



สัมมนาให้ความรู้กับ

วิศวกร
อาสาสมัคร
สภาวิศวกร

โดย : คณะอนุกรรมการกำกับดูแลวิศวกรอาสา สภาวิศวกร



นาย สุจิ คอประเสริฐศักดิ์

อนุกรรมการกำกับดูแลวิศวกรอาสา

อนุกรรมการทดสอบความรู้ ความชำนาญฯ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

ผู้ชำนาญพิเศษ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

Solar rooftop system



ความปลอดภัยของ
ระบบผลิตไฟฟ้าจาก
พลังงานแสงอาทิตย์ที่
ติดตั้งบนหลังคา

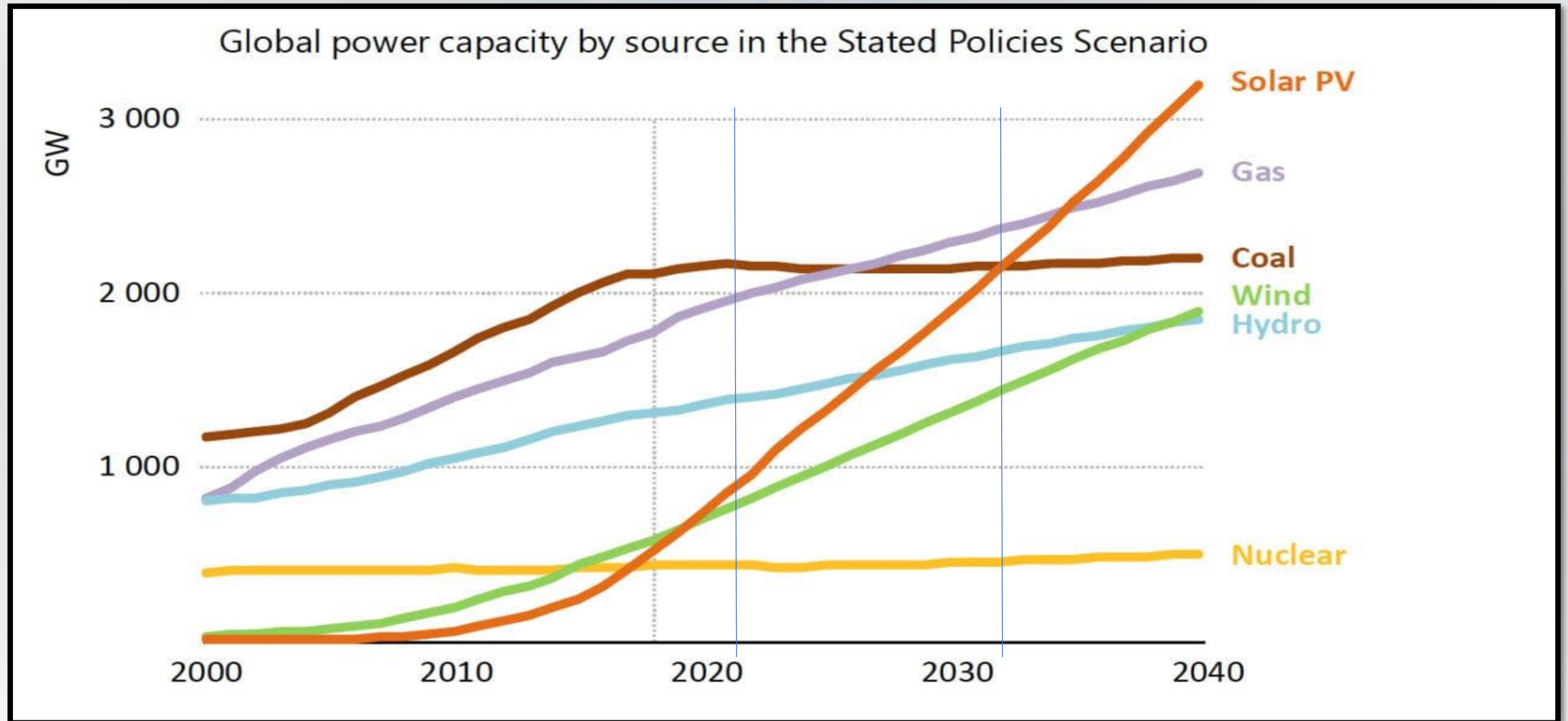
Solar rooftop system



Advantages of solar PV

- no harmful greenhouse gas emissions ,environmentally friendly
- supplied by nature ,free and abundant
- can be made available almost anywhere there is sunlight
- no mechanically moving parts ,operating and maintenance costs to be low, almost negligible, compared to costs of other renewable energy systems
- producing no noise at all; perfect solution for urban areas and for residential applications

