สัมมนา

ข้อกำหนด Formula SAE เพื่อใช้กับ EV Conversion

โดย

ดร. บุรินทร์ เกิดทรัพย์

ดร. มานพ มาสมทบ

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

Society of Automotive Engineers-Thailand

เนื้อหา

- แนะนำ Formula Society of Automotive Engineering (FSAE)
- ทำความรู้จักกับข้อกำหนด EV Powertrain System สำหรับการแข่งขัน FSAE
- ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE
- แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย
- วิธีการเลือกมอเตอร์กับแบตเตอรี่ที่เหมาะสม
- การประยุกต์ใช้ข้อกำหนด FSAE กับ EV Conversion
- แนวความคิดการดัดแปลงโดยใช้อุปกรณ์พื้นฐานจากเครื่องยนต์เดิม

แนะนำ Formula Society of Automotive Engineering (Formula SAE)

- ปี ค.ศ. 1981: เริ่มต้นการแข่งขัน Formula SAE®“ จัดโดย Society of Automotive Engineers (SAE) ในประเทศสหรัฐอเมริกา
- ปี ค.ศ. 1998: SAE and IMechE (Institution of Mechanical Engineers) ในประเทศอังกฤษได้จากการแข่งขันประจำปีในชื่อ "Formula Student“
- ปี ค.ศ. 2000-2010: Formula SAE ในประเทศออสเตรเลีย, ประเทศอิตาลี, ประเทศบราซิล, ประเทศญี่ปุ่น, ประเทศเยอรมนี, ประเทศออสเตรีย
- ปี ค.ศ. 2024: Formula Student Germany (FSG) ไม่จัดการแข่งขันสำหรับรถ ICE

ICE (FSAE: 1981)

EV (FSAE: 2010, TSAE: 2018)

Autonomous EV (2017)

ทำความรู้จักกับข้อกำหนด EV Powertrain System สำหรับการแข่งขัน FSAE (1/3)

- กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าไม่เกิน 80 kW
- สามารถทำงานในโหมด Regenerating energy
- ต้องไม่สามารถสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนกลับทิศได้
- ระบบกราวด์ (Grounding) => ความต้านทานระหว่างผิวนำไฟฟ้ากับระบบกราวด์ไฟแรงต่ำน้อยกว่า 0.3 Ohm
- อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent protection)
- แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไม่เกิน 600 VDC
- ติดสติ๊กเกอร์ High Voltage => ISO 7010-W012

- แยกระบบขับเคลื่อน (Traction system, TS) กับระบบกราวด์ไฟแรงต่ำ (Grounded low voltage system, LVS)

Voltage	Spacing
U <100 V DC	10 mm
100 V DC < U <200 V DC	20 mm
U >200 V DC	30 mm

ในกรณี TS และ LVS อยู่ในพื้นที่เดียวกัน

Voltage	Over Surface	Through Air (Cut in board)	Conformal Coating
0 V DC to 50 V DC	1.6 mm	1.6 mm	1.0 mm
50 V DC to 150 V DC	6.4 mm	3.2 mm	2.0 mm
150 V DC to 300 V DC	9.5 mm	6.4 mm	3.0 mm
300 V DC to 600 V DC	12.7 mm	9.5 mm	4.0 mm

ในกรณี TS และ LVS อยู่บน PCB เดียวกัน

ทำความรู้จักกับข้อกำหนด EV Powertrain System สำหรับการแข่งขัน FSAE (2/3)

- Traction system insulation => ทดสอบกับ Insulated test probe เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ยาว 100 mm
- จุดเชื่อมต่อทางไฟฟ้าทั้งหมด รวมทั้ง สกรู น็อต และตัวยึดอื่นๆ => Positive locking mechanisms
- Tractive system measuring point (TSMP) => จุดวัดไฟแรงสูงของระบบ
- High voltage disconnect (HVD) => ตัดการเชื่อมต่ออย่างน้อยหนึ่งขั้วของแพ็กแบตเตอรี่
- Tractive system active light (TSAL)
- Activating tractive system => Ready-to-drive mode
- Tractive system energy storage

  => Battery or super-capacitor

  => ในแต่ละโมดูลแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 120 VDC, พลังงานสูงสุดไม่เกิน 6 MJ และน้ำหนักไม่เกิน 12 kg

  => Accumulator isolation relay (AIR) ต้องตัดการเชื่อมตต่อขั้วทั้งสองของแพ็กแบตเตอรี่

  => Pre-charge circuit

  => Accumulator management system

ทำความรู้จักกับข้อกำหนด EV Powertrain System สำหรับการแข่งขัน FSAE (3/3)

- Shutdown circuit และระบบต่างๆ

  => Shutdown circuit (SDC)

  => Tractive system master switch (TSMS)

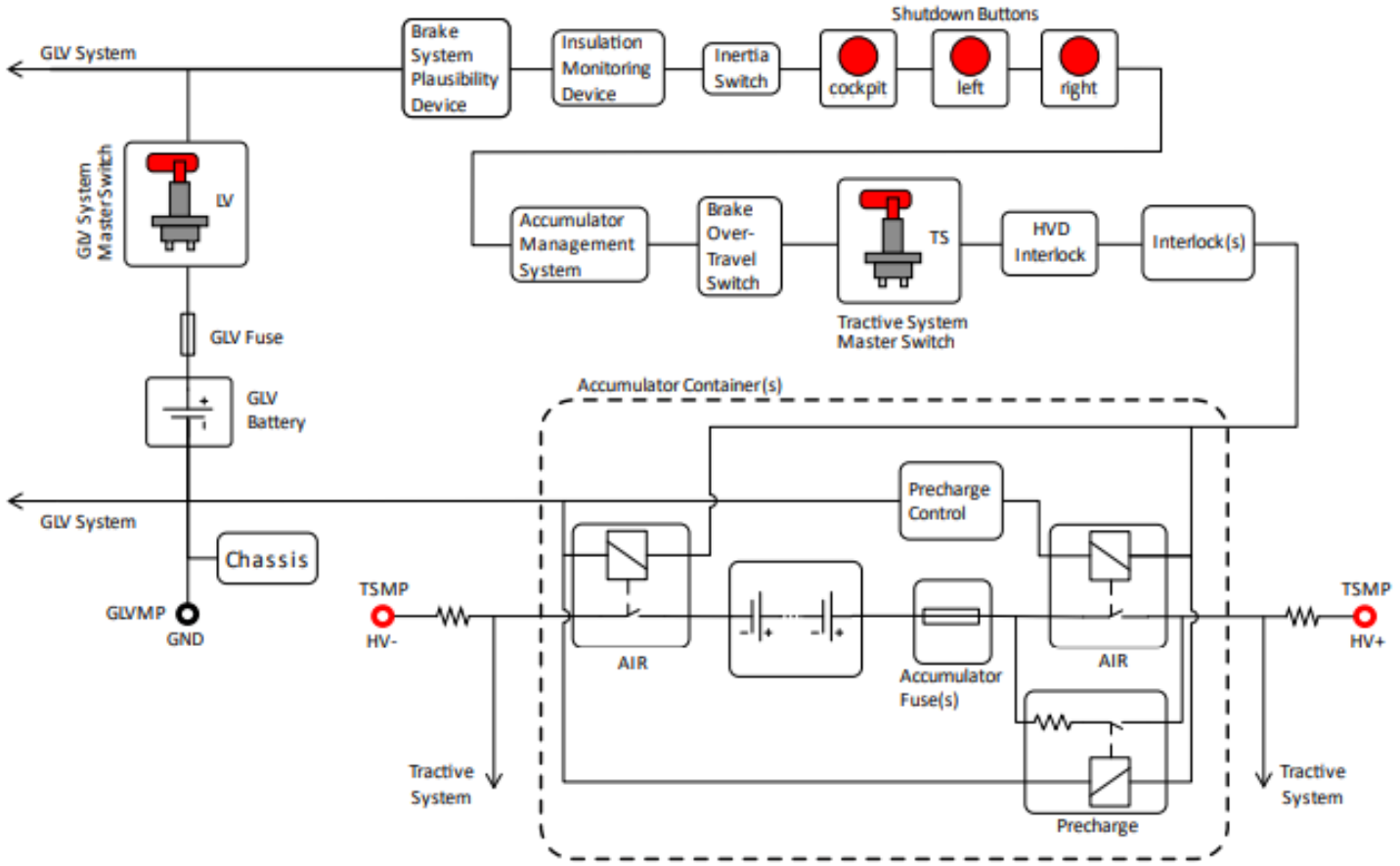
  => Insulation monitoring device (IMD)

  => APPS/Brake pedal plausibility check

  => APPS Implausibility check

  => Brake system plausibility device

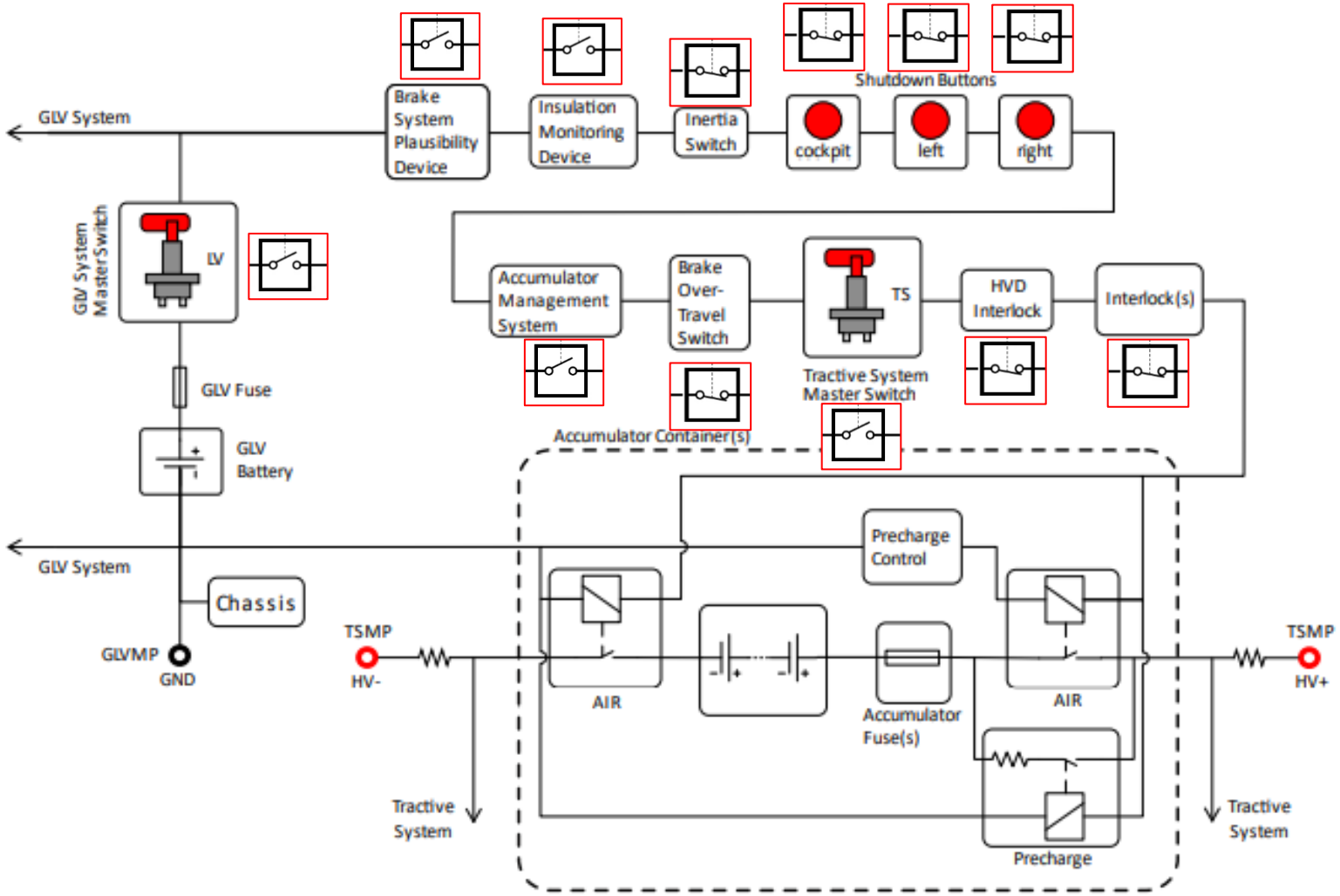
ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE



- APPS implausibility (สัญญาณคันเร่งหายไป)
- GLV battery and DC to DC for 12VDC/24VDC
- Brake System Plausibility Device
- Insulation Monitoring Device
- Inertia Switch
- Shutdown Buttons
- Accumulator Management System/Battery Management System
- Brake over-Travel Switch
- HVD Interlock
- Precharge Control, AIR and Precharge
- Accumulator Fuse
- TSMP (Tractive System Measurement Point)
- Tractive System Line

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

สถานะสวิทช์เริ่มต้นตอนระบบยังไม่ทำงาน



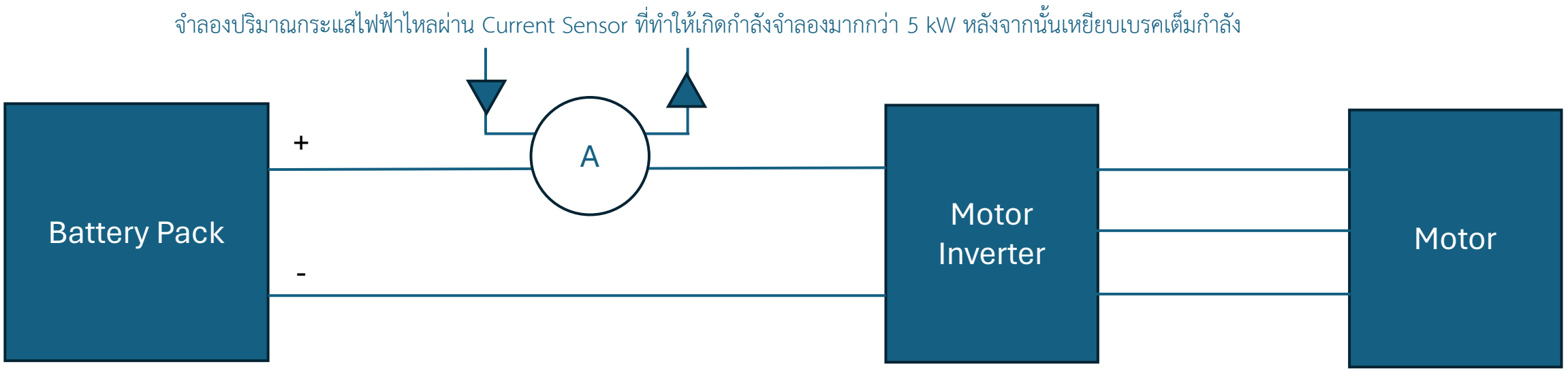
ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

Brake System Plausibility Device

เงื่อนไขทั้งสองด้านล่างเกิดขึ้นนานกว่า 500ms

1. แรงดันเบรกเกินค่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (ค่าเกณฑ์ <= 30 บาร์)
2. กำลังที่ส่งไปยังมอเตอร์ >= 5kW หรือตำแหน่งคันเร่งมากกว่า 25 %

หลังจากที่ BSPD ทำงานแล้ว ระบบคงต้องค้างไว้จนกว่าทั้งสองเงื่อนไขจะถูกรีเซ็ต คือ ยกเลิกการเบรค และไม่มีกำลังส่งไปที่มอเตอร์ >= 5kW

