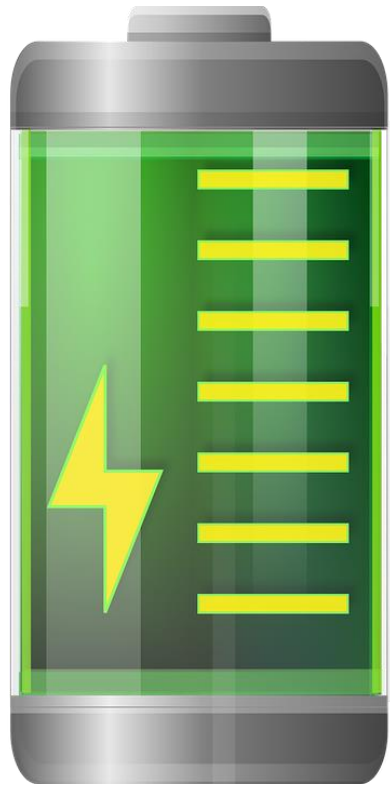


Lithium-ion Battery System Overview (EV application and Grid Application)



24 February 2023 at 2:00 PM (Thailand Time)

ELECTRICAL ENGINEERING ON-LINE SEMINAR (Seminar #6)

Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University



Jiravan Mongkoltanatas (PhD)

Energy Storage Technology Research Team (ESTT)

Energy Innovation Research Group (EIRG)

National Energy Technology Center (ENTEC)

National Science and Technology Development Agency (NSTDA)



ENERGY STORAGE: บทบาทที่สำคัญ



ENERGY STORAGE

ENABLE FOR RE, EV AND EE



Outline

1. Introduction: energy storage definition, type, applications
2. Lithium-ion battery system (Pack+BMS)
3. Example in EV application
4. Example in Grid application



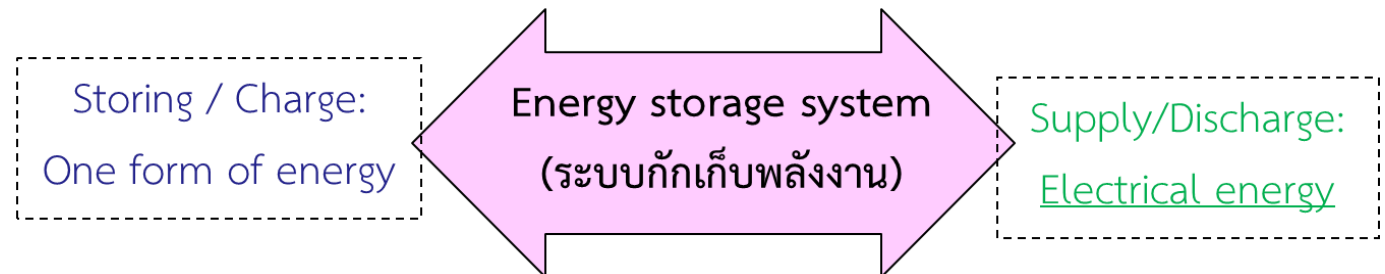
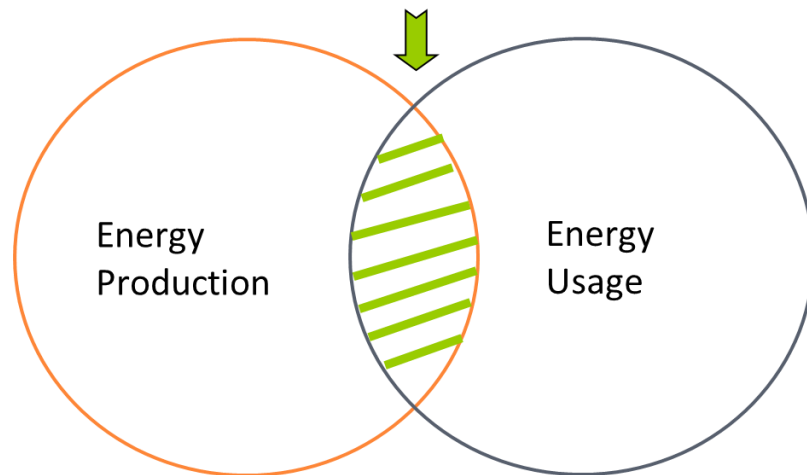
Introduction: energy storage definition, type, applications



Energy Storage Definition

- Energy storage System (ESS) “ A system that store energy and that energy can be dispatched in the same or different form of energy later”
- Such energy storage can be though of as a system that can “time shift the energy produced for later use”

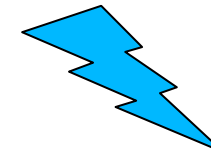
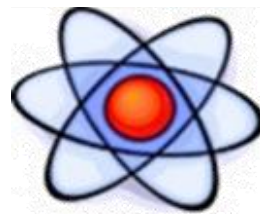
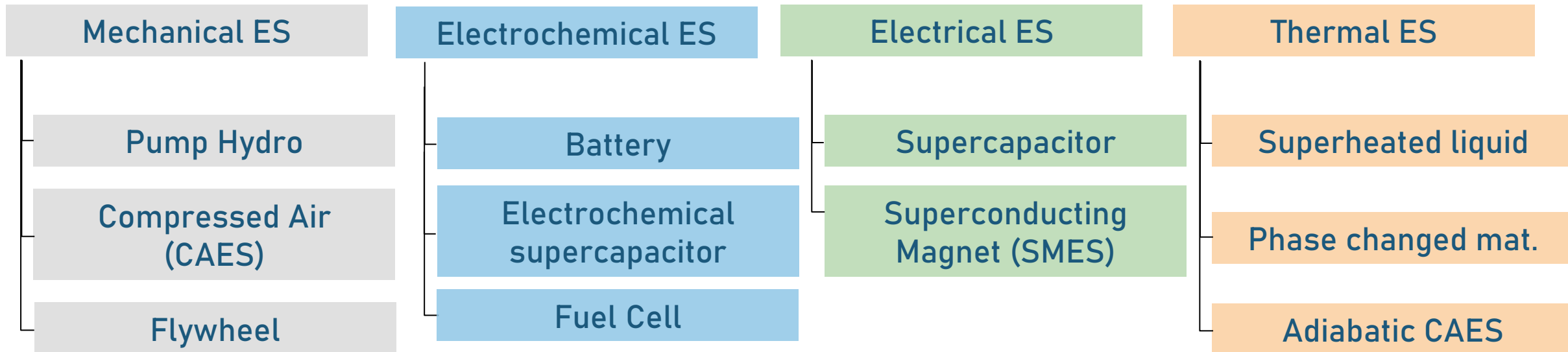
Energy Storage System





Types of Energy Storage

By form of storage



All technologies have been around for ages. Some over 150 years!



ENERGY STORAGE

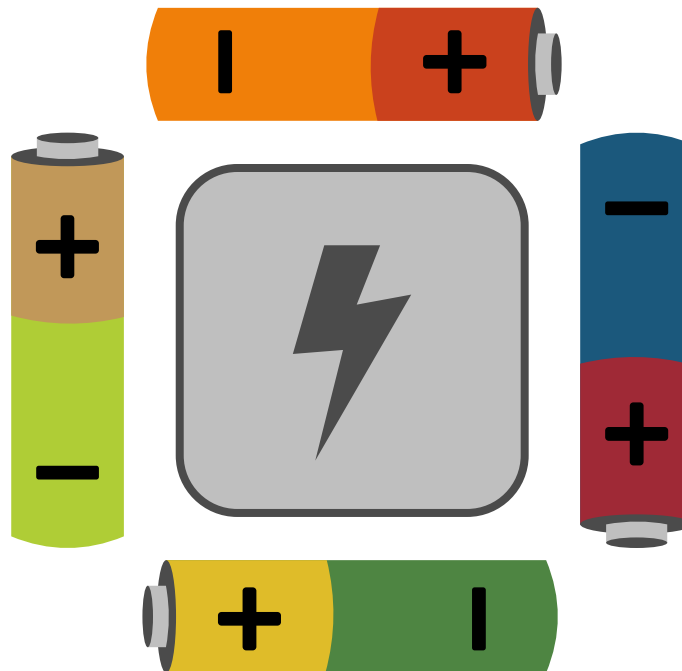
ใช้สำหรับอะไร?

01

ยานยนต์ไฟฟ้า

04

สำรองไฟฟ้าเพื่อ
ลดความเสียหาย
ในการดำเนิน
กิจการ



02

Gadget

03

ใช้รวมกับการ
ผลิตไฟฟ้าจาก
พลังงานสะอาด



Energy storage applications

Overview

Mobile



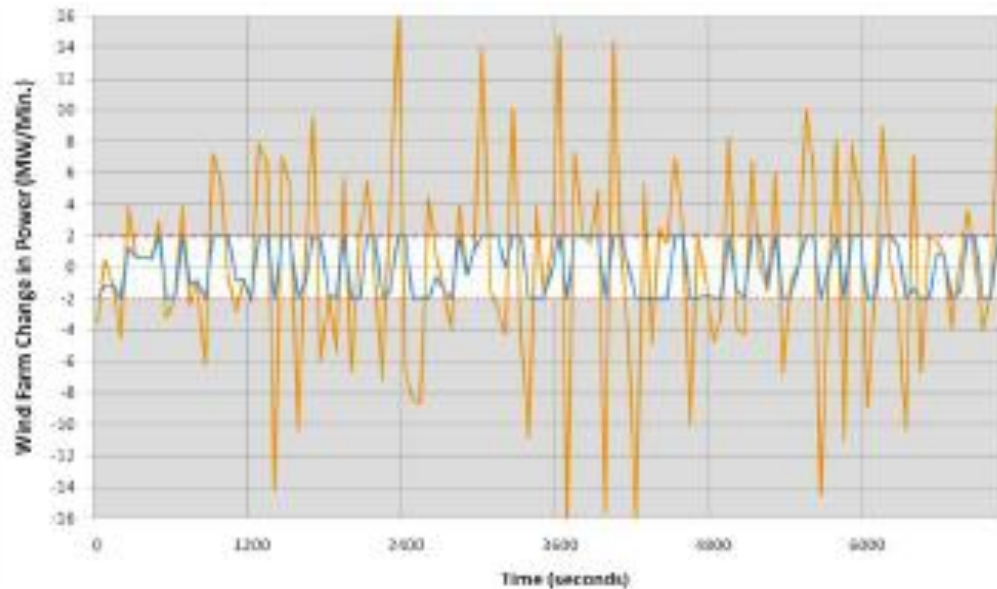
Stationary





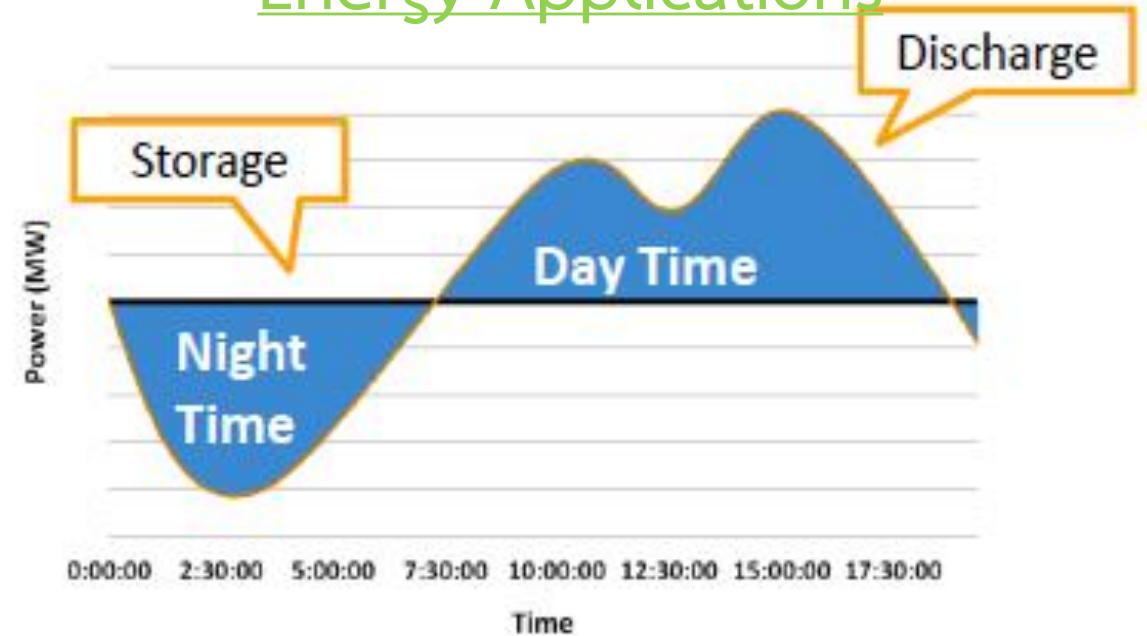
Power VS Energy applications

Power Applications



- Very high Charge/Discharge Rates
- Short Duration (<1 hour)
- Many cycles (100s per day)
- Continuous use

Energy Applications



- Long Duration (≥ 1 hour(s))
- 1-2 cycles per day



ENERGY STORAGE: ในยานยนต์ไฟฟ้า

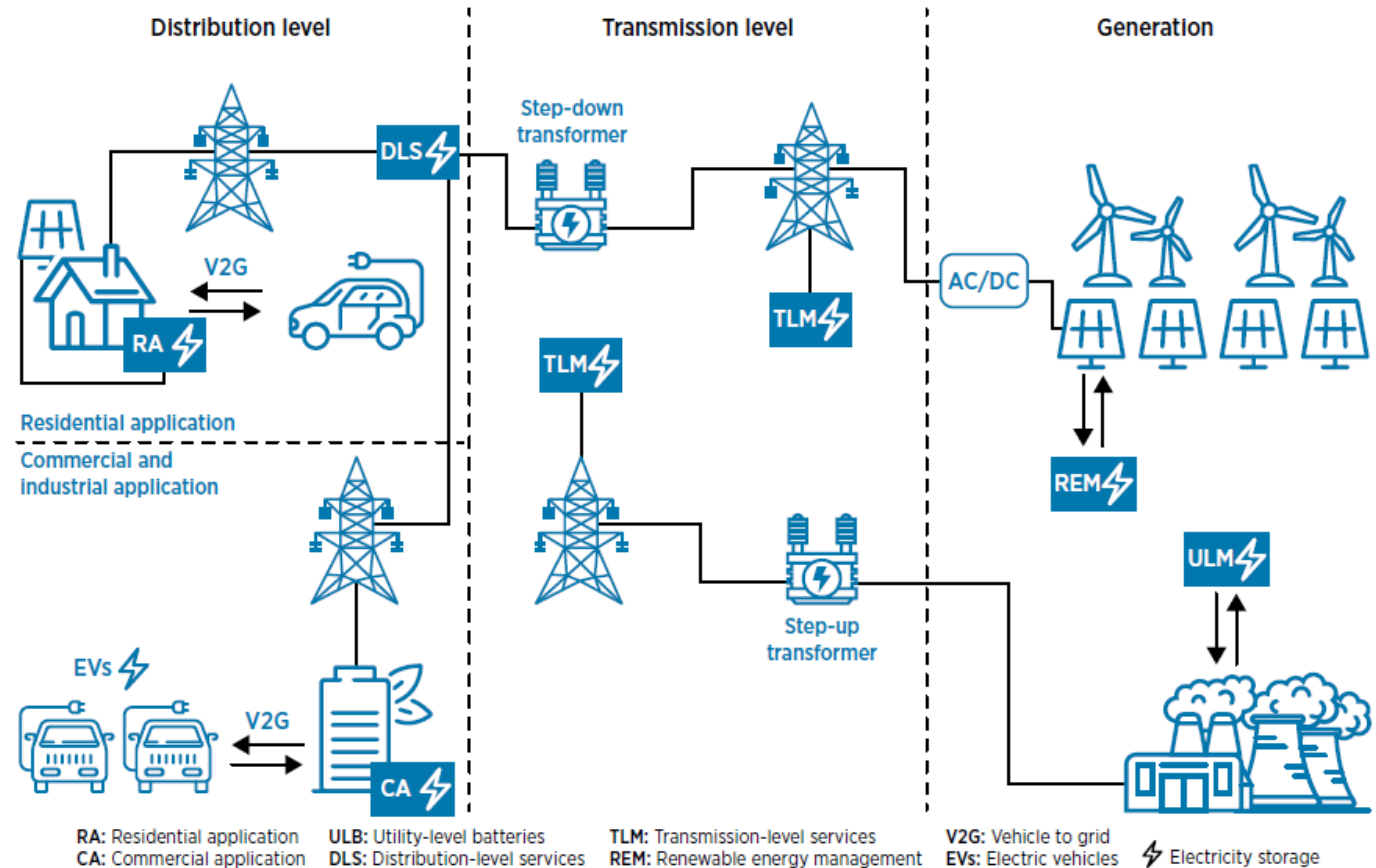
ICE	HEV	PHEV	BEV	FCEV
แบตเตอรี่จะถูกใช้สำหรับการสตาร์ทรถ	แบตเตอรี่จะถูกใช้สำหรับการสตาร์ทรถ และช่วยในการเร่ง โดยจะชาร์จจากเครื่องยนต์และขณะทำการเบรก	แบตเตอรี่จะถูกใช้เป็นส่วนไกลกว่า HEV มีส่วนร่วมมากกว่าในการใช้งาน และสามารถชาร์จได้จากทั้งเครื่องยนต์ขณะเบรกและจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าอื่นๆ	แบตเตอรี่จะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับการขับเคลื่อน สามารถชาร์จได้จากทั้งมอเตอร์ขณะเบรกและจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าอื่นๆ	ไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์เชื้อเพลิงจะเป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับการขับเคลื่อนโดยไฟที่ได้จะใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์โดยตรงหรือผ่านแบตเตอรี่



Energy storage applications

overview

- Utility scale ($\geq 1\text{MW MWh}$)
- Behind the meter ($< 1\text{MW MWh}$)
- Microgrid



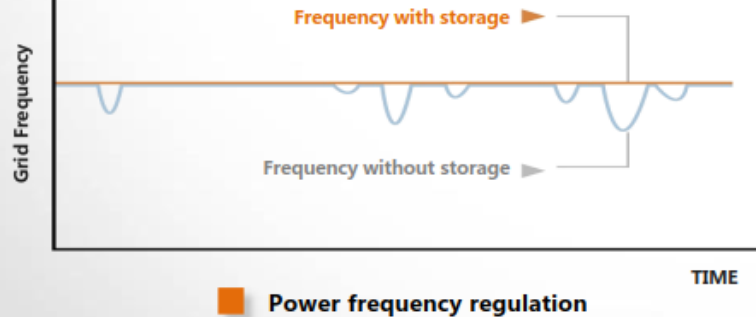
Electricity Storage Valuation Framework: Assessing system value and ensuring project viability, IRENA, March 2020



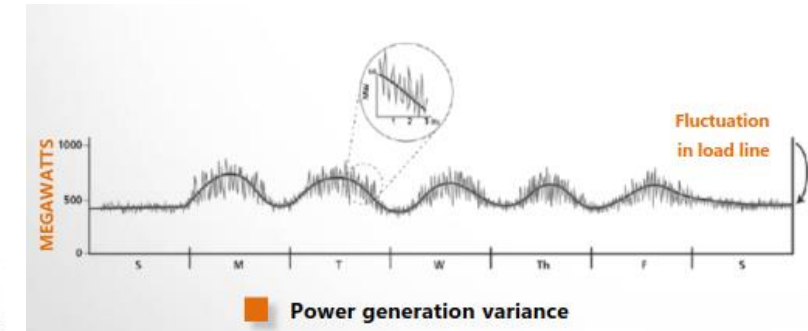
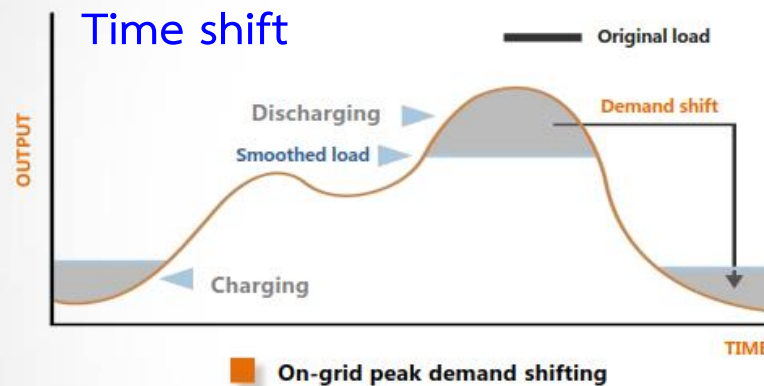
Applications of ESS