Solar PV Trends



Solar PV Trends



Solar Farm

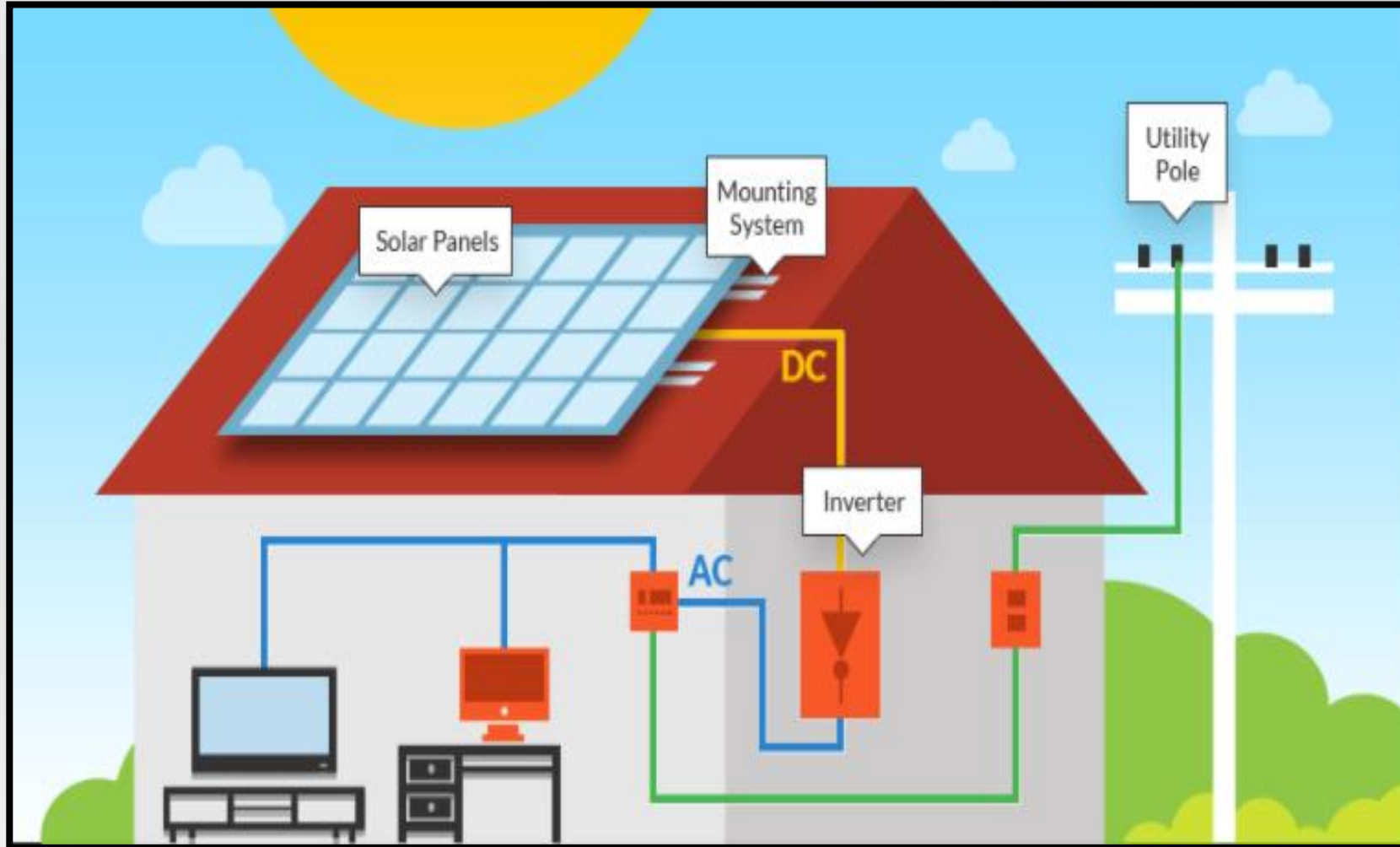


Floating Solar Farm

Solar Rooftop system



Solar Rooftop system



Major system components

PV module converts sunlight into DC electricity.

Inverter converts DC output of PV panels into a clean AC current for AC appliances or feed back into grid line.

Solar Rooftop system



**Australia's 'unsafe'
solar installation
standards under fire**

Solar Rooftop system



In May of 2015, a rooftop solar fire was ignited on the roof of an Apple-owned facility in Mesa, Arizona

Solar Rooftop system



Walmart and Amazon Sue Tesla Over Solar Panel Fires and Unqualified Workers

Walmart filed a lawsuit last week alleging that Tesla, Inc installed dangerous rooftop electric systems which caused rooftop fires at seven stores in Maryland, Ohio, Colorado, and California (2019)

Amazon disclosed that its warehouse in Redlands, CA, caught fire last June (2019)

Solar Rooftop system



- Voltage 500 Vdc or more
- System cannot be switch off
- การทำความสะอาด PV
 - กลางวัน อันตราย
 - กลางคืน ???