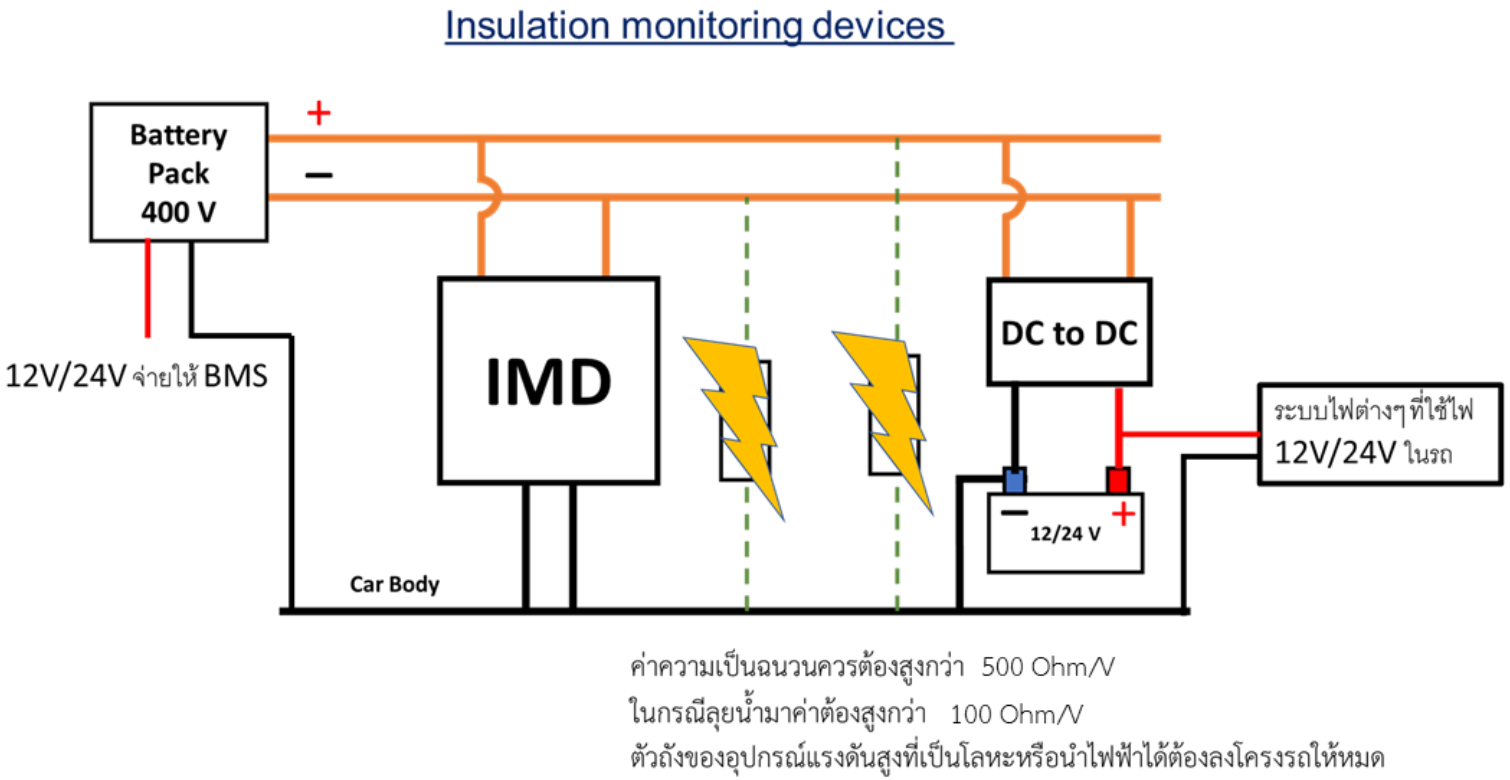


อ้างอิง : https://www.instructables.com/How-to-Design-a-BSPD-FSAE/

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

Insulation Monitoring Device

ระบบตรวจจับค่าความเป็นฉนวน/ไฟรั่ว



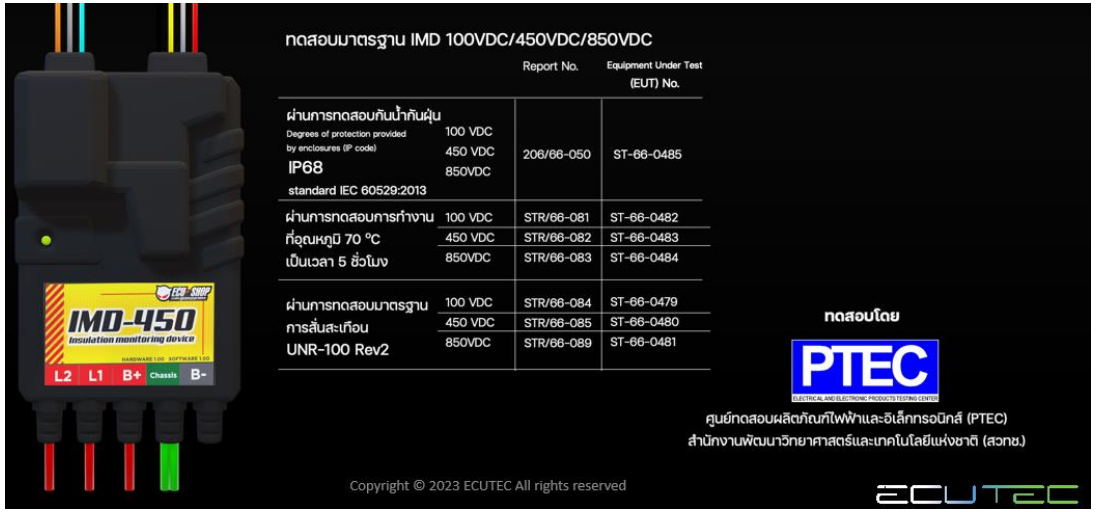
ค่าความเป็นฉนวนควรต้องสูงกว่า 500 Ohm/V
ในกรณีลุยน้ำมาค่าต้องสูงกว่า 100 Ohm/V
ตัวถังของอุปกรณ์แรงดันสูงที่เป็นโลหะหรือนำไฟฟ้าได้ต้องลงโครงรถให้หมด

*** ใช้แรงดันต่ำกว่า 60 VDC กรรมการอนุญาตให้ผ่านหัวข้อนี้ ***

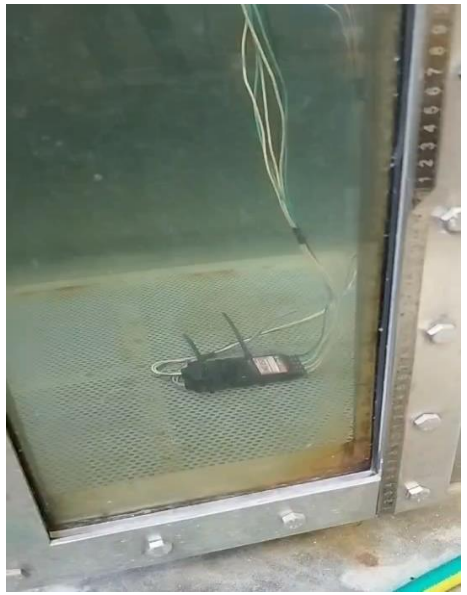
เพื่อส่งเสริมการพัฒนาขีดความสามารถของนักศึกษา กรรมการอนุญาตให้ใช้ของทำเองได้ แต่ต้องตรวจผ่าน Inspection

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

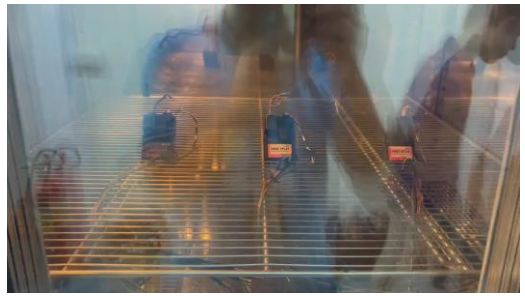
Insulation Monitoring Device



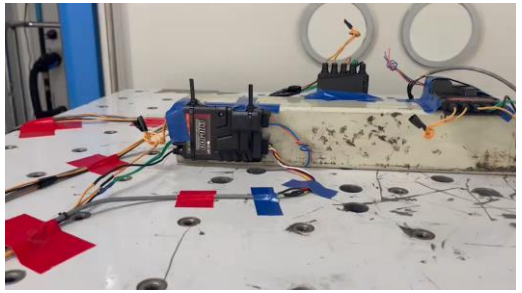
Made in Thailand



ทดสอบ IP68 แบบมีการจ่ายไฟจริง 600-800 V



ทดสอบภายใต้อุณหภูมิ 70 องศา แบบมีการจ่ายไฟจริง 600 V



ทดสอบรองรับการสั่นสะเทือน UNECE R100 แบบมีการจ่ายไฟจริง 600 V

ผ่านการทดสอบ EMC รายการที่จำเป็น และ ESD

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

Insulation Monitoring Device

- แจ้งเตือน เมื่อค่าความฉนวนต่ำกว่า 1,500 Ohm/V
- ตัดการทำงานของ Battery Pack ภายใน 15 วินาที เมื่อค่าความฉนวนต่ำกว่า 500 Ohm/V
- ตัดการทำงานของ Battery Pack < 1 วินาที เมื่อค่าความฉนวนต่ำกว่า 100 Ohm/V

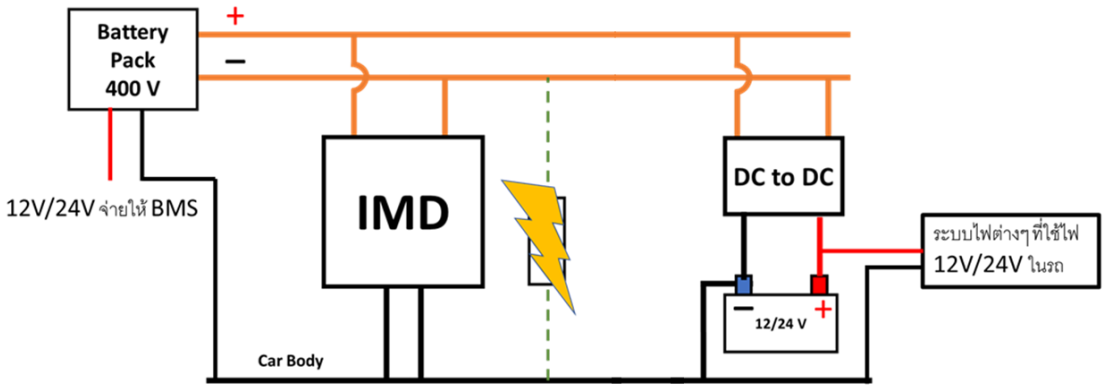
อุบัติเหตุรถตกน้ำ

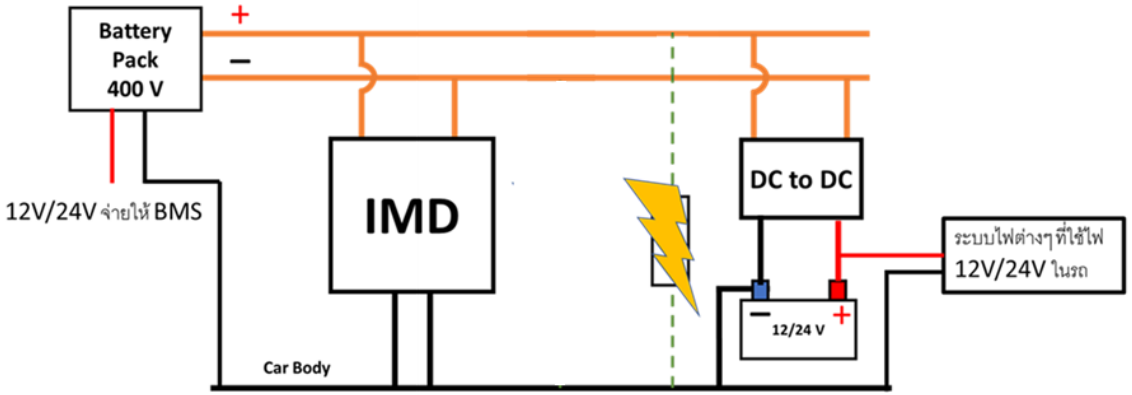
อุบัติเหตุรถชน

IMD สามารถตัดการทำงานของ Battery Pack ก่อนเข้าไปกู้ภัย

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

Insulation Monitoring Device





- ใช้ความต้านทานที่ต่ำกว่า 500 Ohm/V จำลองลงโครง เพื่อตรวจสอบการทำงานของ IMD ว่าส่งข้อมูลเพื่อสั่งตัดการทำงานของแพ็กแบตเตอรี่หรือไม่ ต้องตัดภายใน 30 วินาที และแรงดันต้องต่ำกว่า 60 VDC ภายใน 5 วินาที

ตัวอย่าง : แพ็กแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้า 400 V ค่าความต้านทานที่ใช้ จะมีค่าต่ำกว่า 500 Ohm/V x 400V = 200,000 Ohm

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

Inertia Switch

ควรติดในจุดที่มีความแข็งแรง บริเวณหน้ารถ เพื่อสามารถตรวจสอบแรงกระแทก แบบฉับพลันขณะรถชนได้ง่าย

Shutdown Buttons

สีแดงเห็นได้ชัด ขนาดปุ่มโตกว่า 24 mm ติดตั้งอย่างน้อย 3 จุด

- Cockpit คนขับเข้าถึงง่าย
- ด้านข้างซ้ายตัวรถ คนช่วยเหลือเห็นชัดเข้าถึงง่าย
- ด้านข้างขวาตัวรถ คนช่วยเหลือเห็นชัดเข้าถึงง่าย
- จุดอื่นๆ

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

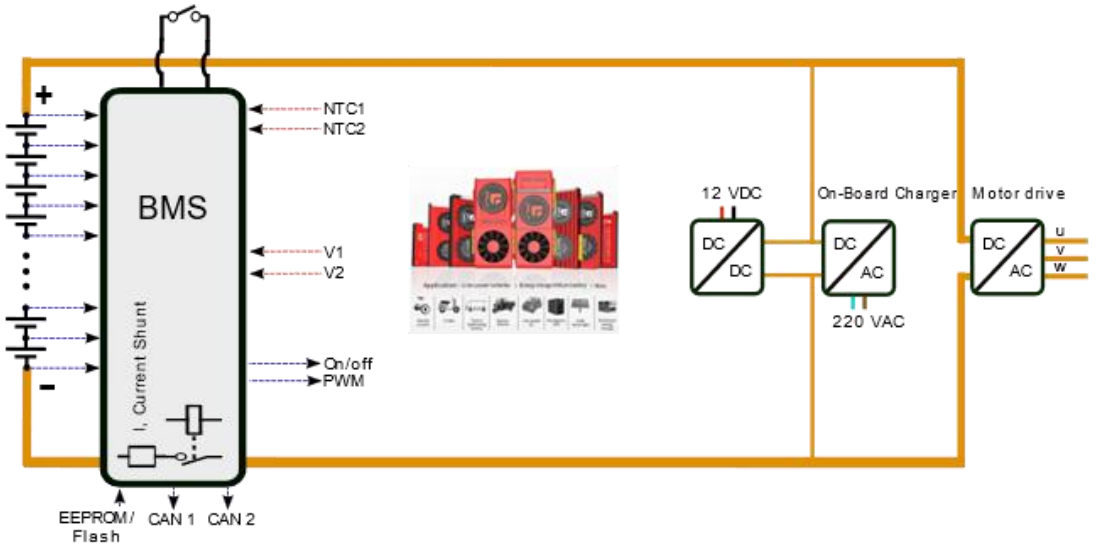
Battery Management System (BMS)

- ตัดการทำงานของระบบ เมื่ออุณหภูมิเซลล์แบตเตอรี่สูงเกิน จำนวนตัววัดอุณหภูมิ อย่างน้อย 20% ของเซลล์ทั้งหมด หรือสามารถมีเอกสารยืนยัน 20 % ของพื้นที่ทั้งหมด และข้อมูลอุณหภูมิต้องส่งข้อมูลไปที่ BMS ด้วย
- ตัดการทำงานของระบบ เมื่อกระแสไฟฟ้าของแพ็กแบตเตอรี่สูงเกิน
- ตัดการทำงานของระบบ เมื่อแรงดันไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่ต่ำเกิน
- ตัดการทำงานของระบบ เมื่อแรงดันไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่สูงเกิน
- ต้องตรวจวัดอุณหภูมิที่บัสบาร์ด้วย