Utility applications example

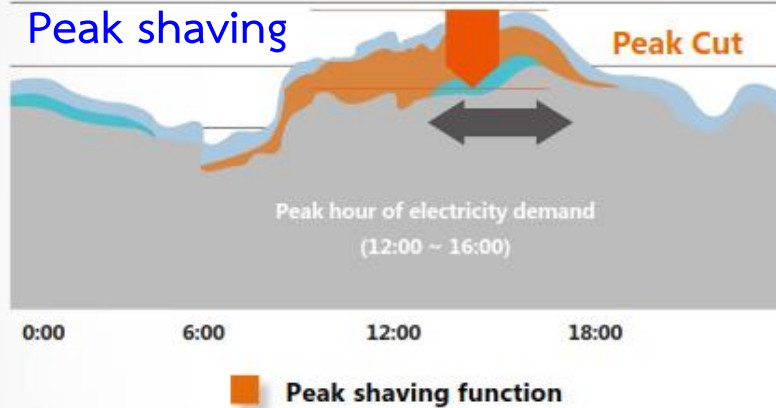
Frequency regulation



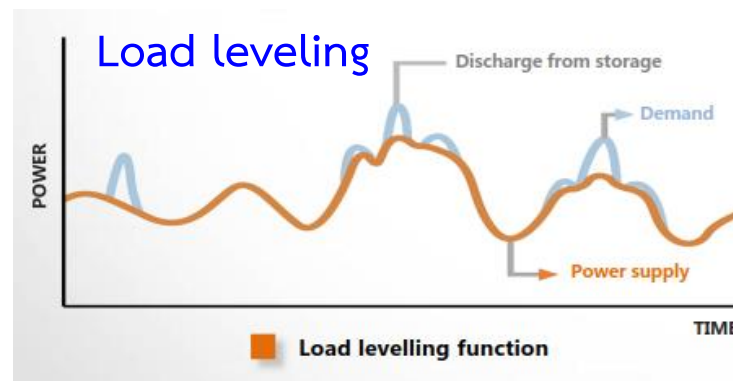
Time shift



Peak shaving



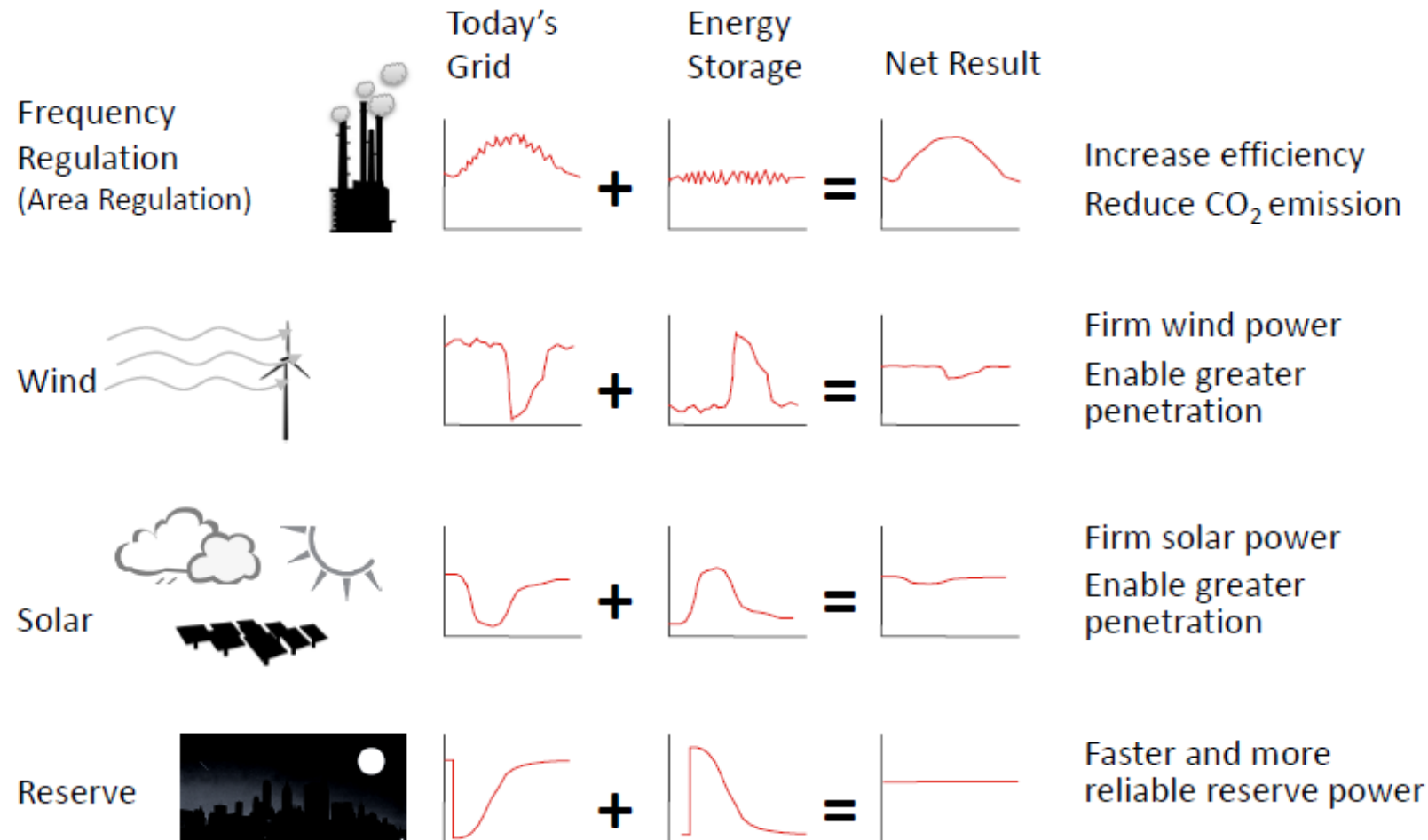
Load leveling





Applications of ESS

For renewable energy



Courtesy of 24M Technologies



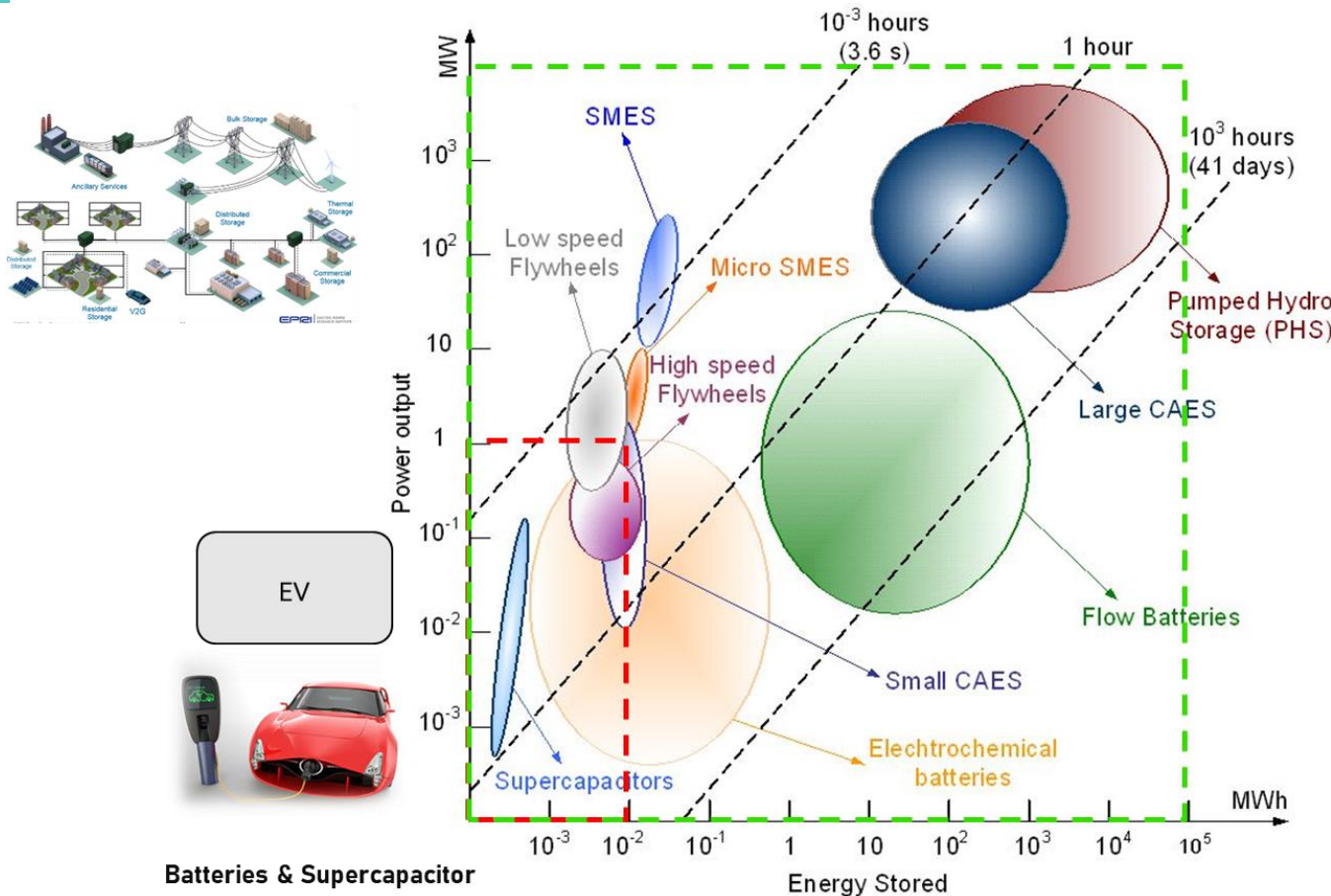
Role of Energy Storage ในโครงข่ายไฟฟ้า

1. ประหยัดและเพิ่มประสิทธิภาพด้านการผลิตและส่ง
 - ชะลอการสร้างโรงไฟฟ้าใหม่
 - ช่วยรองรับปริมาณของ Renewable power system ในระบบ ให้มากขึ้นและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
 - ชะลอการเพิ่มขนาดสายส่ง
2. สร้างเสถียรภาพทางการจ่ายไฟฟ้า ทั้งด้าน
 1. ปริมาณ (energy capacity – demand vs. supply)
 2. คุณภาพ (voltage support, frequency regulations)
3. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน/ประหยัดค่าไฟ
 - Peak shaving
 - Demand charge management



Comparing different types of ESS

Available Size (Energy & Power)



Many Options

Security/
Defense

Remote
area

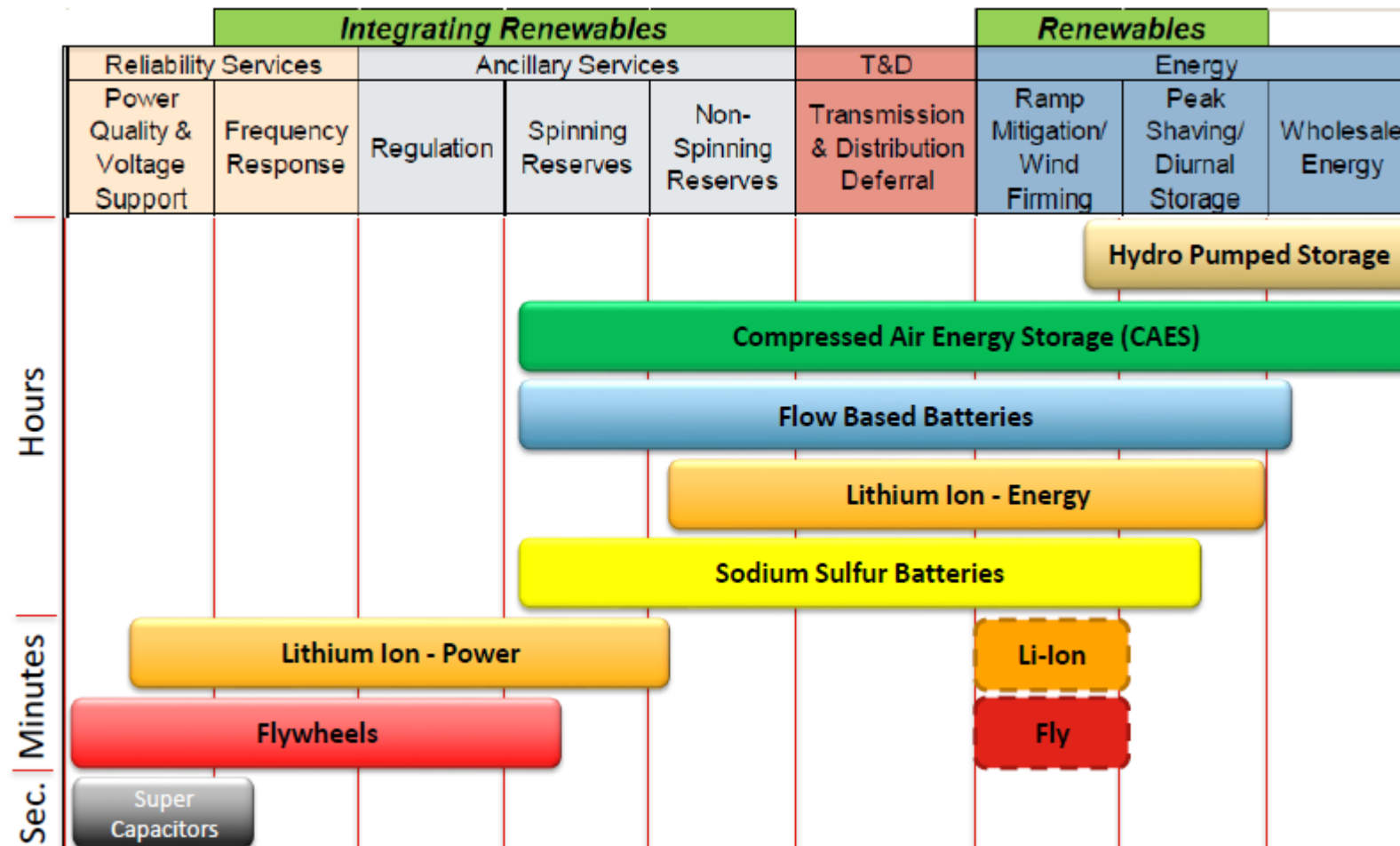
Renewable
support

Industry/
Smart City

Image Sources: <http://www.intechopen.com/books/energy-storage-technologies-and-applications/techno-economic-analysis-of-different-energy-storage-technologies>,



Technologies and Applications matching



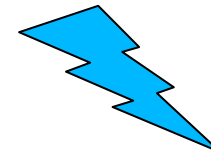
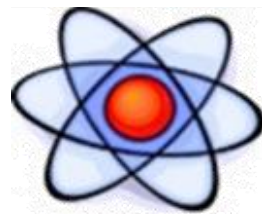
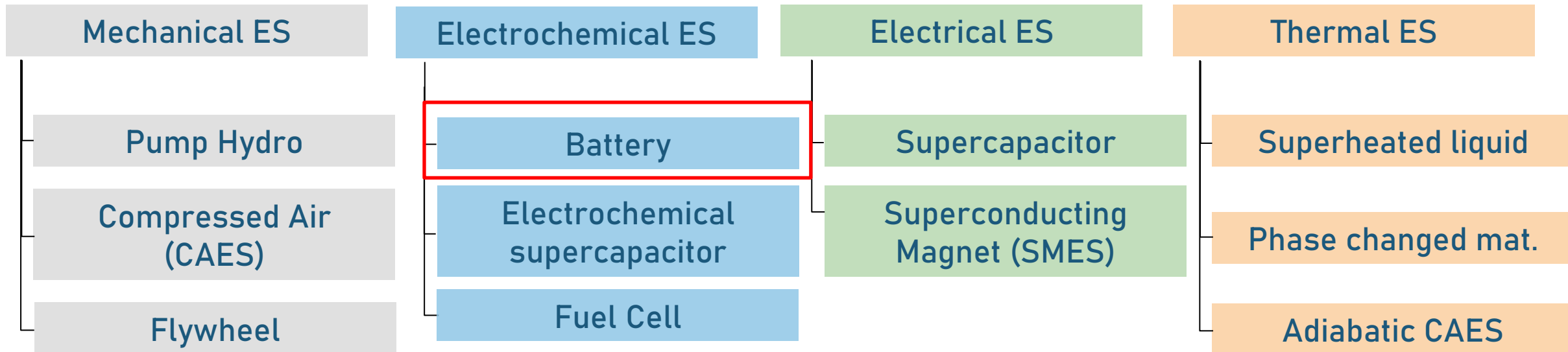
Courtesy of 24M Technologies

Cost: J.Leadbetter, L.G. Swan/Journal of Power Sources 216 (2012) 376-386



Types of Energy Storage

By form of storage



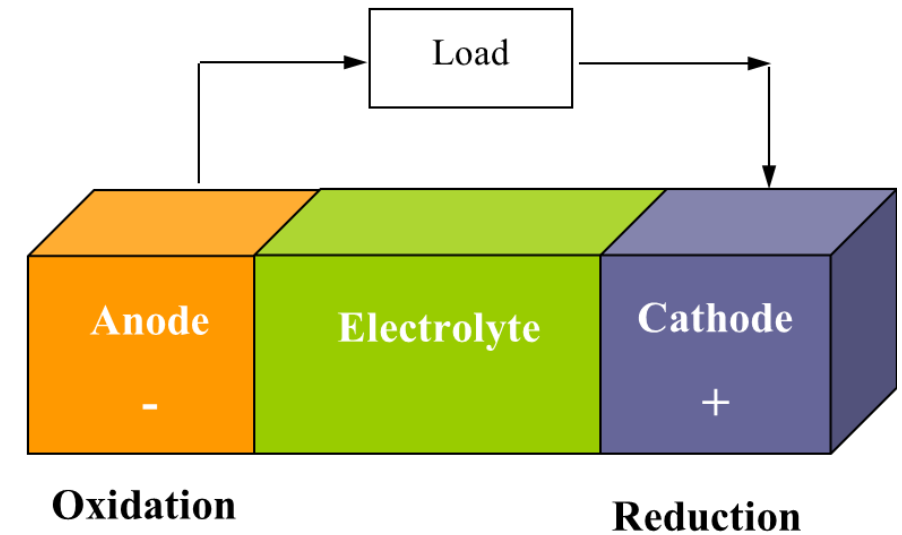
All technologies have been around for ages. Some over 150 years!



Electrochemical Based ESS

Battery

- Consist of negative and positive electrode (anode and cathode) and electrolytes
- Many types of batteries => Details in the following
- Fast time response, Good energy efficiency



Source: <http://batteryuniversity.com>, www.gopixpic.com



Battery technologies

Overview

1. Primary/ Non-rechargeable

- zinc-carbon battery
- alkaline battery
- Lithium
- Zinc-air



2. Secondary/ Rechargeable

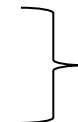
Lead acid



Pb



Nickel Cadmium
Nickel Metal Hydride



Ni-based



Ni-Cd



Ni-MH



Sodium sulfur (NaS)
Sodium Nickel Chloride
(NaNiCl)



Na-based/ molten salt

Li-ion



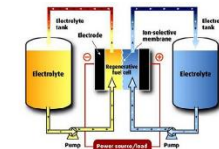
Li-ion



Vanadium redox Flow
Flow - Zn-Br



Redox flow





Electrochemical Based ESS

คำศัพท์พื้นฐาน

- Cell configurations and components
 - Pack, Module, Cell
 - Form: Cylindrical vs. Prismatic
 - Packaging: Can vs. Pouch
 - Cell architecture: wound vs. stack
 - Cell active components: anode, cathode, electrolyte, etc.
- Performance, test and running characteristics

– Voltage curve – State of Charge (SOC) – Depth of Discharge (DOD) – C-rate – Power to Energy Ratio – Energy Efficiency	– Cycle life – Cycling temperature characteristics – Self discharge rate, Storage temperature
--	---



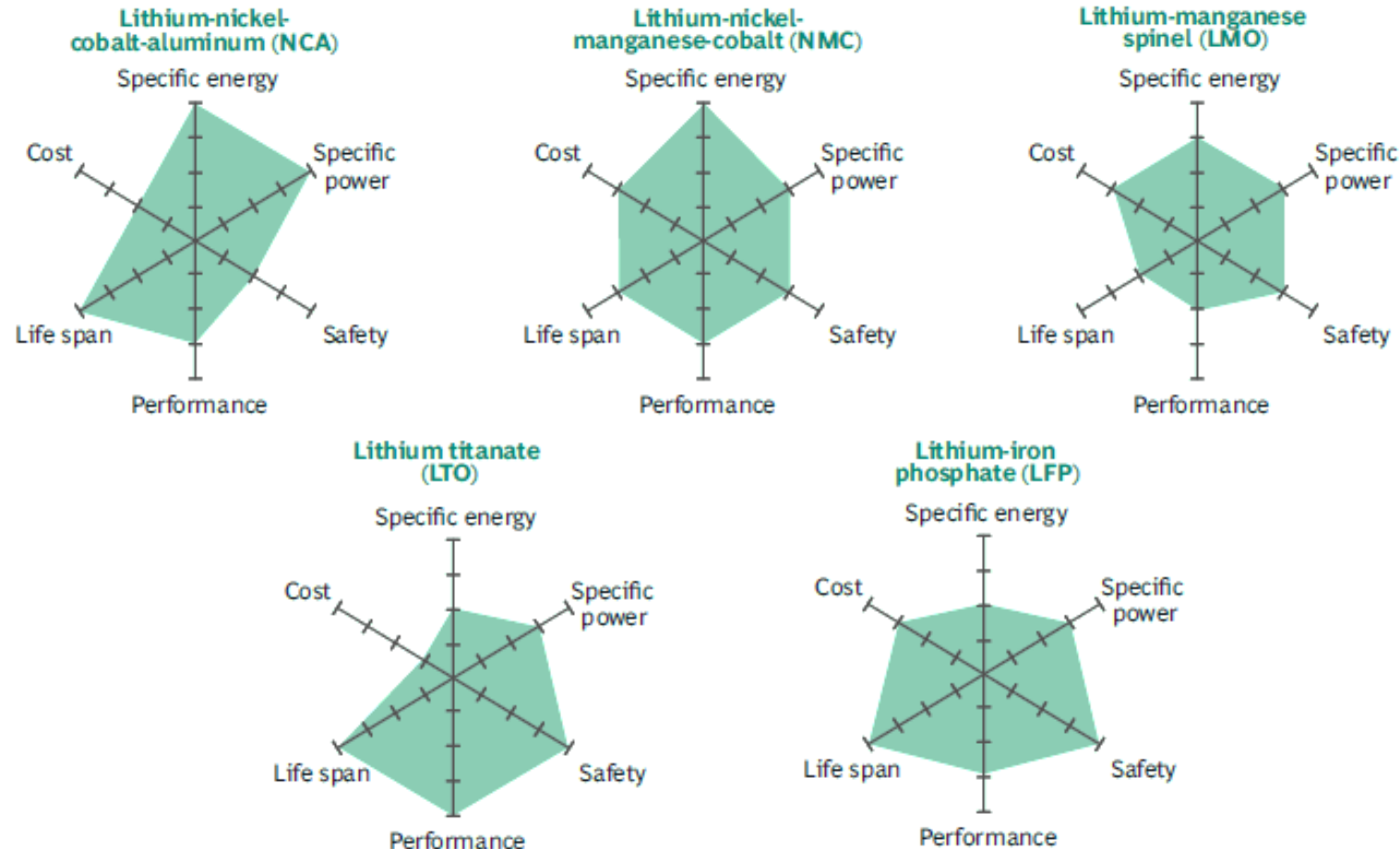
Technology comparison

Storage technology	Main advantages (relative)	Disadvantages (relative)
Lead-acid battery	Low capital cost	Limited cycle life when deeply discharge
Ni-based battery	High power and energy density	Low energy efficiency
Li-based battery	High power and energy density, high efficiency	High production cost, require special charging circuit
Na-based battery	High power and energy density, high efficiency	Production cost, safety concern
Flow battery	High capacity, independent power and energy rating	Low energy density



Lithium-ion battery

Types Comparison



Source: BCG research.

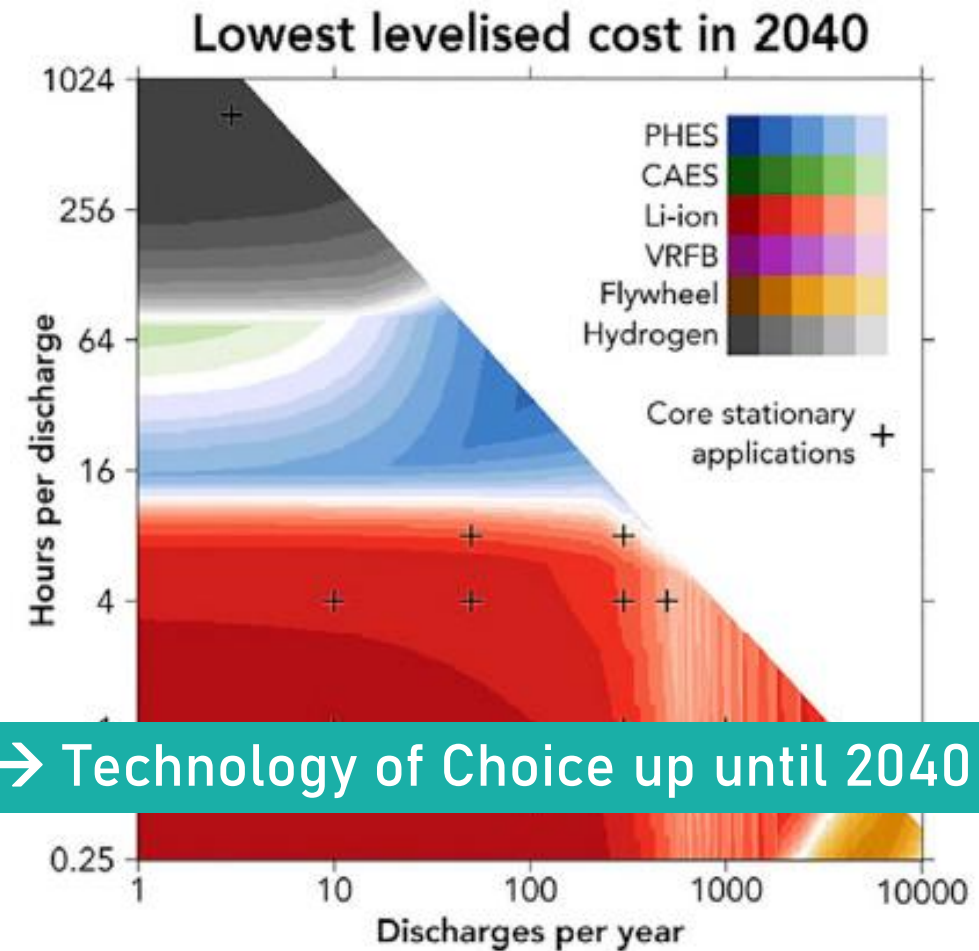
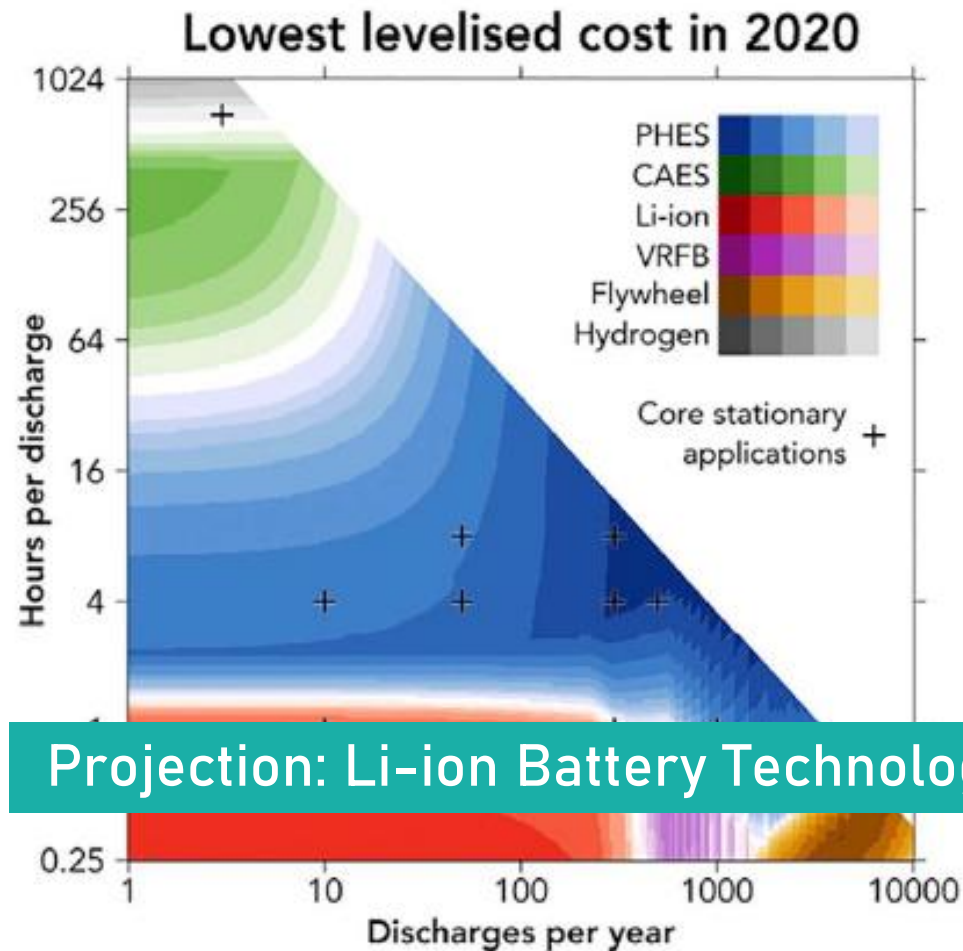
Note: The farther the colored shape extends along a given axis, the better the performance along that dimension.

