั้ง y) ตั้งแต่หนึ่งสัญญาณขึ้นไปเป็นฟังก์ชันของเวลา (แกนนอน x) ในรูปแบบกราฟ ใช้สำหรับจับข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณไฟฟ้าเพื่อการ Debug การวิเคราะห์ จากนั้นรูปคลื่นที่แสดงจะถูกนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ เช่น แอมพลิจูด ความถี่ เวลาที่เพิ่มขึ้น ช่วงเวลาการบิดเบือน และอื่นๆ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 21 และค่าที่อ่านจากหน้าจอ Oscilloscope นั้น จะได้คลื่นที่อยู่ในรูปแบบกราฟ ดังรูปที่ 22



รูปที่ 21 Oscilloscope
ที่มา: http://www.siamtriogroup.com/



รูปที่ 22 คลื่นที่อยู่ในรูปแบบกราฟ เมื่ออ่านจาก Oscilloscope

ที่มา: https://www.dummies.com/article/technology/electronics/general-electronics/measure-electronic-waves-waveforms-seen-on-an-oscilloscope-180161/

ทั้งนี้ การใช้งาน Oscilloscope นั้นต้องใช้ควบคู่กับอุปกรณ์อื่นๆ คือ

- **ตัววัดกระแส (Current probe)** เป็นอุปกรณ์วัดสัญญาณ โดยมีหลักการการทำงานคือ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นรอบๆตัวนำนั้นซึ่ง Current Probe จะถูกออกแบบให้ตรวจจับสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นและแปลงให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์กันก่อนจะส่งไปที่ออสซิลโลสโคป ซึ่งสโคปจะสามารถแสดงผลและทำการวิเคราะห์รูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าได้ และเมื่อใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าพร้อมๆ กันก็จะสามารถดูลักษณะของสัญญาณกำลังไฟฟ้าได้โดยใช้ฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ภายในสโคป โดยสามารถที่จะทำการวัดสัญญาณของกำลังไฟฟ้าได้หลายๆรูปแบบประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ , กำลังไฟฟ้าจริง ,กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ และเฟส
- **ตัววัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage probe)** คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงดัน ของระบบไฟฟ้าหรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยมักใช้เพื่อวัดแรงดันที่ต่างชั้นหรือตรวจสอบการทำงานของวงจรต่างๆ โดยไม่ต้องสัมผัสกับวงจรเอง มักจะติดกับ Oscilliscope เพื่อให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นค่าแรงดันที่ถูกวัดได้ผ่านหน้าจอหรือเครื่องวัดค่า

- **ตัววัดคนละระดับ (Differential voltage probe)** เป็นอุปกรณ์ที่วัดสัญญาณอ้างอิงถึงกันแทนที่จะเป็นกราวด์ และดูสัญญาณขนาดเล็กเมื่อมีออฟเซ็ต DC ขนาดใหญ่หรือสัญญาณโหมดทั่วไปอื่นๆ เช่น สัญญาณรบกวนจากสายไฟ เพื่อใช้ต่อกับ Osilloscope

2.11.2 Voltage meter

โวลต์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุดในวงจรไฟฟ้าภายในโวลต์มิเตอร์มีค่าความต้านทานสูง ใช้วิธีการต่อแบบขนานกับวงจรที่ต้องการวัด โดยการต่อแบบอนุกรม (Rx) กับแกลแวนอมิเตอร์ เมื่อใช้วัดค่าความต่างศักย์ในวงจร โวลต์มิเตอร์จะแสดงผลเป็นหน่วยโวลต์ (V) ตัวอย่างโวลต์มิเตอร์แสดงในรูปที่ 23

รูปที่ 23 Voltage meter

ที่มา: https://www.reichelt.com/de/en/voltage-meter-analogue-benchtop-0-3-v-15-v-dc-peaktech-205-05-p288845.html

2.11.3 Ampere meter

แอมป์มิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรไฟฟ้า ซึ่งทำการได้ 2 แบบ คือแบบต่ออนุกรมกับวงจรไฟฟ้า กับการวัดแบบใช้หม้อแปลงกระแส หรือ CT (Current Transformer) โดยกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้นั้นจะมีอยู่ 2 แบบ คือ กระแสเอซี AC และกระแสดีซี DC มีหน่วยการวัดเป็นแอมป์ (A) ตัวอย่างแอมป์มิเตอร์แสดงในรูปที่ 24

รูปที่ 24 Ampere meter

ที่มา: https://measurementkmutt.blogspot.com/2013/11/s-i-m-2-1.html

2.11.4 Multi meter

มัลติมิเตอร์ (Multimeter) เป็นเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับทดสอบอุปกรณ์หรือระบบไฟฟ้าต่างๆ ชนิดหนึ่งที่สามารถวัดปริมาณไฟฟ้าได้หลากหลายปริมาณ โดยสามารถตั้งเป็นโวลท์มิเตอร์, แอมป์มิเตอร์หรือโอห์มมิเตอร์ได้ และสามารถเลือกใช้ได้ว่าจะใช้กับไฟกระแสตรง (DC) หรือ ไฟกระแสสลับ (AC) การแสดงผลของมัลติมิเตอร์จะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ มัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multimeter) และมัลติมิเตอร์แบบตัวเลข (Digital Multimeter) ตัวอย่างมัลติมิเตอร์ แสดงในรูปที่ 25

รูปที่ 25 Multi meter

ที่มา: https://www.tic.co.th/th/news/detail/1693/2

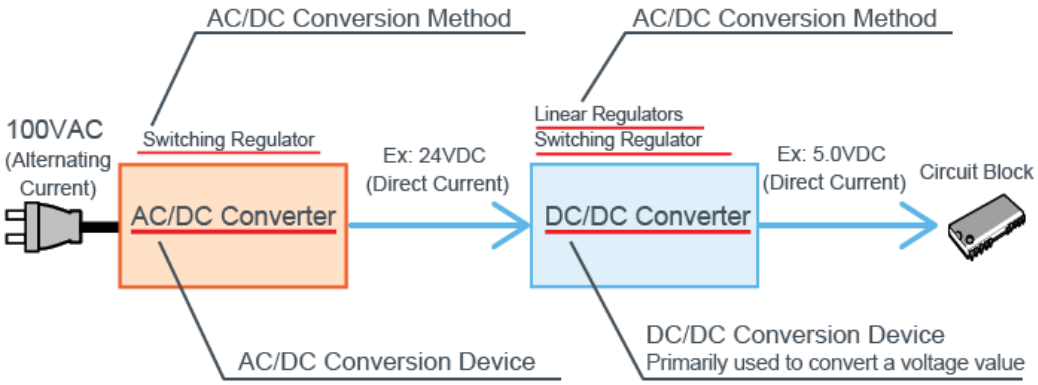
2.11.5 อินเวอร์เตอร์ (DC to AC Converters or Inverter)

อินเวอร์เตอร์หรือที่เรียกว่าตัวแปลง DC เป็น AC เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยแหล่งจ่ายพลังงาน DC เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่ให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ และใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ TV ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ชาร์จ USB แบบมาตรฐานใช้พลังงาน DC ซึ่งแรงดันไฟฟ้าคงที่ และกระแสจะไหลไปในทิศทางเดียวกัน จากบวกไปลบ ในทางกลับกันแหล่งจ่ายพลังงาน AC คือแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่อยู่ใกล้ตัวเรามาก (ใช้อยู่ตามบ้านและสำนักงาน) โดยมีการส่งถ่ายพลังงาน Power network ของการไฟฟ้า เป็นแหล่งพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแสไฟระหว่างขั้วบวกและขั้วลบอยู่ตลอดเวลา โดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์มี 3 ประเภท แบ่งตามรูปแบบคลื่นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตออกมาได้

- **อินเวอร์เตอร์คลื่นสี่เหลี่ยม**เป็นอินเวอร์เตอร์ประเภทหนึ่งที่สร้างเอาท์พุตคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นอินเวอร์เตอร์ที่มีราคาถูกที่สุดแต่ให้พลังงานต่ำที่สุด
- **อินเวอร์เตอร์คลื่นสีเหลี่ยมดัดแปลง** รูปคลื่นเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และไม่ใช่สัญญาณไซน์ตามที่จำเป็นต้องมี AC คลื่นไซน์บริสุทธิ์ ใช้งานกับโหลดล้วนๆ เช่น โคมไฟหรือเครื่องทำความร้อน มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่าคลื่นสี่เหลี่ยม
- **อินเวอร์เตอร์คลื่น True/Pure Sine** อินเวอร์เตอร์เหล่านี้เป็นรูปแบบที่มีราคาแพงที่สุด ผลิตภัณฑ์ AC ส่วนใหญ่ทำงานบนอินเวอร์เตอร์คลื่นไซน์ดัดแปลง เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่า อินเวอร์เตอร์ถูกนำมาใช้ในการใช้งานที่หลากหลาย รวมถึงการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ หรือเซลล์เชื้อเพลิงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ไมโครอินเวอร์เตอร์สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์เป็นกระแสสลับสำหรับโครงข่ายไฟฟ้า UPS ใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายไฟ AC เมื่อไฟหลักไม่สามารถใช้ได้และการทำความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

2.11.6 วงจรแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรง (Dc to Dc Converters)

วงจรแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรง (DC to DC Converters) คือการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมาจัดวงจรร่วมกับอุปกรณ์สะสมพลังงานทั้งตัวเหนี่ยวนำ (Inductors) และตัวเก็บประจุ (Capacitors) เพื่อให้ได้มาซึ่งความสามารถในการส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าจากทางด้านอินพุตไฟตรงไฟสู่เอาต์พุตไฟตรง โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตที่ได้อาจจะมีระดับแรงดันที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าด้านอินพุต โดยโครงสร้างโดยทั่วไปของวงจรแสดงในรูปที่ 26