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

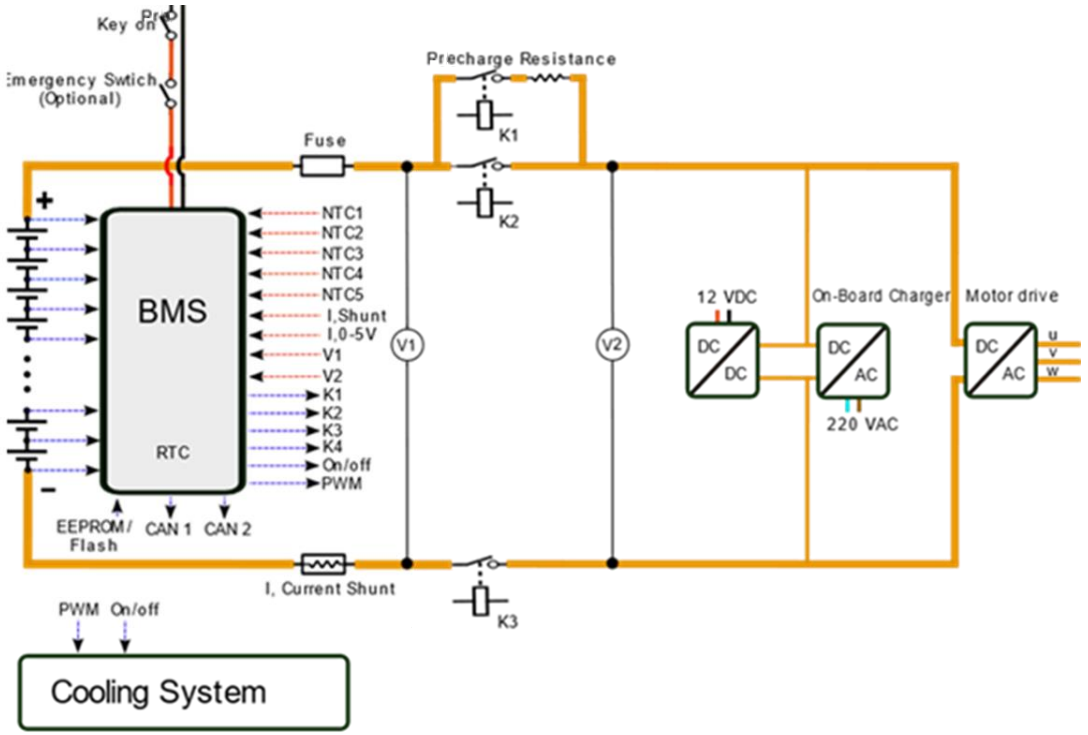
Battery Management System (BMS) ที่นิยมใช้

แบบใช้ไฟเลี้ยงจากแพ็กแบตเตอรี่โดยตรง ☹



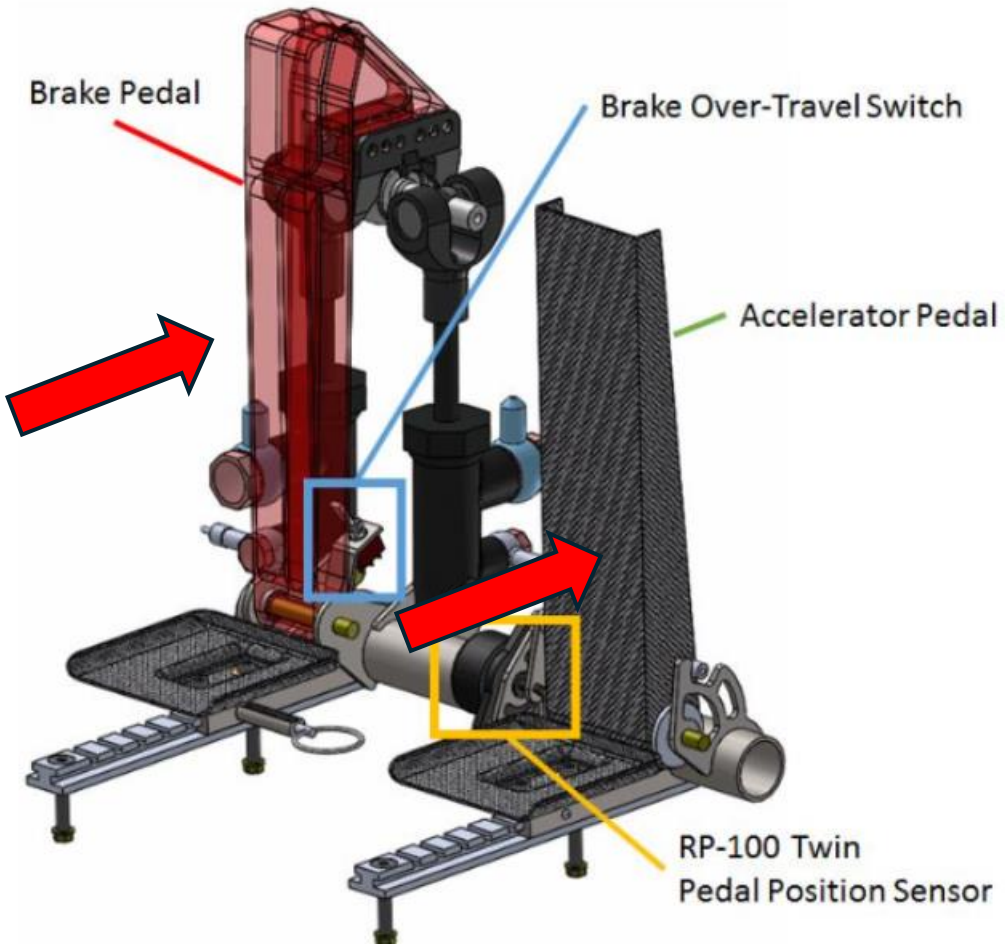
*** ไม่ควรนำมาใช้ในการแข่งขัน ถ้าจะใช้ต้องมีอุปกรณ์เสริมช่วย ***

แบบใช้ไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่ 12/24V ☺



ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

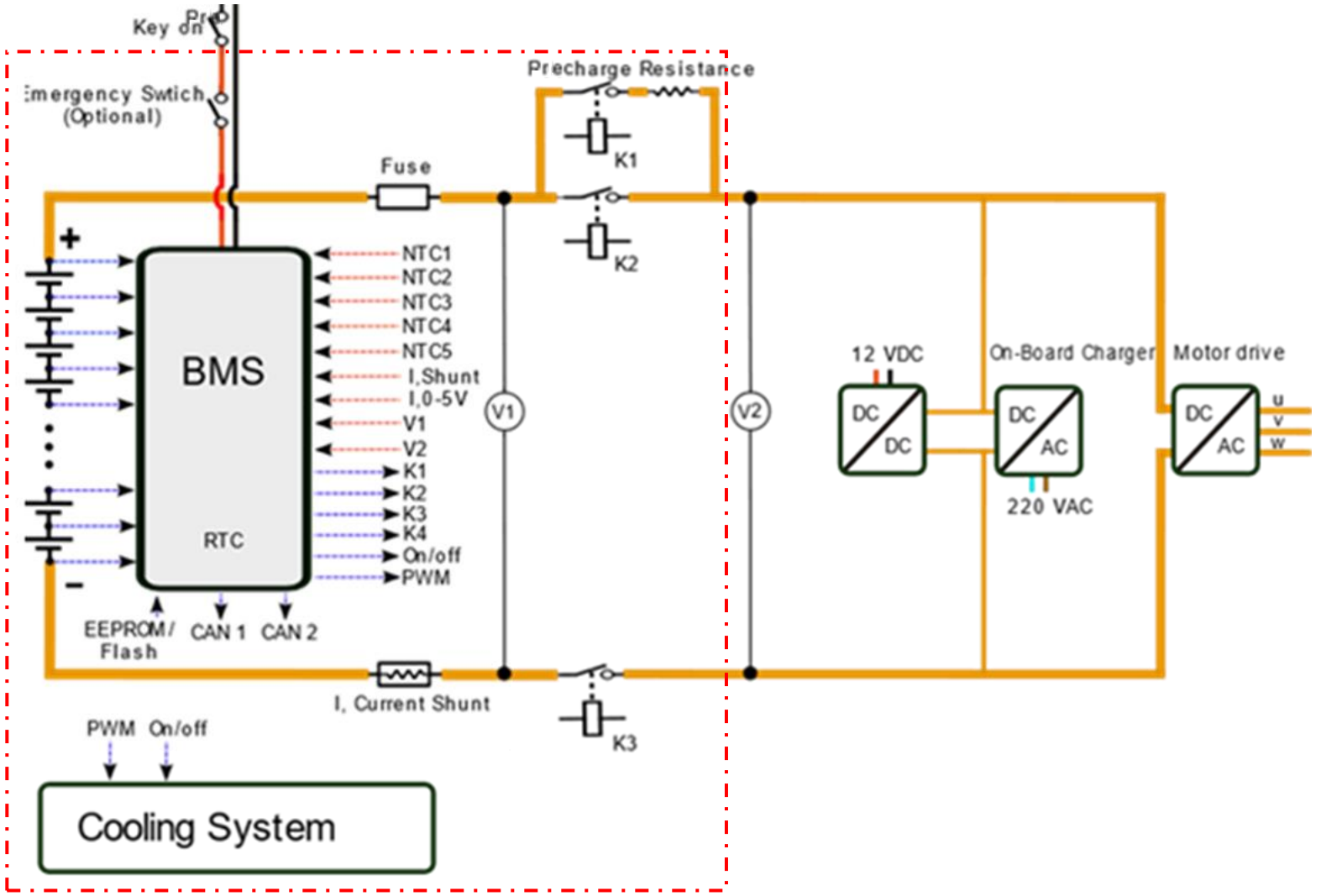
Brake over-Travel Switch



เนื่องจากรถไฟฟ้า ไม่มีระบบตัดต่อกำลังทางกล ดังนั้นเมื่อเบรคแตก ระบบต้องหยุดการทำงานของแบตเตอรี่ ระบบนี้เหมาะสมกับในสนามเท่านั้น เนื่องจากน้ำหนักตัวรถไม่มาก ในรถที่วิ่งบนท้องถนนจริงการใช้ระบบนี้ ในการตัดการทำงานของแพ็กแบตเตอรี่เลย อาจจะอันตรายขณะเบรคแตกบนทางลาดชัน ดังนั้นรถบนถนนจริง แพ็กแบตเตอรี่ควรเชื่อมต่อกับมอเตอร์ก่อน โดยเปลี่ยนเป็น Regenerative Breaking ที่เปอร์เซนต์สูงขึ้น จนรถจอดหยุดนิ่ง

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

Precharge Control, AIR and Precharge

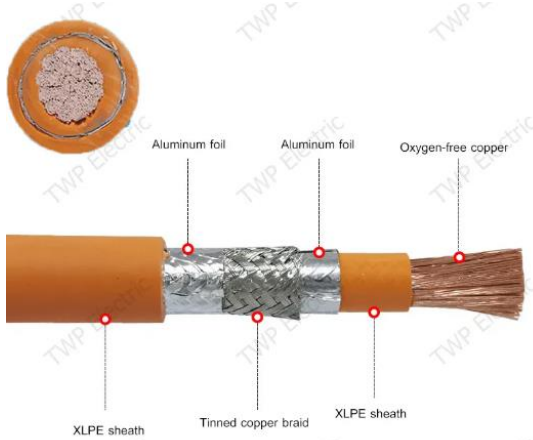


ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้า สำหรับการแข่งขัน FSAE

Accumulator Fuse/Battery Pack Fuse

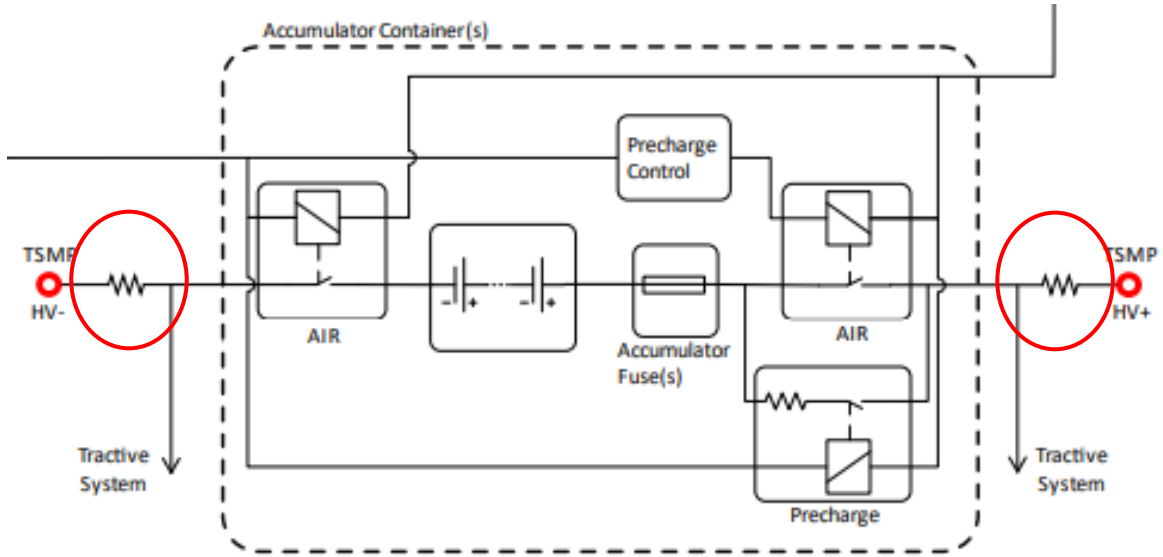
- ต้องมีฉนวนทางไฟฟ้ากัน และไม่ติดไฟ
- มีการป้องกันการลามไฟไปที่อื่น

Tractive System Line



สายไฟแรงสูงทั้งบวกและลบ
สีส้มเท่านั้น

TSMP (Tractive System Measurement Point)



R => 5 kΩ ถ้าแรงดันสูงสุดต่ำกว่า 200 VDC
R => 10 kΩ ถ้าแรงดันสูงสุดระหว่าง 200 - 400 VDC
R => 15 kΩ ถ้าแรงดันสูงสุดระหว่าง 400 - 600 VDC

Discharge Circuit and Body Protection Resistors	1. Measure resistance between TSMP HV- and TSMP HV+ Vmax < 200V => 10k + discharge 200V < Vmax < 400V => 20k + discharge 400V < Vmax < 600V => 30k + discharge

แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย สำหรับการแข่งขัน FSAE

แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ตาม ISO12405

ISO12405_Part1_High_Power_Applications

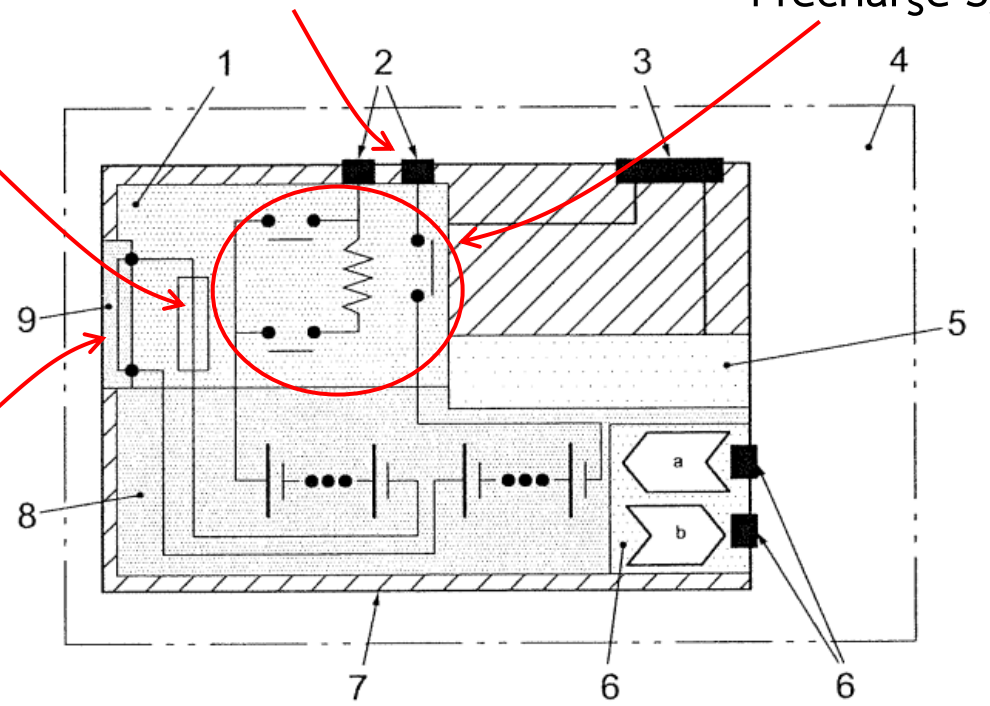
ISO12405_Part2_High_Energy_Applications

ISO12405_Part3_Safety_Performance_Requirements

ห้ามมีแรงดันเกิน 60 VDC ตอนระบบยังไม่ทำงาน

Precharge System

Fuse

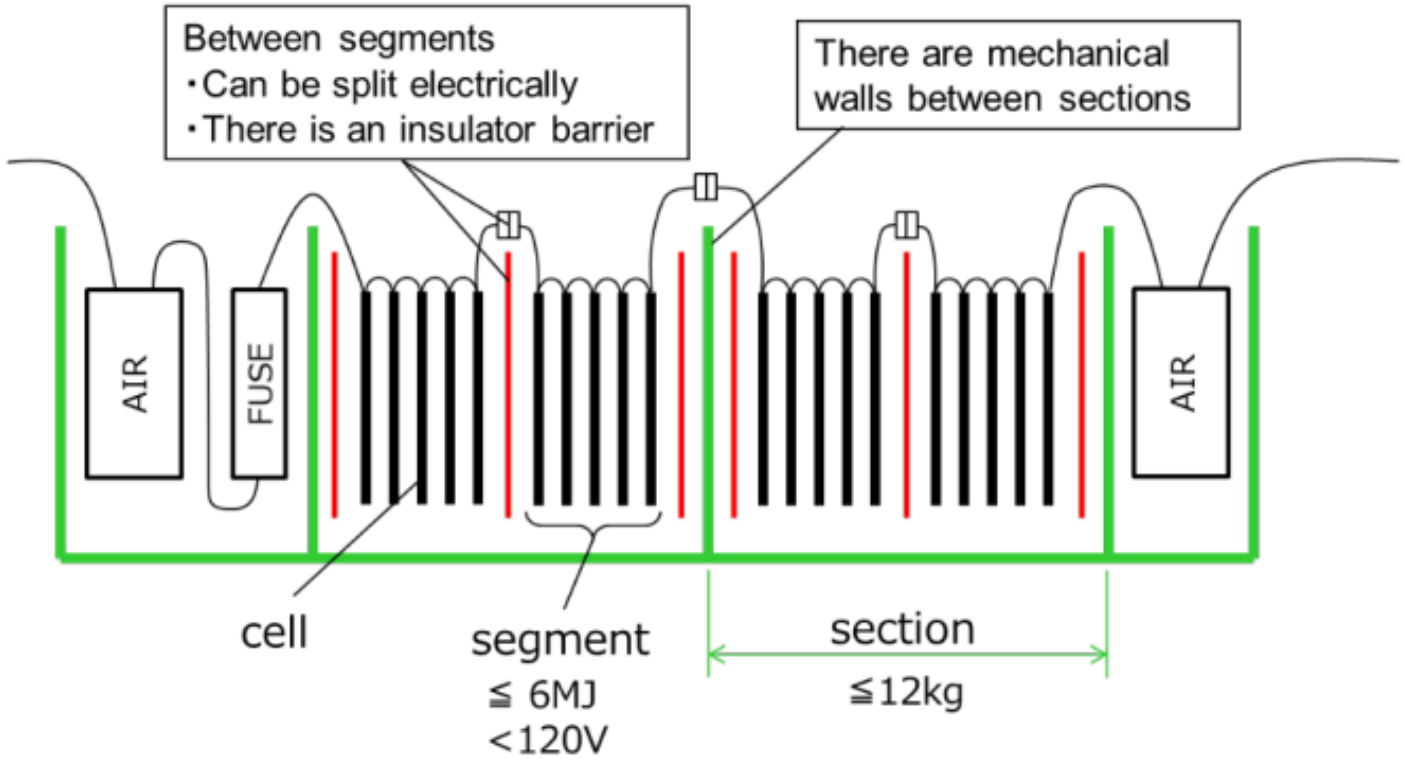


Key

1 voltage class B electric circuit (connectors, fuses, wiring)
2 voltage class B connections
3 voltage class A connections
4 battery pack
5 cell electronics
6 cooling device and connections (optional)
7 normal use impact-resistant case
8 cell assembly (cells, sensors, cooling equipment)
9 service disconnect

แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย สำหรับการแข่งขัน FSAE

โมดูลแบตเตอรี่

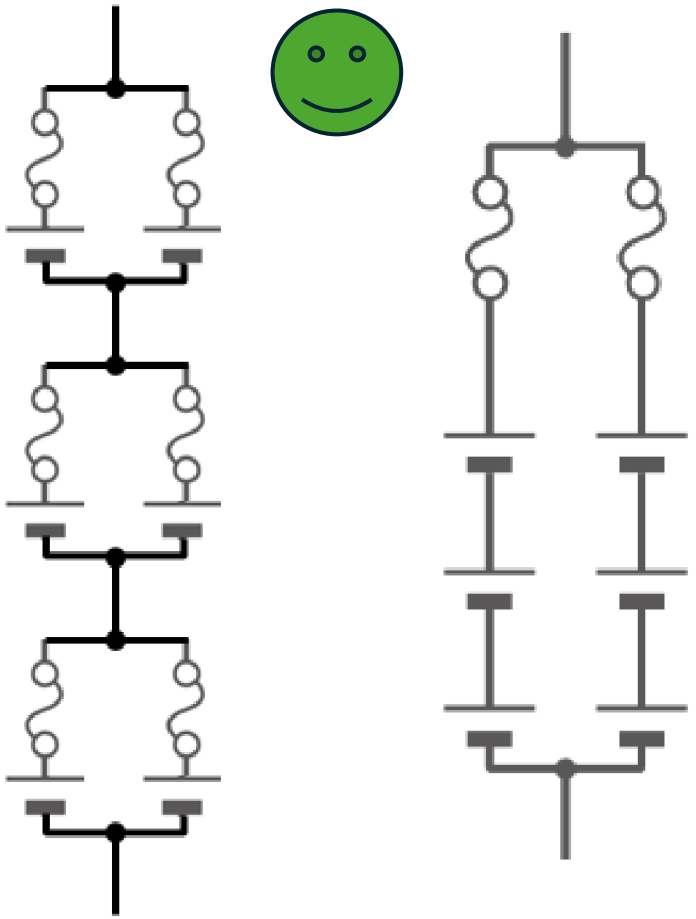


- ทำเป็นหลายโมดูล แต่ละโมดูลแยกส่วนด้วยฉนวนทางไฟฟ้า และความแข็งแรงทางกล

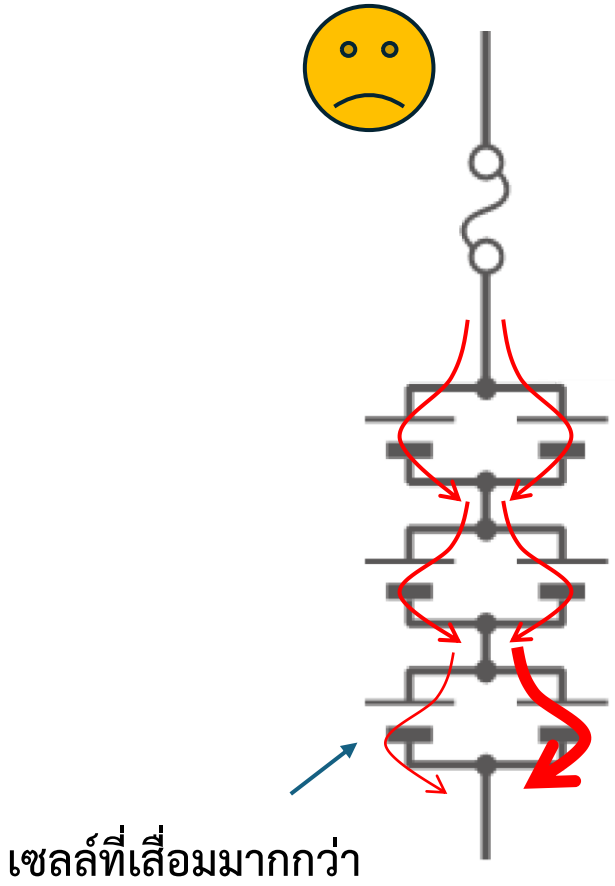
แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย สำหรับการแข่งขัน FSAE

การเชื่อมต่อเซลล์แบตเตอรี่เป็นโมดูล

มีระบบป้องกันกระแสเกินในแต่ละเซลล์



ไม่สามารถป้องกันกระแสเกินในแต่ละเซลล์



เซลล์ที่เสื่อมมากกว่า

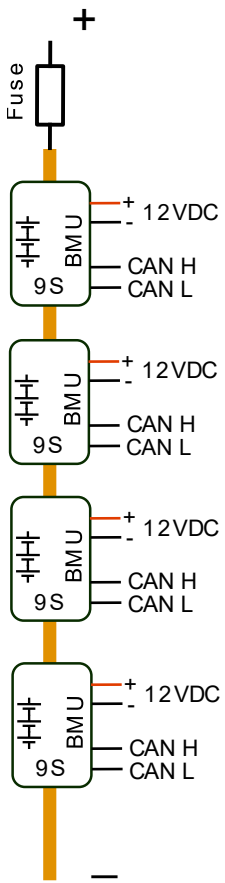
- เมื่อมีการต่ออนุกรมจำเป็นต้องมี BMS มาตรวจวัด
- เมื่อมีการต่อขนานควรต้องติดตั้ง Fuse เพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้าในแต่ละเซลล์ ในกรณีที่เซลล์แบตเตอรี่เสื่อมไม่เท่ากัน จนทำให้เซลล์ที่ต่อขนานด้วยกันอยู่ มีความต้านทานที่สูงขึ้น จนกระแสต้องไหลผ่านแบตเตอรี่ก้อนอื่นที่มีความต้านทานต่ำกว่า ที่ต่อขนานด้วยกันอยู่แทน

แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย สำหรับการแข่งขัน FSAE

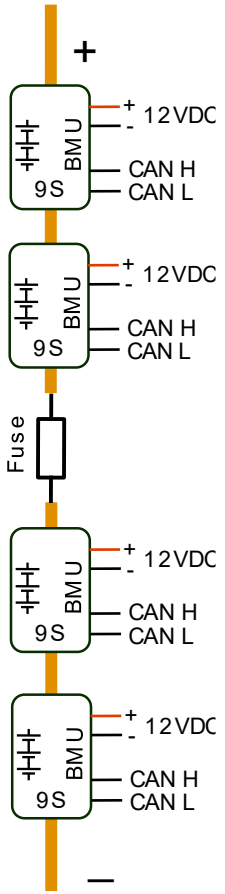
แนวทางการเชื่อมต่อโมดูลแบตเตอรี่

โมดูลต่ออนุกรมอย่างเดียว

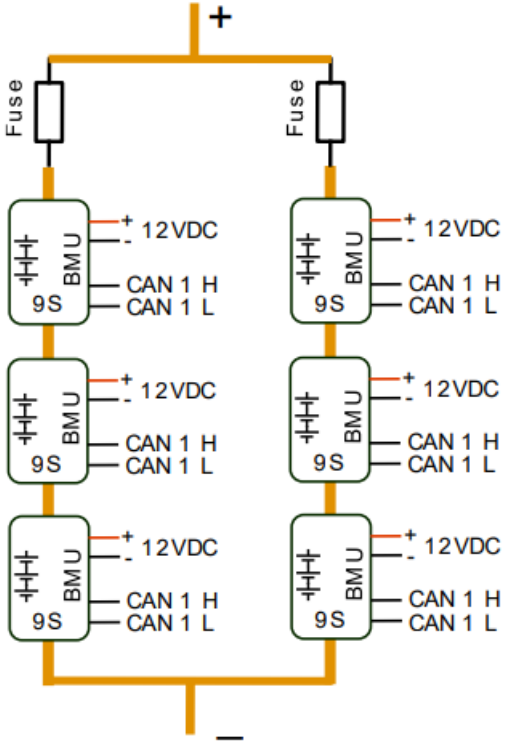
แบบที่ 1



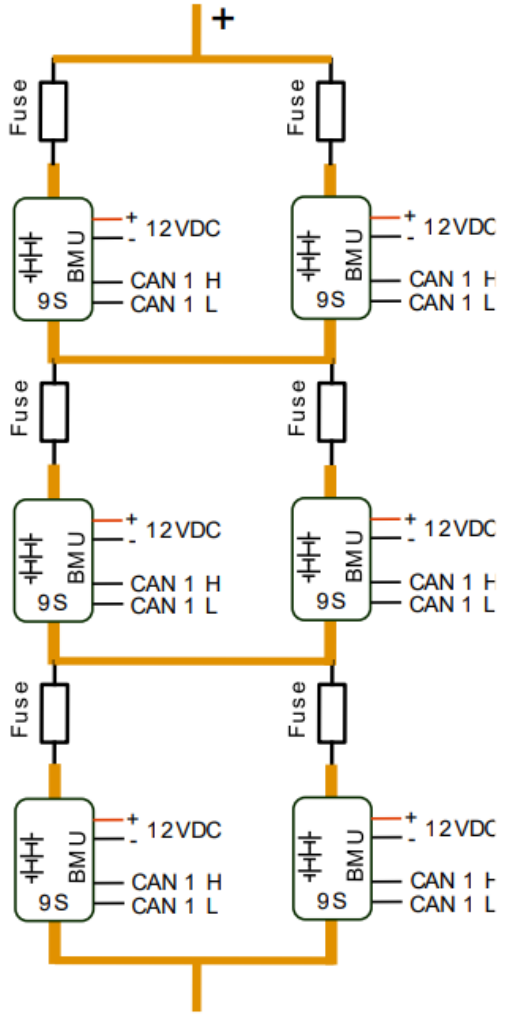
แบบที่ 2



ต่ออนุกรมก่อนและต่อขนาน



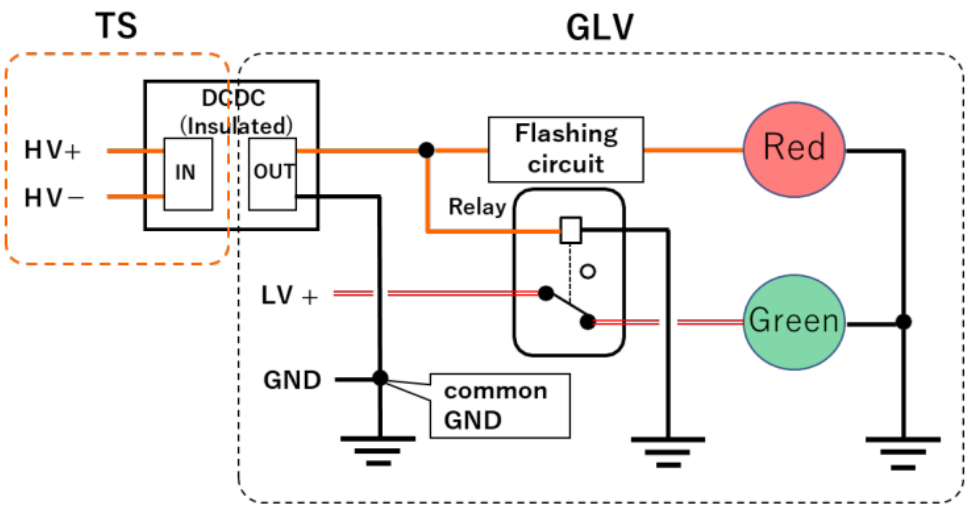
ต่อขนานก่อนและต่ออนุกรม



แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย สำหรับการแข่งขัน FSAE

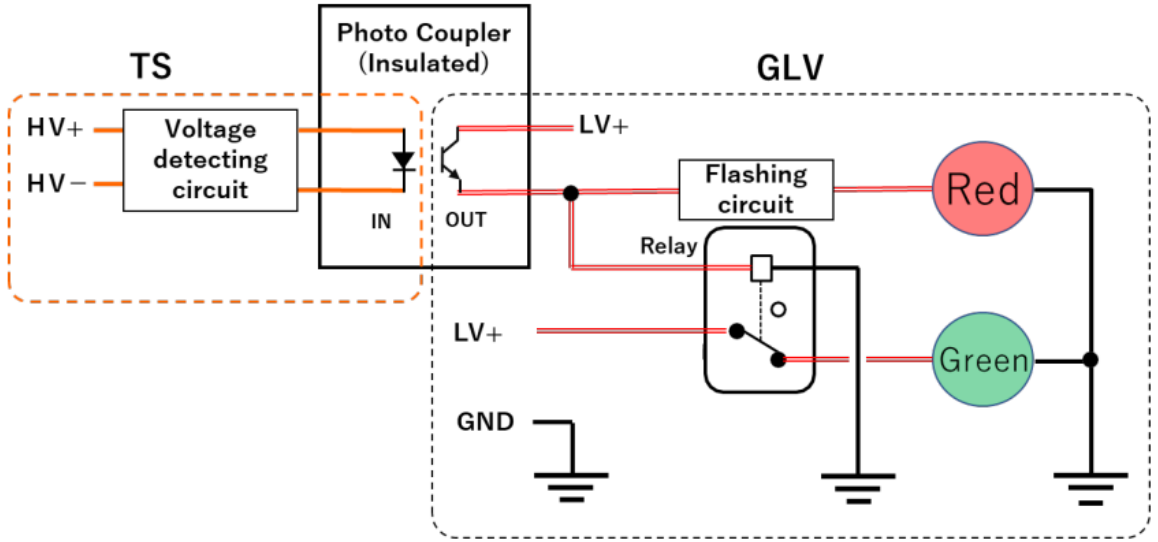
ตัวอย่างวงจรการทำสัญญาณแสดงสถานะว่าแพ็กแบตเตอรี่จ่ายไฟแล้ว (Insulated)

ตัวอย่างที่ 1



Use TS voltage as a power source.