Source: BCG Battery 4EV Outlook 2020



Types of Energy Storage

Choice: Technology 2040



Projection: Li-ion Battery Technology → Technology of Choice up until 2040

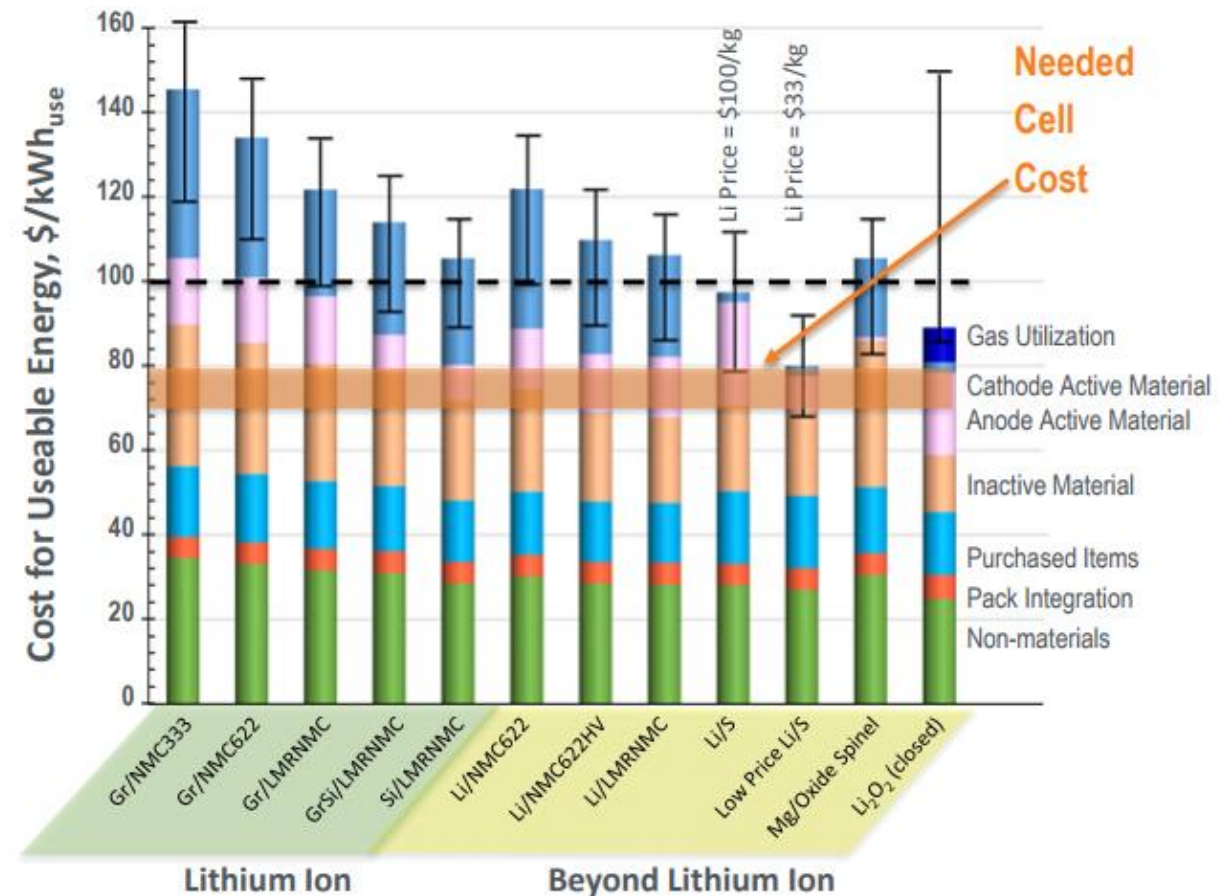


Global status of energy storage

Future trends of energy storage technologies

Immerging Technology

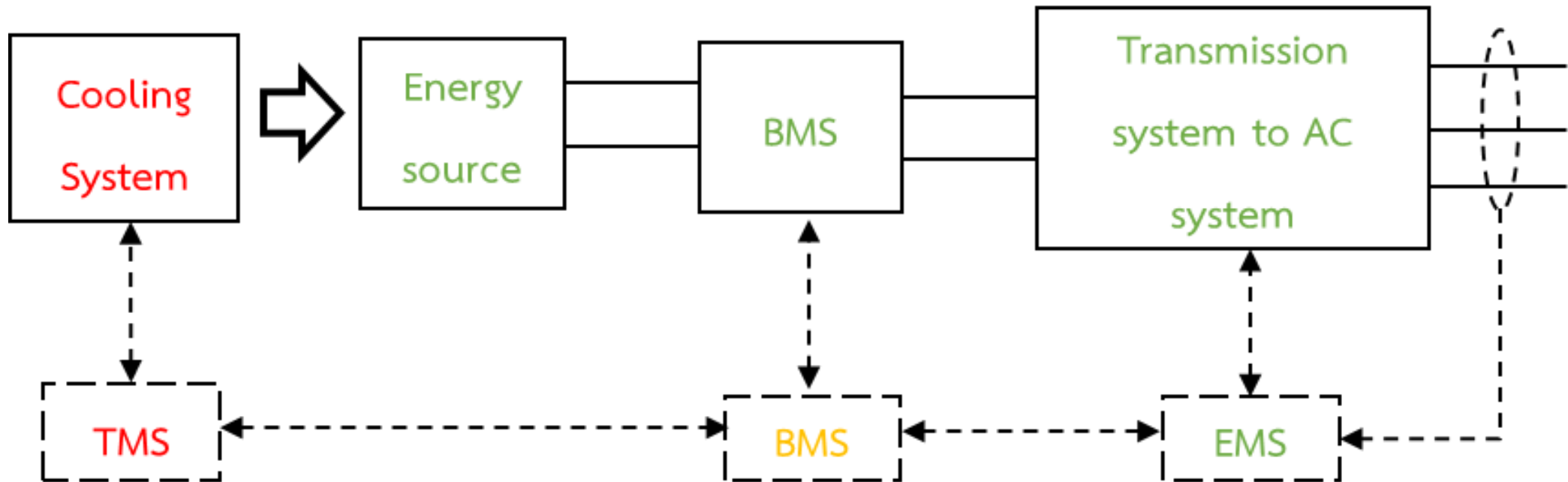
- Liquid air energy storage systems
- Non/low fuel CAES
- Underground PHS
- Nano-super-capacitors
- Advance lithium-ion batteries: Li-air, Li-S, Solid state, ...





Lithium-ion battery system (Pack+BMS)

Lithium-ion battery system





Battery energy storage system

Performance indicator

- Power
 - Maximum continuous power
 - Peak power
- Energy
 - Usable capacity
 - Installed capacity
 - Deep discharge
- Dynamics
 - Ramp rate
 - Response time in normal operation
 - Response time in stand-by
 - Turn-on time
 - Duty cycle eccentricity
- Efficiency
 - Round-trip efficiency
 - Self-discharge rate or charge retention
 - Stand-by losses
- Reliability, availability
 - Calendar lifetime
 - Cycle lifetime
 - Mean time between failures

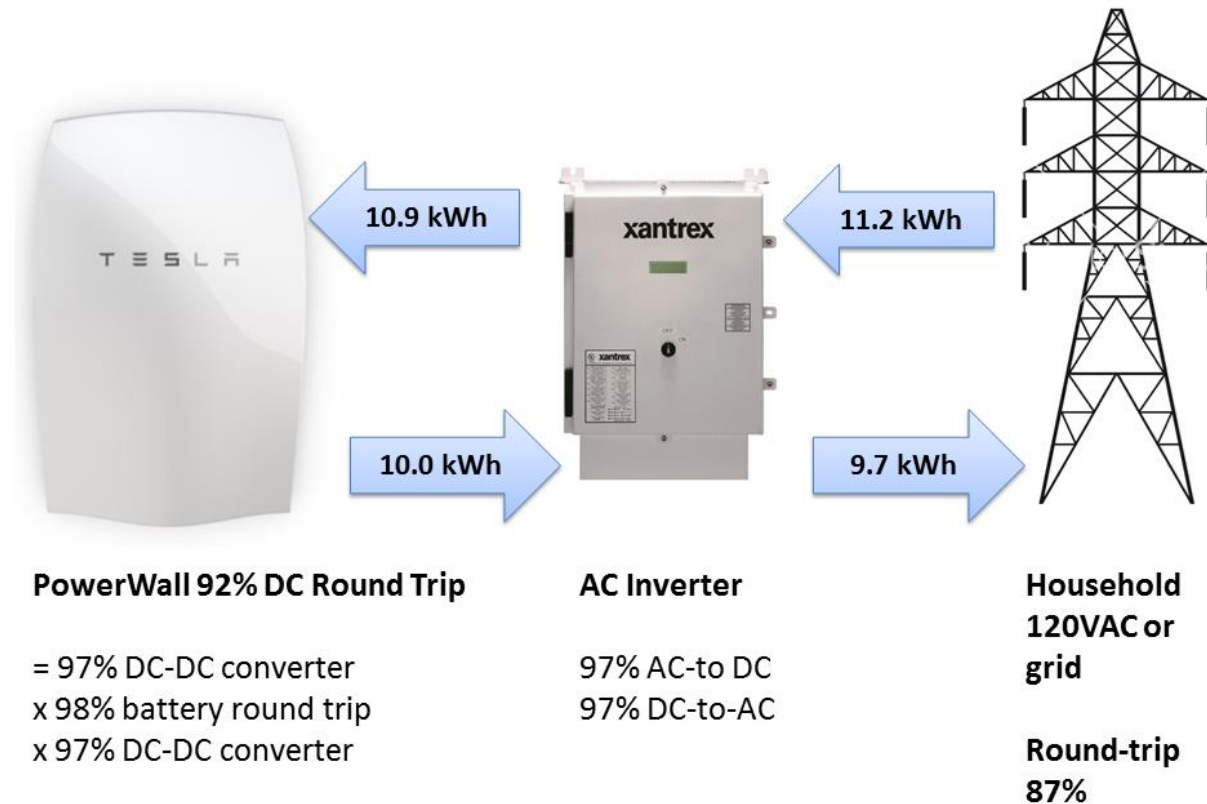
Source: DNVGL, Safety, operation and performance of grid-connected energy storage systems, 2015



Battery energy storage system

Performance indicator - example

- Efficiency
 - Round-trip efficiency
 $= 0.97 * 0.97 * 0.92 = 0.87$



catalytic ENGINEERING

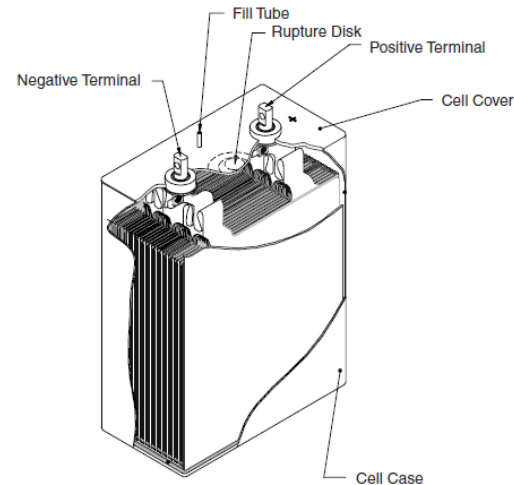
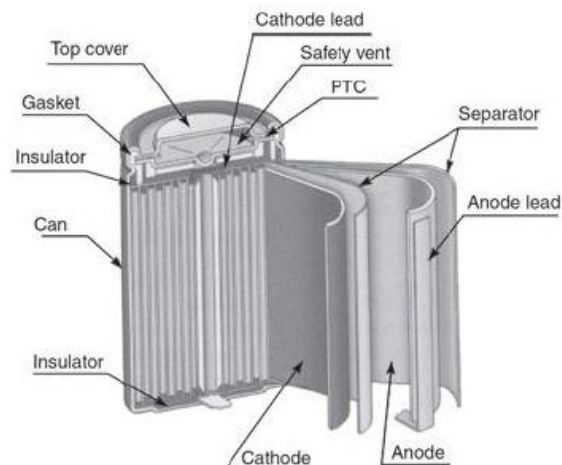
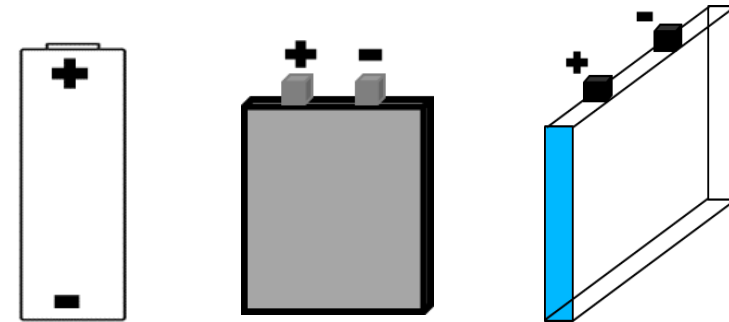
<http://www.catalyticengineering.com/top-ten-facts-about-teslas-350kwh-powerwall-battery/>



Li-ion Batteries

เซลล์แบตเตอรี่รูปแบบต่างๆ

- เซลล์แบบทรงกระบอก
- เซลล์แบบถุงกาแฟ
- เซลล์แบบกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า



Definition of battery pack

Cells

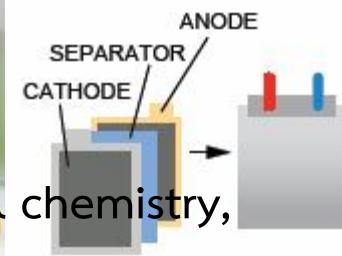
Modules

Pack

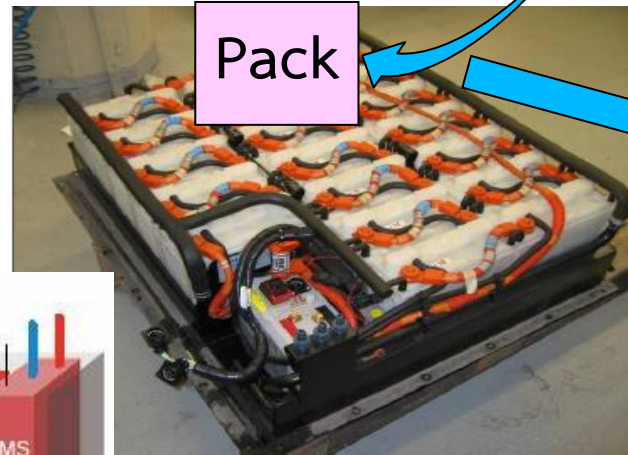
Battery system

- MONO-CELL (Basic cell chemistry, Basic voltage level) OR
- CELL (Stack of (e.g.,20) mono cells connected in parallel)

- Several modules OR
- Many cells with electronics devices => High voltage, High energy



Many cells
in series and/or parallel
with/without electronics devices



Several battery packs in
parallel => high energy



Battery pack design procedure

Input1: กำหนด แรงดัน พลังงาน กำลังไฟฟ้า ที่ต้องการ

Input2: ระบุข้อกำหนด/ข้อจำกัด เช่น ขนาดพื้นที่, จำนวนพื้นที่, ฯลฯ

Battery pack design



Battery cell design

- Cell chemistry
- Cell type => Round cell, Pouch-bag cell, Prismatic cell

Mechanical architecture design

- Cell arrangement scheme: พื้นที่, ระยะห่าง การจัดวาง
- Cooling & heating
- Packing materials: สภาพการใช้งาน (แรงกระแทก, ความชื้น และอื่นๆ), วัสดุ

Electronic architecture design

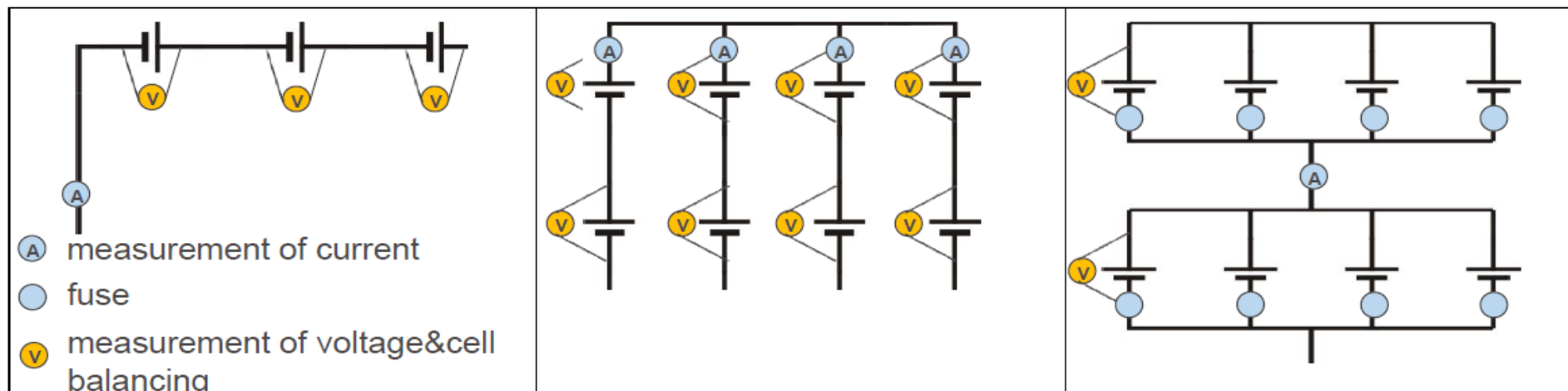
- Topology: Cell/Module/Pack connection schematic
- Battery management systems
- Cell connectors/connections: Bus-bar
- Protection: Switches, precharge and fuses



Batter system design basic

Topology of battery pack/system

- นำหลายๆ cells มาต่อ ขนาน และ/หรือ อนุกรม กัน ให้ได้ แรงดัน และ capacity
 - ต้องการ **แรงดัน** ที่สูง = หลายๆเซลล์ หรือ โมดูล จะต้องมาต่อ **อนุกรม** กัน
 - ต้องการ **Capacity Ah** ที่สูง = เพื่อจ่ายพลังงานได้นานๆ = หลายๆเซลล์ หรือ โมดูล จะต้องมาต่อ **ขนาน** กัน

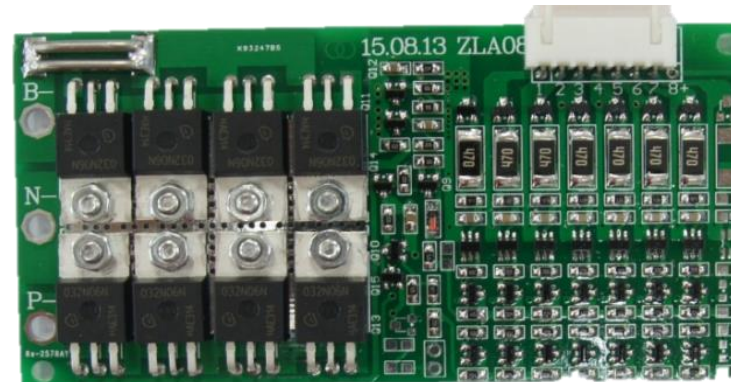


Source: Energy Storage Systems for Electric Vehicles, Benedikt Lutz, Dirk Uwe Sauer



Battery management system

Battery Management System (BMS) หรือ ระบบบริหารจัดการพลังงานแบตเตอรี่ คือระบบที่ทำหน้าที่ในการบริหารและจัดการพลังงานสำหรับแบตเตอรี่ โดยมีหน้าที่ในการตรวจสอบแบตเตอรี่ ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการชาร์จประจุ หรือการคายประจุของแบตเตอรี่ เช่น แรงดัน กระแส อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่

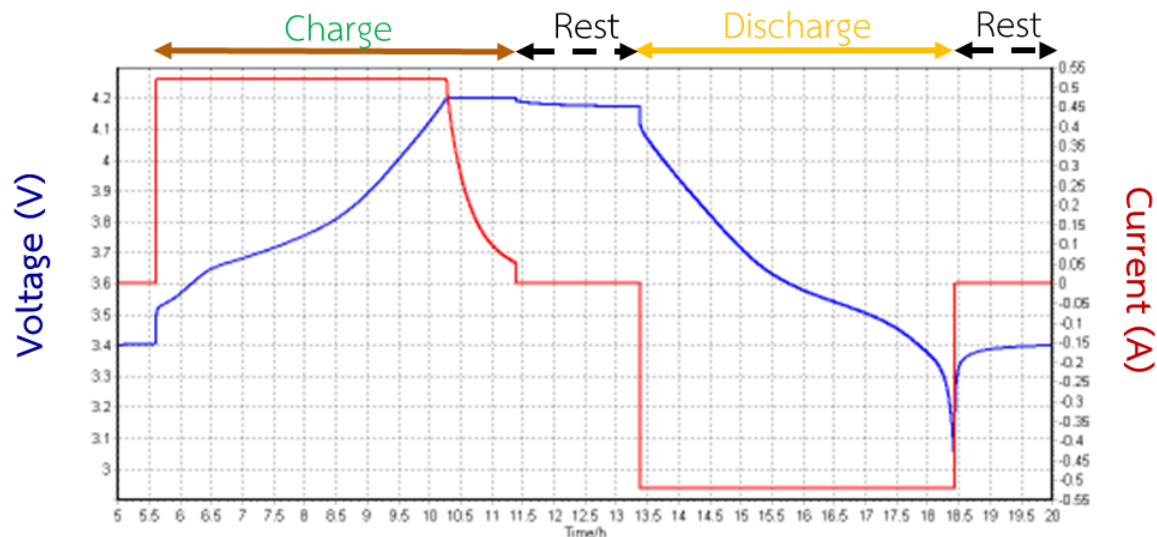


48V 20Ah battery with 16 pcs BMS Slave Module

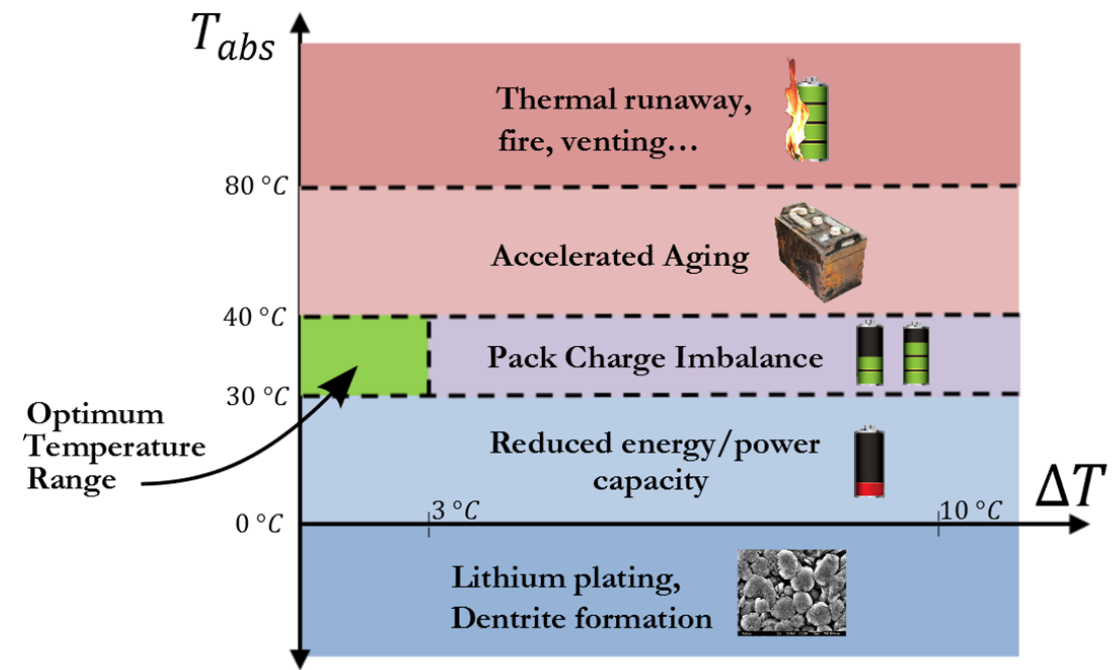




- แรงดัน
- กระแส
- อุณหภูมิมีผลต่อการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียม และ ความปลอดภัยในการใช้งาน



Battery characteristics



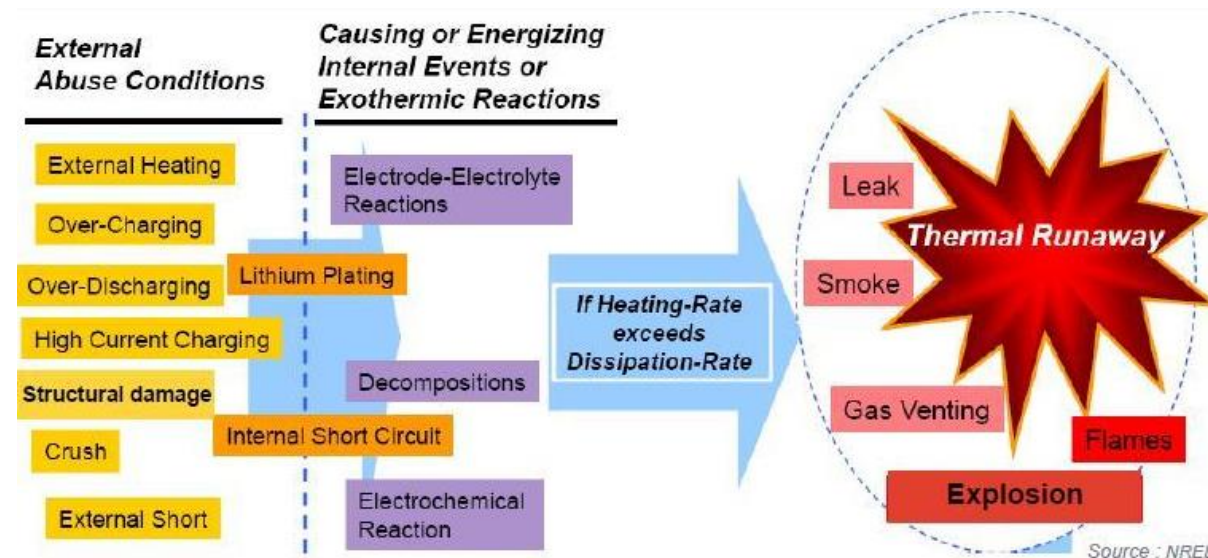
Source: Energy Storage Systems for Electric Vehicles, Benedikt Lutz, Dirk Uwe Sauer



Battery management system (BMS)

Why needed?