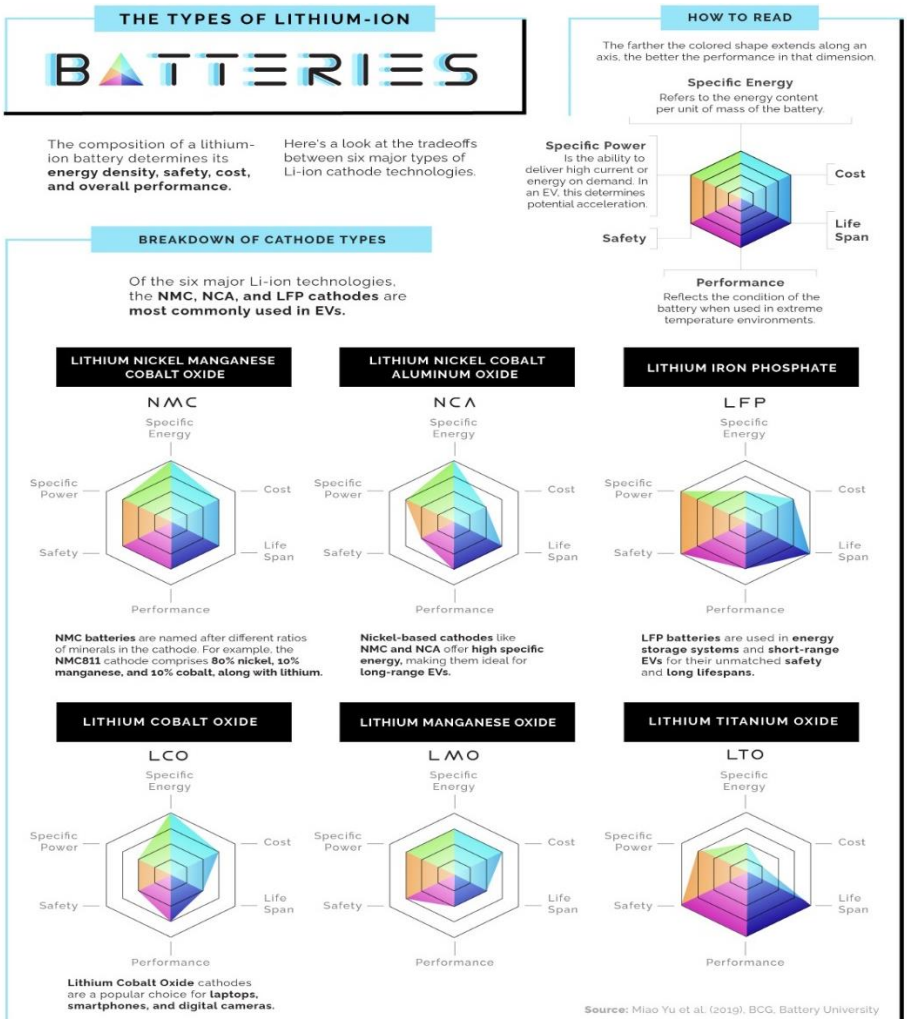
รูปที่ 26 วงจรแปลงผันกำลังไฟตรง-ไฟตรง

ที่มา: https://www.rohm.com/electronics-basics/dc-dc-converters/dcdc_what1

บทที่ 3 การประยุกต์ใช้อิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์สมัยใหม่

3.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนถือเป็นจุดเปลี่ยนที่สำคัญที่จะเป็นพลังงานสะอาดของโลก เนื่องจากว่าเป็นเทคโนโลยีหลักที่สามารถขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า และเป็นระบบที่สามารถจัดเก็บพลังงานได้ อย่างไรก็ตาม มีแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนหลายประเภท แต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน โดยเทคโนโลยีแคโทดลิเธียมไอออนหลัก 6 ประเภท แสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 ลิเธียมไอออนทั้ง 6 ชนิด

ที่มา: https://elements.visualcapitalist.com/the-six-major-types-of-lithium-ion-batteries/

- **Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC)** โดยทั่วไปแล้วแคโทด NMC จะมีนิกเกิลในปริมาณมาก ซึ่งจะเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานในแบตเตอรี่และทำให้ EV สามารถวิ่งได้ไกลขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณนิกเกิลที่สูงอาจทำให้แบตเตอรี่ไม่เสถียร ซึ่งเป็นเหตุผลว่าทำไมจึงใช้แมงกานีสและโคบอลต์เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนและความปลอดภัย การผสม NMC หลายแบบประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ เช่น NMC811 (ประกอบด้วยนิกเกิล 80% แมงกานีส 10% และโคบอลต์ 10%) NMC532 และ NMC622
- **Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (NCA)** แบตเตอรี่ NCA มีข้อได้เปรียบในเรื่องของนิกเกิลเช่นเดียวกับ NMC ซึ่งรวมถึงมีความหนาแน่นของพลังงานสูง และแทนที่จะใช้แมงกานีส NCA จะใช้อลูมิเนียมเพื่อเพิ่มเสถียรภาพ อย่างไรก็ตาม แคโทด NCA มีความปลอดภัยน้อยกว่าเทคโนโลยีลิเธียมไอออนอื่นๆ ค่อนข้างมาก และมีราคาแพงกว่า ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้เฉพาะในรุ่นยานยนต์ไฟฟ้าสมรรถนะสูงเท่านั้น
- **Lithium Iron Phosphate (LFP)** เนื่องจากใช้เหล็กและฟอสเฟตแทนนิกเกิลและโคบอลต์ แบตเตอรี่ LFP จึงมีต้นทุนการผลิตถูกกว่าแบตเตอรี่แบบนิกเกิล อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ประเภทนี้ให้พลังงานจำเพาะน้อยกว่าและเหมาะสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบบมาตรฐานหรือขนาดเล็กมากกว่า นอกจากนี้ แบตเตอรี่ LFP ยังถือเป็นสารเคมีที่ปลอดภัยที่สุดชนิดหนึ่งและมีอายุการใช้งานยาวนาน จึงสามารถใช้ในระบบกักเก็บพลังงานได้ดี
- **Lithium Cobalt Oxide (LCO)** แม้ว่าแบตเตอรี่ LCO จะมีความหนาแน่นของพลังงานสูง แต่ก็มีข้อเสียคือมีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น และมีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำ รวมถึงพลังงานจำเพาะที่จำกัด ดังนั้นแบตเตอรี่เหล่านี้จึงเป็นตัวเลือกยอดนิยมสำหรับ สมาร์ทโฟนและแล็ปท็อป ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานได้ในปริมาณที่ค่อนข้างน้อยในระยะเวลานาน
- **Lithium Manganese Oxide (LMO)** แบตเตอรี่ LMO หรือที่เรียกอีกอย่างว่าแบตเตอรี่สปิเนลแมงกานีส ให้ความปลอดภัยที่มากขึ้น และมีความสามารถในการชาร์จและปล่อยประจุที่รวดเร็ว ในยานยนต์ไฟฟ้า โดยวัสดุแคโทด LMO มักผสมกับ NMC เพราะ LMO จะให้กระแสไฟสูงเมื่อเร่งความเร็ว และ NMC ช่วยให้ขับขี่ได้ไกลขึ้น
- **Lithium Titanate (LTO)** แบตเตอรี่ LTO จะมีขั้วบวกที่เป็นเอกลักษณ์ซึ่งทำจากลิเธียมออกไซด์และไททาเนียม ซึ่งต่างจากแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ ข้างต้น โดยที่องค์ประกอบของแคโทดจะแตกต่างกัน

แบตเตอรี่เหล่านี้มีความปลอดภัยและประสิทธิภาพที่ยอดเยี่ยมภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูง แต่มีความจุต่ำและมีราคาค่อนข้างแพง

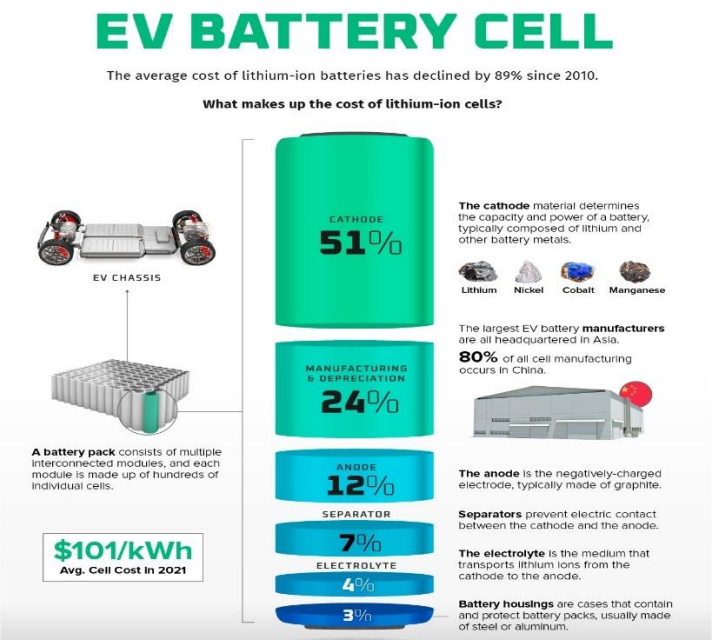
3.1.1 เทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

ปัจจุบันความท้าทายและข้อกำหนดเฉพาะบางประการสำหรับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า เช่น ความหนาแน่นของพลังงานสูง (High energy density) ความหนาแน่นของกำลังสูง (High power density) อายุการใช้งานยาวนาน (Long-life) การชาร์จที่รวดเร็ว (Quick charge) ความปลอดภัย (Safety) และต้นทุน (Low cost) เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบให้การพัฒณาแบตเตอรี่นั้นจำเป็นต้องพัฒณาให้ดีกว่าในอดีต

โดยส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่คืออิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นตัวกลางที่ช่วยให้ลิเทียมไอออนเคลื่อนที่ระหว่างอิเล็กโทรดบวกหรือแคโทด โดยวัสดุแคโทดที่พบบ่อยที่สุดคือลิเทียมโลหะออกไซด์ เช่น ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LCO), ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC), ลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ (NCA), และลิเทียมเหล็กฟอสเฟต (LFP) แสดงดังรูปที่ 28 ซึ่งในการกำหนดแรงดันไฟฟ้าและความจุของแบตเตอรี่ เนื่องจากวัสดุแค่ละชนิดมีข้อดี และข้อเสียที่แตกต่างกันในแง่ของความหนาแน่นของพลังงาน ความปลอดภัย ต้นทุน ร่วมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น

- LCO มีความหนาแน่นของพลังงานสูง แต่มีความหนาแน่นของกำลังต่ำ และมีราคาสูง
- NMC และ NCA มีพลังงานและความหนาแน่นของกำลังสูง แต่มีความปลอดภัยต่ำรวมถึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง
- LFP มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ แต่มีความหนาแน่นของกำลังสูง มีความปลอดภัยสูง และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ

โดยนักวิจัยบางกลุ่มจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาแบตเตอรี่โซลิดสเตด ซึ่งใช้อิเล็กโทรต์ที่เป็นของแข็งแทนของเหลว เนื่องจากมีความสเถียรกว่า ปลอดภัยกว่า และสามารถใช้โลหะลิเทียมเปแนอิเล็กโทลดลบ ซึ่งมีความจุสูงกว่ากราไฟท์มาก อย่างไรก็ตาม ค่าการนำไฟฟ้าไอออนิกต่ำ ความต้านทานต่อพื้นผิวสูง และไม่สามารถเข้ากันได้ดีกับอิเล็กโทรด



รูปที่ 28 การลดต้นทุนในการผลิตแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ที่มา: https://elements.visualcapitalist.com/breaking-down-the-cost-of-an-ev-battery-cell/

3.1.2 ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเธี่ยมไอออน มีข้อดีหลายประการซึ่งทำให้เป็นตัวเลือกยอดนิยมสำหรับการใช้งานที่หลากหลาย รวมถึงยานยนต์ไฟฟ้าด้วย โดยข้อได้เปรียบนี้มีส่วนทำให้มีการใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนอย่างกว้างขวางในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค เครื่องมือไฟฟ้า และที่โดดเด่นที่สุดคือในการขนส่งด้วยไฟฟ้า เนื่องจากเทคโนโลยีก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง การปรับปรุงเพิ่มเติมในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจึงคาดว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและการใช้งานได้ โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

- **ความหนาแน่นพลังงานสูง (High Energy Density)** หมายความว่าสามารถเก็บพลังงานที่มากกว่าด้วยปริมาตรเท่าๆ กัน ซึ่งปัจจัยสำคัญที่แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกเลือกมาใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีแนวโน้มในการพัฒนาให้มีค่าพลังงานที่สูงมากขึ้น เพื่อการเพิ่มระยะทางให้สูงสุด
- **การคายประจุต่ำ (Low self-discharge)** หมายความว่าแบตเตอรี่จะคงประจุไว้ได้นานกว่าเมื่อไม่ได้ใช้งาน เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่นๆ
- **สามารถอัดประจุได้อย่างรวดเร็ว (Quick Charging)** หมายความว่สามารถลดช่วงเวลาการอัดประจุและลดจำนวนครั้งของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า

- **การบำรุงรักษาต่ำ (Low Maintenance)** แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนต้องมีการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ
- **น้ำหนักเบาและกระทัดรัด (Lightweight and Compact)** แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่มีขนาดค่อนข้างเล็กและเบา ทำให้มีส่วนช่วยลดน้ำหนักโดยรวมของยานยนต์ไฟฟ้า
- **ไม่มีผลกระทบการจำของแบตเตอรี่ (No Memory Effect)** แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนไม่ได้รับผลกระทบจากหน่วยความจำ ซึ่งสามารถลดความจุที่มีประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แบบชาร์จได้เมื่อเวลาผ่านไป
- **ระดับแรงดันต่อเซลล์สูง (High Cell Voltage)** มีแรงดันไฟฟ้าขณะทำงานสูงถึง 3-5 โวลต์ (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกับส่วนผสมเฉพาะทางเคมี) ซึ่งช่วยดำเนินการด้านพลังงานได้เทียบเท่าที่กระแสไฟต่ำกว่า

3.1.3 ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน

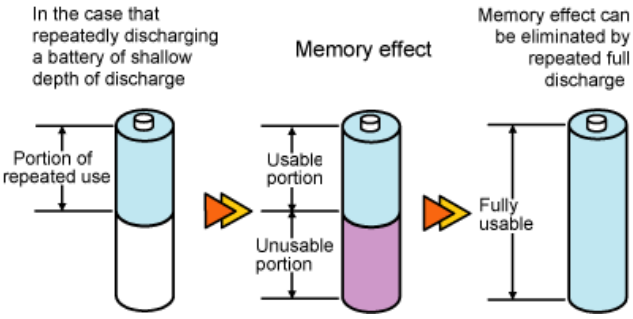
แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน มีข้อเสียที่สำคัญหลายประเภทที่ต้องพิจารณา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของแหล่งพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า อย่างไรก็ดีแม้จะมีข้อเสียเหล่านี้ แต่แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนยังคงเป็นตัวเลือกยอดนิยมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากประสิทธิภาพและประสิทธิผลโดยรวม ทั้งนี้งานวิจัยที่กำลังดำเนินอยู่มีเป้าหมายเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ และปรับปรุงเทคโนโลยีสำหรับการใช้งานในอนาคต

- **ต้นทุนการผลิตสูง (High Production Cost)** ปัจจัยดังกล่าวนี้ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนและราคาขายของยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อเทียบกับรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินแบบดั้งเดิม
- **ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Sensitivity to High Temperature)** ปัจจัยนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน โดยเฉพาะขณะทำการอัดประจุ และการคายประจุที่กระแสสูงๆ ดังนั้นระบบระบายความร้อนที่มีสมรรถนะและประสิทธิภาพสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับแบตเตอรี่
- **ความท้าทายในการทำรีไซเคิล (Recycling Challenges)** การรีไซเคิลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีความซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายสูง กระบวนการนำวัสดุอันมีค่ากลับมาใช้ใหม่ยังไม่มีประสิทธิภาพเต็มที่ ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม
- **ความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density)** แม้ว่าแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจะมีความหนาแน่นของพลังงานสูงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ แต่ก็ยังต่ำกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิง สิ่งนี้ส่งผลกระทบต่อระยะและประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้า
- **อายุการใช้งานสั้น (Short Service Life)** โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่ลิเธี่ยมไอออนจะมีอายุการใช้งานสั้นกว่าเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่นๆ โดยจะเสื่อมสภาพเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งอาจจะส่งผลให้ความจุพลังงานลดลงและจำเป็นต้องเปลี่ยนใหม่

- **เสี่ยงต่อการชาร์จไฟเกินและการคายประจุมากเกินไป (Risk of Overcharge and Over Discharge)** แบตเตอรี่ชนิดนี้เสี่ยงต่อความเสียหายจากการชาร์จไฟเกินและการคายประจุมาเกินไป ซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหาด้านความปลอดภัยได้
- **ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environment Impact)** การสกัดละการแปรรูปลิเธียมและวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.1.4 หน่วยความจำแบตเตอรี่ (Memory Effect)

หน่วยความจำแบตเตอรี่ (Memory Effect) บางครั้งเรียกว่า Lazy Battery Effect เป็นปรากฏการณ์ที่มักพบในแบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม (NiCd) แบบชาร์จได้ โดยเกิดขึ้นเมื่อแบตเตอรี่เหล่าได้รับการชาร์จซ้ำๆ กัน หลังจากที่แบตเตอรี่หมดไปเพียงบางส่วน ส่งผลให้สูญเสียความจุพลังงานสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป กล่าวคือแบตเตอรี่จะจดจำความจุที่น้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง ดังนั้นเพื่อป้องกันผลกระทบของหน่วยความจำ มีข้อแนะนำว่าให้คายประจุแบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียมจนหมด และชาร์จแบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียมให้เต็มเป็นระยะๆ ซึ่งจะช่วยรักษากำลังการผลิตและยืดอายุการใช้งาน แสดงในรูปที่ 29 และสำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนปกติแล้วจะไม่พบปัญหานี้ แต่อาจจะพบปัญหาอื่นๆเช่น แรงดันไฟฟ้าตกเนื่องจากการชาร์จไฟเกินเป็นเวลานาน ซึ่งอาจจะทำให้ระบบควบคุมแบตเตอรี่ (BMS) ได้รับข้อมูลการลดลงเสมือนของการรับรู้ความจุ ส่งผลให้การอัดประจุมีประสิทธิภาพลดลง

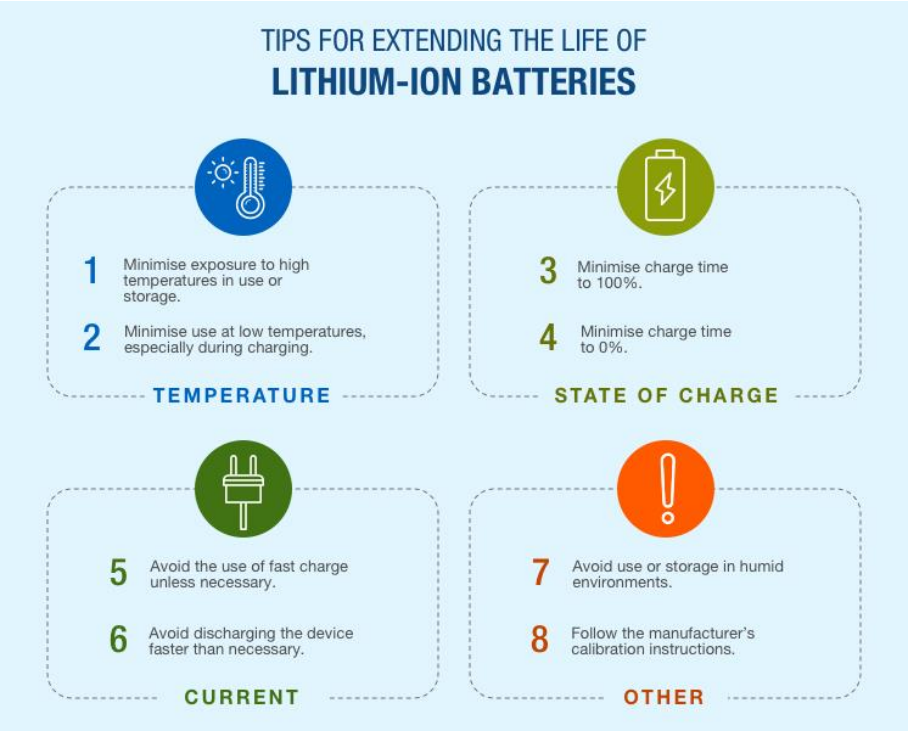


รูปที่ 29 หน่วยความจำของแบตเตอรี่

ที่มา: https://www.nipron.co.jp/english/product_info/encyclopedia/5_3.htm

3.1.5 การยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

แนวทางปฏิบัติหลักบางประการที่สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า อีกทั้งยังเป็นการช่วยรักษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้ ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 วิธีการรักษาแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