ตัวอย่างที่ 2



Detects TS and blinks with GLV power supply

แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย สำหรับการแข่งขัน FSAE/ทั่วไป

กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแพ็กแบตเตอรี่

Power = Current x Voltage

P = I x U

Current @ 1C-rate = 100 A

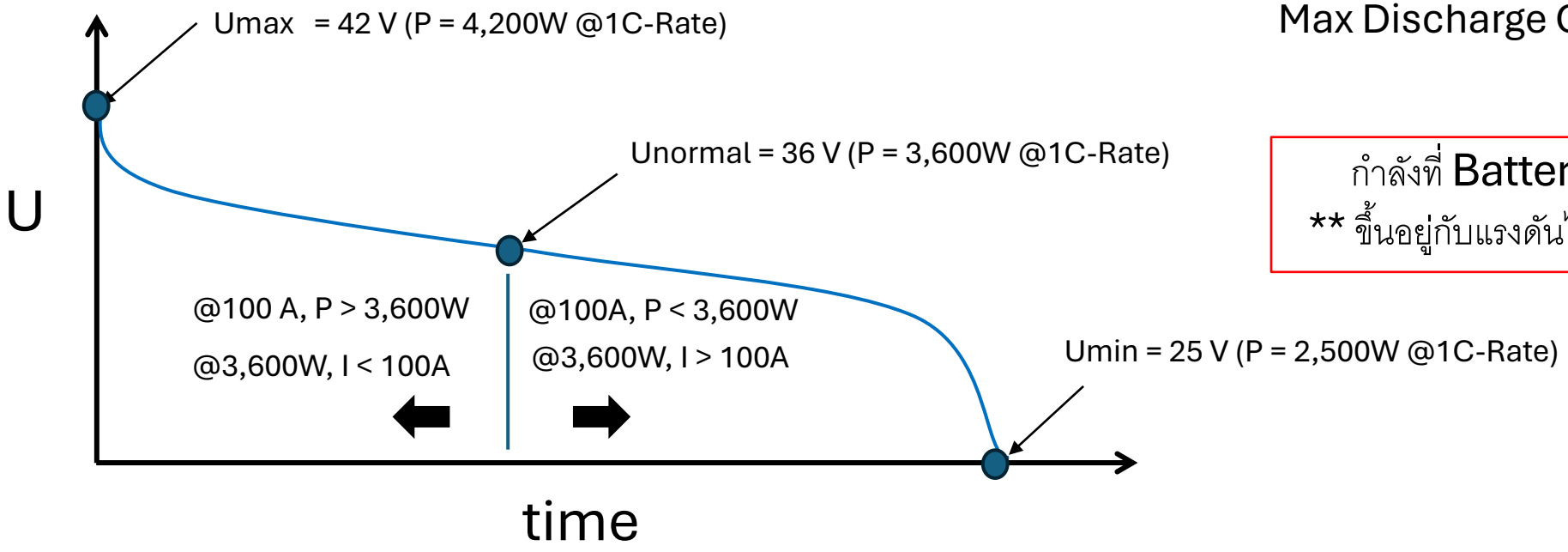
Battery Pack Capacity = 100 Ah

Battery Pack Capacity = 3.06 kWh

Continuous Discharge C-rate = 1C

Continuous Charge C-rate = 0.5C

Max Discharge C-rate = 2C (3s)



กำลังที่ Battery pack จ่ายได้ ?

** ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้ากับค่า C-rate**

แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย สำหรับการแข่งขัน FSAE/ทั่วไป

กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแพ็กแบตเตอรี่

Power = Current x Voltage

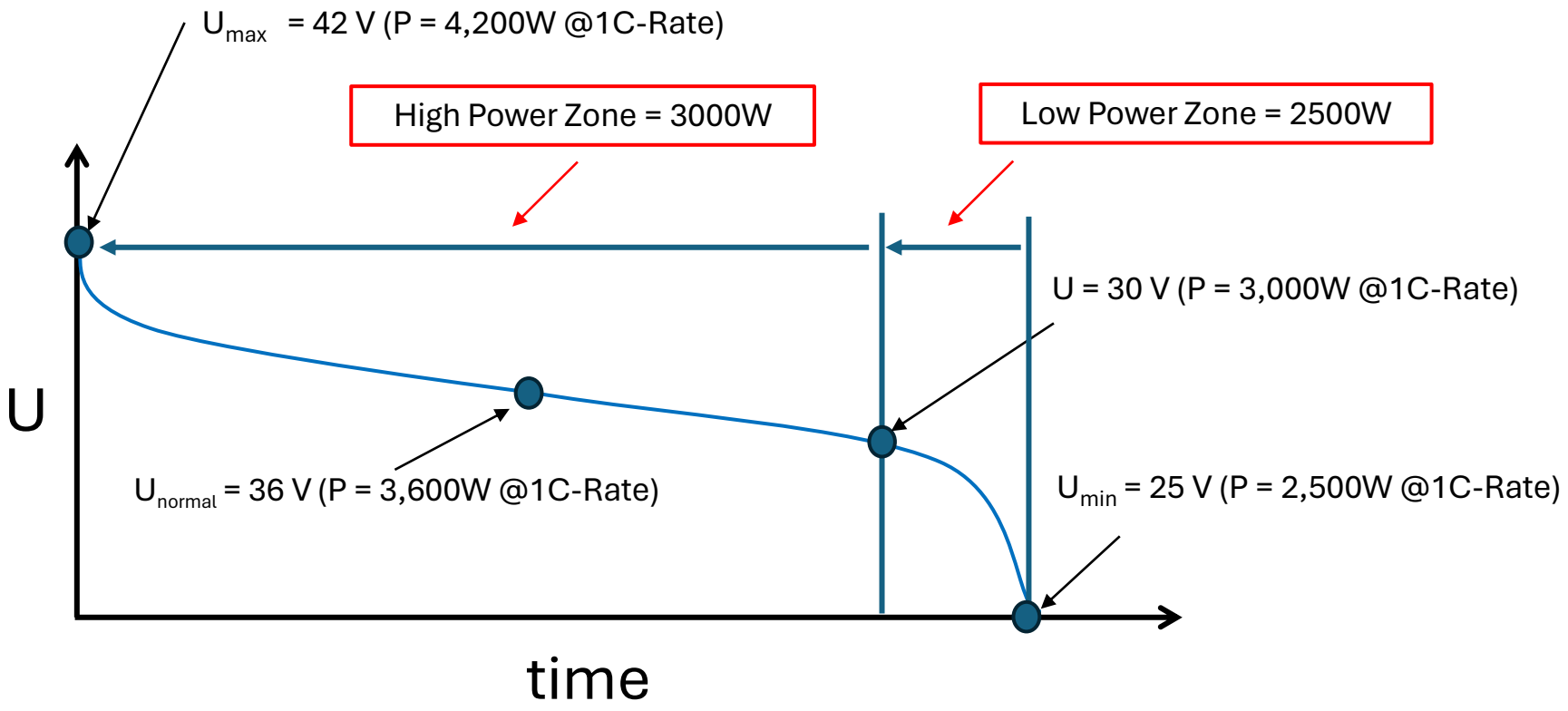
P = I x U

High Power Zone

Power = 100A x 30V = 3,000W

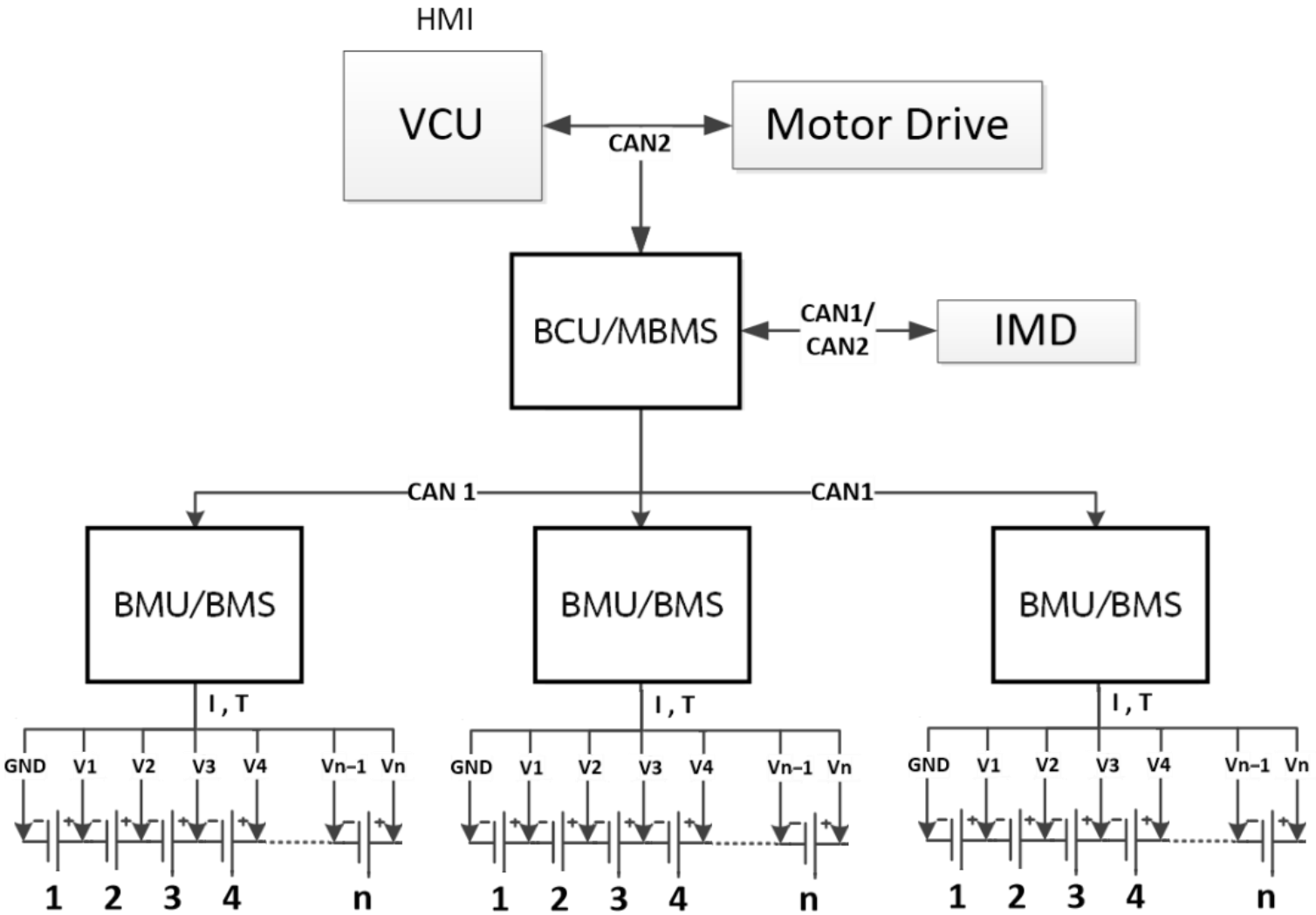
Low Power Zone

Power = 100A x 25V = 2,500W



แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย สำหรับการแข่งขัน FSAE/ทั่วไป

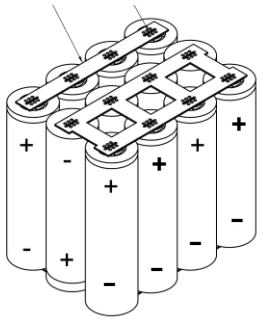
กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแพ็กแบตเตอรี่



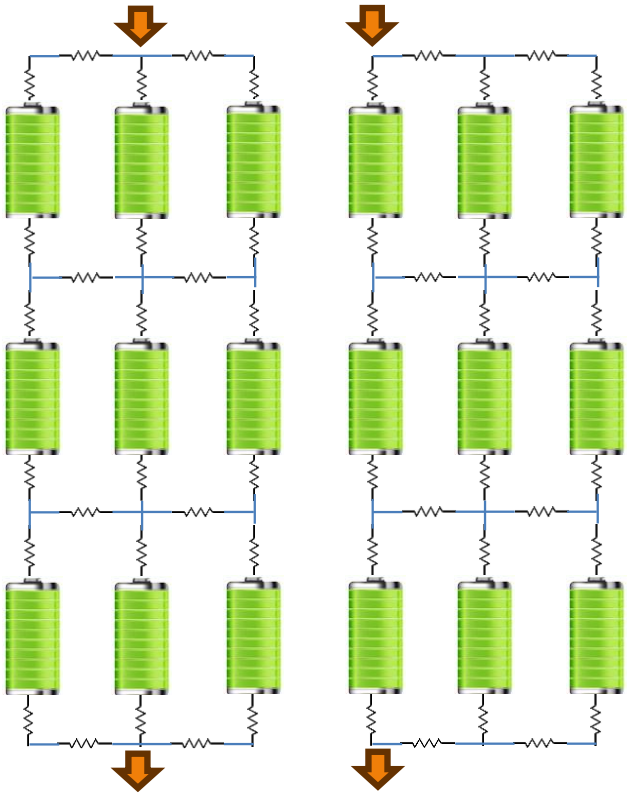
BMS/MBMS จะมีการสื่อสารกับ VCU หรือ Motor Drive รวมถึงระบบ Charging ว่าสถานะตอนนี้แบตเตอรี่รับกำลังหรือกระแสได้สูงสุดเท่าไร

แนวทางการออกแบบแพ็กแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย สำหรับการแข่งขัน FSAE/ทั่วไป