- Protection during charge and discharge of Lithium battery
 - over/under voltage
 - Overcharge -> การชาร์จ จนกระทั่งระดับแรงดันสูงเกินกว่า Charge voltage
 - Overdischarge -> การดิสชาร์จจนกระทั่งระดับแรงดันต่ำกว่า cut-off discharge voltage
 - over current, short circuit current -> การชาร์จ หรือ ดิสชาร์จด้วย กระแสที่สูงเกินกำหนด
 - over/under temperature

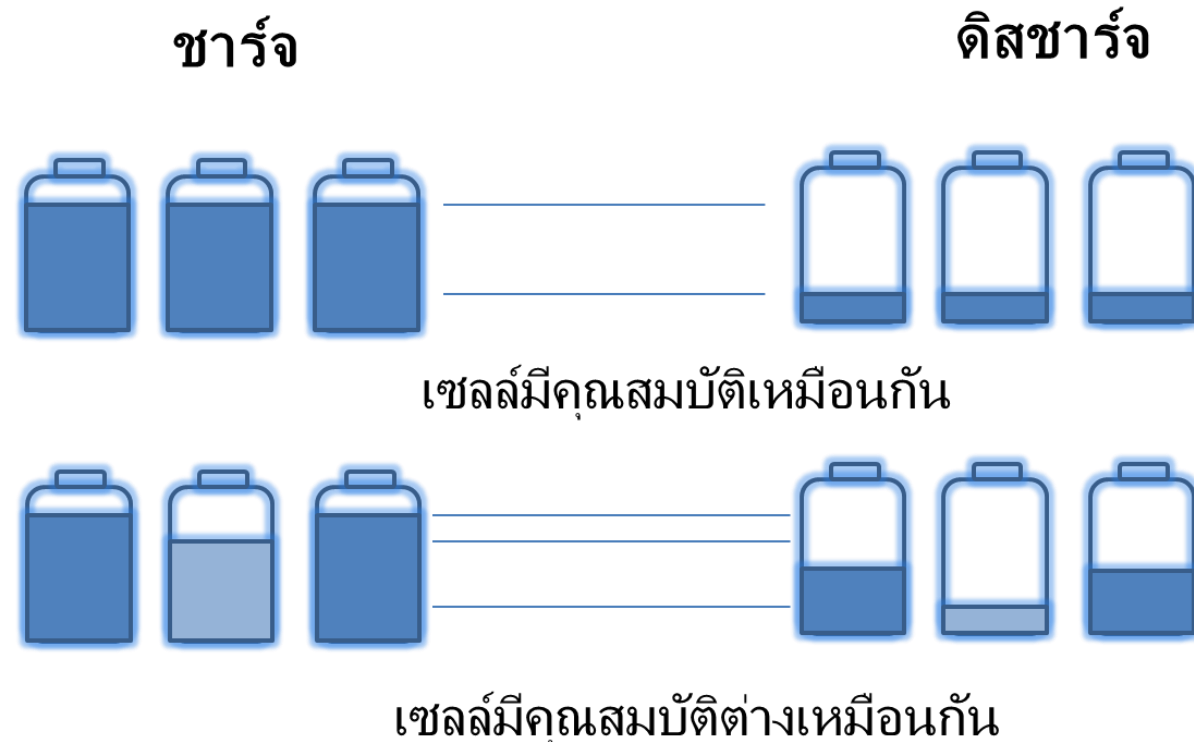




Battery management system (BMS)

Why needed?

- แบตเตอรี่ลิเทียมมีขีดจำกัดในการทำงานเมื่อนำหลายๆเซลล์แบตเตอรี่มาต่อกัน
 - คุณสมบัติของเซลล์ตอนเริ่มต้น



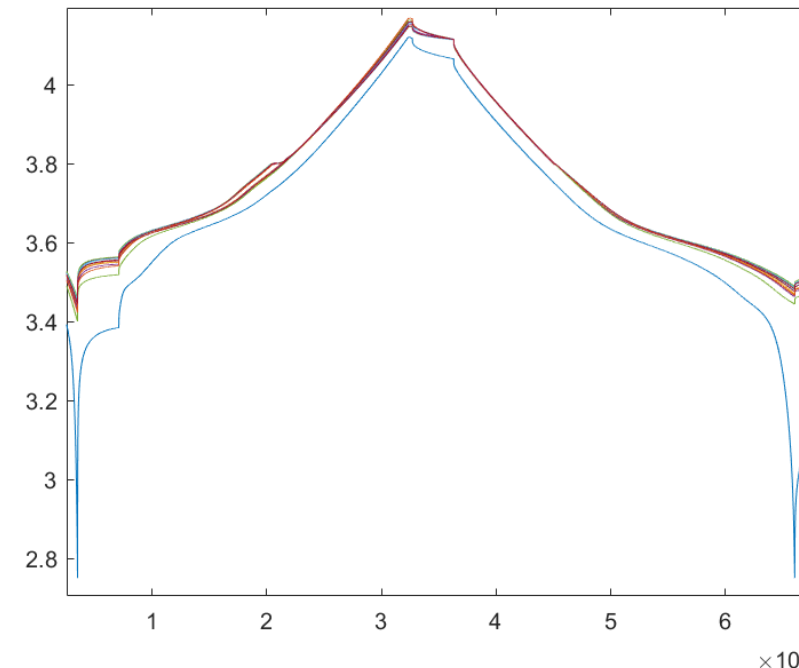
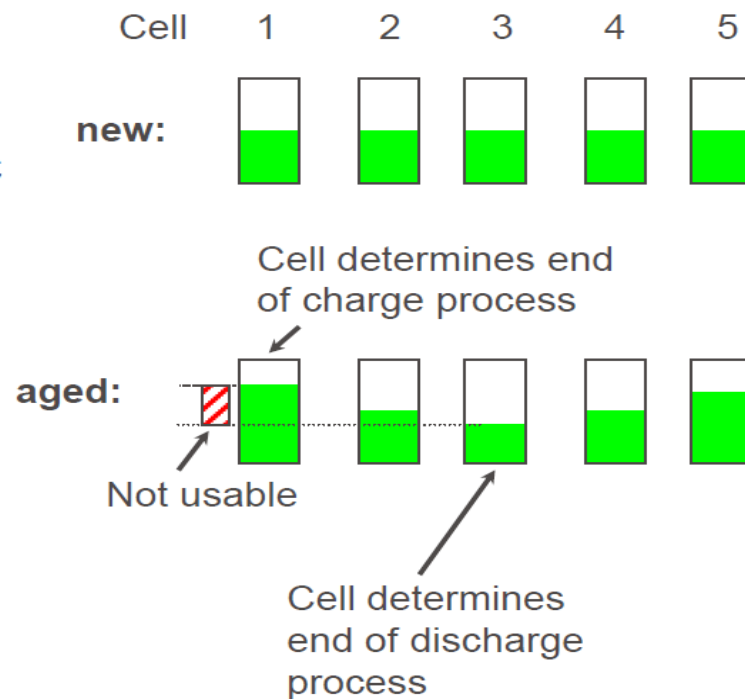
Source: Energy Storage Systems for Electric Vehicles, Benedikt Lutz, Dirk Uwe Sauer



Battery management system (BMS)

Why needed?

- แบตเตอรี่ลิเทียมมีขีดจำกัดในการใช้งานเมื่อนำหลายๆเซลล์แบตเตอรี่มาต่อกัน
 - เมื่อเซลล์ถูกใช้งานไป แต่ละเซลล์ที่ต่ออนุกรมกันจะมีพลังงาน (แรงดันไม่เท่ากัน)



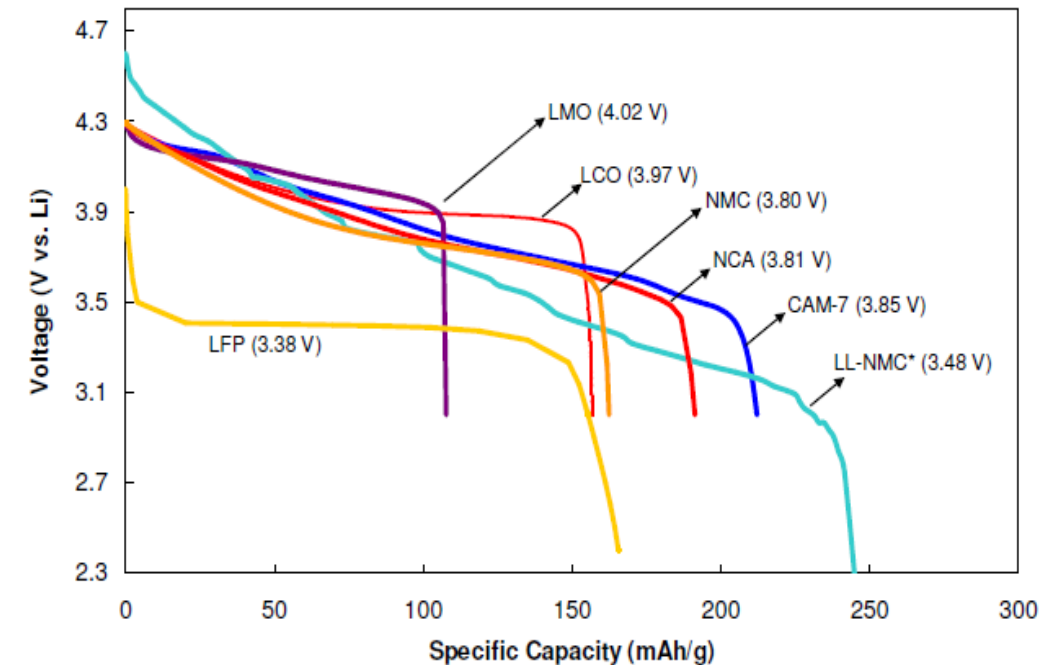
Source: Energy Storage Systems for Electric Vehicles, Benedikt Lutz, Dirk Uwe Sauer



Battery management system (BMS)

Why needed?

- แบตเตอรี่ลิเทียมมีขีดจำกัดในการใช้งานเมื่อนำหลายๆเซลล์แบตเตอรี่มาต่อกัน
 - Discharge curve จะมีช่วงที่แรงดันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว => ต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้แบตเตอรี่จ่ายไฟในช่วงนี้ หรือ มีการบริหารจัดการการใช้งานให้เหมาะสม
 - ช่วงการทำงานที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ (แรงดัน, กระแส, อุณหภูมิ)



*LL-NMC data from Kang and Thackeray, Electrochemistry Communications, 11 (2009) 748-751, other materials measured at TIAx



Battery management system (BMS)

Why needed?

-> เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานเต็มประสิทธิภาพ รวมถึงป้องกันความปลอดภัยของตัวแบตเตอรี่เอง



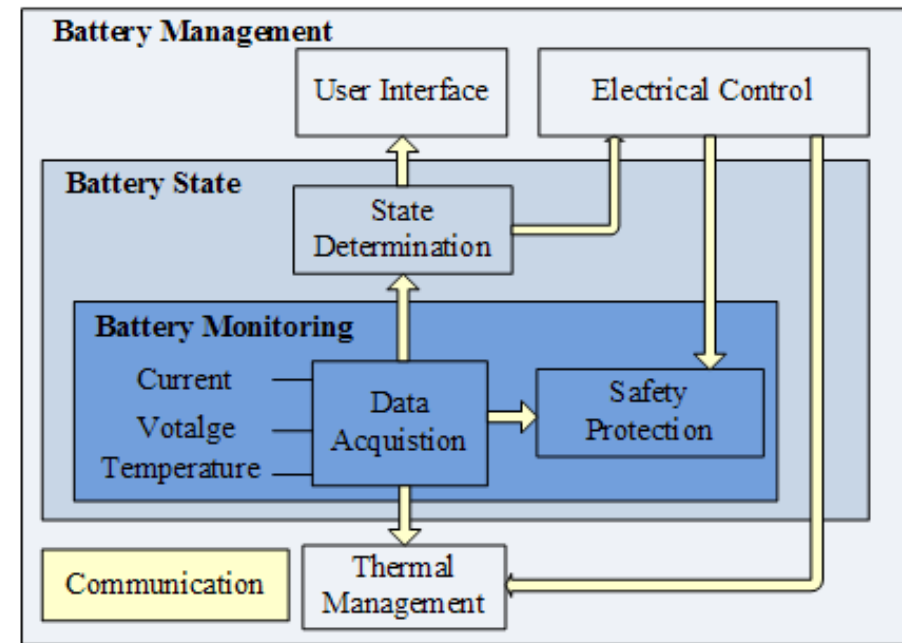
ต้องมี BMS ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือ ระบบ ป้องกันและจัดการ แบตเตอรี่ลิเทียม



Battery management system (BMS)

Technical overview

- BMS สามารถแบ่งได้หลายแบบ:
 - Analog, Digital
 - Distributed, non-distributed, modular
- ฟังก์ชัน การทำงาน ของ Digital BMS
 - วัด (meter)
 - ประมวลผล (monitor)
 - บาลานซ์ (balancing)
 - ป้องกัน (protection)
 - สื่อสาร (communication)



- พารามิเตอร์ที่วัดเพื่อดูสถานะของแต่ละเซลล์ แบตเตอรี่ คือ แรงดัน, กระแส, อุณหภูมิ, (R)



Battery management system (BMS)

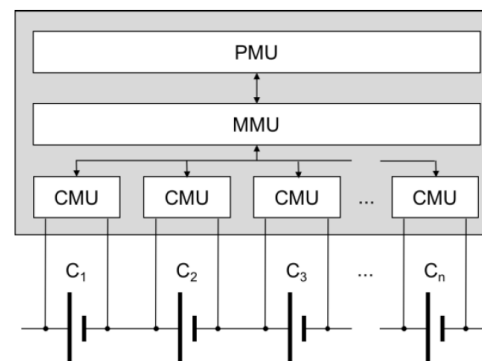
BMS topology

- **Distributed:** a Cell Board is installed at each cell, with a single communication cable controller and battery
- **Centralized:** a single controller and is connected to battery cells through a multitude of wires
- **Modular or Master – Slave:** multiple controllers, with each controller handling a certain number of cells

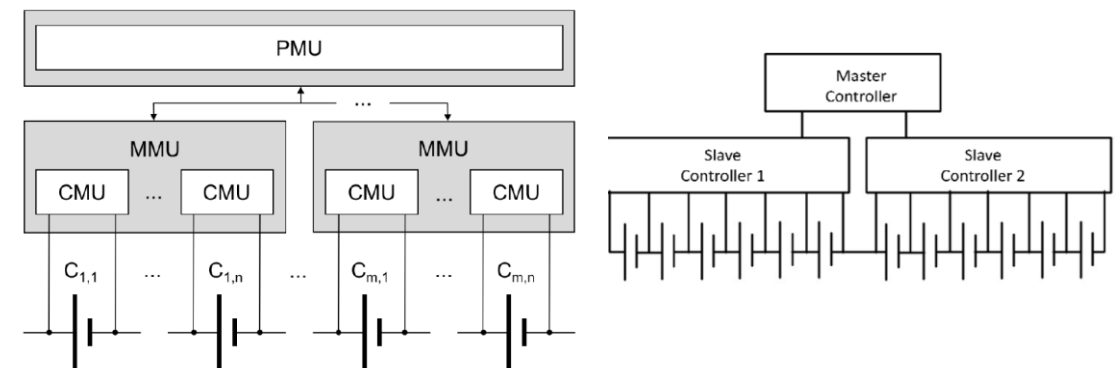
Distributed



Centralized



Modular



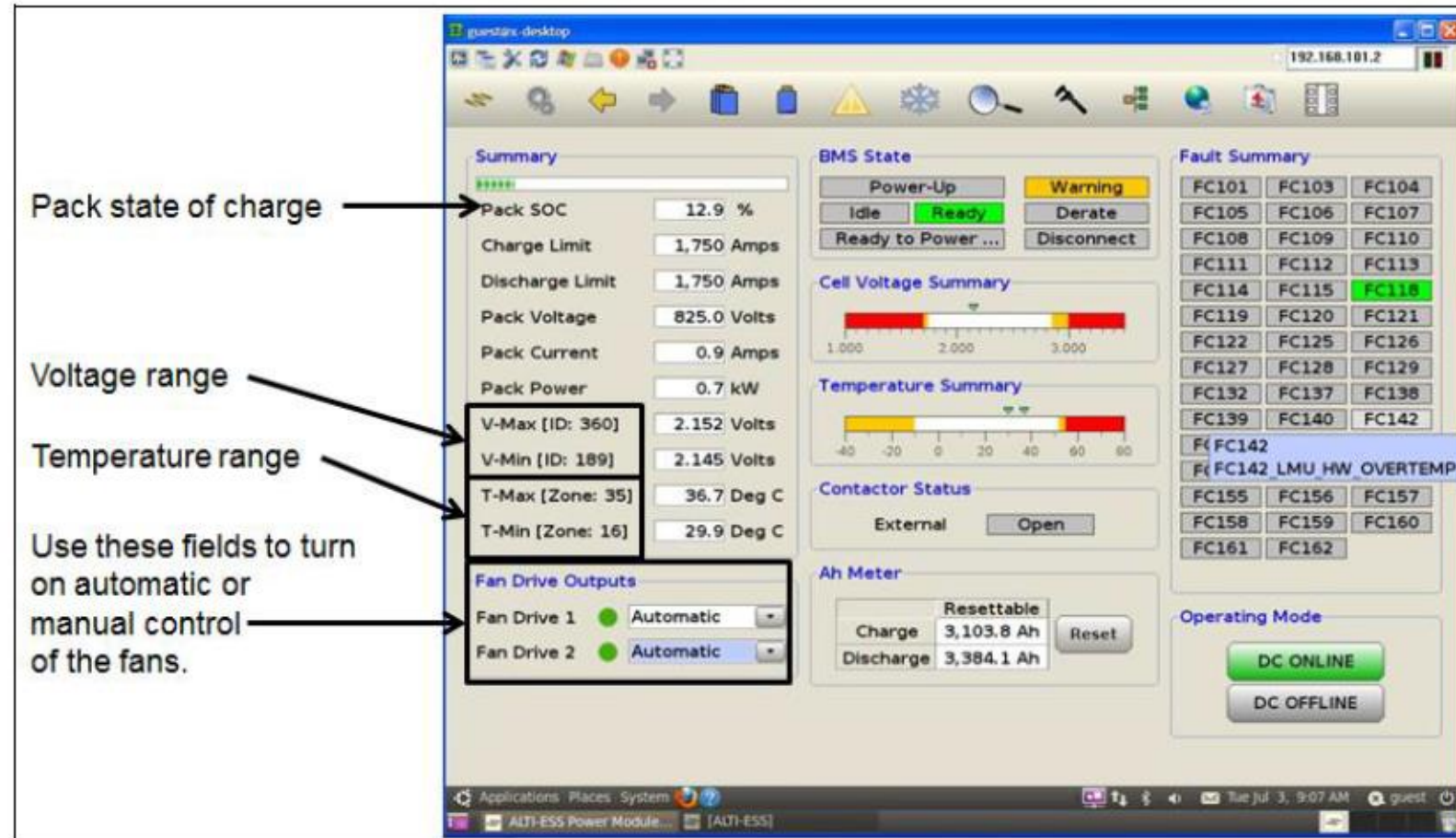
Source: http://elithion.com/lithiumate_lite_cell_boards.php#Specifications, Electric Vehicle Enhanced Range, Lifetime And Safety Through INGenious battery management, Battery