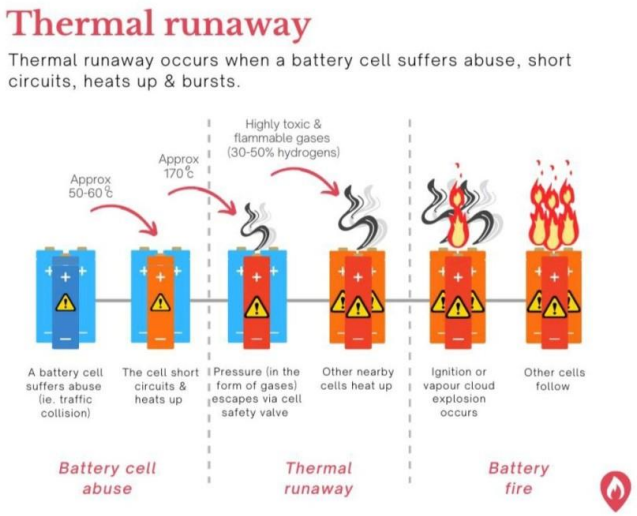
ที่มา: https://www.iberdrola.com/innovation/lithium-ion-batteries

- **ช่วงการชาร์จที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Charging Range)** ควรพยายามรักษาระดับประจุแบตเตอรี่ให้อยู่ระหว่าง 20% ถึง 80% อีกทั้งควรหลีกเลี่ยงการปล่อยทิ้งไว้ให้ระดับประจุแบตเตอรี่ต่ำกว่า 20% หรือหลีกเลี่ยงการชาร์จเกิน 80% ทุกครั้งที่เป็นไปได้
- **หลีกเลี่ยงการชาร์จอย่างรวดเร็ว (Avoid Fast Charge)** ควรหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็ว (Dc-Fast Charge) เนื่องจากจะทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้น และอาจส่งผลกระทบให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง ดังนั้นควรเลือกใช้วิธีการชาร์จแบบมาตรฐาน (AC-Charging)
- **การจัดการอุณหภูมิ (Temperature Management)** ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีอุณหภูมิที่สูงเกินไป เช่น ควรจอดรถในร่มในวันที่มีอากาศร้อน และปล่อยให้แบตเตอรี่เย็นก่อนที่จะอัดประจุใหม่

- **การชาร์จและการคายประจุแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradual Charging and Discharging)** ควรหลีกเลี่ยงการเร่งกระบวนการการอัดประจุ และการคายประจุ ทั้งนี้การชาร์จที่ช้าและสม่ำเสมอช่วยรักษาสุขภาพของแบตเตอรี่
- **ระบบจัดการแบตเตอรี่ที่มีคุณภาพ (Smart Battery Management)** ยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่มาพร้อมกับระบบจัดการแบตเตอรี่ ส่งผลให้การจัดการรอบการอัดประจุและการรักษาสุขภาพของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าเป็นไปอย่างเหมาะสม รวมถึงช่วยปรับสภาพแบตเตอรี่ให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น

3.1.6 Thermal Runaway

Thermal Runaway เป็นสาเหตุหลักของไฟไหม้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เนื่องจากแบตเตอรี่มีความร้อนสะสมมากเกินไป มักเกิดขึ้นระหว่างการชาร์จและการคายประจุแบตเตอรี่ด้วยค่ากระแสที่สูงมากๆ ทั้งนี้เนื่องจากลิเทียมไอออนนั้นมีความต้านทานภายในที่แน่นอนจึงสร้างความร้อนได้ในระดับหนึ่ง เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ส่งจ่ายออกอย่างต่อเนื่องไปยังยานยนต์ไฟฟ้า ก็จะส่งผลให้เกิดความร้อนสะสมอย่างต่อเนื่อง (อุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสูงขึ้น) ซึ่งโดยปกติแล้วแบตเตอรี่จะถูกแพ็ครวมอยู่ภายในกล่องที่มีพื้นที่จำกัด ดังนั้นจึงเกิดพลังงานความร้อนสะสมที่สูงมากขึ้นเรื่อยๆ ระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า โดย Thermal Runaway ถือเป็นปัญหาด้านความปลอดภัยส่วนหนึ่งของการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า โดยกระบวนการการเกิด Thermal Runaway นั้นแสดงในรูปที่ 31



รูปที่ 31 ปรากฏการ Thermal Runaway

ที่มา: https://www.linkedin.com/pulse/revolutionize-battery-safety-eliminating-thermal-runaway-hybrid

3.2 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System)

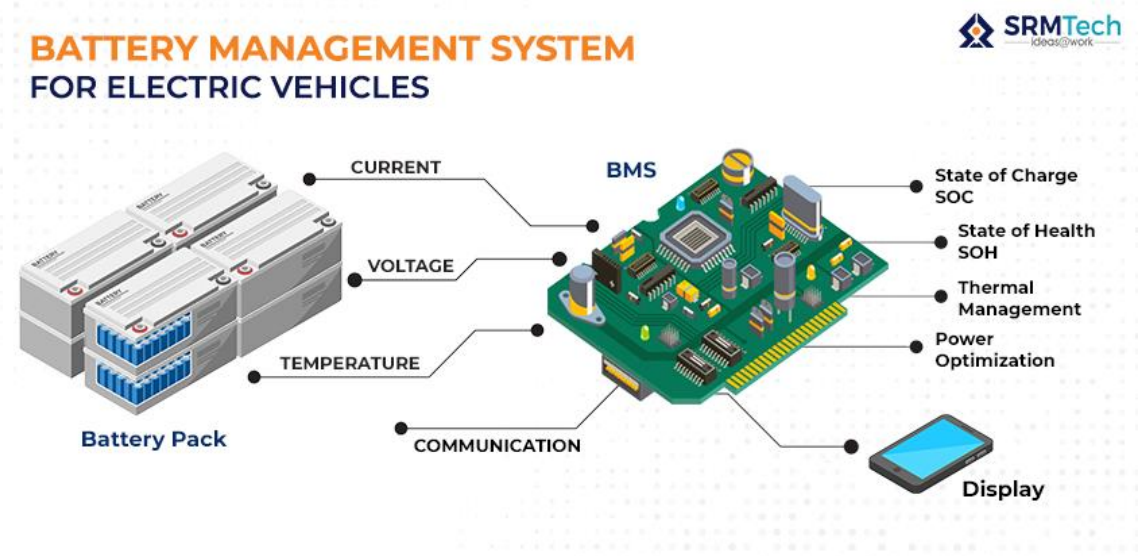
ระบบจัดการแบตเตอรี่ หรือ Battery Management System (BMS) เป็นบอร์ดวงจรไฟฟ้าสำหรับการควบคุมดูแลชุดแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 32 โดยมีหน้าที่ดังนี้

- การตรวจสอบแบตเตอรี่ (Monitoring the battery)
- ให้การป้องกันแบตเตอรี่ (Providing battery protection)
- การประมวลสถานการณ์ทำงานของแบตเตอรี่ (Estimating the battery's SoC)
- เพิ่มประสิทธิภาพแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่อง (Continually optimizing battery performance)
- รายงานสถานการณ์ทำงานไปยังอุปกรณ์ภายนอก (Reporting operational status to external devices)

โดยการออกแบบ BMS นั้นเป็นงานที่ท้าทาย และมีความซับซ้อน ซึ่งต้องอาศัยความรู้ทางด้านวิศกรรมศาสตร์ในหลากหลายแขนง เช่น ไฟฟ้า ดิจิทัล การควบคุม ความร้อน และไฮดรอลิก ระบบ BMS ไม่มีข้อจำกัดที่ตายตัวหรือเฉพาะเจาะจงที่ต้องนำมาใช้ ซึ่งจะเห็นถึงความหลากหลายของราคา โดย BMS ที่มีอยู่ในท้องตลาด กล่าวคือเทคโนโลยีการออกแบบและคุณลักษณะที่นำไปใช้โดยทั่วไป มีผลต่อต้นทุนความซับซ้อน และขนาดของแบตเตอรี่ (Battery pack) ทั้งนี้การทำงานของ BMS จะมากับคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1. การป้องกันชุดแบตเตอรี่ (Protection management) ประกอบด้วย การป้องกันด้านไฟฟ้า กล่าวคือควบคุมให้แบตเตอรี่ทำงานอย่างปลอดภัย และการป้องกันด้านความร้อน กล่าวคือควบคุมอุณหภูมิ (แบบ Passive และ Active) เพื่อให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่อยู่ในย่าน SOA
2. การบริหารความจุ (Capacity management)

นอกจากนั้น BMS อาจคำนวณค่าต่างๆ อาทิ แรงดันไฟฟ้า, สถานการณ์ชาร์จ และสภาวะสุขภาพอีกด้วย



รูปที่ 32 ระบบจัดการแบตเตอรี่

ที่มา: https://www.srmtech.com/wp-content/uploads/2023/10/BMS.png

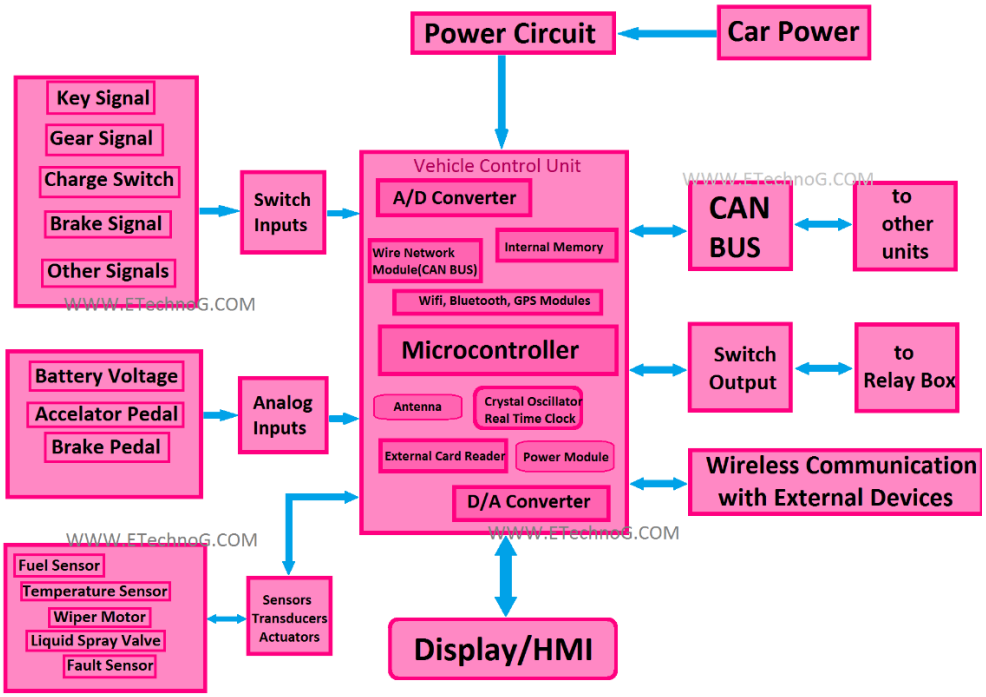
3.3 หน่วยควบคุมยานพาหนะของยานยนต์สมัยใหม่ (Vehicle Control Unit)