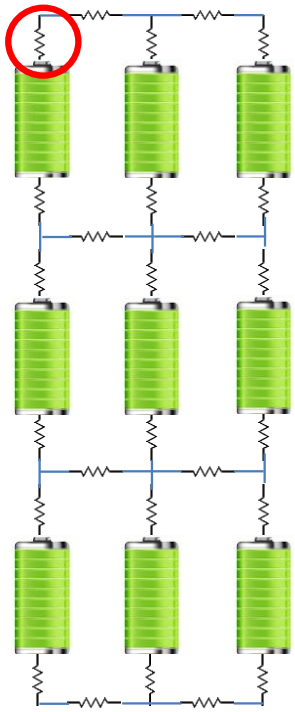
ผลกระทบที่ส่งผลต่อคุณภาพแพ็กแบตเตอรี่



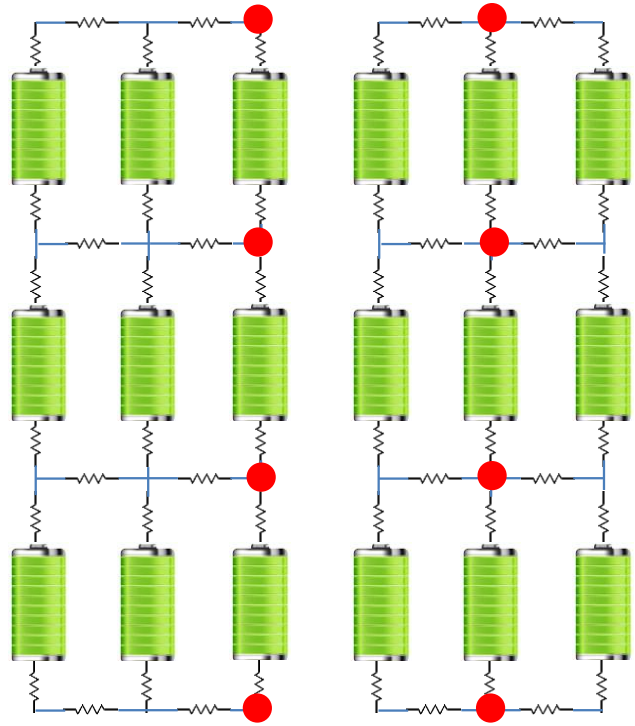
ผลกระทบของทางเข้าทางออกหลักของขั้วบวกและลบ



ผลกระทบของคุณภาพรอยเชื่อมที่ไม่เท่ากัน



ผลกระทบจุดวัดแรงดันของ BMS



วิธีการเลือกมอเตอร์กับแบตเตอรี่ที่เหมาะสม

วิธีการคำนวณขนาดกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า

$$F_{Total} = F_D + F_R + F_C + F_a$$

F_D : Aerodynamic drag $\quad F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot (v + v_{air})^2$

F_R : Rolling resistance $\quad F_R = C_g \cdot m \cdot g$

F_c : Gradability $\quad F_c = m \cdot g \cdot \sin\theta$

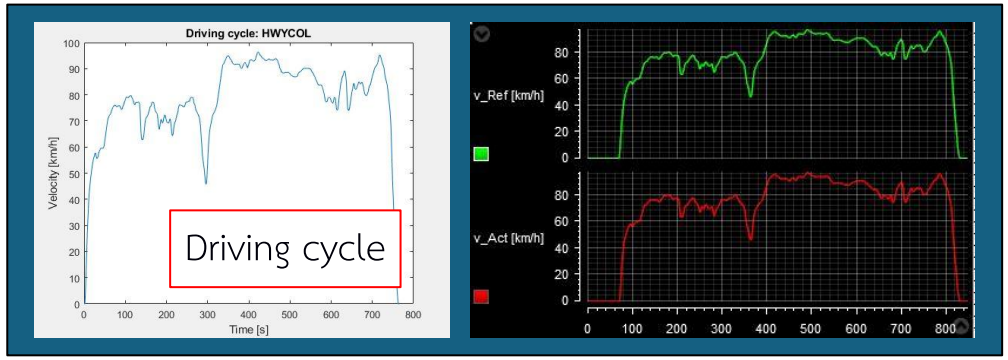
F_a : Acceleration $\quad F_a = m \cdot a$

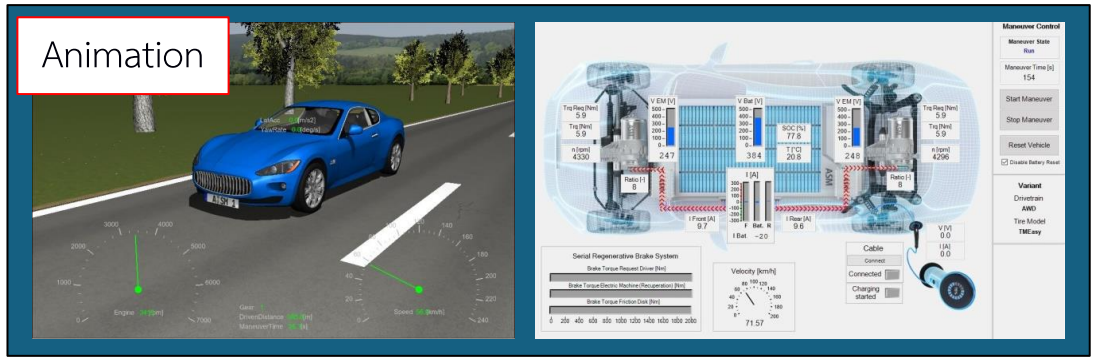
$$T_{Total} = F_{Total} \cdot r$$

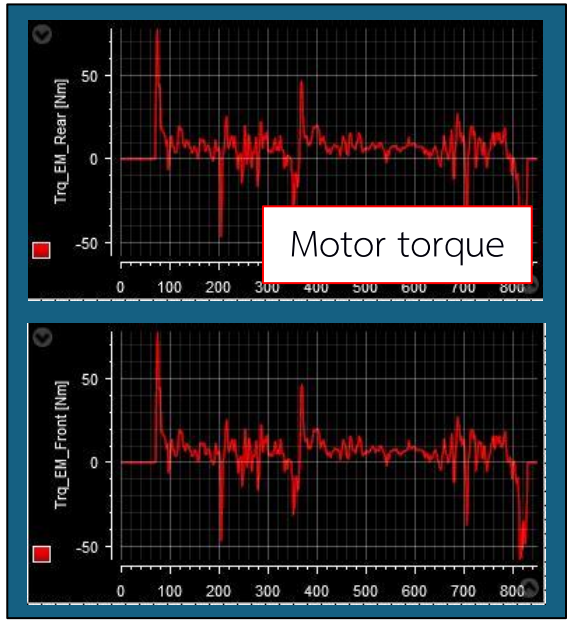
$$P_{Total} = T_{Total} \cdot \omega$$

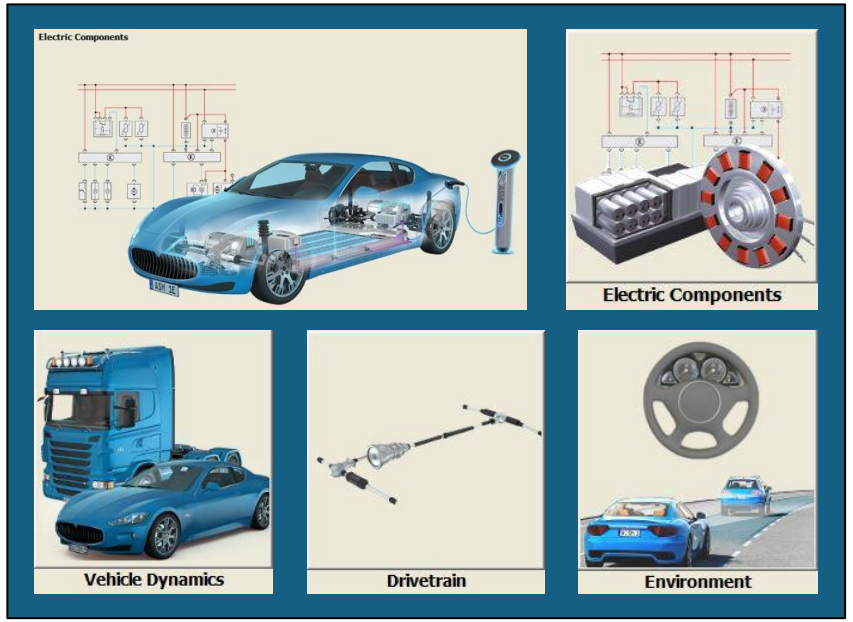
วิธีการเลือกมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

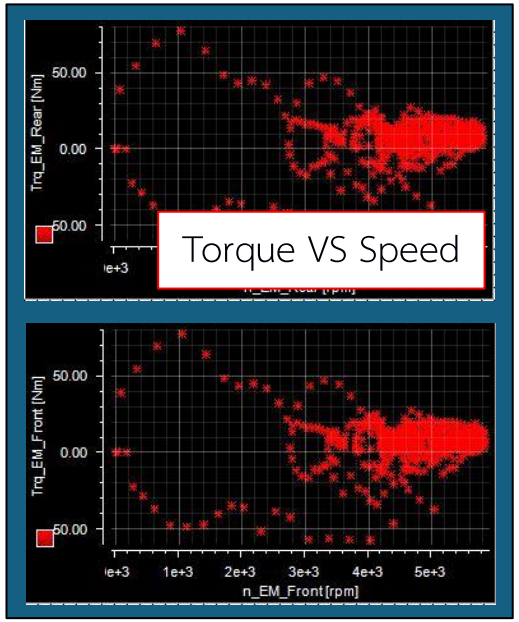
โปรแกรมคำนวณระบบส่งกำลังของ EV (1/9)











โปรแกรมคำนวณระบบส่งกำลังของ EV (2/9)

โปรแกรมคำนวณระบบส่งกำลังของ EV (3/9)

Vehicle Information ข้อมูลรถ

Speed Profile	รูปแบบของความเร็ว	ECECOL	
Cd	สัมประสิทธิแรงต้านอากาศ	0.4	
Area	พื้นที่หน้าตัดมองจากหน้ารถ	2.06	m^2
Density	ความหนาแน่นของอากาศ	1.188	kg/m^3
Vehicle Mass	มวลรถเปล่า	2500	kg
Carry Mass	มวลบรรทุก	500	kg
Total Mass	มวลรวม	3000	m^2
Rolling Resistance coeffient	สัมประสิทธิแรงเสียดทานล้อกับถนน	0.0035	
% Regentive Break	สัดส่วนพลังงานเบรคกลับมาใช้	0	%
1st Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 1	0	☐
2nd Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 2	0	☐
3rd Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 3	1.4	☑
4th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 4	0	☐
5th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 5	0	☐
6th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 6	0	☐
7th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 7	0	☐
8th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 8	0	☐
Final Gear	อัตราทดเฟืองท้าย	4.3	
Total Gear Ratio	อัตราทดรวม	6.02	
Wheel Diameter	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อ	0.78	m
Total Transmission Effieiency	ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง	100	%
Slope	ความชันถนน	0	Degree
Distance Requirement	ระยะทางที่ต้องการ	250	km

Submit

พัฒนาโดย

1. ดร. มานพ มาสมทบ (สังกัด ENTEC, NSTDA)
2. ดร. ธัญญา แพรวพิพัฒน์ (สังกัด ENTEC, NSTDA)
3. ดร. บุรินทร์ เกิดทรัพย์ (สังกัด NECTEC, NSTDA)
4. นายฐิติวัฒน์ เย็นวิชัย (สังกัด ENTEC, NSTDA)
5. นายพีร ธนวีรพวษ์ (สังกัด TAIST Tokyo TECH)
6. Miss. Lwin Yamon Phyo (สังกัด TAIST Tokyo TECH)
7. นายสันติพงศ์ ครุกานันต์ (สังกัด NECTEC, NSTDA)

Power Consumption		Km/Kwh
		kwh/Km
Maximum Output Power		kW
Maximum Regen. Power		kW
Maximum Torque		N.m
Battery Capacity		kWh
Energy		kWh
Distance		km

โปรแกรมคำนวณระบบส่งกำลังของ EV (4/9)

1

2

3

4

Speed Profile	รูปแบบของความเร็ว	ECECOL	
Cd	สัมประสิทธิแรงต้านอากาศ	0.4	
Area	พื้นที่หน้าตัดมองจากหน้ารถ	2.06	m^2
Density	ความหนาแน่นของอากาศ	1.188	kg/m^3
Vehicle Mass	มวลรถเปล่า	2500	kg
Carry Mass	มวลบรรทุก	500	kg
Total Mass	มวลรวม	3000	m^2
Rolling Resistance coeffient	สัมประสิทธิแรงเสียดทานล้อกับถนน	0.0035	
% Regentive Break	สัดส่วนพลังงานเบรคกลับมาใช้	0	%
1st Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 1	0	☐
2nd Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 2	0	☐
3rd Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 3	1.4	☑
4th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 4	0	☐
5th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 5	0	☐
6th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 6	0	☐
7th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 7	0	☐
8th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 8	0	☐
Final Gear	อัตราทดเฟืองท้าย	4.3	
Total Gear Ratio	อัตราทดรวม	6.02	
Wheel Diameter	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อ	0.78	m
Total Transmission Effieiency	ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง	100	%
Slope	ความชันถนน	0	Degree
Distance Requirement	ระยะทางที่ต้องการ	250	km

Submit

พัฒนาโดย

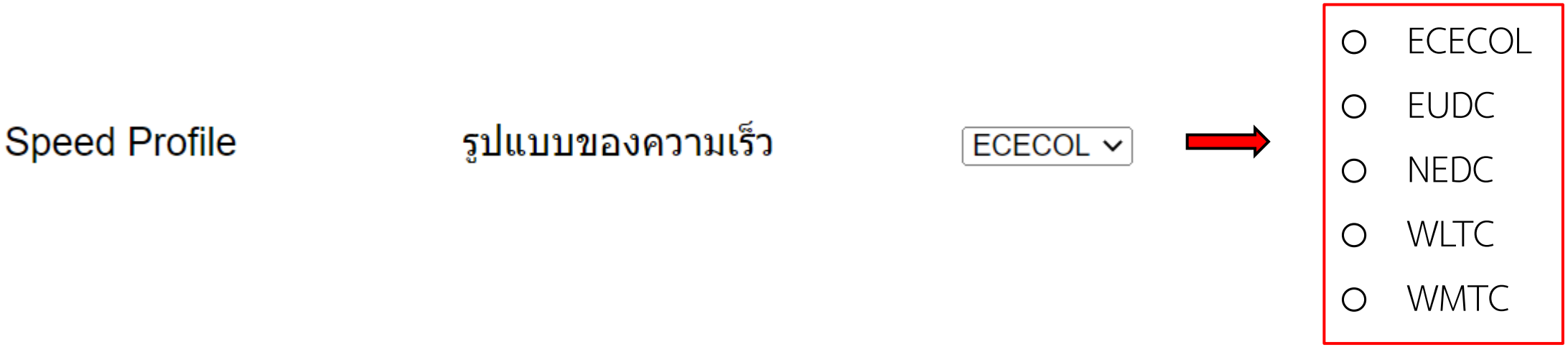
1. ดร. มานพ มาสมทบ (สังกัด ENTEC, NSTDA)
2. ดร. ธัญญา แพรวพิพัฒน์ (สังกัด ENTEC, NSTDA)
3. ดร. บุรินทร์ เกิดทรัพย์ (สังกัด NECTEC, NSTDA)
4. นายฐิติวัฒน์ เย็นวิชัย (สังกัด ENTEC, NSTDA)
5. นายพีร ธนวีรพวษ์ (สังกัด TAIST Tokyo TECH)
6. Miss. Lwin Yamon Phyo (สังกัด TAIST Tokyo TECH)
7. นายสันติพงศ์ ครุกานันต์ (สังกัด NECTEC, NSTDA)

5

Power Consumption		Km/Kwh
		kwh/Km
Maximum Output Power		kW
Maximum Regen. Power		kW
Maximum Torque		N.m
Battery Capacity		kWh
Energy		kWh
Distance		km

โปรแกรมคำนวณระบบส่งกำลังของ EV (5/9)

เลือก Driving Cycle ที่ต้องการใช้งาน โดยในเวอร์ชั่นนี้มี Driving Cycle ให้เลือกจำนวน 4 รูปแบบ



ECECOL => UN/ECE Elementary Urban Cycle (Part One of the Type 1 Test)