Management System For Electric Vehicle Applications



Battery storage system

Example data

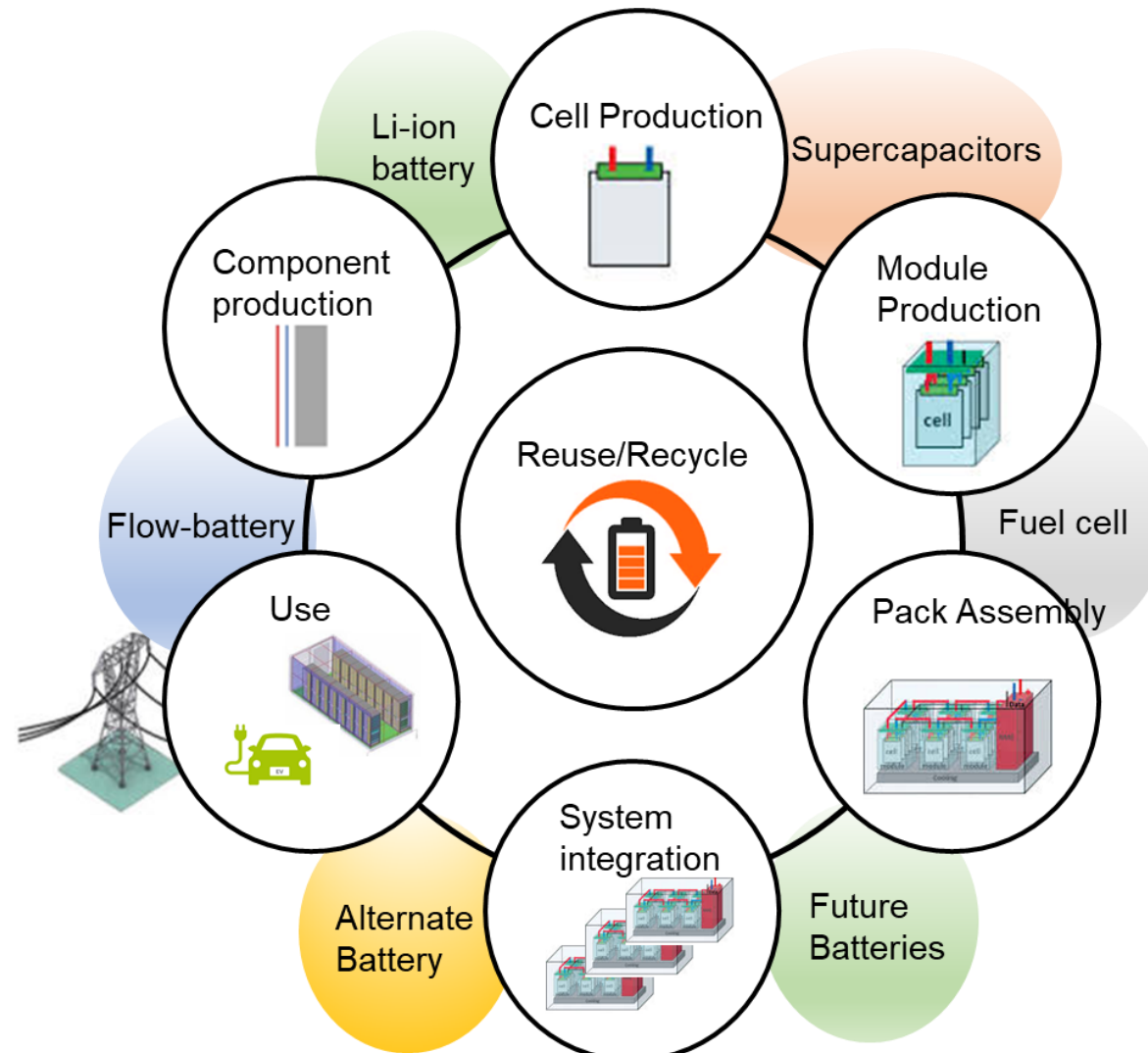


Source: 12 Month Technical Performance Report Grid-Scale Energy Storage Demonstration of Ancillary Services Using the UltraBattery Technology Smart Grid Program



ESS Value Chain

Lithium-ion Battery





Example in EV application

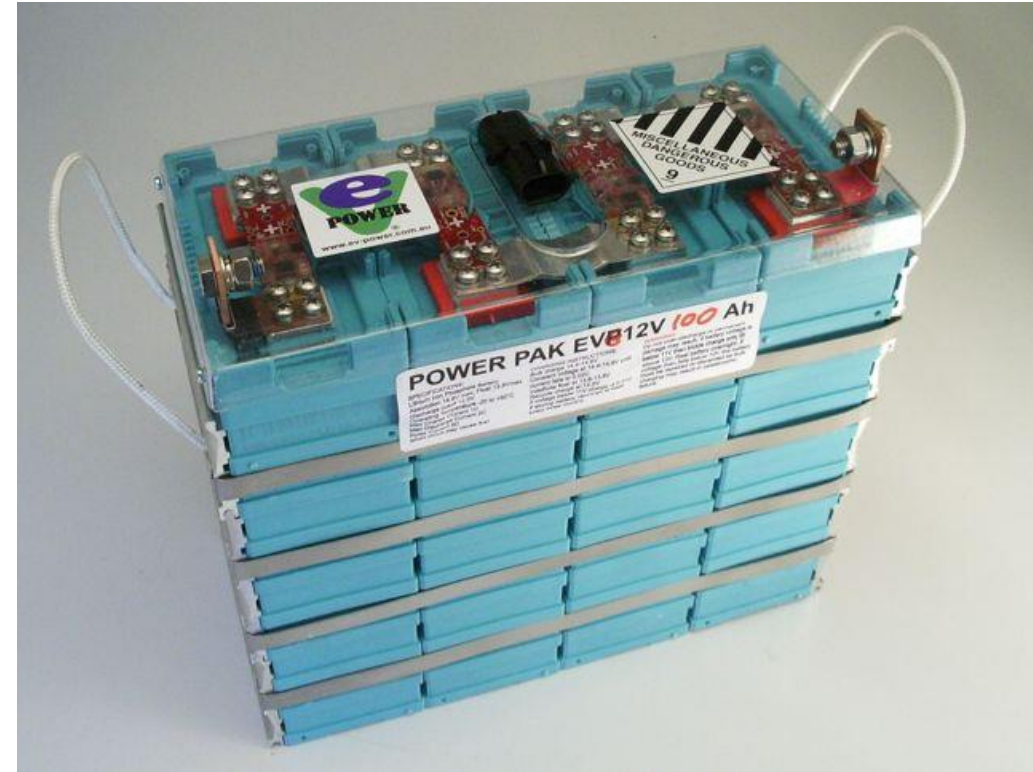
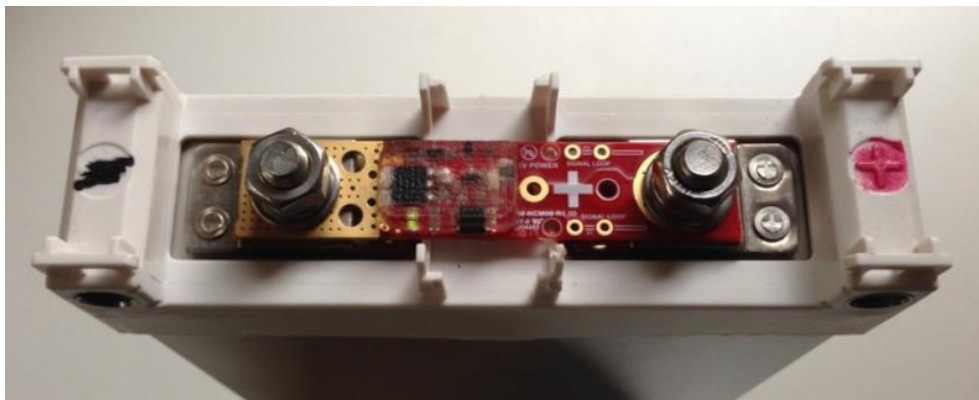
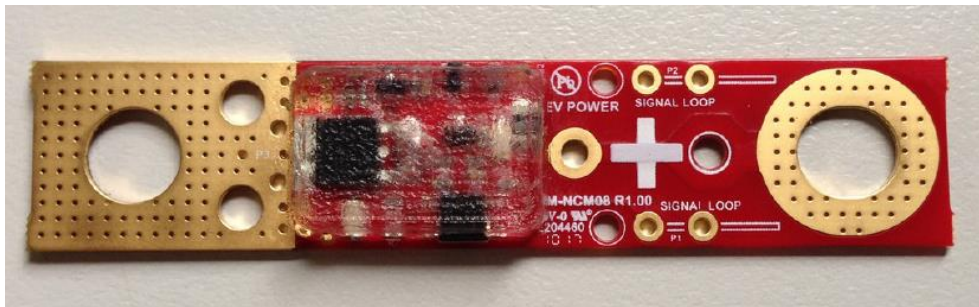


Battery management system (BMS)

Distributed BMS

รูปแบบการเชื่อมต่อ BMS (BMS Topologies)

- ตัวอย่าง BMS แบบการเชื่อมต่อกระจาย (Distributed BMS)



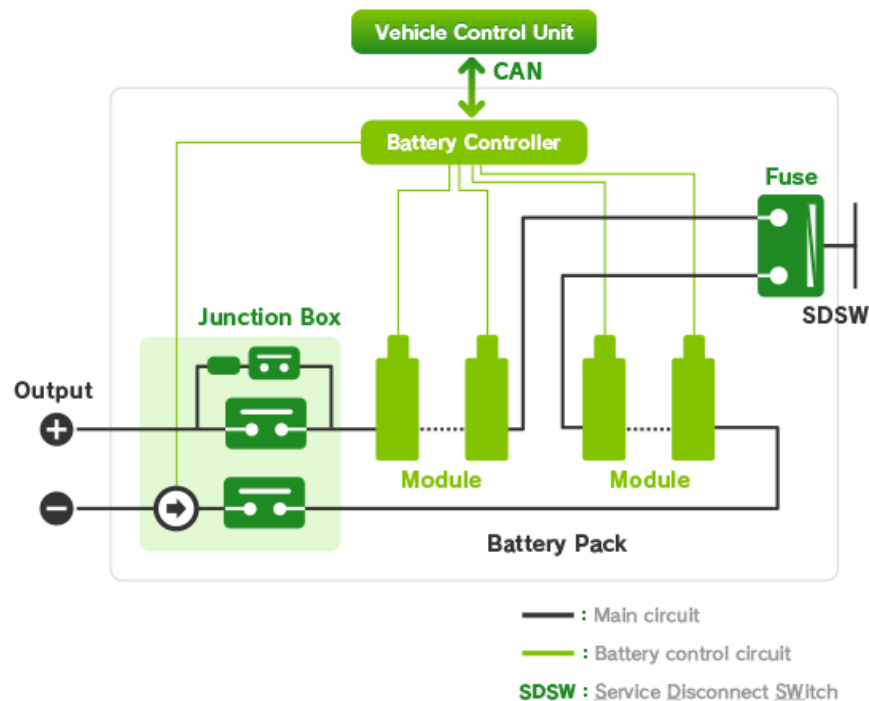
Reference: <http://www.ev-power.com.au/-EV-Powerpak-Custom-LFP-Batteries-.html>

Battery management system (BMS)

Centralized BMS

รูปแบบการเชื่อมต่อ BMS (BMS Topologies)

- ตัวอย่าง BMS แบบรวมศูนย์กลาง (Centralized BMS)



Lithium-ion cell
High energy cell

As a single unit, a "cell" performs the functions of a "battery". AESC's battery cells for EV use are shaped like sheets packed in a laminate pack that is slightly smaller than an A4 size of paper.

Module (4 cells)
High energy module

A "module" is formed by connecting multiple "cells", encasing those cells in a metal case, and then attaching terminals. AESC's battery modules for EV use are configured with 4 cells.

Pack (48 modules)
High energy battery pack

A "pack" is formed by connecting multiple connected "modules" with sensors and a controller and then housing the unit in a case. Electric vehicles are equipped with batteries in a "pack" state. The battery pack for the Nissan Leaf features 48 modules connected in a series.



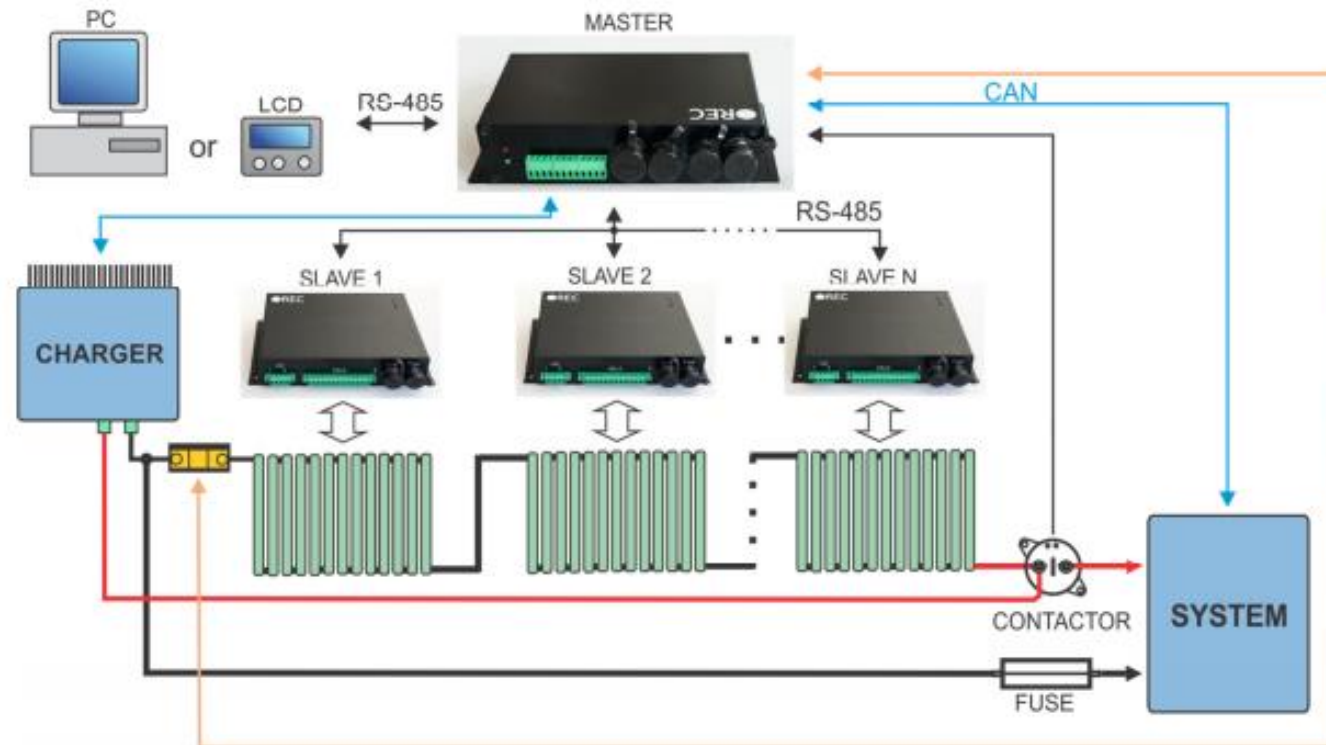


Battery management system (BMS)

Master-Slave BMS

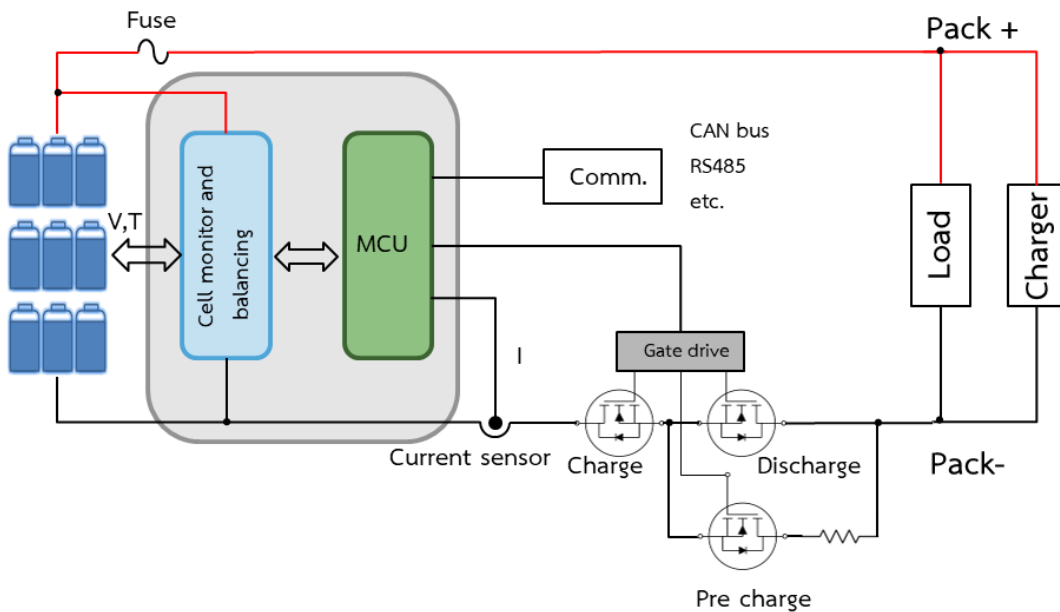
รูปแบบการเชื่อมต่อ BMS (BMS Topologies)

- ตัวอย่าง BMS แบบตัวควบคุมหลัก-ตัวควบคุมพ่วง (Master-Slave BMS)

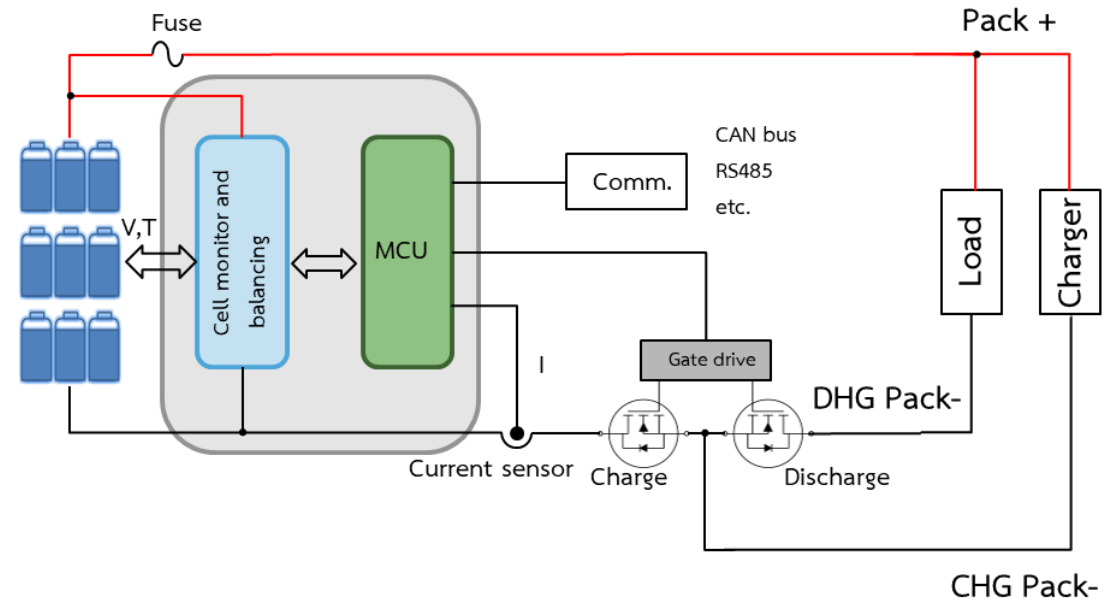


Battery system in EV applications

Diagram



(a) Common port

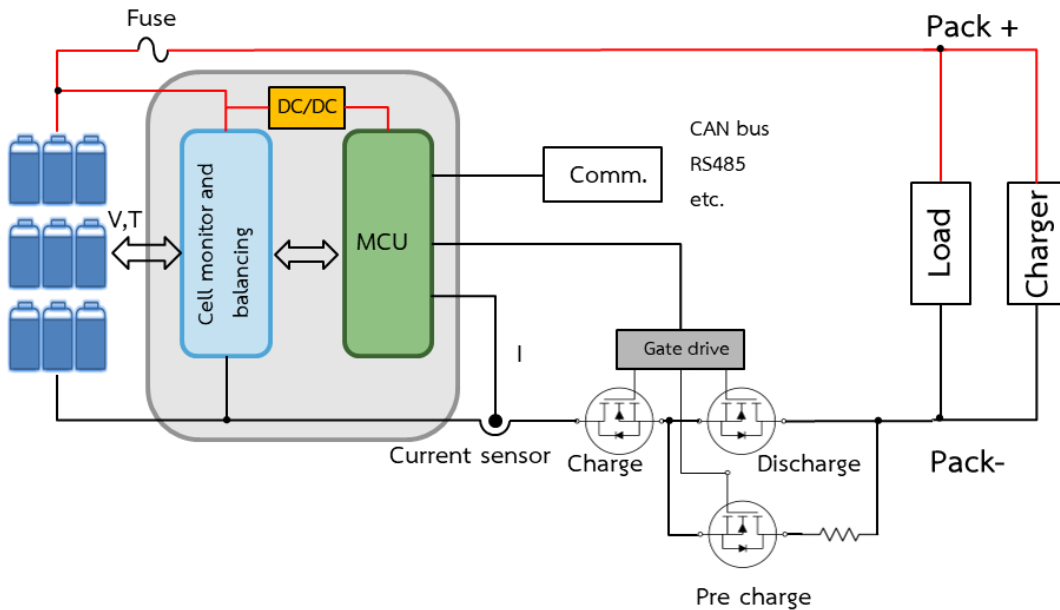


(b) Separate port

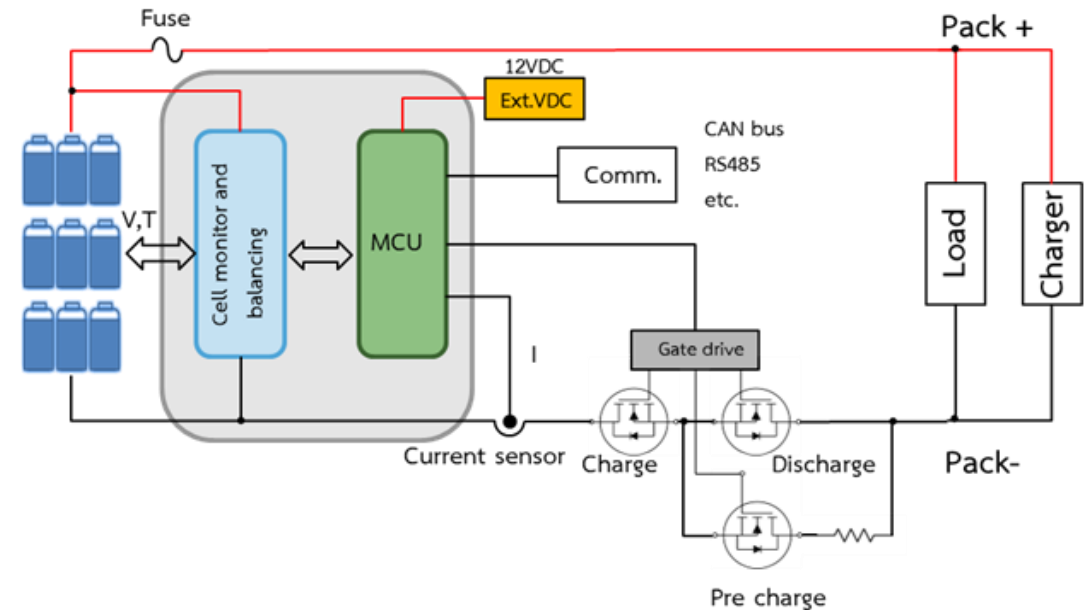
BMS diagram

Battery system in EV applications

Diagram



(a) Internal DC source



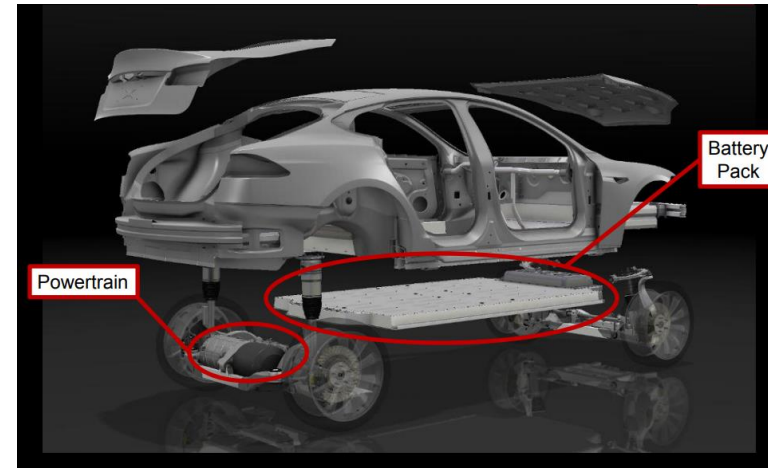
(b) External DC source

BMS diagram



Battery system in EV applications

Tesla model S



Cylindrical cell

TESLA model S
Panasonic NCR 18650
7,104 cells, 16 module
Voltage 402 Volts
Capacity 85 kWh

70D All-Wheel Drive	85 Rear Wheel Drive	85D All-Wheel Drive	P85D All-Wheel Drive
70 kWh battery with all-wheel drive	85 kWh battery with rear wheel drive	85 kWh battery with all-wheel drive	85 kWh battery with high performance all-wheel drive
240 miles range (EPA)	265 miles range (EPA)	270 miles range (EPA)	253 miles range (EPA)
5.2 seconds 0-60 mph	5.4 seconds 0-60 mph	4.4 seconds 0-60 mph	3.1 seconds 0-60 mph
329 hp	362 hp	422 hp	691 hp motor power
140 mph top speed	140 mph top speed	155 mph top speed	221 hp front, 470 hp rear
			155 mph top speed