หน่วยควบคุมยานพาหนะของยานยนต์สมัยใหม่ หรือ Vehicle Control Unit (VCU) เป็นหน่วยควบคุมพาหนะของยานยนต์สมัยใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยานยนต์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ (BEV) มีลักษณะดังรูปที่ 33 และมีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 34 โดยหน่วยควบคุมยานพาหนะของยานยนต์สมัยใหม่มีหน้าที่หลักคือ

รูปที่ 33 หน่วยควบคุมยานพาหนะของยานยนต์สมัยใหม่

ที่มา: cliniquepodiatriqueduplateau.com/vcu-vehicle-control-unit

- **การจัดการและการกระจายพลังงาน** โดย VCU จะควบคุมและปรับการส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกลระหว่างแบตเตอรี่และมอเตอร์ให้เหมาะสม
- **การควบคุมเสถียรภาพของยานพาหนะ** โดยควบคุมทั้งแรงบิด และความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงความเร็วสูงสุด เช่นเดียวกับการกระจายแรงบิดระหว่างเพลาขับหรือล้อของเพลา
- **การจัดการด้านพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ** โดย VCU ทำหน้าที่ปรับสมดุลพลังงานของระบบ ปรับแรงบิด และควบคุมมอเตอร์ให้เหมาะสม ควบคุมชุดแบตเตอรี่แรงดันสูง (HV) สำหรับระบบขับเคลื่อนและระบบการอัดประจุออนบอร์ด (On-board Charging) จนถึงการล็อคเครื่องอัดประจุ (Safety Function)
- **การตรวจสอบ และวินิจฉัยข้อผิดพลาดระบบควบคุมอื่นๆ** เช่น ระบบเบรกแบบ Regerative Breaking ระบบการอัดประจุไฟฟ้า เป็นต้น
- **การจัดการความร้อน** เป็นการจัดการสภาวะความร้อนของยานพาหนะ
- **การประสานหน้าที่การทำงานของยานยนต์ภายในหน่วยควบคุมหนึ่งเดียว** โดยช่วยให้ผู้ผลิจยานยนต์สามารถพิจารณาอิทธิพลการทำงานแต่ละส่วนที่มีผลต่อกัน และกันของปัจจัยต่างๆจากส่วนกลางได้

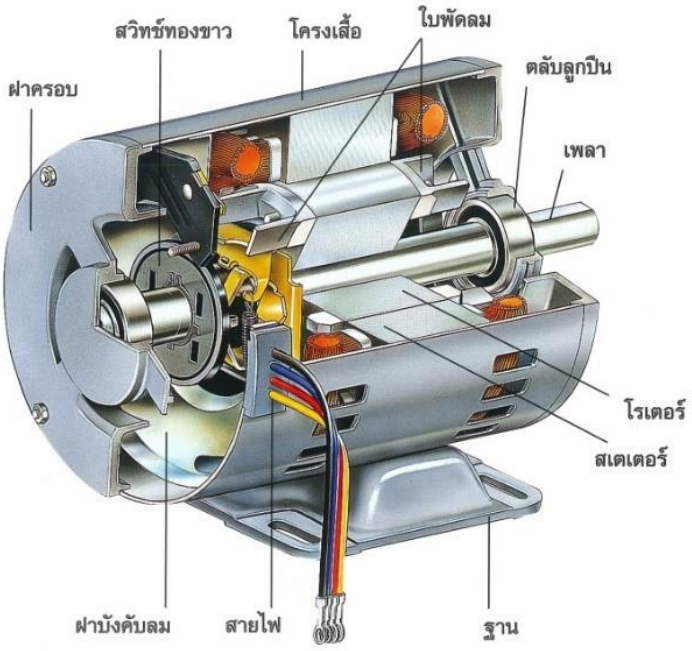


รูปที่ 34 Flow Chart VCU
ที่มา: https://etechnog.com

3.4 ชนิดของมอเตอร์ที่ใช้ในงานยานยนต์ไฟฟ้า

3.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (DC Series Motor)

เป็นมอเตอร์ที่ขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรม โดยมอเตอร์มีคุณลักษณะเด่นคือให้แรงบิดสูง ส่วนใหญ่นำไปใช้กับรถไฟฟ้า เครนไฟฟ้า เครื่องดูด ฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้าจักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์ประเภทนี้เหมาะกับงานหนัก อย่างไรก็ตาม มอเตอร์ชนิดนี้ เมื่อไม่มีโหลดรอบจะสูงมาก ดังนั้นเวลาสตาร์ทมอเตอร์จึงจำเป็นต้องต่อโหลดไว้เสมอ โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีลักษณะ ดังรูปที่ 35

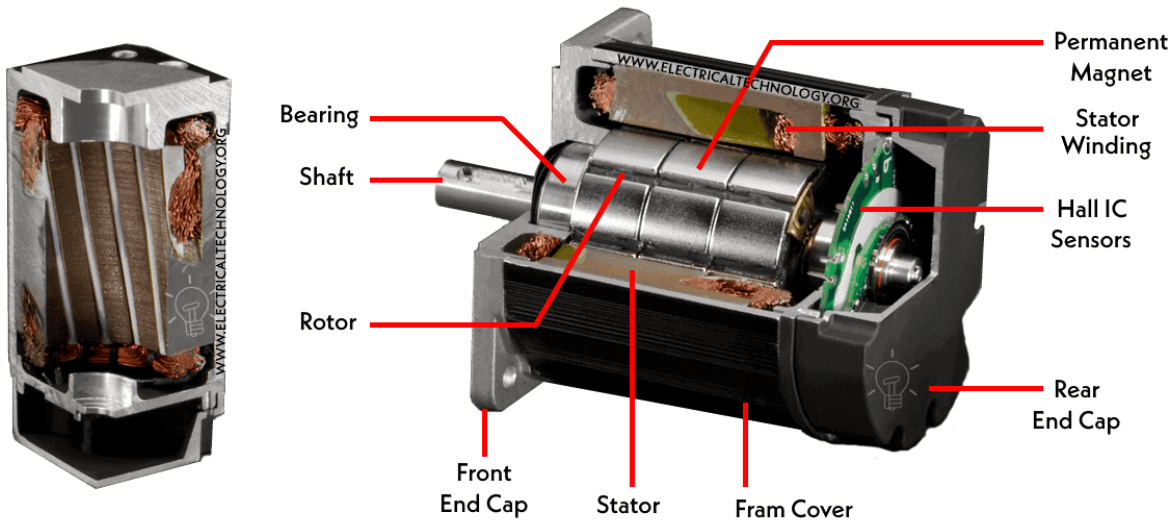


รูปที่ 35 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม
ที่มา: https://yilmazthailand.com/dcmotors

3.4.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor หรือ BDLC)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) มีอีกชื่อหนึ่งว่ามอเตอร์เปลี่ยนทิศทางด้วยกระแสไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 36 และเนื่องจากไม่มีแปรงถ่านที่โรเตอร์และสับเปลี่ยนทิศทางด้วยไฟฟ้าที่ตำแหน่งเฉพาะบนโรเตอร์ มอเตอร์ BLDC เป็นมอเตอร์ซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรที่มีรูปคลื่น EMF เป็นเอกลักษณ์ จึงทำงานคล้ายกับมอเตอร์ DC มีแปรงถ่าน มอเตอร์ BLDC จะไม่ทำงานจากแหล่งจ่ายไฟ DC โดยตรง แต่หลักในการทำงานนั้นจะเหมือนมอเตอร์ DC มอเตอร์ DC แบบไร้แปรงถ่านมีโรเตอร์พร้อมแม่เหล็กถาวรและสเตเตอร์พันขดลวด มอเตอร์ BDLC จึงเป็นมอเตอร์ DC ที่กลับด้านในออกด้านนอก ไม่มีแปรงถ่านและตัวสับเปลี่ยนทิศทางและเชื่อมต่อขดลวดกับอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมนี้จะทดแทนฟังก์ชันของตัวสับเปลี่ยนทิศทางและ

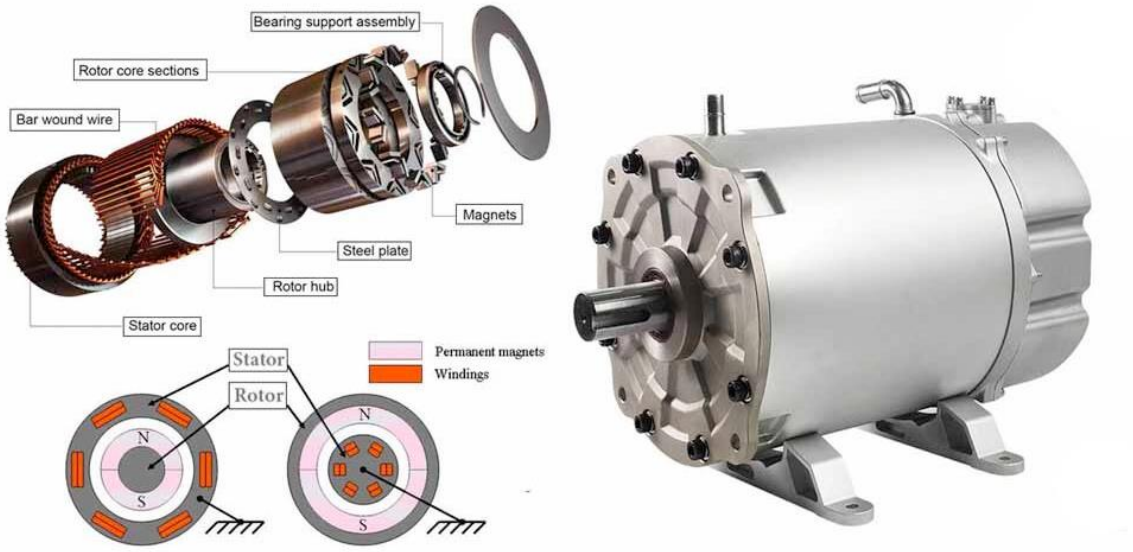
ให้พลังงานกับขดลวดที่เหมาะสม ขดลวดจะได้รับพลังงานในรูปแบบซึ่งหมุนรอบสเตเตอร์ ขดลวดสเตเตอร์ที่ได้รับพลังงานจะส่งไปยังแม่เหล็กของมอเตอร์และสลับเมื่อโรเตอร์มีแนวตรงกับสเตเตอร์ มอเตอร์ DC แบบไร้แปรงถ่านเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความน่าเชื่อถือสูง ประสิทธิภาพสูง และมีกำลังต่อปริมาณสูง โดยทั่วไปแล้วมอเตอร์ BLDC ถือเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่สามารถให้แรงบิดปริมาณมากในหลายช่วงกำลังได้