EUDC => Extra Urban Driving Cycle

NEDC => New European Driving Cycle

WLTC => Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles

WMTC => World Motorcycle Test Cycle

โปรแกรมคำนวณระบบส่งกำลังของ EV (6/9)

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ รวมทั้งน้ำหนักรถ และสัดส่วนพลังงานเบรคที่ต้องการกลับมาใช้

Cd	สัมประสิทธิแรงต้านอากาศ		
Area	พื้นที่หน้าตัดมองจากหน้ารถ		m^2
Density	ความหนาแน่นของอากาศ		kg/m^3
Vehicle Mass	มวลรถเปล่า		kg
Carry Mass	มวลบรรทุก		kg
Total Mass	มวลรวม	0	m^2
Rolling Resistance coeffient	สัมประสิทธิแรงเสียดทานล้อกับถนน		
% Regentive Break	สัดส่วนพลังงานเบรคกลับมาใช้		%

โปรแกรมคำนวณระบบส่งกำลังของ EV (7/9)

กำหนดอัตราส่วนของเกียร์ที่ต้องการใช้งาน

1st Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 1		☐
2nd Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 2		☐
3rd Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 3		☐
4th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 4		☐
5th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 5		☐
6th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 6		☐
7th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 7		☐
8th Gear Ratio	อัตราทดเกียร์ 8		☐
Final Gear	อัตราทดเฟืองท้าย		
Total Gear Ratio	อัตราทดรวม	0.00	

โปรแกรมคำนวณระบบส่งกำลังของ EV (8/9)

กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อ, ความชันถนน และระยะทางที่ต้องการใช้งาน

Wheel Diameter	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อ		m
Total Transmission Effieiency	ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง		%
Slope	ความชันถนน		Degree
Distance Requirement	ระยะทางที่ต้องการ		km

โปรแกรมคำนวณระบบส่งกำลังของ EV (9/9)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

Power Consumption		Km/Kwh
		kwh/Km
Maximum Output Power		kW
Maximum Regen. Power		kW
Maximum Torque		N.m
Battery Capacity		kWh
Energy		kWh
Distance		km

กรณีศึกษา: รถกระบะไฟฟ้าดัดแปลง (1/5)

คุณลักษณะเฉพาะของรถกระบะไฟฟ้าดัดแปลง

- น้ำหนักรวม: 3,000 กิโลกรัม
- พื้นที่ส่วนหน้า (Vehicle frontal area): 2.06 ตารางเมตร
- รัศมีวงล้อ (Wheel radius): 0.39 เมตร
- Rolling resistance coefficient: 0.0035
- Coefficient of aerodynamic resistance: 0.4
- ความชันของถนน: 0 องศา
- Driving cycle: New European Driving Cycle (NEDC)
- ความเร็วสูงสุด: 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ระยะทางที่ต้องการใช้งานเท่ากับ 200 km

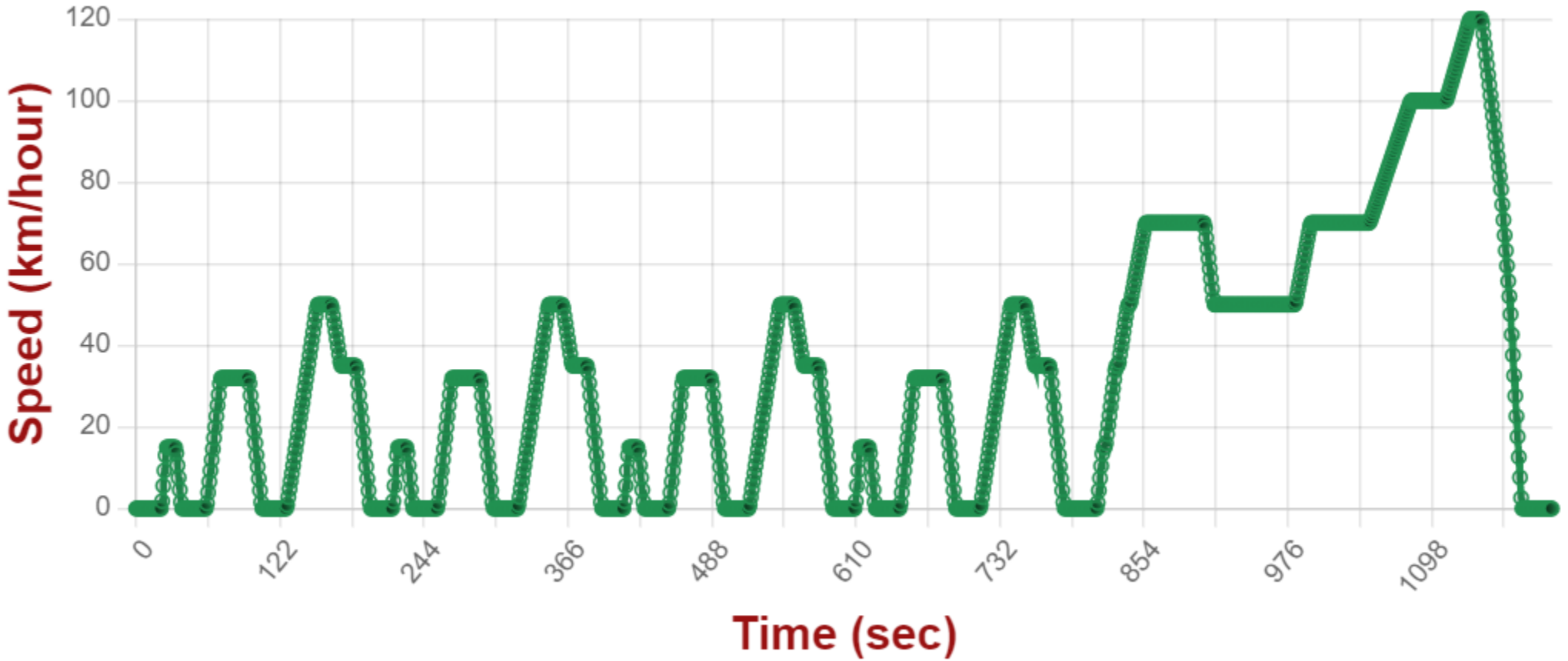
อัตราส่วนเกียร์ทั้งระบบ

- เกียร์ 1: 16.1981
- เกียร์ 2: 9.6664
- เกียร์ 3: 6.0372
- เกียร์ 4: 4.3000
- เกียร์ 5: 3.3841

ที่มา: ISUZU Dragon Power 3.0 Turbo

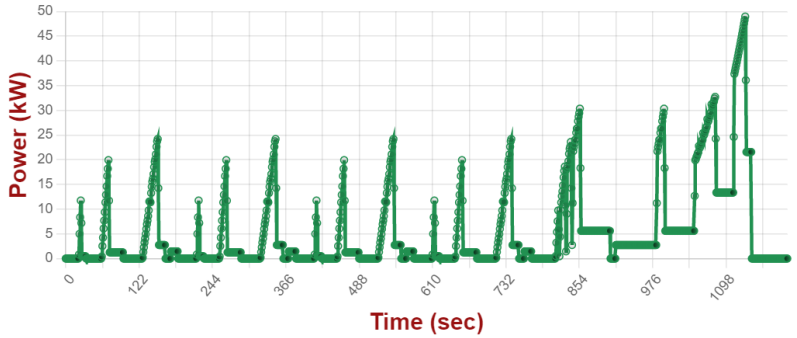
* ความหนาแน่นอากาศ: 1.188 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

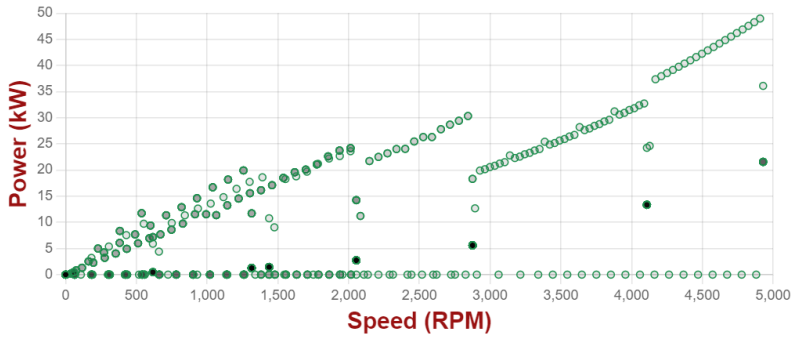
กรณีศึกษา: รถกระบะไฟฟ้าดัดแปลง (2/5)



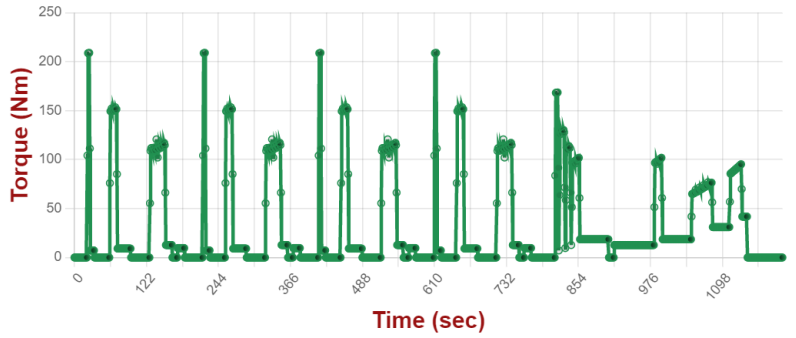
New European Driving Cycle (NEDC)

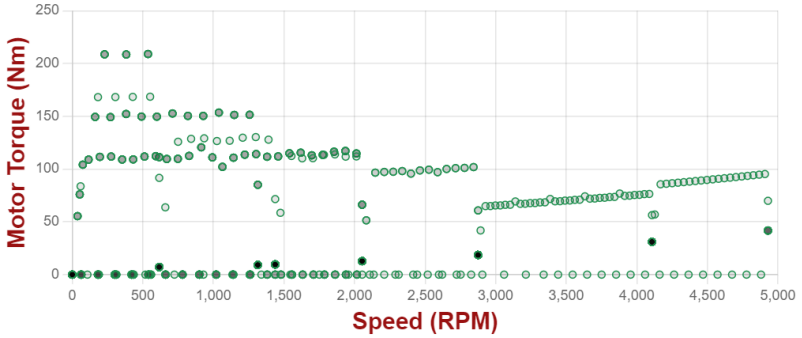
กรณีศึกษา: รถกระบะไฟฟ้าดัดแปลง (3/5)





คุณสมบัติ	ค่า
อัตราส่วนเกียร์	6.04
ความเร็วสูงสุด	120 km/h





Power Consumption	6.1	Km/Kwh
	0.16	kwh/Km
Maximum Output Power	48.97	kW
Maximum Regen. Power	0	kW
Maximum Torque	208.97	N.m
Battery Capacity	32	kWh
Energy	1.79	kWh
Distance	10.93	km

กรณีศึกษา: รถกระบะไฟฟ้าดัดแปลง (4/5)

Nominal Operation (S1, cooling as specified below)				
Torque	T_{nom}	134	134	Nm
Power	P_{nom}	15	31	kW
Speed	n_{nom}	1080	2180	rpm
Phase rms-current	I_{nom}	382	382	A
Battery voltage (DC)	U_{nom}	48	96	V
Electric frequency	$f_{el,nom}$	72	145	Hz
Power factor	cos(φ)	0.72	0.69	
Maximal Values (S2, 10s, cooling as specified below)				
Torque	T_{max}	284	284	Nm
Power	P_{max}	26	55	kW
Phase rms-current	I_{max}	959	959	A
Battery voltage (DC)	U_{max}		200	V
Speed	n_{max}		5700	rpm
Electric frequency	$f_{el,\ max}$		380	Hz

คุณสมบัติ

- อัตราส่วนเกียร์: 6.04
- ความเร็วสูงสุด: 120 km/h
- ความเร็วรอบสูงสุด: 4,930 rpm
- แรงบิดสูงสุด: 208.97 Nm
- กำลังไฟฟ้าสูงสุด: 48.97 kW

ที่มา: เว็บไซต์จากบริษัทผลิตมอเตอร์ในยุโรป

กรณีศึกษา: รถกระบะไฟฟ้าดัดแปลง (5/5)

- กำหนดน้ำหนักรวมทั้งหมด 3,000 กิโลกรัม
- สามารถใช้ความเร็วสูงสุดได้เท่ากับ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ใช้ข้อมูลจากการทำงานที่**เกียร์ 3** ในการเลือกมอเตอร์ไฟฟ้า
- กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 48.97 กิโลวัตต์
- แรงบิดสูงสุดเท่ากับ 208.97 นิวตัน-เมตร
- ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 4,930 รอบต่อนาที

➔ จากเงื่อนไขการใช้งานสามารถเลือกมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาดได้ดังนี้

- กำลังไฟฟ้าสูงสุด 55 กิโลวัตต์
- แรงบิดสูงสุด 284 นิวตัน-เมตร
- ความเร็วรอบสูงสุด 5,700 รอบต่อนาที

- ระยะทางที่ต้องการใช้งานเท่ากับ 200 km ➔ ขนาดความจุของแบตเตอรี่ที่ต้องการประมาณ 32 kWh

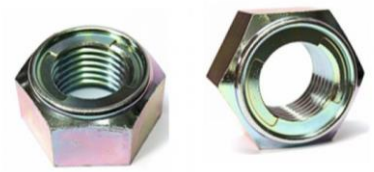
การประยุกต์ใช้ข้อกำหนด FSAE กับ EV Conversion

เกณฑ์การตรวจสอบ (Inspection)

- แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (VDC) ถ้าแรงดันฟ้าเกิน 60 VDC ถือว่าเป็นระบบแรงดันไฟฟ้าสูง "ต้อง" ไม่มีแรงดันไฟฟ้าออกจากแพ็กแบตเตอรี่ที่จุดเชื่อมต่อ (Connector) สามารถติดตั้ง Maintenance plug เพื่อใช้ในการตัดไฟฟ้าได้ หรือป้องกันการสอดใส่แท่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12 มิลลิเมตร
- การรองรับกระแสสูงสุดของสายไฟ ต้องสูงกว่าค่ากระแสสูงสุดฟิวส์ระดับเพ็ก
- ระดับการกันน้ำและกันฝุ่นอย่างน้อย "Ipxx" ในกรณีจำลองการเชื่อมต่อ Connectors ทั้งหมดแล้ว
- ต้องมีระบบ Pre-charge contactor ในกรณีที่ High Voltage Box หรือ ที่ Motor Inverter ไม่ได้มีการติดตั้งมา
- สายไฟแรงสูงต้องสีส้ม
- อุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินต้องรองรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน
- อุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งสายไฟต้องมีค่าความเป็นฉนวนรองรับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันสูงสุดที่ใช้งาน
- สายไฟแรงดันสูงที่ใช้เชื่อมต่อของอุปกรณ์แรงดันสูงระหว่างกันต้องรองรับกระแสได้มากกว่าระบบป้องกันกระแสเกิน (ฟิวส์หรือตรวจจับกระแสเกินโดยใช้ Current Sensor และตัดการเชื่อมต่อที่ Contactor) ระหว่างอุปกรณ์ต้องมากกว่า 1.25 เท่า

การประยุกต์ใช้ข้อกำหนด FSAE กับ EV Conversion

- High Voltage Box (กล่องรวบรวมสะพานไฟไปจุดต่างๆ)
  - ✓ ระบบ Pre-charge contactor (ในกรณีไม่ได้ติดตั้งที่แพ็กแบตเตอรี่ หรือ Motor Inverter)
  - ✓ ขณะรถอยู่ใน Active Mode/Ready to Use ต้องไม่มีไฟฟ้าออกมาที่จุดหัวชาร์จ
  - ✓ ขณะรถอยู่ใน Charging Mode ต้องไม่มีไฟฟ้าออกไปที่ Motor Inverter
  - ✓ ขณะรถอยู่ในสถานะไม่ใช้งาน ต้องไม่มีไฟฟ้าออกไปจุดหัวชาร์จ, Motor Inverter และอุปกรณ์อื่นๆที่เป็นฝั่งแรงดันสูง
- ขั้วต่อสลักเกลียว (Bolted connector) ที่ใช้กับกระแสไฟฟ้าสูง ต้องมีระบบล็อคทางกล (Positive locking mechanism) ห้ามใช้น้ำยากันคลาย