Reference : <https://www.tesla.com/sites/default/files/tesla-model-s.pdf>



Battery system in EV applications

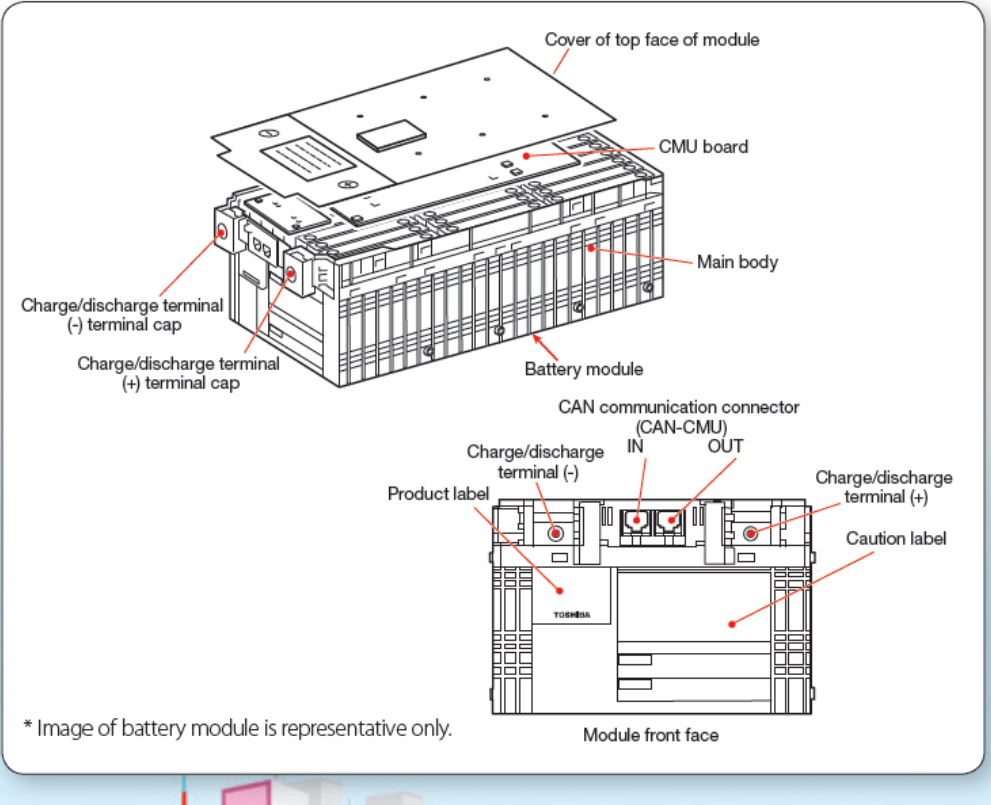
Example

- Battery module – Toshiba SCiB



Specification

Cell configuration		2 parallel strings of 12 in series
Nominal capacity		40 Ah (25 °C, 0.2C discharging)
		1.1 kWh
Maximum charge current		160 A 100 seconds (not exceeding a cell temperature of 55 °C)
Maximum discharge current		160 A 100 seconds (not exceeding a cell temperature of 55 °C)
Nominal voltage		DC27.6 V
Range of battery voltage		DC18.0 to 32.4 V
Environment conditions	Ambient temperature	-20 to 45°C
	Humidity	15 to 85%RH
	Altitude	Under 1000 m
Exterior dimensions		W187.2 × D358.5(419.3)* × H126.6 mm * Figures inside () include moving parts of terminal cap
Weight		About 14 kg
CMU function		Cell voltage, temperature monitoring, cell balance operation CAN communication (between CMU and BMU)* * CMU(Cell Monitoring Unit)/BMU (Battery Management Unit)



Example

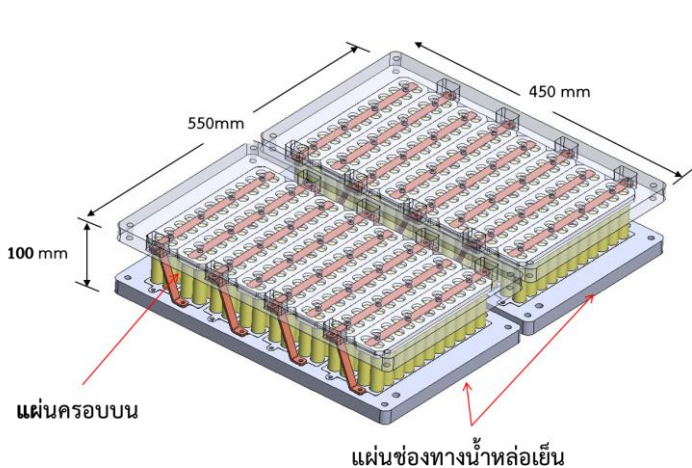




Battery system in EV applications

ตัวอย่างการออกแบบ BMS

คุณสมบัติ	คุณสมบัติของแบตเตอรี่
1. คุณสมบัติทางกายภาพ	
1.1 ขนาดพื้นที่สูงสุดที่เป็นไปได้ของแพ็คเกจเตอรี่	กว้าง 850 mm ยาว 1350 mm สูง 220 mm
1.2 น้ำหนักสูงสุดที่เป็นไปได้ของแพ็คเกจเตอรี่	120 kg
2. คุณสมบัติทางไฟฟ้า	
2.1 ความจุของแพ็คเกจเตอรี่	อย่างน้อย 160 Ah และไม่เกิน 420 Ah (ในกรณีที่ต้องชาร์จภายใน 3 ชั่วโมง)
2.2 แรงดันไฟฟ้า	อยู่ในช่วง 48-55.2 V
2.3 แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน	อยู่ในช่วง 19.3V – 66 V
2.4 ความสามารถในการจ่ายกระแสปกติ	อย่างน้อย 32 A
2.5 ความสามารถในการจ่ายกระแสสูงสุด	อย่างน้อย 180A
2.6 ความสามารถในการจ่ายกระแสสูงสุดแบบชั่วขณะ	อย่างน้อย 225A (2 วินาที)
2.7 คุณสมบัติในการชาร์จ	กระแสในการชาร์จสามารถปรับได้ไม่เกิน 140A และควรชาร์จเต็มภายใน 3 ชั่วโมง
2.8 การสื่อสาร	CAN Bus



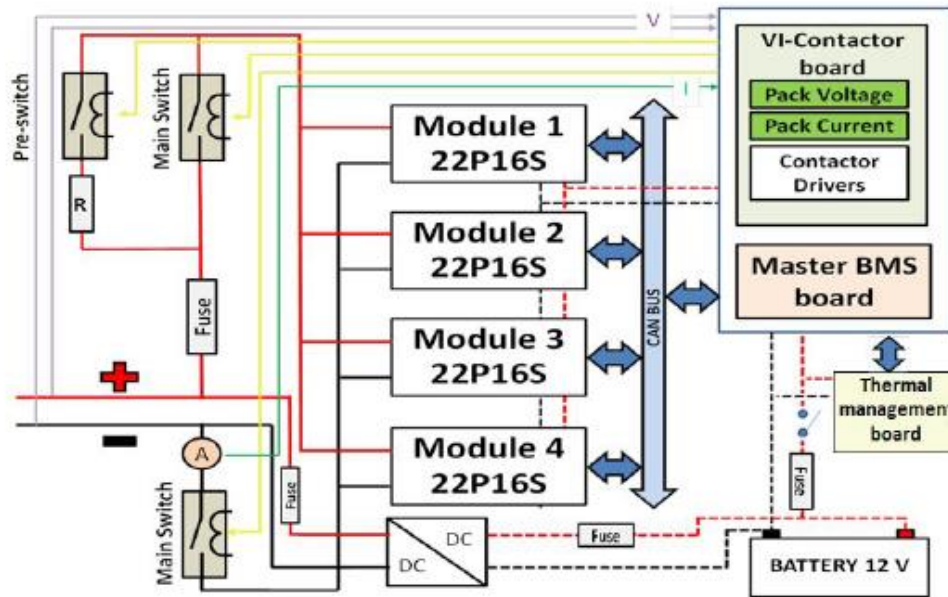
- 22P8S x 2 = 22P16S per module



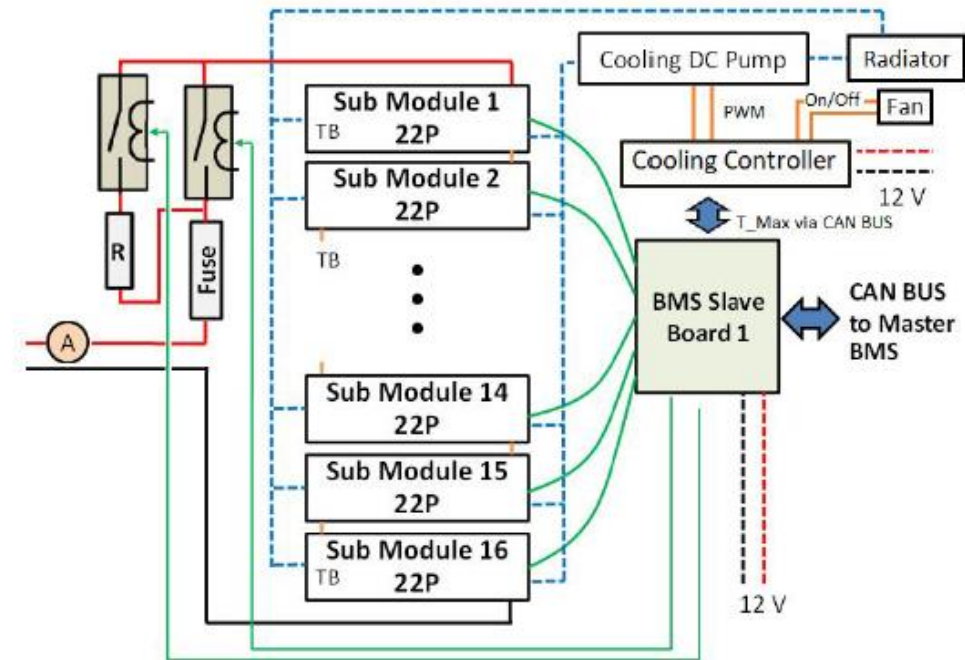


Battery system in EV applications

ตัวอย่างการออกแบบ BMS



แผนผังวงจรระดับแพ็คเกจเตอร

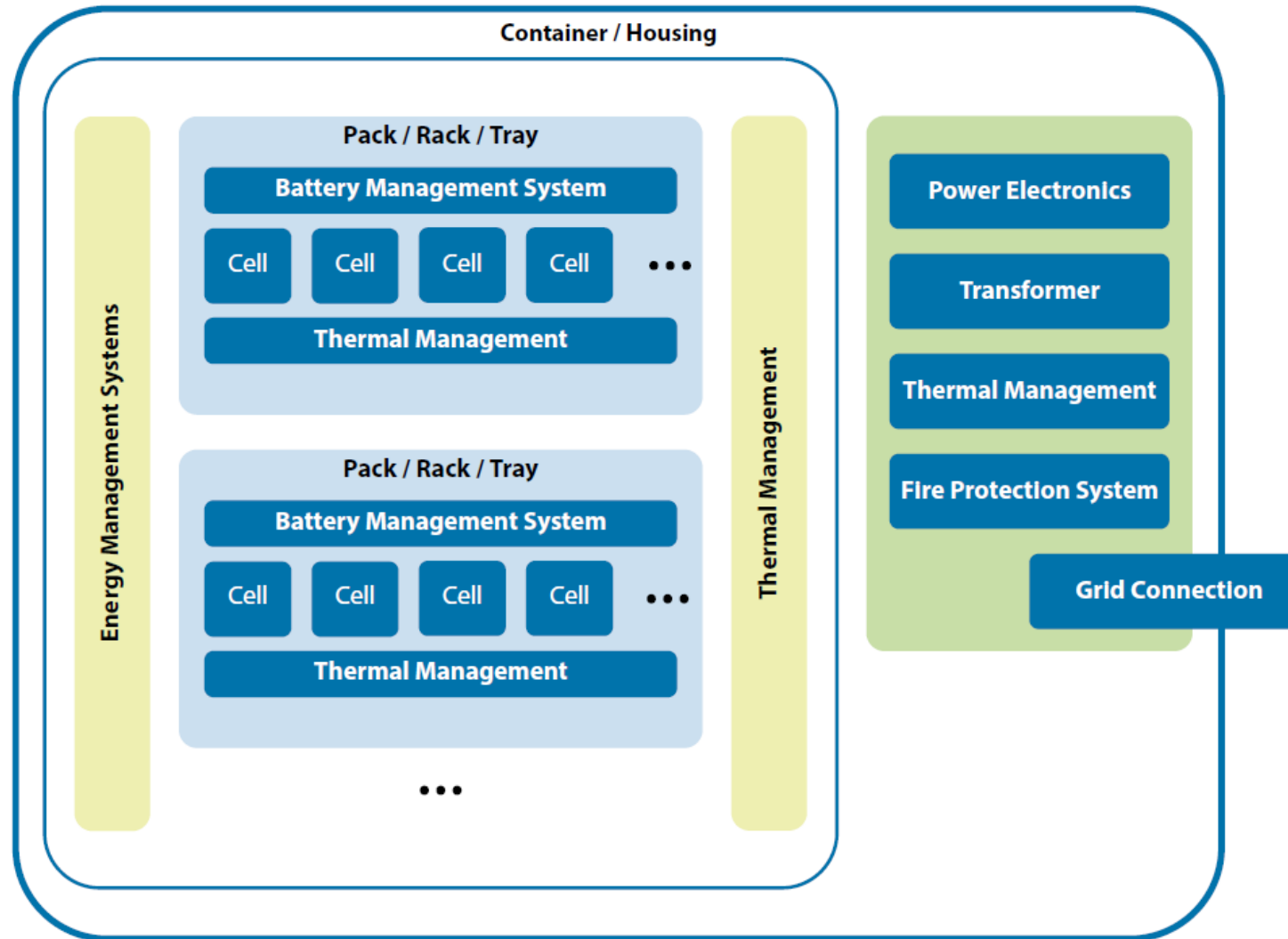


แผนผังวงจรระดับแพ็กโมดูล



Example in Grid application

Battery storage system in grid applications

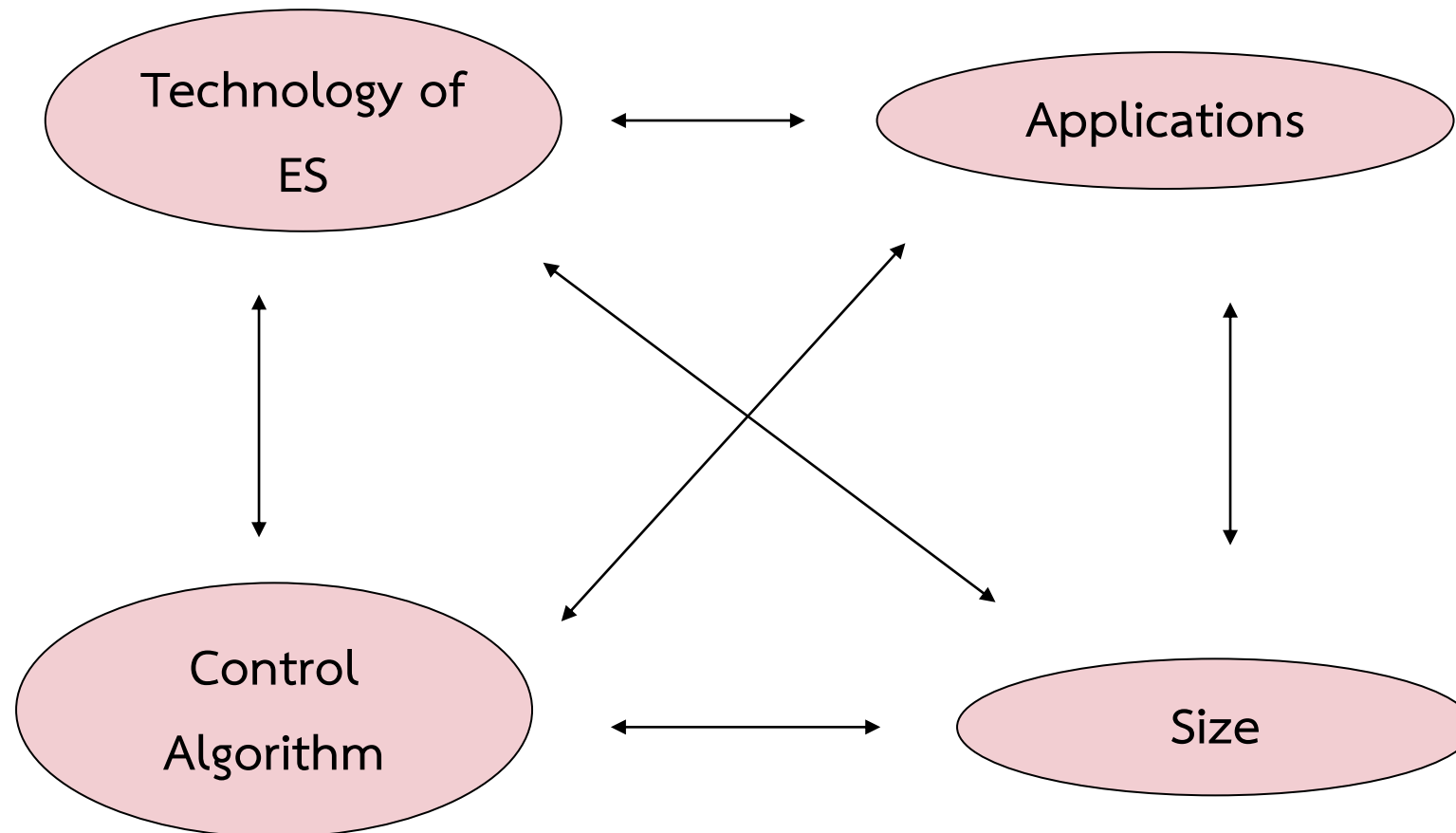


Source: International Renewable Energy Agency.



Battery storage system design

Overview





Battery storage system design

Design procedure

Requirements

1. Data collection

Objective: to get overview information

2. Problem formulation

3. Data analysis

4. ESS sizing

(Analysis, Optimization and simulation)

- Do data check list
- Collect data
- Analyze data(s)

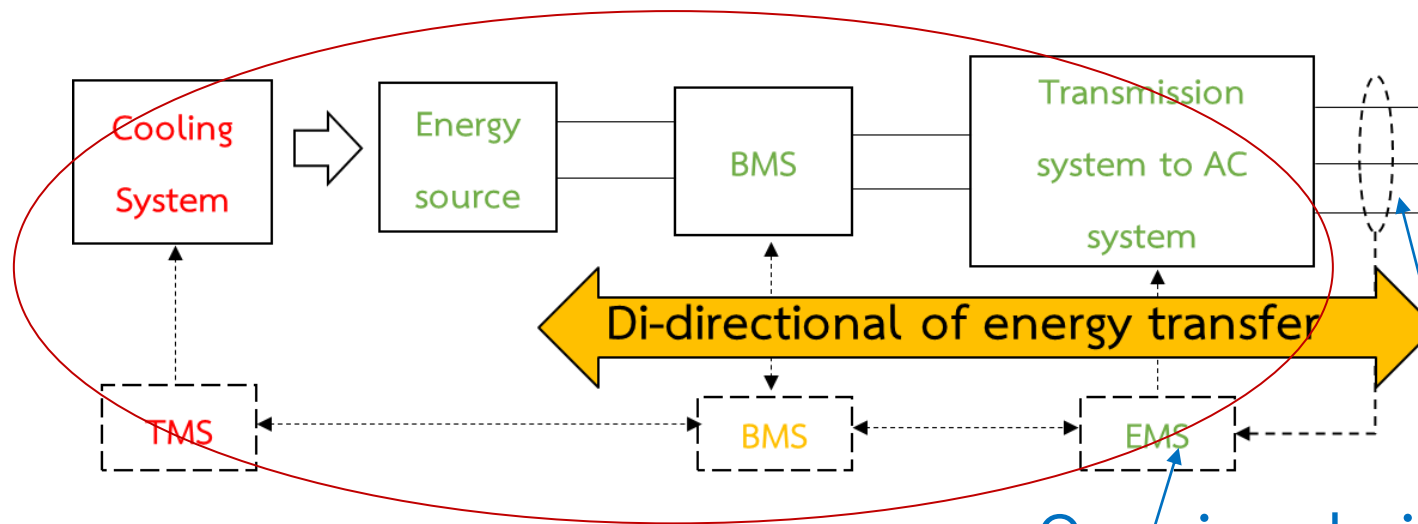
- Overview design -> technology, kW, kWh requirement
- Detailed design แต่ละอุปกรณ์

Appropriate Application/Technology/size/control strategy of ESS

Battery storage system design

Design procedure

4. ESS sizing
(Analysis, Optimization and simulation)



Detailed design: ขนาด และ
รายละเอียดคุณสมบัติของแต่ละระบบ

➡ ขนาดติดตั้ง

Overview design

- kW, kWh ว่าต้องการให้ระบบทำงาน charge discharge เท่าไร
- Operation algorithm

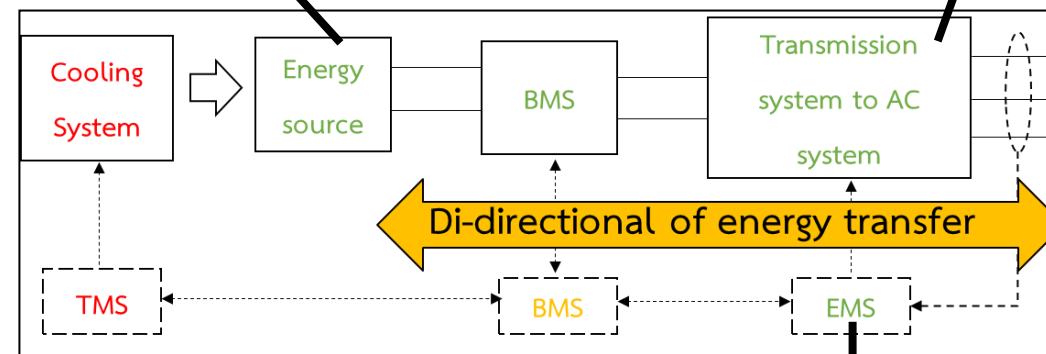


Battery storage system design

Summary

Battery packs/system design:
Power and Energy (+Voltage)

Power electronics: Power rated
and Voltage

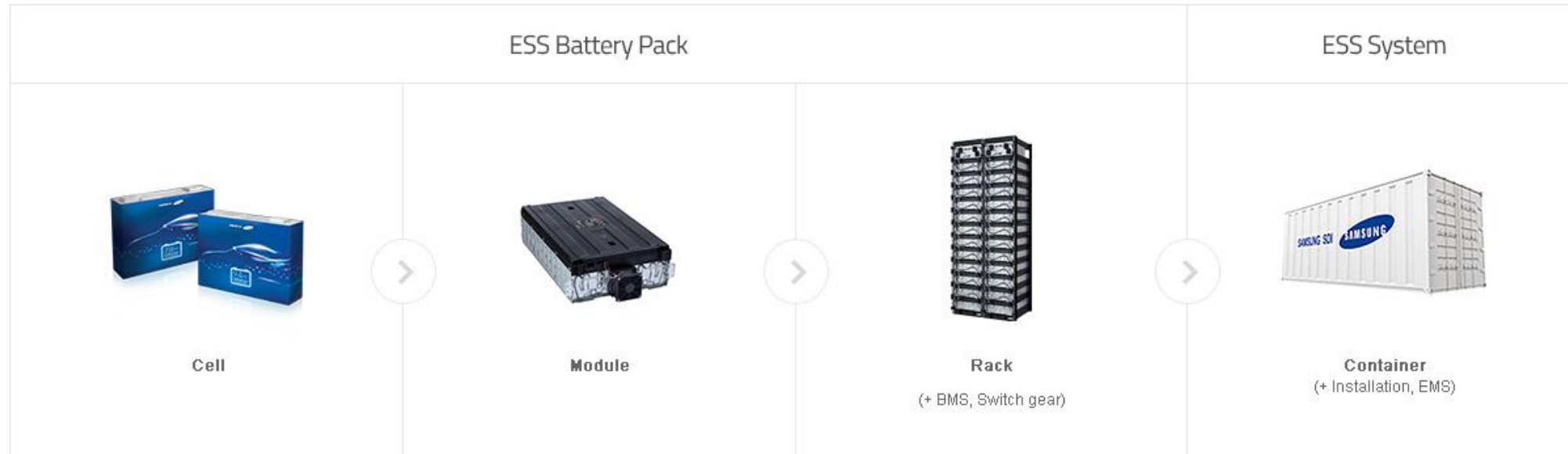


EMS (Energy management system) or SSC (Supervisory System Control): Control and communication design