รูปที่ 36 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน
ที่มา: https://electricaltechnology.org/2016/05

3.4.3 มอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motor หรือ PMSM)

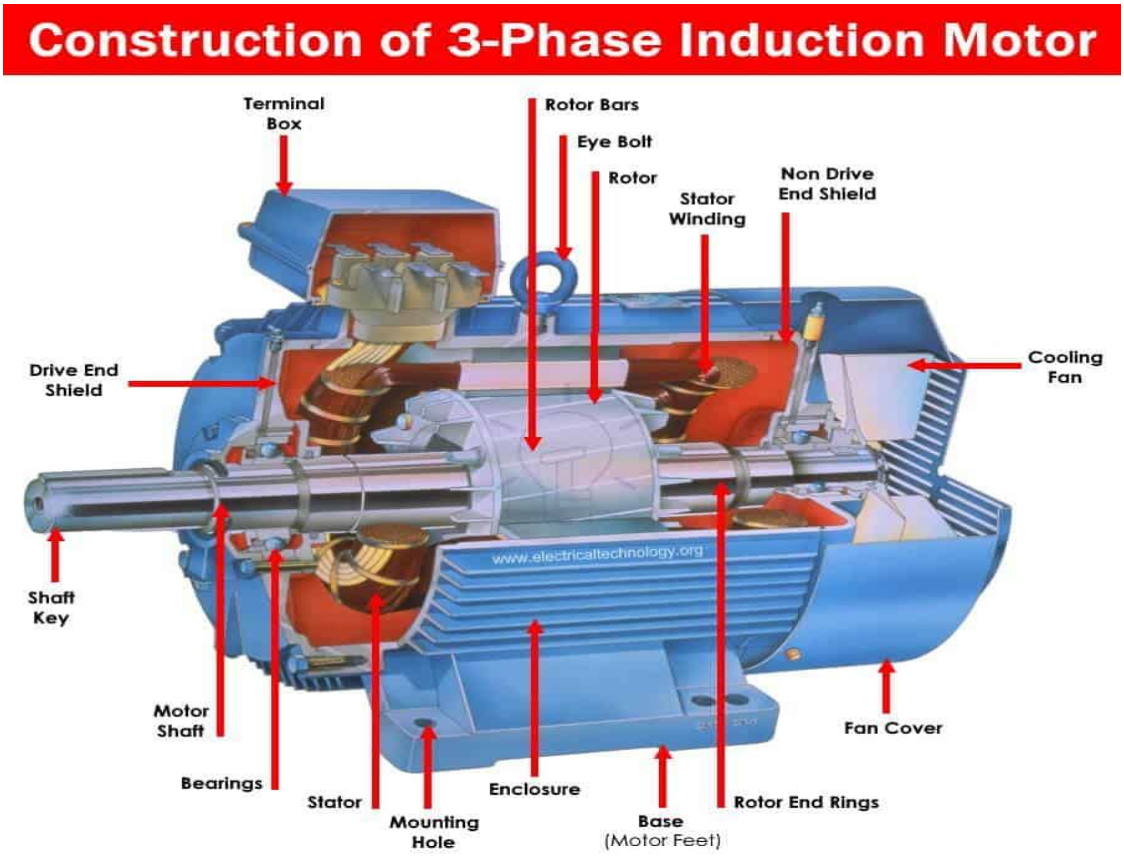
มอเตอร์ชนิดนี้ยังคล้ายกับมอเตอร์ BLDC ซึ่งมีแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์ เช่นเดียวกับมอเตอร์ BLDC และมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร ยังมีลักษณะการยึดเกาะ ที่มีความหนาแน่นของกำลังสูง และประสิทธิภาพสูง แต่ส่วนที่มีความแตกต่างก็คือ PMSM นั้นมี EMF ด้านหลังแบบไซน์ ในขณะที่ BLDC มี EMF ด้านหลังแบบสี่เหลี่ยมคางหมู และมีการจ่ายกำลังที่สูงกว่า โดยPMSM นั้นเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด สำหรับการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ PMSM นั้นก็มีการแข่งขันที่รุนแรงกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ เนื่องจากประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นมากกว่ารุ่นหลัง และ PMSM นั้นยังมีราคาที่แพงกว่ามอเตอร์ BLDC ผู้ผลิตยานยนต์ส่วนใหญ่ใช้มอเตอร์ PMSM สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและไฮบริด ตัวอย่างเช่น Toyota prius, Ford focus electric, Nissan leaf BMW i3 โดยรุ่นเหล่านี้ใช้มอเตอร์ PMSM ในการขับเคลื่อน โดยตัวอย่างมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร แสดงในรูปที่ 37



รูปที่ 37 มอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร
ที่มา: www.everythingpe.com/community/what-is-a-permanent-magnet-synchronous-motor

3.4.4 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Three Phase AC Induction Motors)

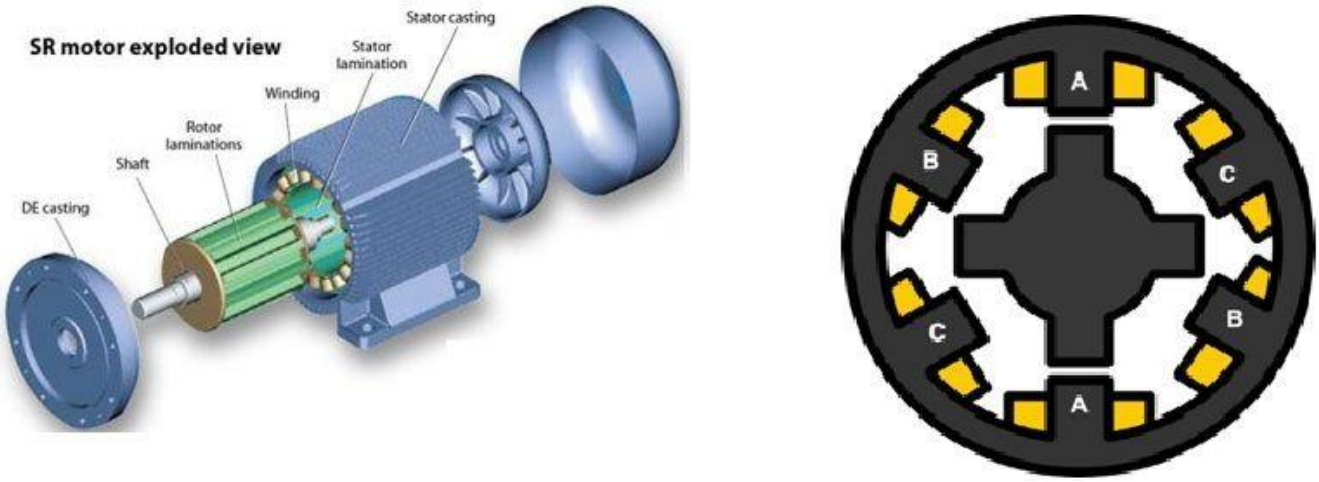
มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสนั้นเป็นมอเตอร์ที่ไม่มีแรงบิดเริ่มต่นสูงเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (ภายใต้การทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ และความถี่คงที่) โดยมอเตอร์ชนิดนี้มีคุณลักษณะนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยใช้เทคนิคการควบคุมต่างๆ เช่น วิธี Field Orientation Control (FOC) หรือ v/f เมื่อใช้วิธารควบคุมเหล่านี้ แรงบิดสูงสุดจะมีให้เมื่อเกิดการสตาร์ทมอเตอร์ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานแบบต้องการการฉุดหรือลาก และมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นสามารถออกแบบให้มีประสิทธิภาพการทำงานได้ถึง 92-95% แต่มีข้อเสียคือมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นต้งใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ซับซ้อนและการควบคุมมอเตอร์ที่ทำได้ยาก โดยตัวอย่างมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส แสดงในรูปที่ 38



รูปที่ 38 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส
ที่มา: https:// electricaltechnology.org/2020/05/three-phase-induction-motor.html

3.4.5 มอเตอร์สวิตช์รีบัคแตนซ์ (Switched Reluctance Motors)

Switched Reluctance Motors หรือ (SRM) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำงานตามหลักการค่าความต้านทานแม่เหล็ก โดยมอเตอร์ชนิดนี้มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีความทนทานสูง อีกทั้งยังมีโรเตอร์ที่ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบที่ไม่มีขดลวดหรือแม่เหล็กถาวร กล่าวคือมีค่า Moment of inertia ต่ำ ส่งผลให้ช่วยในเรื่องของการเร่งความเร็วทำได้ง่ายขึ้น เหมาะกับงานที่ต้องการความเร็วรอบสูงๆ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง แต่มีความซับซ้อนในการควบคุมสูง เพราะมีการทำสวิตช์ชิงด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อล่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ และมีเสียงที่ดังพอควร โดยตัวอย่างมอเตอร์สวิตช์รีบัคแตนซ์ แสดงดังรูปที่ 39



รูปที่ 39 มอเตอร์สวิตช์รีบัคแตนซ์

ที่มา: www.indiamart.com/proddetail/switch-reluctance-motor-10208081291.html

บทที่ 4 มาตรฐานและการทดสอบอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์

เพื่อให้ยานยนต์ที่ผลิตออกมาจำหน่ายมีความปลอดภัยต่อการใช้งาน ดังนั้นหน่วยงานควบคุมทั้งในสหรัฐอเมริกาเช่น Society of Automotive Engineer(SAE) และหน่วยงาน CISPR และ ISO/IEC ของสหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐานขึ้นเพื่อใช้ทดสอบคุณสมบัติต่างๆของยานยนต์ด้วย และสำหรับในประเทศไทยได้มีหน่วยงานรัฐและรัฐวิสาหกิจที่ดูแลเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้า เช่น กระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงมหาดไทย และกระทรวงพลังงาน

4.1 ความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า

ในเรื่องของความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้านั้นสามารถจำแนกได้ ดังนี้