น๊อตล๊อคกันคลายชนิดโลหะ

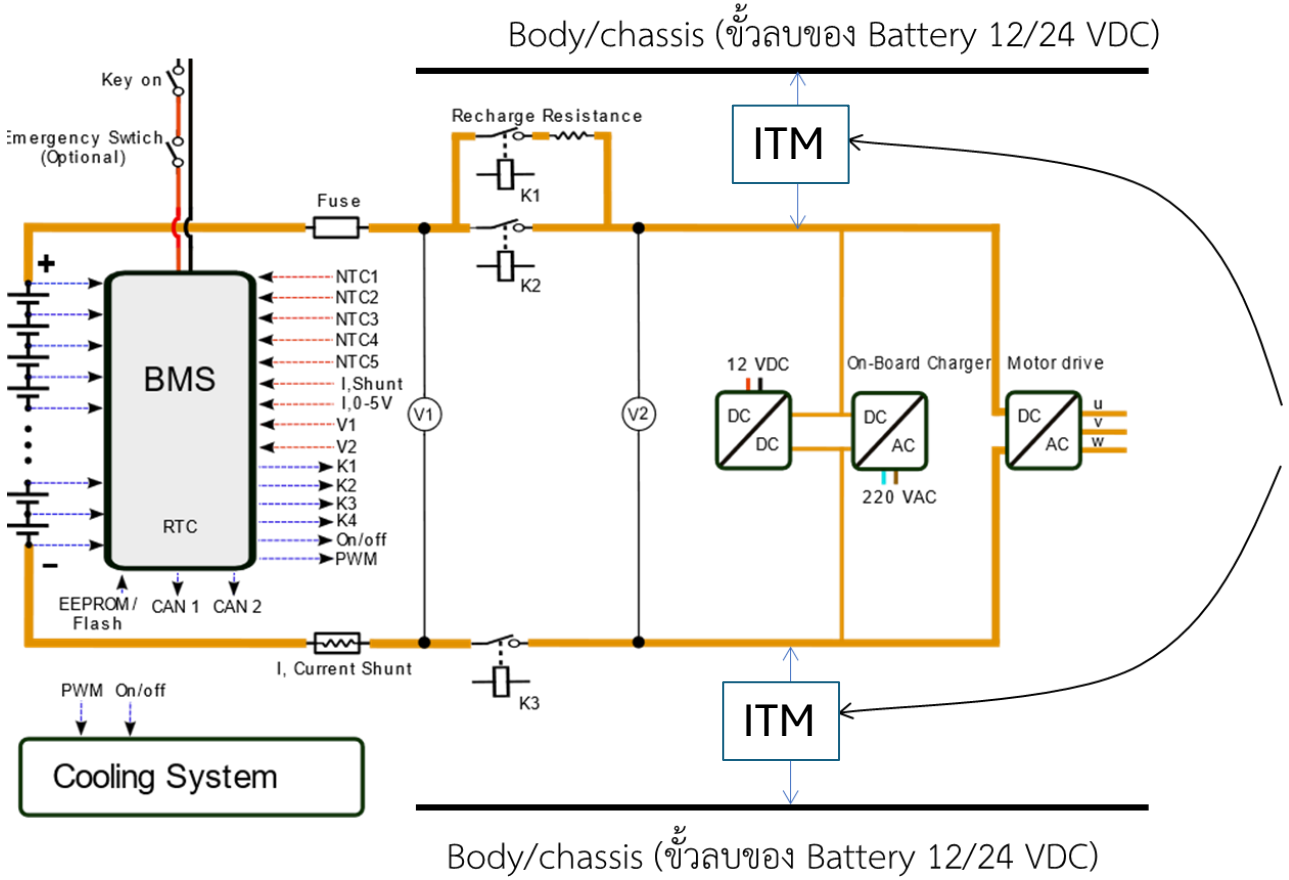
- ทดสอบการทำงานของชุด Insulation Monitoring Device (IMD) ต้องตัดระบบไฟฟ้าแรงสูงภายใน 30 วินาที เมื่อเกิดความผิดพลาดเกี่ยวกับค่าความเป็นฉนวน (กำหนดให้ค่าความเป็นฉนวนอย่างน้อย 500 โอห์มต่อ 1 โวลต์ หรือสูงกว่า)
- ค่าความต้านทานระหว่างระบบกราวด์ของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ (Grounded low voltage) กับตัวถังอุปกรณ์ขับเคลื่อนแรงดันไฟฟ้าสูงที่สามารถนำไฟฟ้าได้ (เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อน, ชุดมอเตอร์อินเวอร์เตอร์, เปลือกหุ้มชุดแบตเตอรี่) ในระยะการวัดตัวถังอุปกรณ์และกราวด์ห่างน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ต้องมีค่าน้อยกว่า 100 มิลลิโอห์ม

การประยุกต์ใช้ข้อกำหนด FSAE กับ EV Conversion

- วัดความต้านทานระหว่างขั้วบวกและลบของระบบแบตเตอรี่ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์แรงดันสูงต่างๆกับแชสซีรถมีค่ามากกว่า 500 Ohm/V คำนวณอ้างอิงที่แรงดันสูงสุดของแพ็กแบตเตอรี่ วิธีการทดสอบตาม UNECE R136e หรือสามารถใช้เครื่อง insulation resistance วัดได้ อนุญาตให้ตัดการทำงานของ Contractor ก่อนได้ ถ้ามี IMD ติดตั้งในแพ็กแบตเตอรี่แล้ว
- วัดความต้านทานสายไฟฟ้าแรงดันสูงเชื่อมต่อระหว่าง Motor inverter ไป Motor กับแชสซีรถต้องมีค่ามากกว่า 500 Ohm/V คำนวณอ้างอิงที่แรงดันสูงสุดของมอเตอร์ สามารถใช้เครื่อง insulation resistance วัดได้ อนุญาตให้ตัดการทำงานของ Contractor ก่อนได้ ถ้ามี IMD ติดตั้งในแพ็กแบตเตอรี่แล้ว
- ต้องมีสวิตช์ที่สามารถหยุดการทำงานของระบบได้ โดยผู้ใช้งานรถสามารถเข้าถึงได้ง่ายภายในตัวรถ เช่น สามารถใช้สวิตช์กุญแจหรือปุ่ม Emergency ในการหยุดการทำงานของระบบได้
- ระบบลดแรงดัน DC-DC Converter จากแรงดันไฟฟ้าสูงของแพ็กแบตเตอรี่เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำ 5VDC/12VDC/24VDC ต้องเป็นระบบ Isolation
- ตรวจสอบการตัดระบบในกรณีต่างๆ ดังนี้
  - ✓ คันเร่งค้าง (Brake system plausibility device)
  - ✓ สัญญาณคันเร่งหายไป (APPS implausibility check)

การประยุกต์ใช้ข้อกำหนด FSAE กับ EV Conversion

ใช้เครื่อง insulation resistance วัด



ไม่ควรใช้แรงดันไฟฟ้าในการทดสอบเกิน
กว่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแพ็กแบตเตอรี่

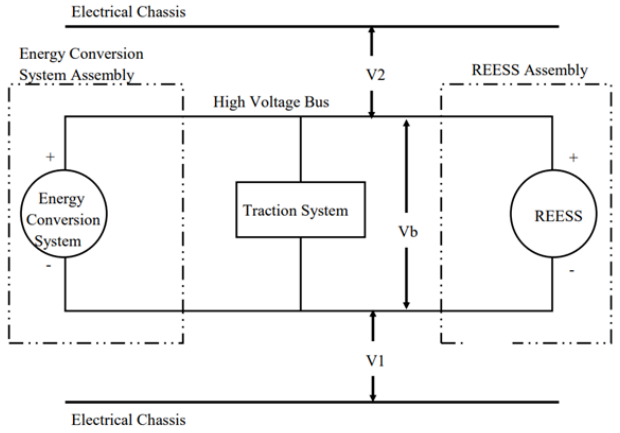
Insulation Testing
Megohmmeter

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดค่าเป็นฉนวน
ตามมาตรฐาน ไม่ควรเกินครึ่งหนึ่งของ
แรงดันแพ็กแบตเตอรี่ (เพื่อความปลอดภัย)
ทำทั้งฝั่งขั้วบวกและขั้วลบกับโครงรถ
*** จะไม่สามารถวัดได้แม่นยำ ถ้าตัวรถติดตั้ง IMD
มา ต้องทำดารตัดการทำงานของ IMD ก่อน***

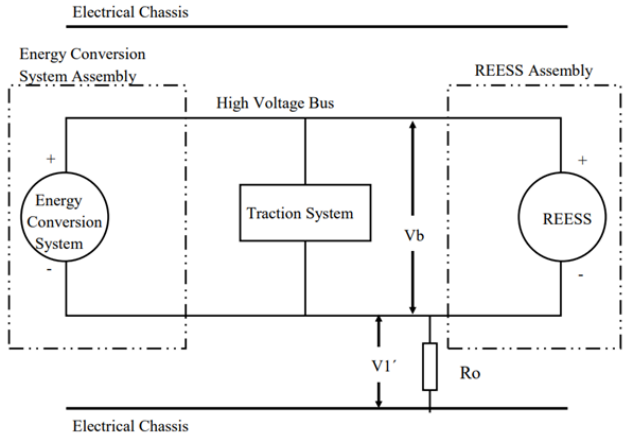
การประยุกต์ใช้ข้อกำหนด FSAE กับ EV Conversion

เทคนิค insulation resistance โดยใช้เครื่องมือพื้นฐาน

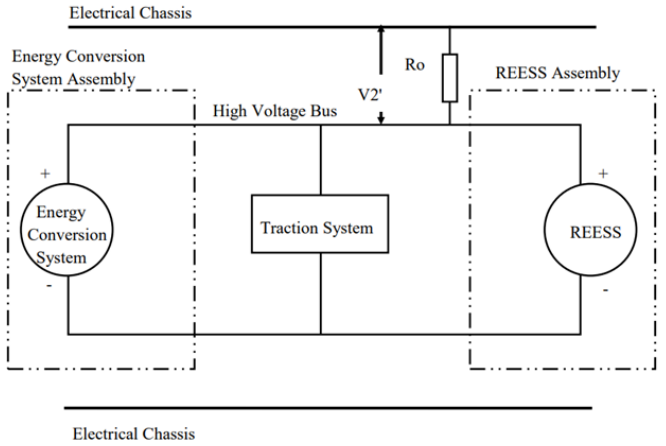
Measurement of Vb, V1, V2



Measurement of V1'



Measurement of V2'



Agreement

Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions*

(Revision 2, including the amendments which entered into force on 16 October 1995)

Addendum 135 – Regulation No. 136

Date of entry into force as an annex to the 1958 Agreement: 20 January 2016

Uniform provisions concerning the approval of vehicles of category L with regard to specific requirements for the electric power train

This document is meant purely as documentation tool. The authentic and legal binding text is: ECE/TRANS/WP.29/2015/69 (as amended by paragraph 75 of the report ECE/TRANS/WP.29/1116).

UNITED NATIONS

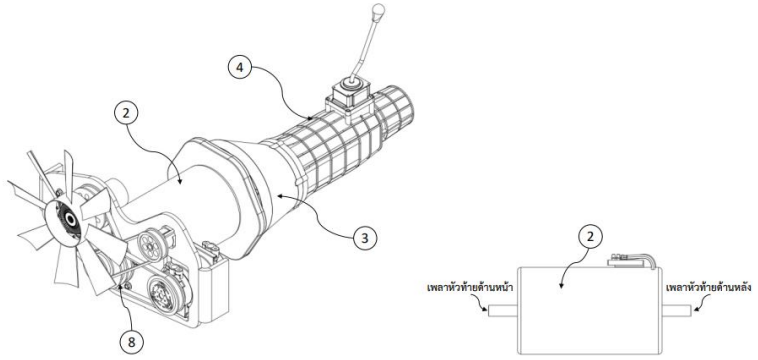
กรณี V1 มากกว่า V2

$$Ri = Ro*(Vb/V1' - Vb/V1)$$

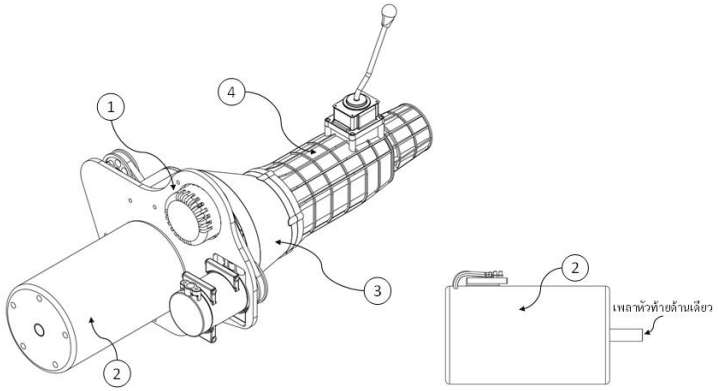
กรณี V2 มากกว่า V1

$$Ri = Ro*(Vb/V2' - Vb/V2)$$

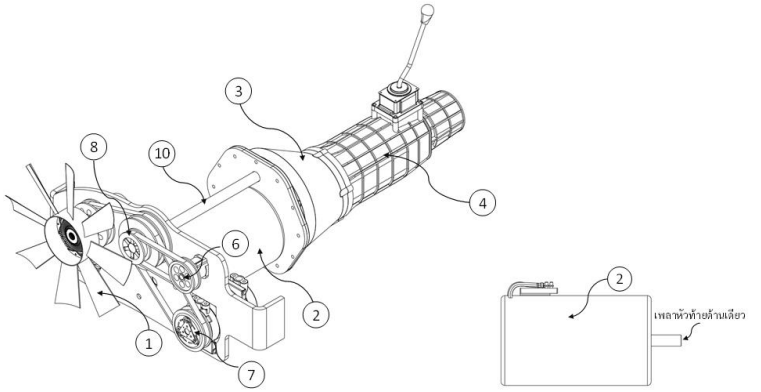
แนวความคิดการดัดแปลงโดยใช้อุปกรณ์พื้นฐานจากเครื่องยนต์เดิม



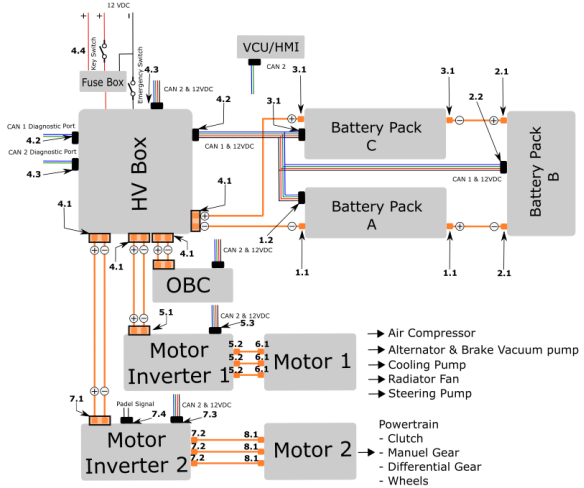
แบบที่ 1: มอเตอร์สองแกนเพลา
- แกนหลังขับเกียร์
- แกนหน้าขับระบบอื่นๆ



แบบที่ 2: มอเตอร์แกนเพลาเดียว ขับทั้งหมด



แบบที่ 3: มอเตอร์แกนเพลาเดียว โย้งขับระบบอื่นๆ กลับมาด้านหน้า



แบบที่ 4: มอเตอร์สองตัว
- ขับเกียร์
- ขับระบบอื่นๆ

ขอบคุณครับ

ดร. บุรินทร์ เกิดทรัพย์ burin.kerdsup@nectec.or.th

ดร. มานพ มาสมทบ manop.mas@entec.or.th

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

Society of Automotive Engineers-Thailand

NECTEC a member of NSTDA

ENTEC a member of NSTDA