Solar Rooftop system



ระบบ Solar Rooftop ที่ปลอดภัย

การออกแบบ

การเลือกใช้อุปกรณ์

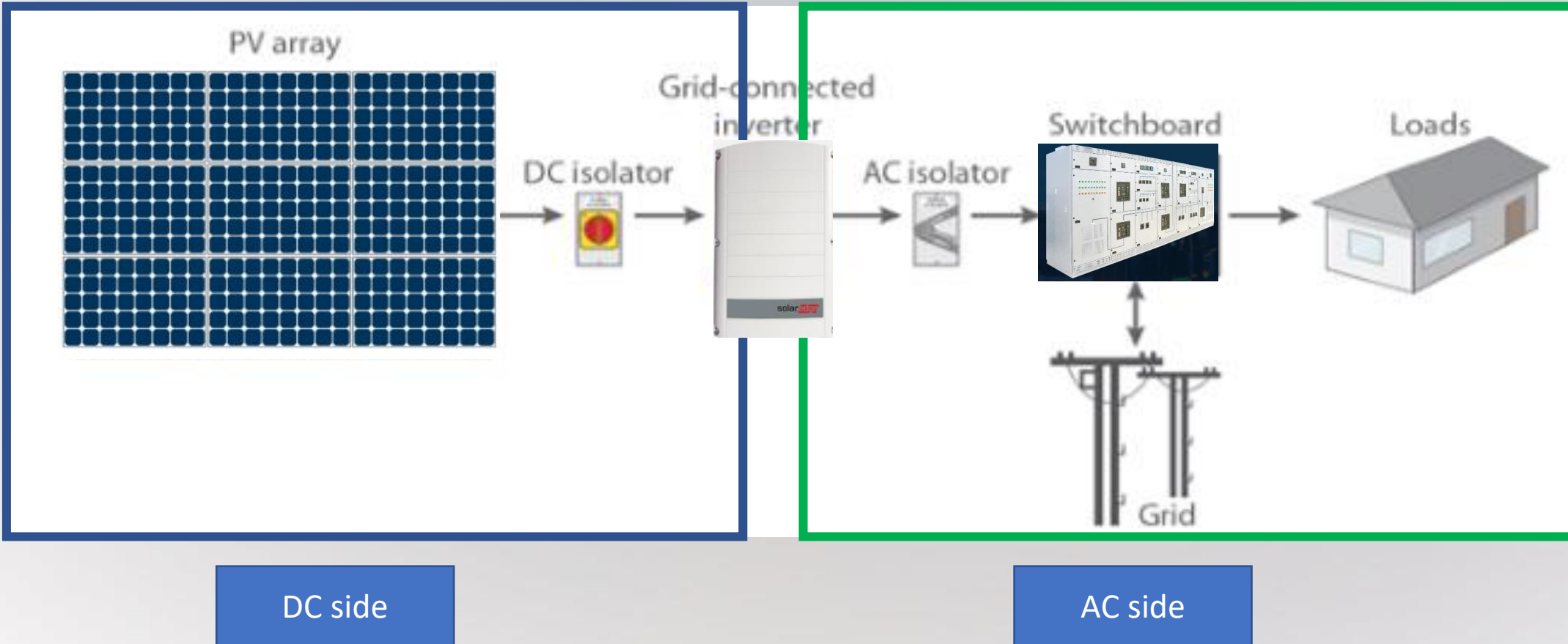
การติดตั้ง

การบำรุงรักษา





Solar Rooftop system



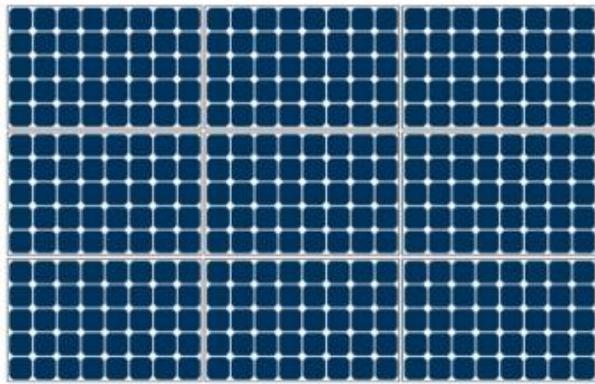


Solar Rooftop system

DC side

AC side

PV array



DC isolator



Grid-connected inverter



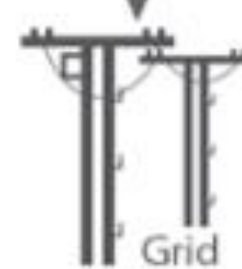
AC isolator



Switchboard



Loads



วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
The Engineering Institute of Thailand (EIT) The King's Patronage

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย :
ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ที่ติดตั้งบนหลังคา
พ.ศ. 2565

Thai Electrical Code :
Solar Rooftop Power Supply Installations
2022

มาตรฐาน วสท. 022013-22
EIT Standard 022013-22

IEC 62109-2
MEA,PEA
(Zero export ,Anti Islanding,etc.)