- การอบรมบุคลากรให้มีความรู้ความเข้าใจ เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมอย่างมีระบบ เพื่อให้บุคคลได้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง กระทั่งเปลี่ยนพฤติกรรมไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ตลอดจนพัฒนาความสามารถจนเกิดทักษะและความชำนาญ
- การบำรุงรักษาที่ถูกต้องตามระยะเวลาที่กำหนด หากผู้ใช้งานละเลยไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำคู่มือการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า ตรวจสภาพยานยนต์ เช็คระยะ ตามคำแนะนำของผู้ผลิต จะส่งผลทำให้อายุการใช้งานของยานยนต์นั้นสั้นลง และเพิ่มความเสี่ยงอุบัติเหตุบนท้องถนนได้
- การประชาสัมพันธ์ให้ผู้บริโภคมีความรู้ความเข้าใจในการใช้งานที่ถูกต้อง
- ยานยนต์ไฟฟ้า ที่มีคุณภาพ
- เครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า ที่มีคุณภาพ

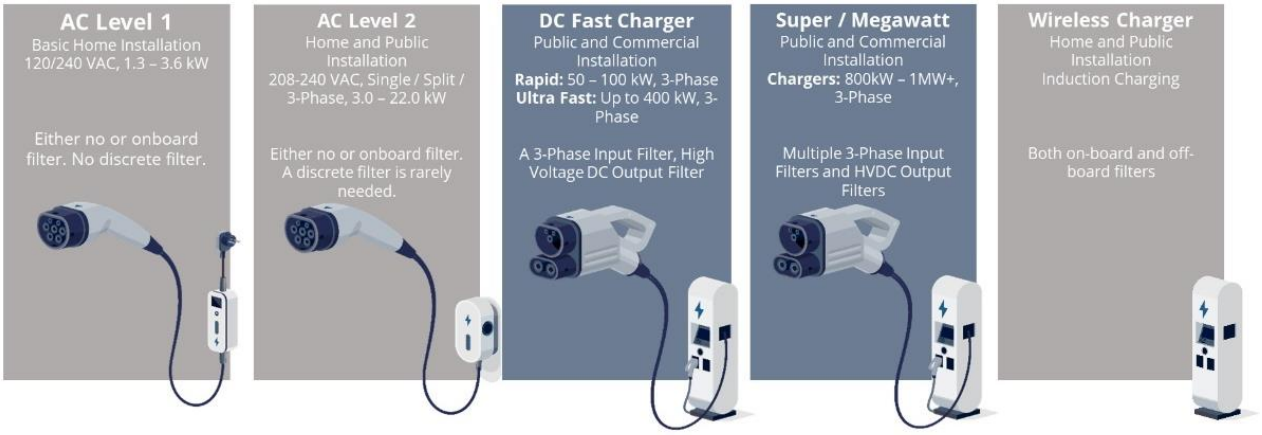
โดยหากมีความรู้และความเข้าใจในองค์ประกอบทั้งหมดนี้ จะช่วยให้หลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดกับยานยนต์ไฟฟ้าและอุบัติเหตุได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.2 ระบบการประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

ปัจจุบันเทคโนโลยีการประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การชาร์จประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conductive Charging) และการชาร์จไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Charging) หรือการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สาย (Wireless Charging

4.2.1 4.2.1 การชาร์จประจุยานยนต์ไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conductive Charging)

เป็นการชาร์จไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สายชาร์จเคเบิล เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความซับซ้อนน้อย ทำให้การชาร์จประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน สำหรับการชาร์จไฟฟ้าผ่านตัวนำนั้น สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 .ประเภท แสดงดังรูปที่ 40 ดังนี้



รูปที่ 40 ชนิดของตัวชาร์จ AC / DC

ที่มา: https://www.astrodynetdi.com/blog/emc-considerations-for-electric-vehicle-charging

4.2.1.1 การชาร์จประจุรถยนต์ไฟฟ้าแบบปกติ (Normal Charge)

ซึ่งเป็นการชาร์จประจุไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Charger) ผ่านอุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้าที่ติดตั้งภายในยานยนต์ไฟฟ้า (On-Board Charger) จะมีขนาด 4.3 kW และ 6.6 kW สำหรับการชาร์จประจุไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ไปจนถึง 11 kW และ 22 kW สำหรับระบบการชาร์จไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ซึ่งการชาร์จประจุไฟฟ้ากระแสสลับที่ 22 kW จะเรียกว่าการชาร์จประจุไฟฟ้ากระแสสลับแบบกึ่งเร็ว (AC Semi-Quick Charge) และผ่านอุปกรณ์ Inverter เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อชาร์จประจุในแบตเตอรี่ต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปจะรองรับกระแสไฟฟ้าได้เพียง 16-32A ดังนั้น การชาร์จไฟฟ้าในรูปแบบนี้เหมาะสำหรับการชาร์จประจุไฟฟ้าที่ สำนักงาน หรือที่จอดรถสาธารณะที่เปิดให้จอดได้เป็นระยะเวลานาน (มากกว่า 1-2ชั่วโมง)

4.2.1.2 การชาร์จประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick Charge)

ซึ่งเป็นการชาร์จประจุไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charger) เข้าสู่แบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าโดยตรง โดยมีระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) ทำหน้าที่ควมคุมการชาร์จประจุ การชาร์จประจุไฟฟ้าแบบเร็วสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าในการชาร์จไฟฟ้าได้สูงเนื่องจากไม่มีข้อจำกัดเรื่อง On-Board Charger โดยทั่วไปสามารถชาร์จประจุไฟฟ้าครึ่งหนึ่งของความจุแบตเตอรี่ได้ภายในระยะเวลาเพียง 10-15 นาทีและเนื่องจากเป็นการชาร์จประจุไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง จึงต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3เฟส ที่มีพิกัดกระแสสูง การชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงมักเป็นการใช้งานในแหล่งสาธารณะซึ่งต้องการความรวดเร็วในการชาร์จประจุไฟฟ้า

4.2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อสำหรับการชาร์จประจุไฟฟ้า

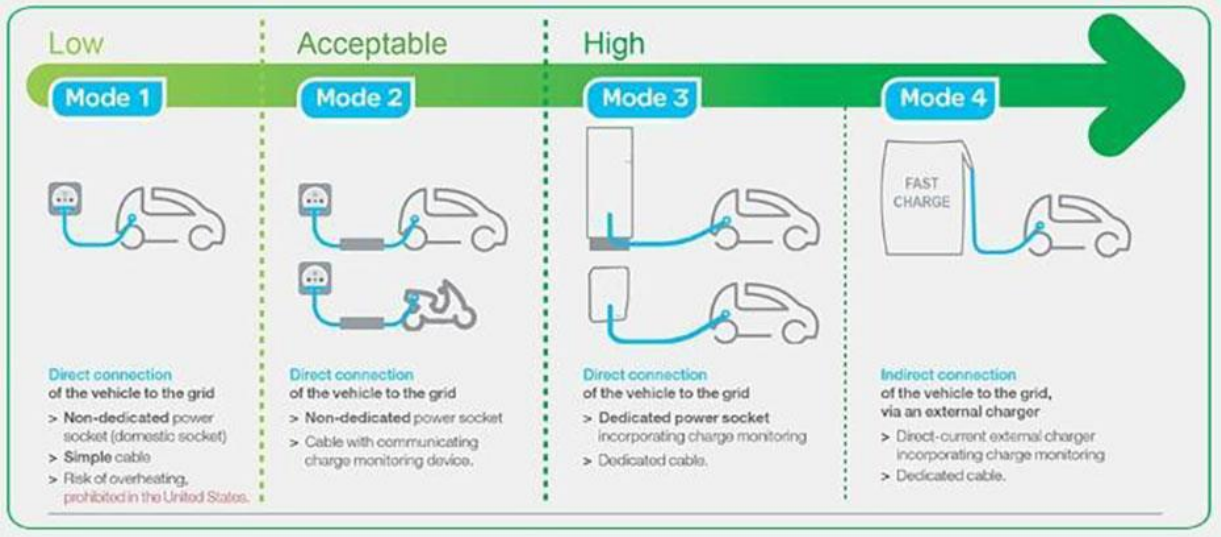
นอกเหนือจากเทคโนโลยีการชาร์จประจุไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้น International Electro-technical Commission หรือ IEC ได้กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อสำหรับการชาร์จประจุไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 โหมด ดังแสดงในรูปที่ 41

การชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 1 (Mode 1) ยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยตรงผ่านเต้ารับที่ติดตั้งทั่วไปในที่อยู่อาศัย และเป็นการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ทั้งนี้ในการชาร์จประจุไฟฟ้าในโหมด 1 นั้นระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยและมีการติดตั้งสายดิน อุปกรณ์ตัดไฟ และอุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่ว นอกจากนี้แล้วการชาร์จประจุไฟฟ้าในโหมด 1 เป็นระยะเวลานานอาจทำให้เกิดความร้อนขึ้นบริเวณเต้ารับและสายไฟ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ และหากมีการใช้ไฟฟ้าเกินขนาดของเต้ารับและสายไฟฟ้าจะทำให้เบรกเกอร์ตัดการจ่ายไฟฟ้าเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าเกิน

การชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 2 (Mode 2) ยานยนต์ไฟฟ้าถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าโดยตรงผ่านเต้ารับที่ติดตั้งทั่วไปในที่อยู่อาศัยและทำการชาร์จประจุไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส หรือ 3 เฟส ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) อย่างไรก็ตามในการชาร์จประจุไฟฟ้าในโหมด 2 จะมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้าติดตั้งพร้อมสายชาร์จเคเบิ้ลด้วย ซึ่งทำให้การชาร์จประจุไฟฟ้าในโหมด 2 มีค่าใช่จ่ายที่สูงกว่าในโหมด 1 แต่มีความปลอดภัยมากขึ้นด้วย

การชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 3 (Mode 3) ยานยนต์ไฟฟ้าถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าผ่านเครื่องชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า AC ขนาดเล็กซึ่งมีแผงวงจรในการควบคุการชาร์จประจุไฟฟ้าและควบคุมความปลอดภัย ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ส่งผลให้การชาร์จประจุไฟฟ้าในโหมดนี้มีความปลอดภัยมากกว่าการชาร์จประจุไฟฟ้าใน โหมด 1 และ 2 แต่ก็มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าด้วยเช่นเดียวกัน

การชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าโหมด 4 (Mode 4) ยานยนต์ไฟฟ้าถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าผ่านเครื่องชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า DC ซึ่งจะชาร์จไฟฟ้าด้วยกระแสตรง (DC) เข้าสู่แบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าโดยตรง โดยเครื่องชาร์จประจุไฟฟ้าจะมีระบบควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ระบบควบคุมความปลอดภัยและสายชาร์จเคเบิลติดตั้งมากับเครื่องชาร์จประจุไฟฟ้า จึงทำให้การชาร์จไฟฟ้าในโหมด 4 มีความรวดเร็วและปลอดภัย แต่มีค่าใช้จ่ายสำหรับเครื่องชาร์จประจุไฟฟ้าและการเตรียมระบบไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง

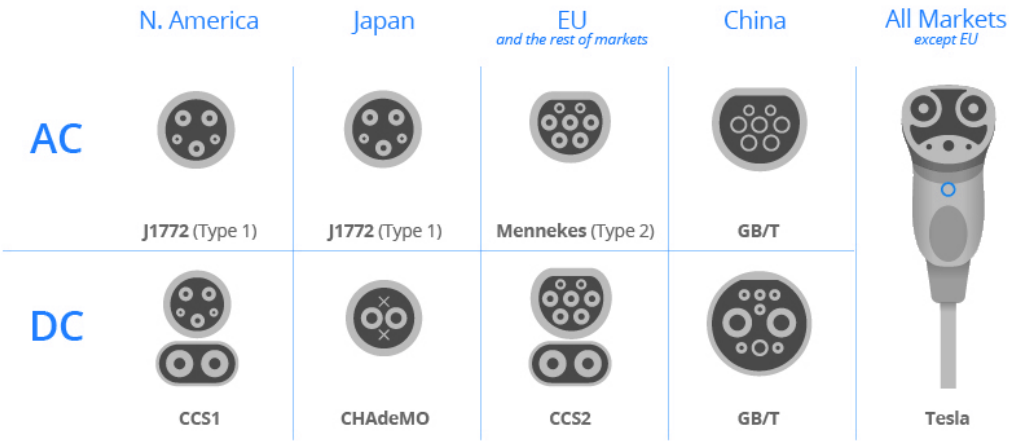


รูปที่ 41 Mode การชาร์จทั้ง 4 แบบ

ที่มา: https://phithangreen.com/electric-car-charging-model/

4.2.3 ชนิดของหัวชาร์จ

ปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้า EV ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย มักจะมีพอร์ตในการชาร์จไฟอยู่ 2 แบบ แบบแรกจะเป็น AC charging (slow to medium speed charging) และอีกพอร์ตจะเป็น DC fast charging ซึ่งพอร์ตนี้มักจะมาในรูปแบบพอร์ตรวม ที่สามารถใช้ชาร์จได้ทั้ง AC และ DC หรือเรียกว่า CCS (Combined Charging System). แสดงในรูปที่ 42

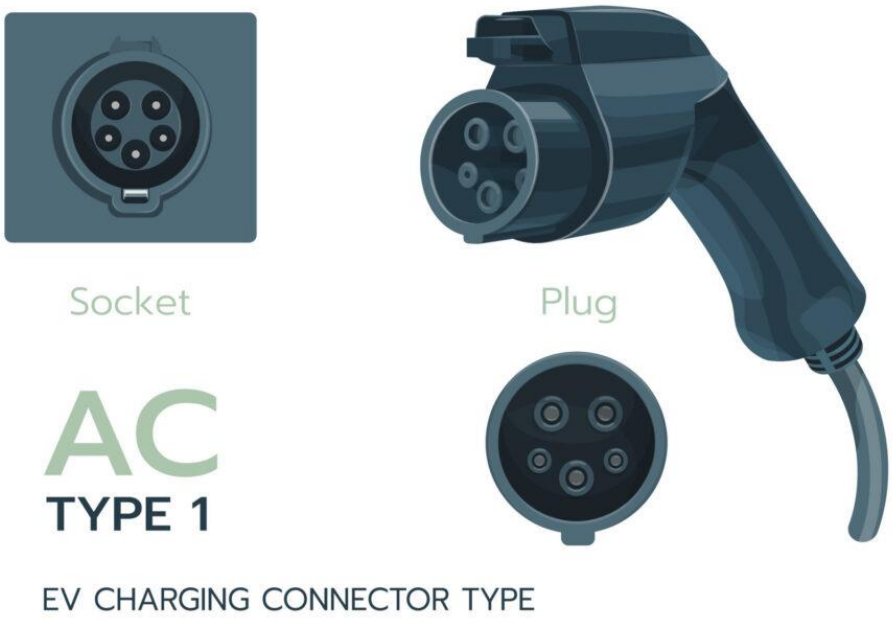


รูปที่ 42 ชนิดของหัวชาร์จที่ใช้ในแต่ละประเทศ

ที่มา: https://wallbox.in.th/ประเภทหัวชาร์จในรถ

4.2.3.1 หัวชาร์จแบบ Type 1

หัวชาร์จ Type 1 นิยมใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า ของฝั่งอเมริกาและญี่ปุ่น จะมีลักษณะหัวต่อแบบ 5 Pin เป็นการชาร์จแบบไฟ 1 เฟส และรองรับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 32A หรือ 7.2 kWh โดยมีลักษณะดังรูปที่ 43



รูปที่ 43 หัวชาร์จแบบ Type 1
ที่มา: https://diyguru.org/resources/article/type-1/

4.2.3.2 หัวชาร์จแบบ Type 2

หัวชาร์จ Type 2 นิยมใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า ของฝั่งยุโรป จะมีลักษณะหัวต่อแบบ 7 Pin จะจ่ายไฟอยู่ที่ 3.7 kWh ในผู้ผลิตบางรายได้มีการพัฒนาให้เป็นรูปแบบการชาร์จไฟ 3 Phase ทำให้จ่ายไฟได้มากถึง 11 - 22 kWh และ ประเทศไทย มาตราฐานปัจจุบันคือรูปแบบนี้ แสดงดังรูปที่ 44

รูปที่ 44 หัวชาร์จแบบ Type 2

ที่มา: https://www.trinitytouch.com/ev-charging-connector/

4.3 เปรียบเทียบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่สอดคล้องกับมาตรฐาน IEC

โดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) และมาตรฐานสากล กล่าวคือ มาตรฐาน IEC ดังแสดงในรูปที่ 45

เปรียบเทียบมาตรฐาน สมอ. ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน IEC	
มาตรฐาน สมอ.	สอดคล้องกับมาตรฐาน IEC
มอก. 61851 เล่ม 1 - 2560	IEC61851-1: 2010-11, 2nd edition
มอก. 61851 เล่ม 21 - 2560	IEC61851-21: 2001-05, 1st edition
มอก. 61851 เล่ม 22 - 2560	IEC61851-22: 2001-05, 1st edition
มอก. 61851 เล่ม 23- 2560	IEC61851-23: 2014-03, 1st edition
มอก. 61851 เล่ม 24 -2560	IEC61851-24: 2014-03, 1st edition

รูปที่ 45 การเปรียบเทียบ สมอ. กับ IEC

4.4 ข้อควรทราบเกี่ยวกับมาตรฐาน มอก.

มาตราฐานพื้นฐานคือ มาตรฐานด้านความปลอดภัย (Safety) และความเข้าใจได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) โดยการนำมาตรฐานระหว่างประเทศมาดัดแปรใช้ ปกติจะดัดแปร 2 ส่วน ได้แก่ Technical selection คือ การเลือกใช้มาตรฐานจากหลากหลายตระกูล โดยเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานของประเทศไทย และ National difference คือการปรับเปลี่ยนเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ และลักษณะการใช้งานของประเทศไทย ตัวอย่างเช่นอุณหภูมิโดยรอบที่ใช้ในการทดสอบแก้ไขจาก 20℃ ± 5℃ เป็น 25℃ ± 5℃ ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมกับอุณหภูมิโดยรอบของประเทศไทยไม่อนุญาตให้ใช้กระประจุโหมด 1 เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

- การอัดประจุโหมด 2 อนุญาตให้ใช้งานได้ แต่กระแสไฟฟ้าต้องไม่เกิด 8 A เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน
- การอัดประจุโหมด 3 อนุญาตให้ใช้งาน Case B ได้ แต่เต้ารับ-จ่ายที่ติดตั้งอุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้าเป็นชนิด Type 2 และกระแสไฟฟ้าต้องไม่เกิน 32 A เพื่อความสะดวกในการใช้งาน โดยที่ยังมีความปลอดภัย
- เพื่อข้อกำหนดระดับการป้องกันโดยเปลือกหุ้มสำหรับบริภัณฑ์อัดประจุที่ติดตั้งภายในอาคาร ระดับการป้องกัน ไม่ต่ำกว่า IP41 และบริภัณฑ์อัดประจุที่ติดตั้งกลางแจ้งระดับการป้องกันต้องไม่ต่ำกว่า IP55 ยกเว้นแต่จะมีการสร้างหลังคาปกคลุมไว้ ยอมให้ไม่ต่ำกว่า IP54 ได้ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

4.5 มาตราฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบยานยนต์ไฟฟ้า (มาตราฐานที่สามารถใช้อ้างอิง)

- มอก. 61851 เล่ม 1-2560 (IEC 61851-1: 2010-11) พิมพ์ครั้งที่ 2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำของยานยนต์ไฟฟ้า เล่ม 1: ข้อกำหนดทั่วไป
- มอก. 61851 เล่ม 21-2560 (IEC 61851-21: 2001-05) พิมพ์ครั้งที่ 1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำยานยนต์ไฟฟ้า เล่ม 21: ข้อกำหนดยานยนต์ไฟฟ้าสำหนับการเชื่อมต่อผ่านตัวนำไฟยังแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ/ตรง
- มอก. 61851 เล่ม 22-2560 (IEC 61851-22: 2001-05) พิมพ์ครั้งที่ 1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำของยานยนต์ไฟฟ้า เล่ม22: สถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากระแสสลับ
- มอก. 61851 เล่ม 23-2560 (IEC 61851-23: 2014-03) พิมพ์ครั้งที่ 1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำของยานยนต์ไฟฟ้า เล่ม 23: สถานีอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้ากระแสตรง

- มอก. 61851 เล่ม 24-2560 (IEC 61851-24: 2014-03) พิมพ์ครั้งที่ 1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำของยานยนต์ไฟฟ้า เล่ม 24: การสื่อสารแบบดิจิทัลระหว่างเครื่องอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงกับยานยนต์ไฟฟ้า สำหรับการควบคุมการอัดประจุแบบกระแสตรง