Battery storage system in power system

- Cell -> module -> Pack/Rack
- Container Type or Building type



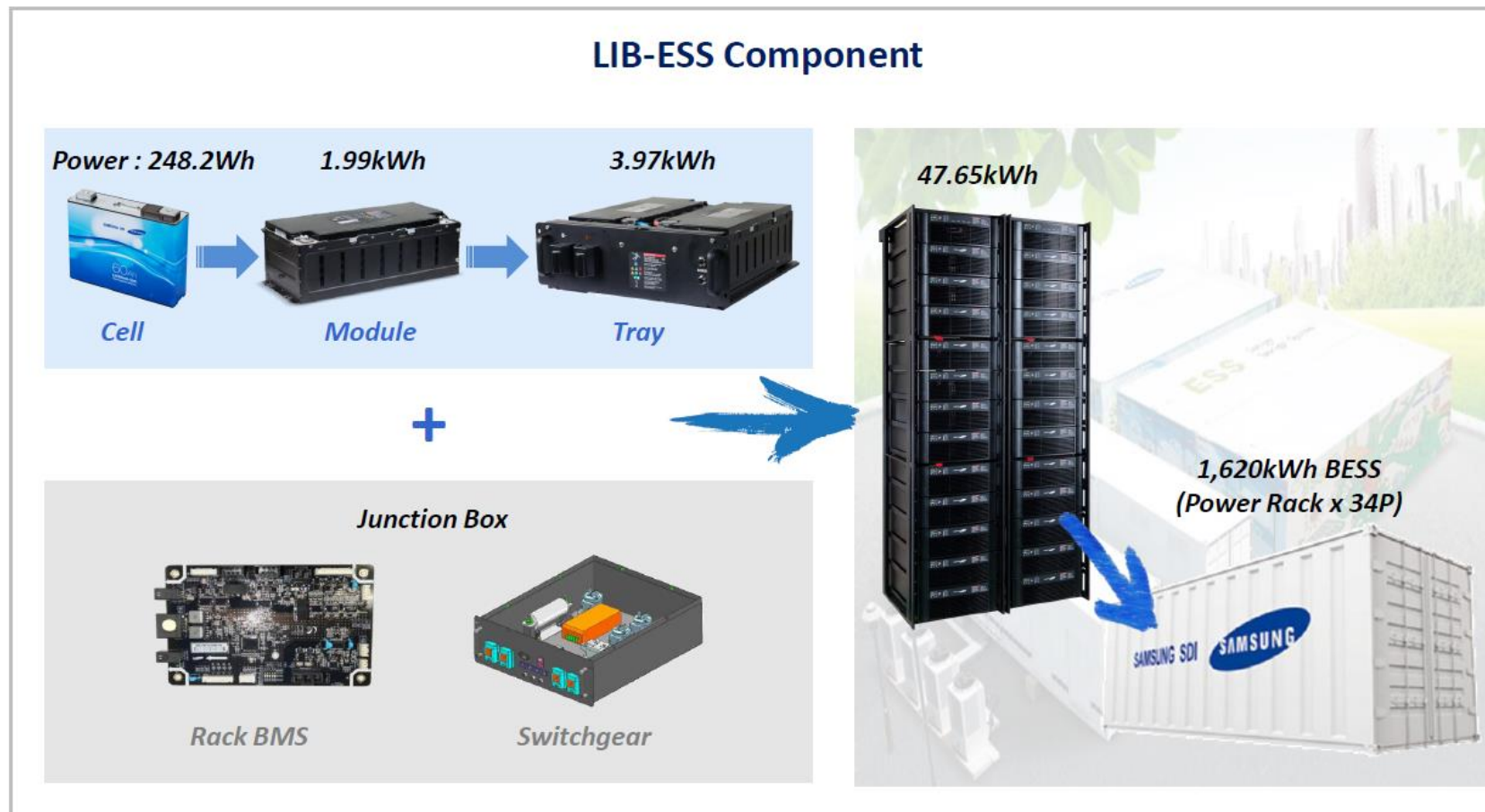
Source: <https://www.samsungsdi.com/ess/energy-storage-system-technology.html>



Battery storage system in power system

ตัวอย่าง Lithium-ion battery#1

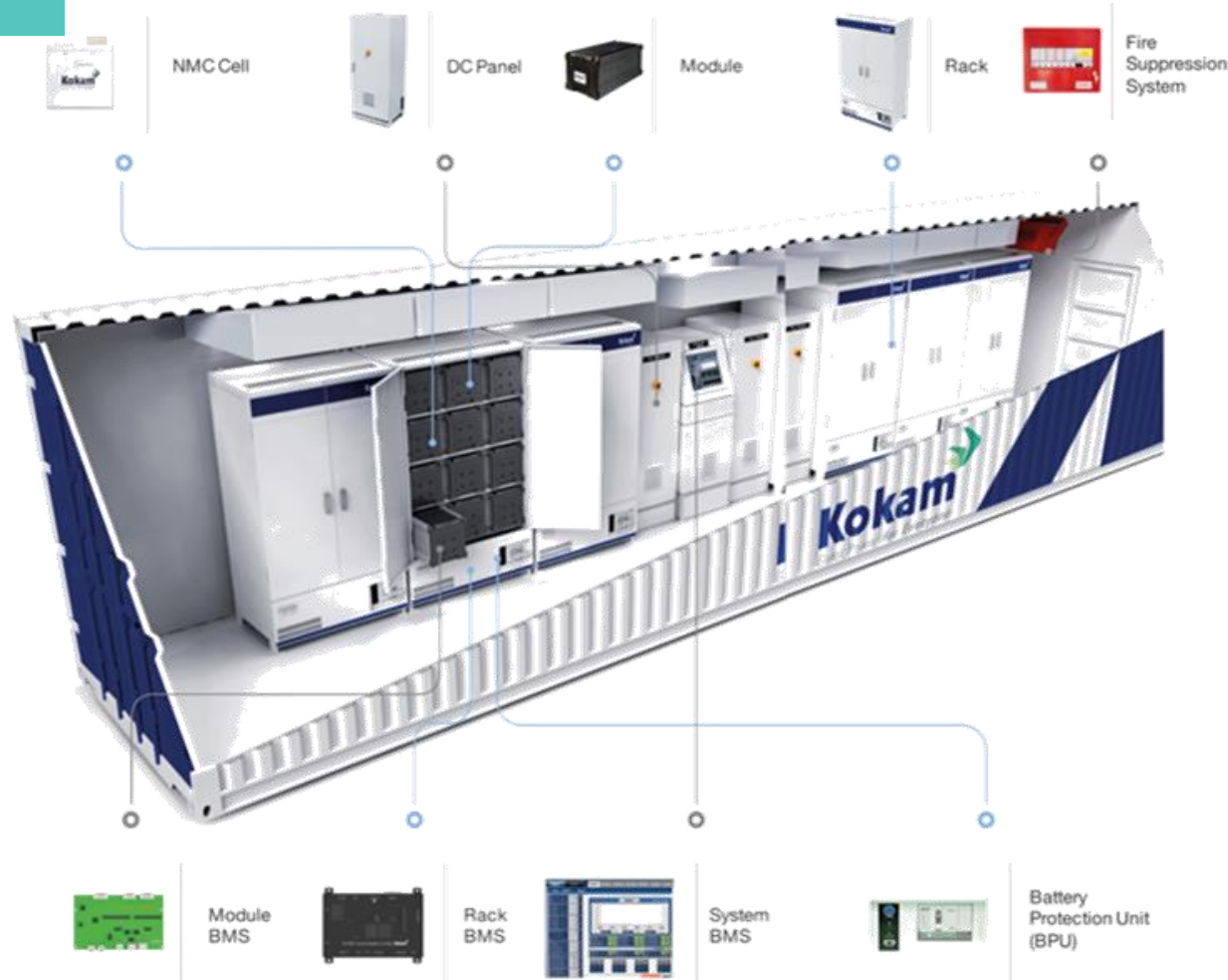
MW scale LIB-ESS Structure





Battery storage system in power system

ตัวอย่าง Lithium-ion battery#2



Specification

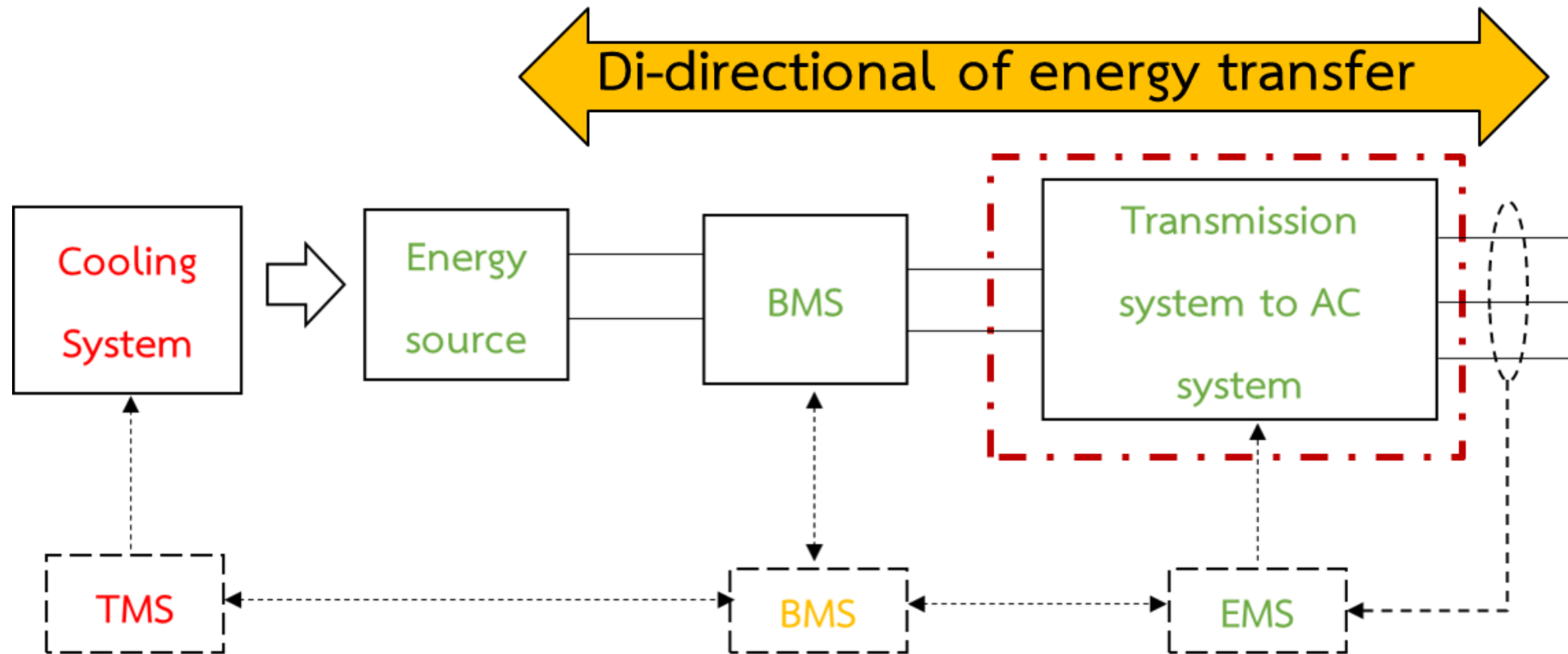
High-Performance Containerized Storage Solution

		High Power Type			High Energy Type	
Model		KCE-5061	KCE-3996	KCE-1864	KCE-5299	KCE-2472
Installed Energy (MWh)		5.06	3.99	1.86	5.29	2.47
Max Power (Continuous)	Discharge(MW)	20.24	15.98	7.45	10.59	4.94
	Charge(MW)	20.24	15.98	7.45	10.59	2.47
DC Efficiency		>97% (C/2 rate)				
DC Voltage		660 ~ 998V				
Approx. Dimensions (ft)		53'	40'	20'	40'	20'
Ambient Operating Temperature Range		-20 ~ 50℃				
Enclosure details		IP54, IEC 60529				

Kokam Systems make no warranty explicit or implied with these specifications. Contents are subjected to change without notice.

Source: <http://kokam.com/>

Lithium-ion battery system

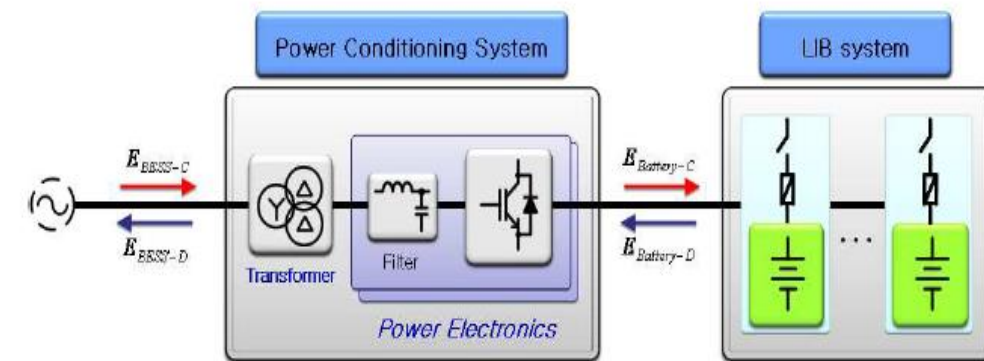




Power conversion system

PCS (Power Electronics + Transformer (Step up or Isolation + MV or LV switchgear):

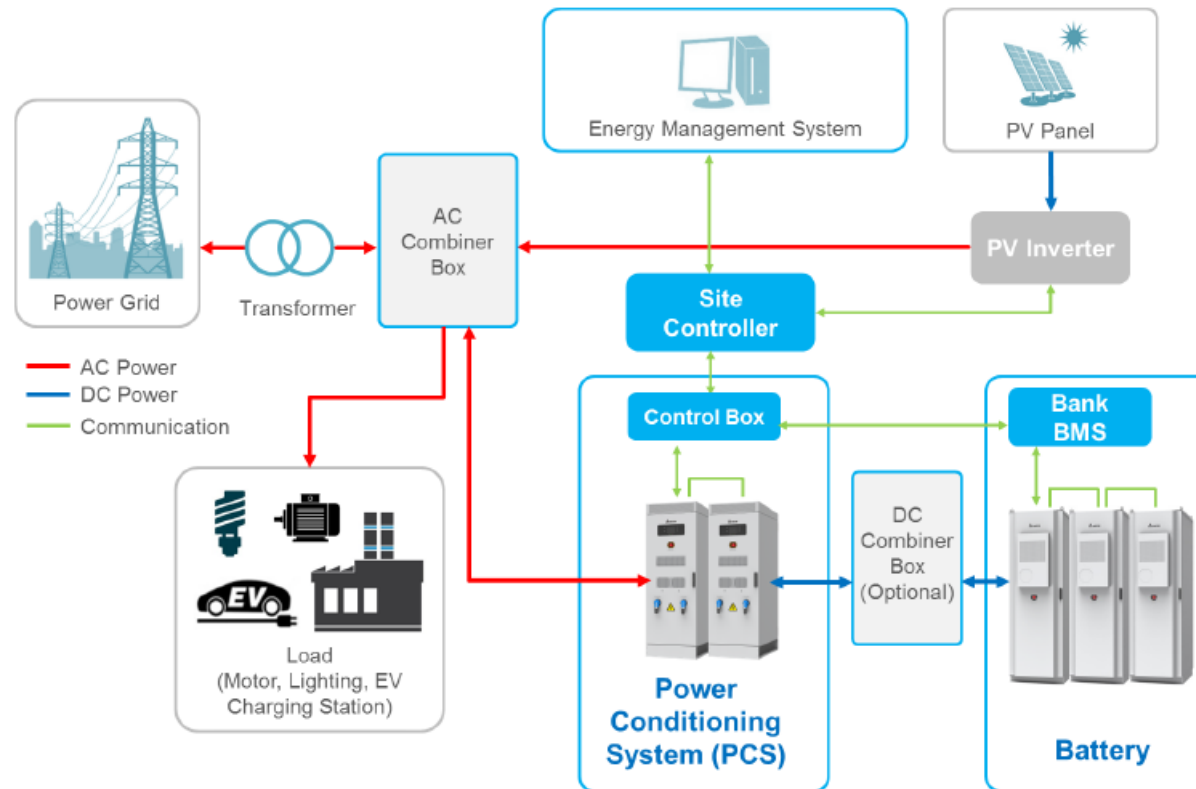
- ⇒ แปลงไฟฟ้ากระแสตรง เป็น กระแสไฟฟ้าสลับ
- ⇒ ถ่ายโอนพลังงานระหว่าง ระบบไฟฟ้า และ ชุดแบตเตอรี่
- ⇒ รักษาคุณภาพ และระดับแรงดัน AC และ/หรือ DC
- ⇒ ควบคุมการทำงานโดย Controller โดยรับคำสั่งจาก EMS (Energy management system) or SSC (Supervisory System Control)



>> Round-trip efficiency <<

Topology of ESS system

- Direct connection VS DC coupling VS AC coupling





Power conversion system

example

EssPro power conversion system (PCS)

System sizes from 100 kW to 50 MW

Indoor units



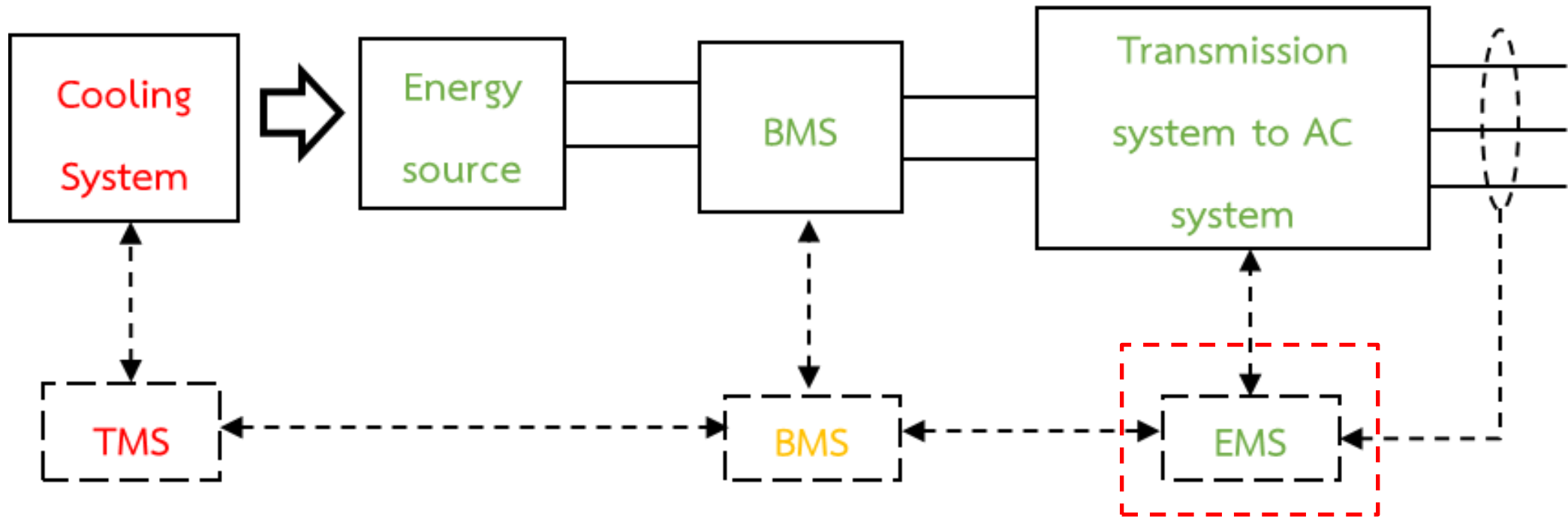
Outdoor enclosures



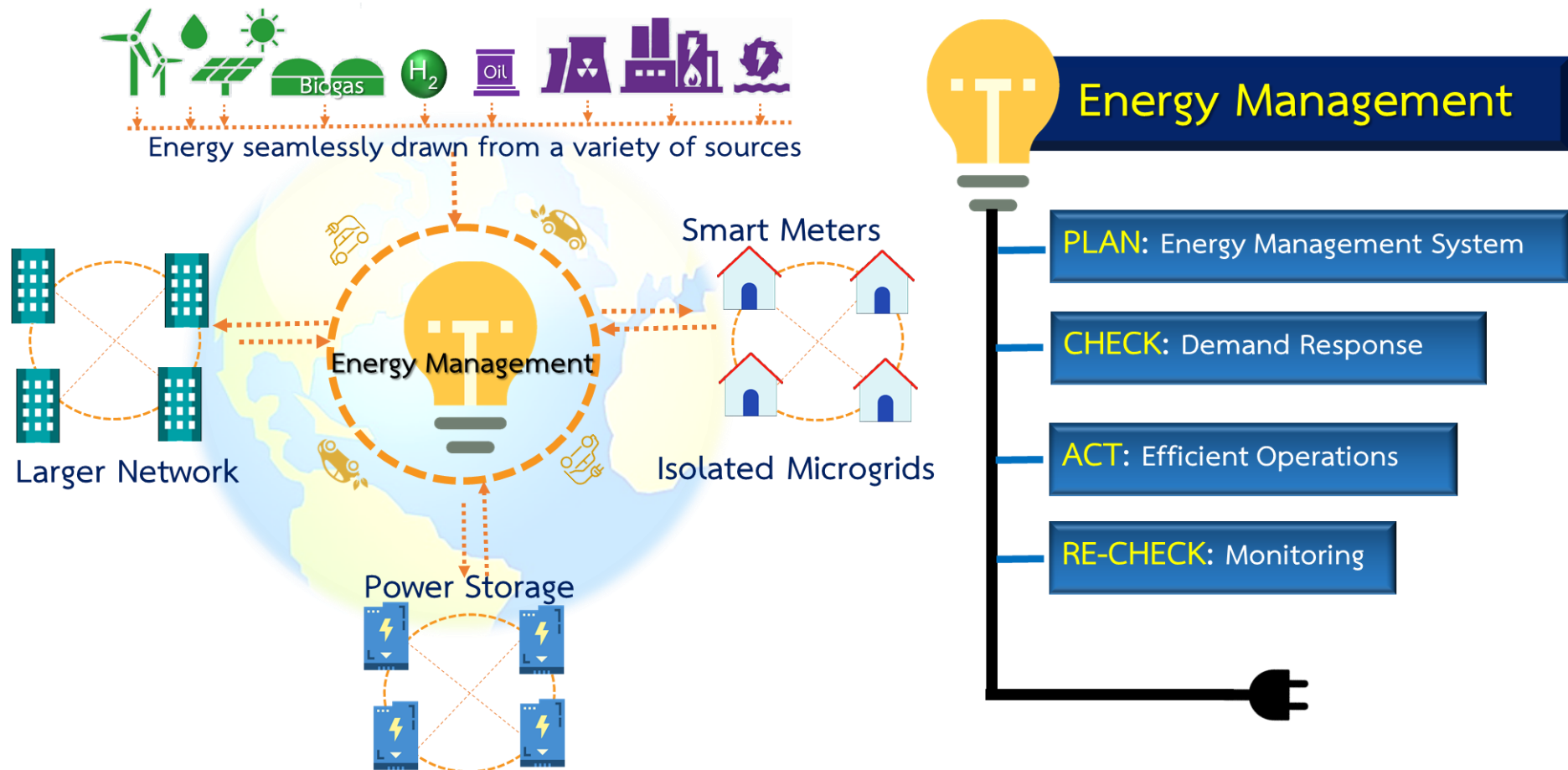
Outdoor system solutions



Lithium-ion battery system



EMS (Energy management system)



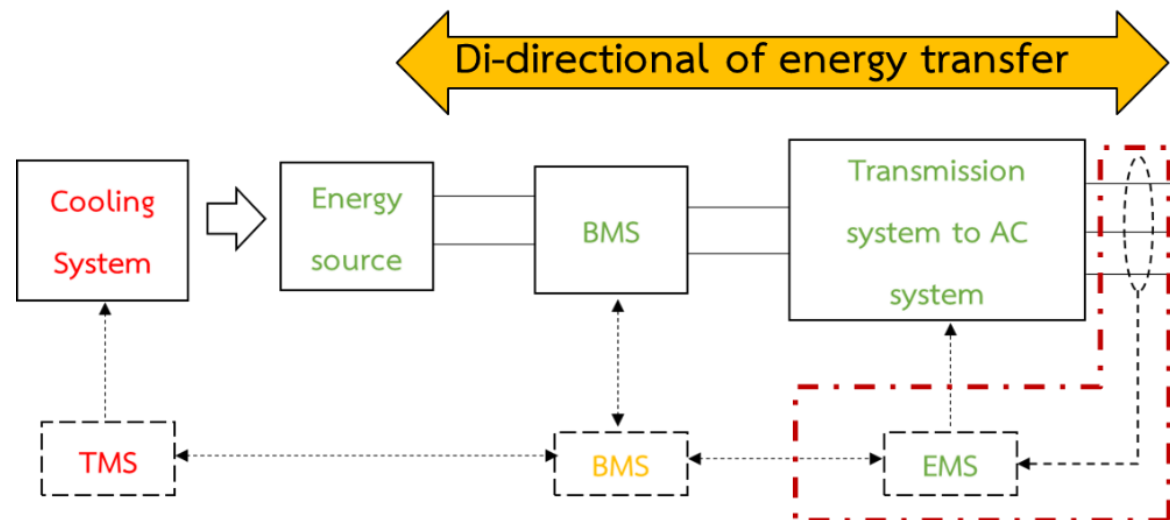


EMS (Energy management system)