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย
พ.ศ. 2564

Thai Electrical Code
2021

สนับสนุนโดย การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

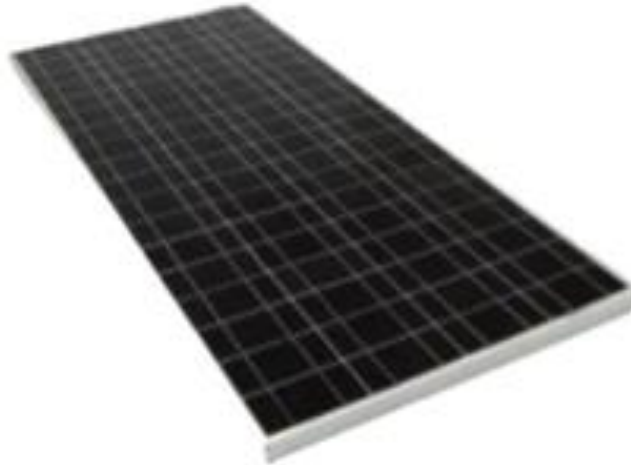
มาตรฐาน วสท. 022001-22

Solar Rooftop system

PV Module



Monocrystalline panels
- Efficiency @ 17-22%



Polycrystalline panels
- Efficiency: 15-18%



Thin film panels
- Efficiency: 10-13%

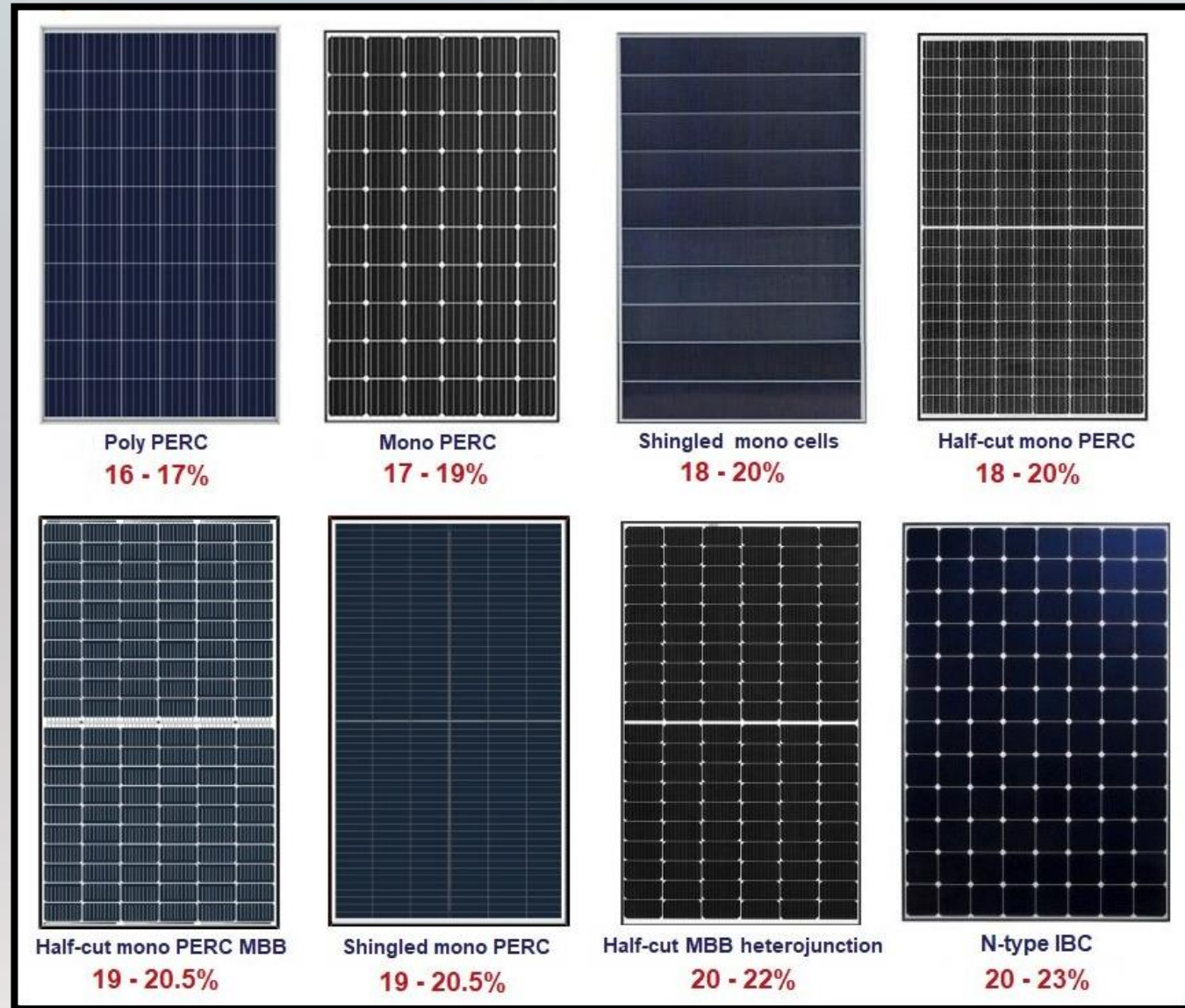
Solar Rooftop system

PV Module



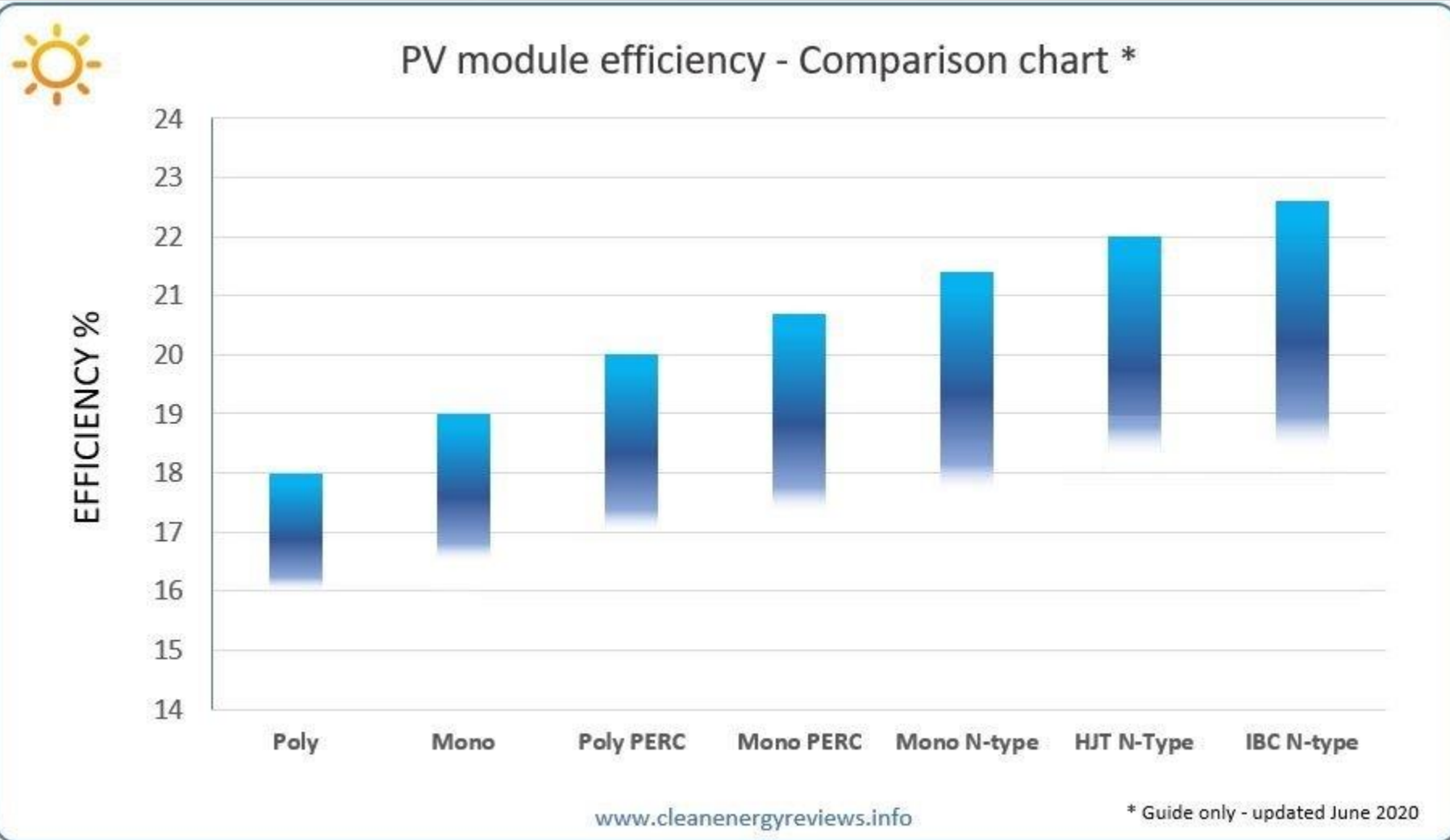
The leading PV cell technologies

- **HJT** - Heterojunction cells
- **TOPCon** - Tunnel Oxide Passivated Contact
- **Gapless Cells** - High-density cell construction
- **PERC** - Passivated Emitter Rear Cells
- **Multi Busbar** - Multi ribbon and micro-wire busbars
- **Split cells** - half-cut and 1/3 cut cells
- **Shingled Cells** - Multiple overlapping cells
- **IBC** - Interdigitated Back Contact cells