สำหรับระบบแบตเตอรี่ BESS

EMS (Energy management system) or SSC (Supervisory System Control):

- คำนวณ กำลังไฟฟ้า (P, Q) ที่ต้องการ (ขึ้นอยู่กับ Applications หรือ control strategy ที่เลือก)
- สื่อสารกับระบบควบคุมการทำงานของ Power Electronics (PCS controller) เพื่อให้ จ่าย หรือ รับ ตามที่กำหนด

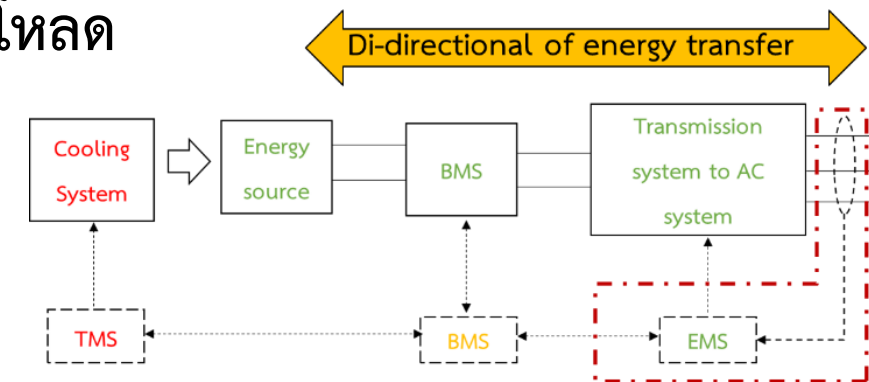




EMS (Energy management system)

สำหรับระบบแบตเตอรี่ BESS – ฟังก์ชันการทำงาน

- สื่อสาร, ประมวลผล และทำงานร่วมกับระบบอื่นๆ
 - ระบบวัดข้อมูลของระบบไฟฟ้า (grid)
 - ระบบควบคุมของแหล่งจ่ายอื่นๆในระบบ หรือ ระบบควบคุมโหลด
 - ระบบป้องกัน
 - ระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS)
 - รับข้อมูลสถานะของแบตเตอรี่จาก BMS
 - ส่งข้อมูลสถานะ การทำงานที่ต้องการของระบบแบตเตอรี่ เช่น charge หรือ discharge demand request
- รวบรวม และ แสดงข้อมูล / สถานะ การทำงานของระบบแบตเตอรี่

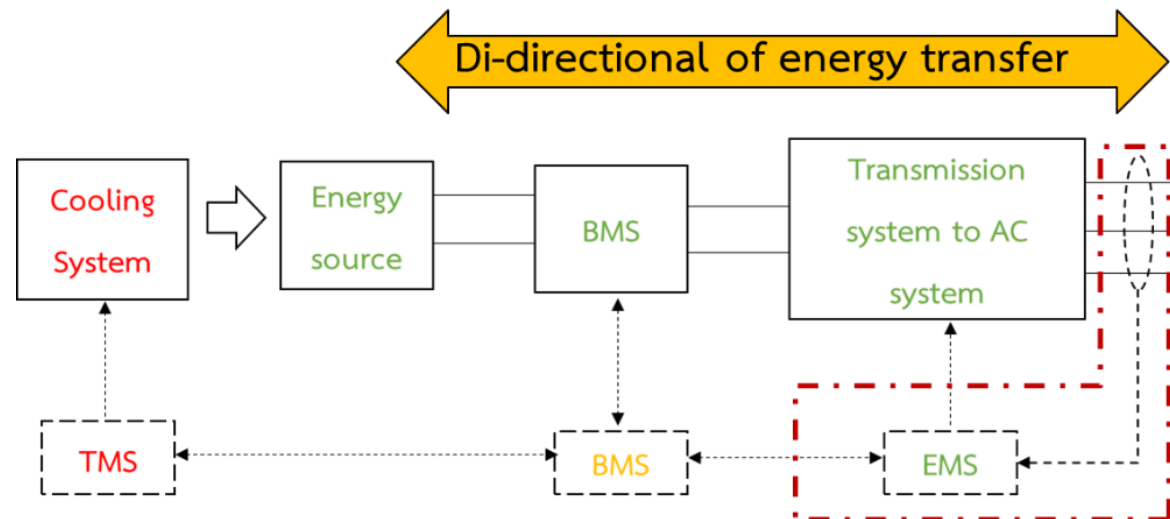




EMS (Energy management system)

สำหรับระบบแบตเตอรี่ BESS - ฟังก์ชันการทำงาน

- ในท้องตลาด มีทั้งแบบตามที่เรابอก (co-design operation pattern) หรือ แบบ fix ปรับแก้ได้เพียงเล็กน้อย





EMS (Energy management system)

ตัวอย่าง

- Example - Grid-Scale Energy Storage Demonstration of Ancillary Services Using the UltraBattery Technology Smart Grid Program
 - 2sec sampling
 - PJM regulation control signal
 - PJM regulation response signal
 - AC Power Flow to/from PCS (MW)
 - 10sec sampling
 - Operational mode, including manual modes
 - State of Charge (SoC) of entire battery of the BESS

Table 4: BESS Meter (SEL 735P) Data. Sample Rate: 200 ms. Bandwidth Required (Modbus TCP): 8 kbps. Latency Required: ping delay of 3 ms (typical), and 20 ms (worse case).

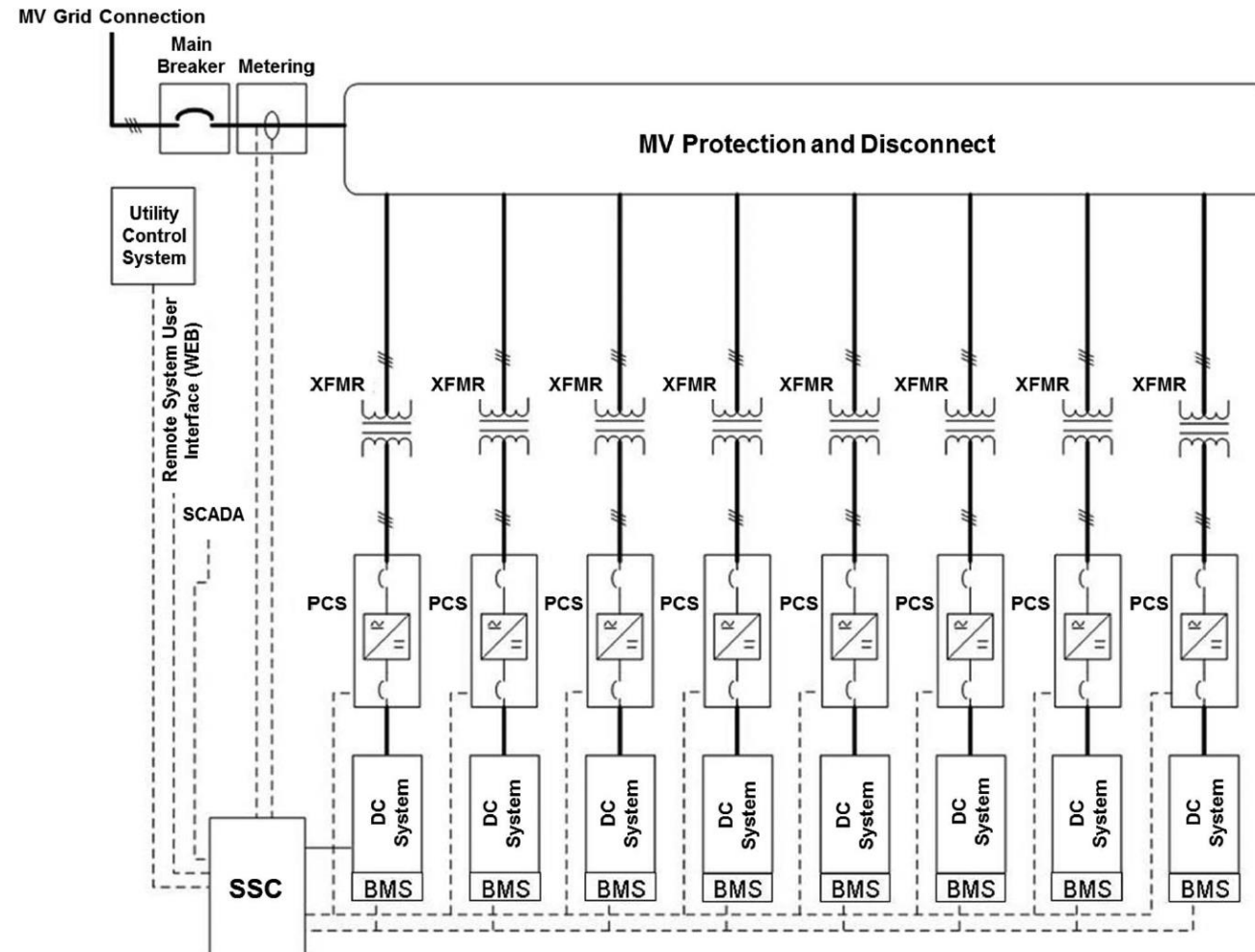
Database Entry	Description	Units
PCC.Frequency	Grid frequency	Hz
PCC.KVARH_From_Grid	Reactive power absorbed	kVAr-hr
PCC.KVARH_Net	Net reactive power	kVAr-hr
PCC.KVARH_To_Grid	Reactive power delivered	kVAr-hr
PCC.KWH_From_Grid	Real power absorbed	kWh
PCC.KWH_Net	Net real power	kWh
PCC.KWH_To_Grid	Real power delivered	kWh
PCC.P_Total	BESS real power	kW
PCC.PhaseA_Current	Phase A current	A
PCC.PhaseAB_Voltage	Phase A-B voltage	V
PCC.PhaseAN_Voltage	Phase A-N voltage	V
PCC.PhaseB_Current	Phase B current	A
PCC.PhaseBC_Voltage	Phase B-C voltage	V
PCC.PhaseBN_Voltage	Phase B-N voltage	V
PCC.PhaseC_Current	Phase C current	A
PCC.PhaseCA_Voltage	Phase C-A voltage	V
PCC.PhaseCN_Voltage	Phase C-N voltage	V
PCC.Power_Factor	Power factor	n/a
PCC.Q_Total	BESS reactive power	kVAr
PCC.V_Unbalance	Unbalance	%
PCC.Voltage	Voltage	V

Several PM measurements are acquired by a SEL-735P meter located in the PCS. These measurements are listed in Table 5.



Battery energy storage system

example



Source: Battery Energy Storage System (BESS) and Battery Management System (BMS) for Grid-Scale Applications

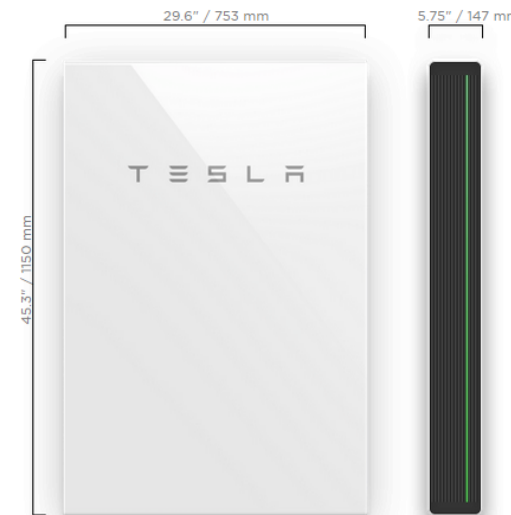
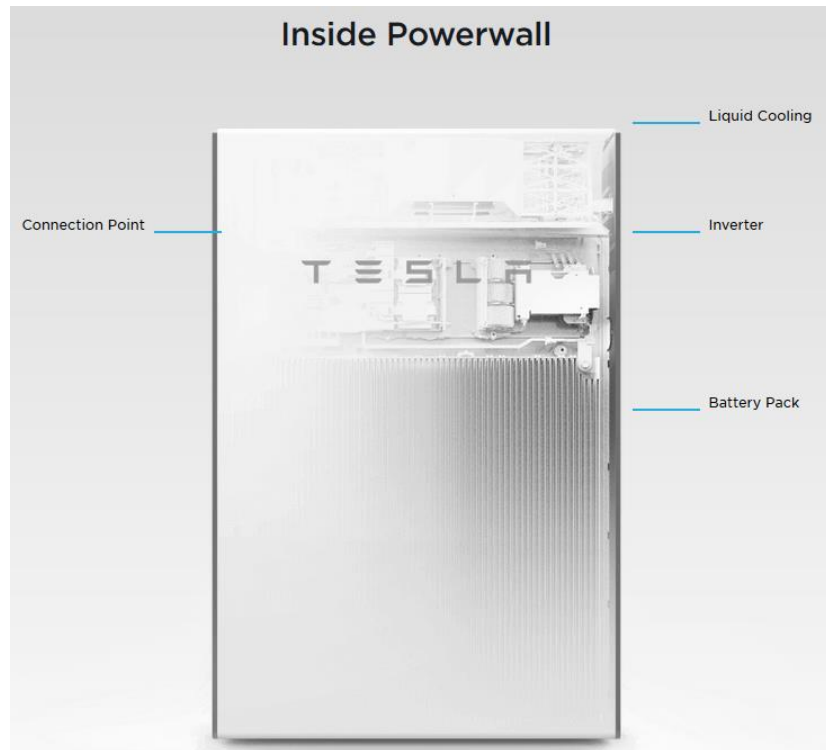


Example of BESS

Residential

- Power wall

Technical Specs



Usable Capacity
13.5 kWh

Depth of Discharge
100%

Efficiency
90% round-trip

Power
7kW peak / 5kW continuous

Supported Applications
Solar self-consumption
Back-up power
Time-Based control
Off-grid capabilities

Warranty
10 years

Scalable
Up to 10 Powerwalls

Operating Temperature
-4°F to 122°F /
-20°C to 50°C

Dimensions
L x W x D: 45.3" x 29.6" x
5.75"
(1150 mm x 753 mm x 147 mm)

Weight
251.3 lbs / 114 kg

Installation
Floor or wall mounted
Indoor or outdoor

Certification
North American and
International
Standards
Grid code compliant

Source: <https://www.tesla.com/powerwall>



Example of BESS

Large scale (Container)

- Hornsdale Power Reserve 100MW/129MWh Tesla Battery



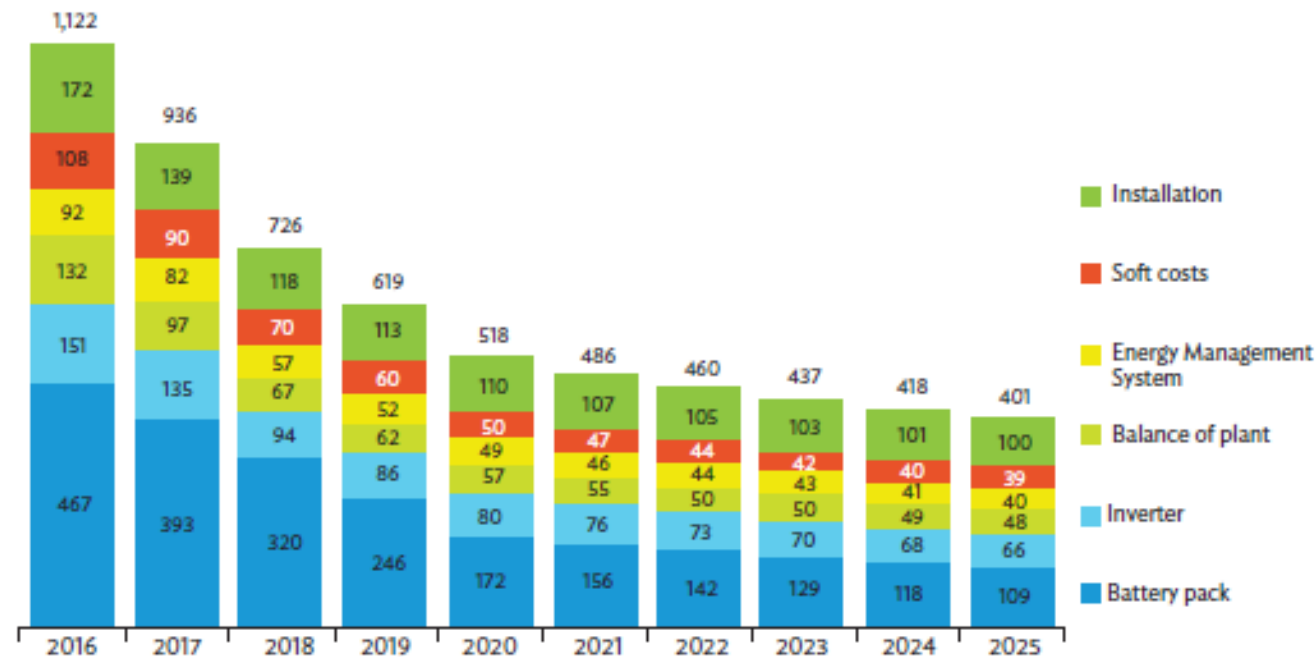
<https://www.youtube.com/watch?v=kYMtnzEDVg>



System cost Breakdown

Residential

Figure 2.6: Benchmark Capital Costs for a 3 kW/7 kWh Residential Energy Storage System Project (real 2017 \$/kWh)



kW = kilowatt, kWh = kilowatt-hour.

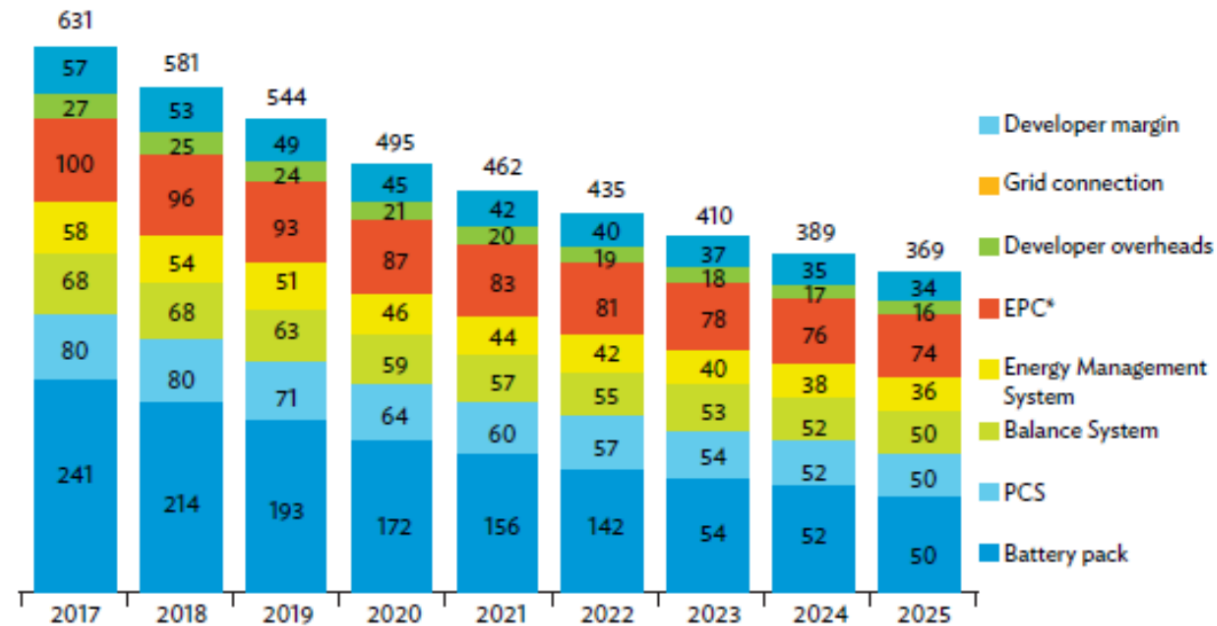
Source: Bloomberg New Energy Finance (BNEF).



System cost Breakdown

Utility scale

Figure 2.5: Benchmark Capital Costs for a 1 MW/1 MWh Utility-Sale Energy Storage System Project (real 2017 \$/kWh)



EPC = engineering, procurement, and construction; ESS = energy storage system; MW = megawatt; MWh = megawatt-hour; PCS = power conversion system.

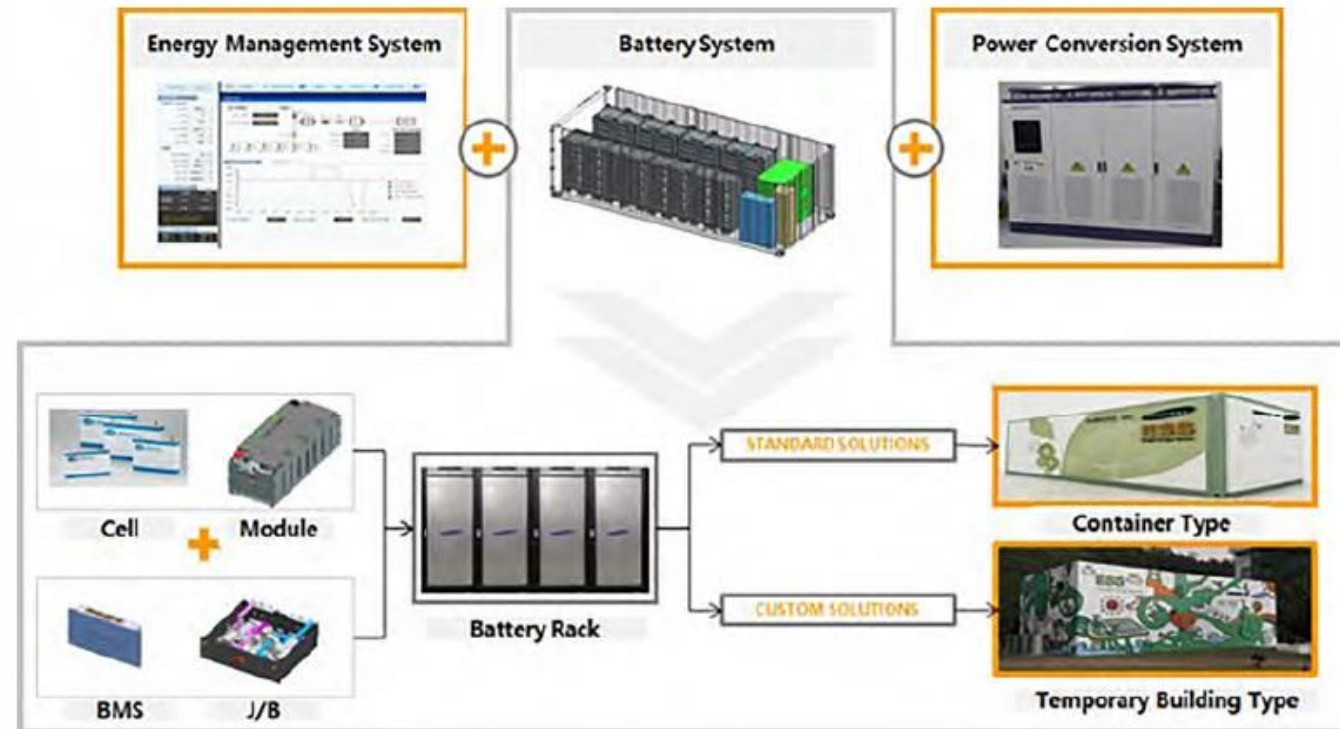
Source: Bloomberg New Energy Finance (BNEF)



Battery energy storage system

summary

Figure 1.7: Schematic of A Battery Energy Storage System



BMS = battery management system, J/B = Junction box.

Source: Korea Battery Industry Association 2017 "Energy storage system technology and business model".

Source: Handbook on Battery Energy Storage System, ADB, December 2018

Thank You