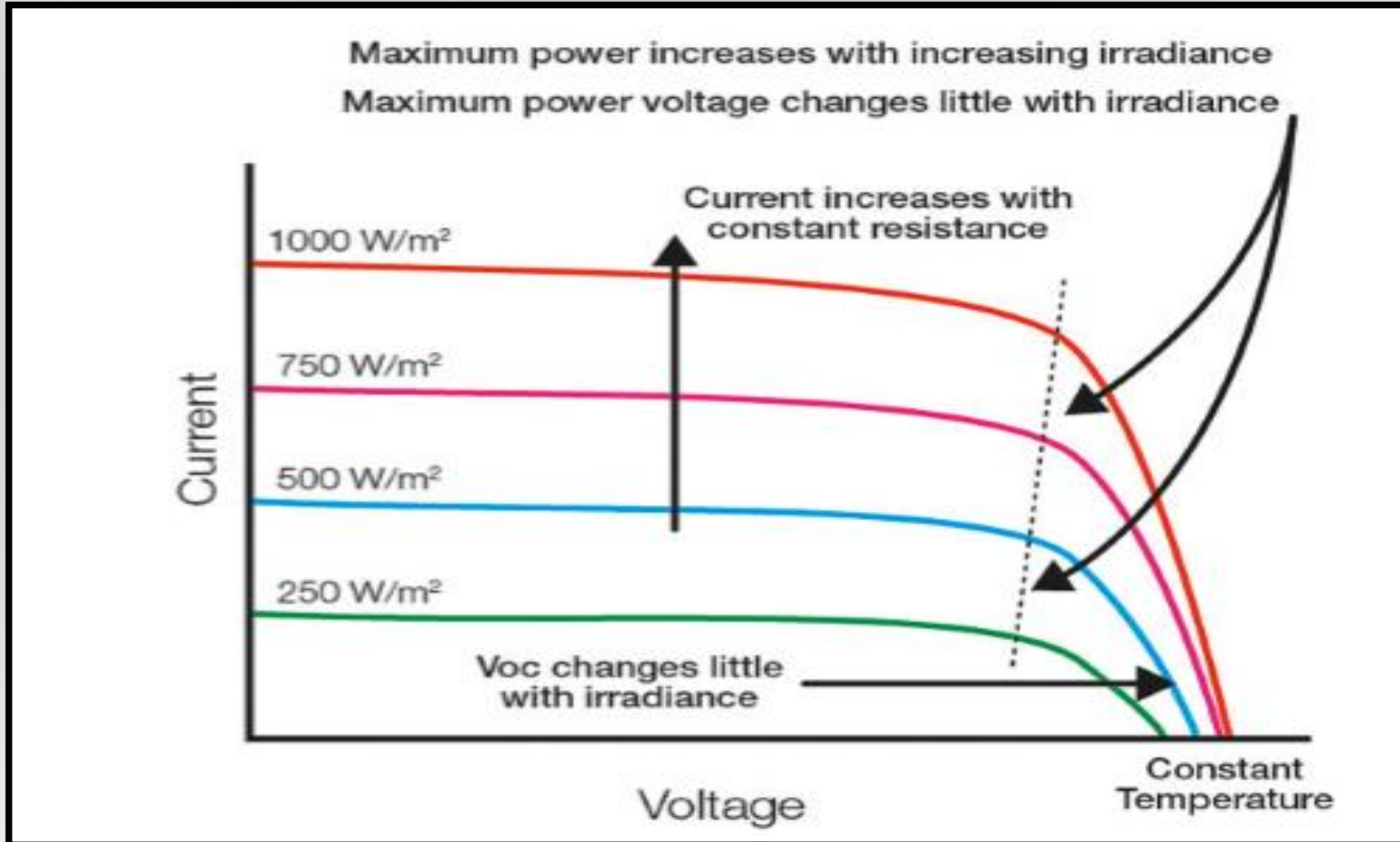
Solar Rooftop system

PV Module



PV Module

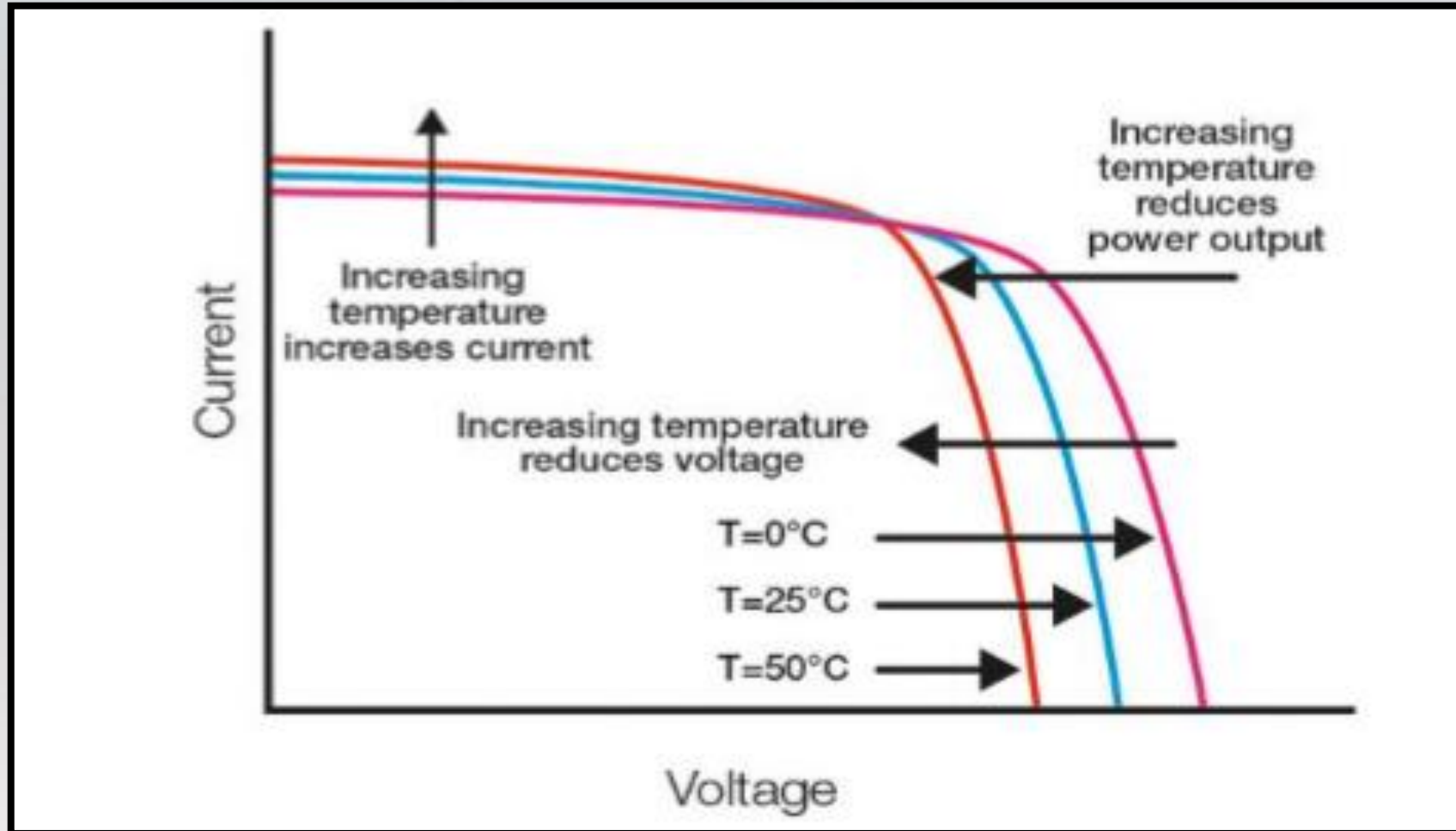
Effect of Irradiance





PV Module

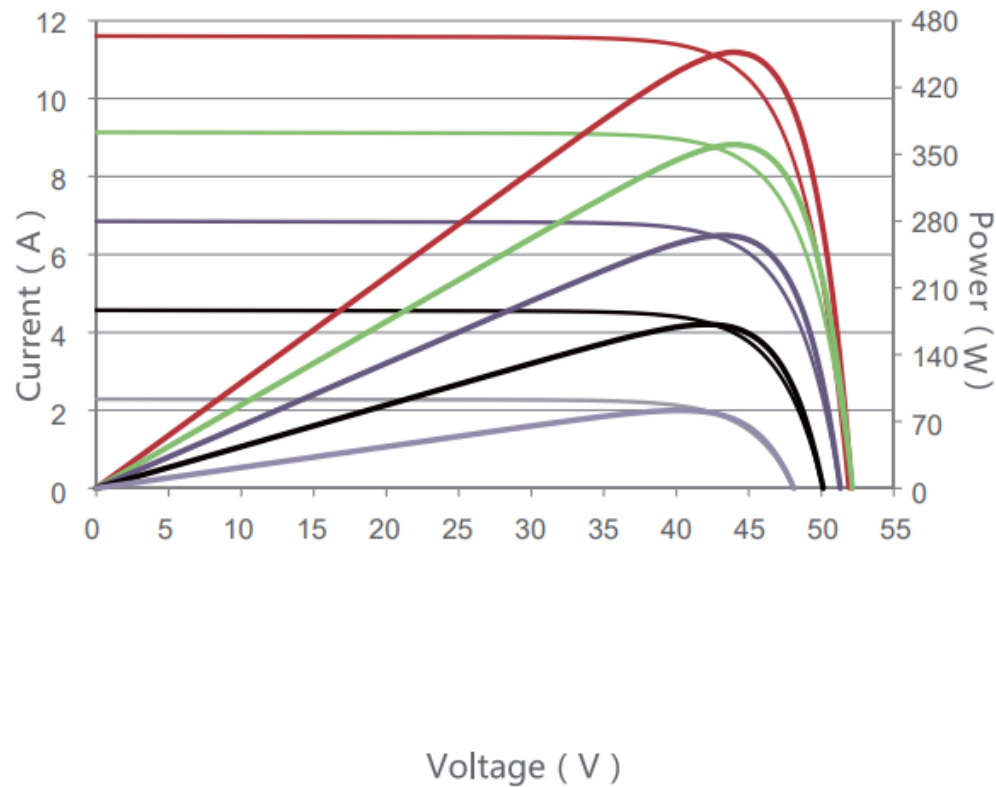
Effect of Temperature



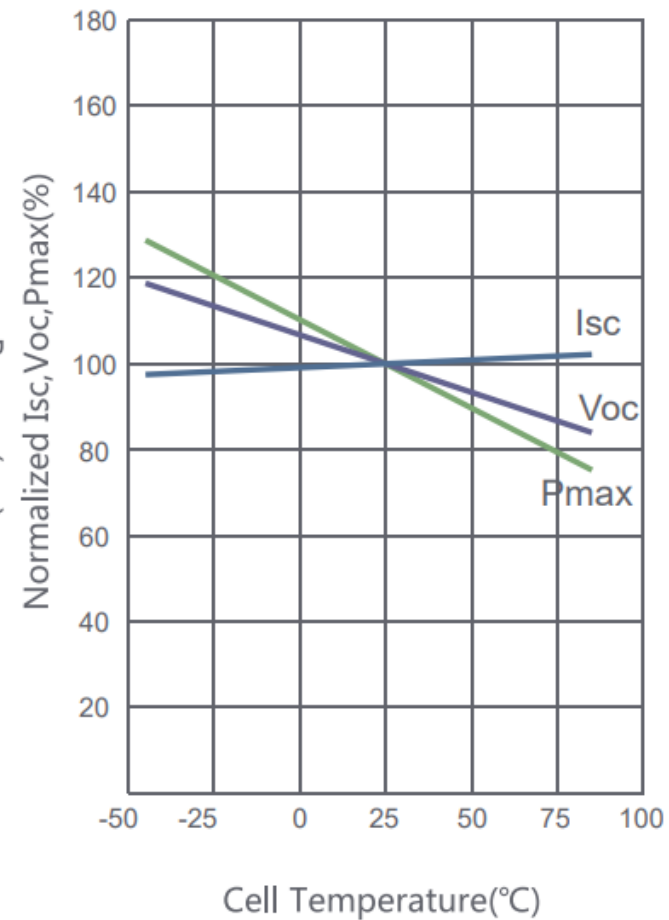
PV Module



Current-Voltage & Power-Voltage
Curves (460W)



Temperature Dependence
of I_{sc} , V_{oc} , P_{max}



Solar Rooftop system

PV Module

- ประเด็นด้านสมรรถนะ
- **การบังแสง (shading)** การเลือกสถานที่ติดตั้งของ PV array ควรหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่ใกล้ต้นไม้ อาคาร และแถวของ PV array ที่อยู่ติดกันมากเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเงาบน PV array
- **อุณหภูมิที่สูงขึ้น** สมรรถนะของ PV array จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จึงต้องออกแบบให้มีการถ่ายเทอากาศที่ดี
- **แรงดันตกในสายเคเบิล** แรงดันตกในเคเบิลจาก PV module ที่ไกลที่สุดถึงอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า ต้องไม่เกิน 3 % ของแรงดัน V_{mp}



Solar Rooftop system

PV Module

ประเด็นด้านสมรรถนะ

ความสกปรกบนผิวหน้า ของPVMODULEจากฝุ่นคราบสกปรก มูลนก มลภาวะทางอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดเป็นประจำ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีปัญหามลภาวะ

มุมมองการติดตั้ง มุมเอียงของ PV MODULE ต่อแนวระดับ และทิศทางของ PV MODULE เมื่อเทียบกับทิศใต้ (TRUE SOUTH) ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ

การเสื่อมสภาพ ของ PV MODULE อายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น ของ PV MODULE มีผลกระทบให้สมรรถนะของ PV MODULE ลดลง



Solar Rooftop system



Tier 1 Solar Manufacturers

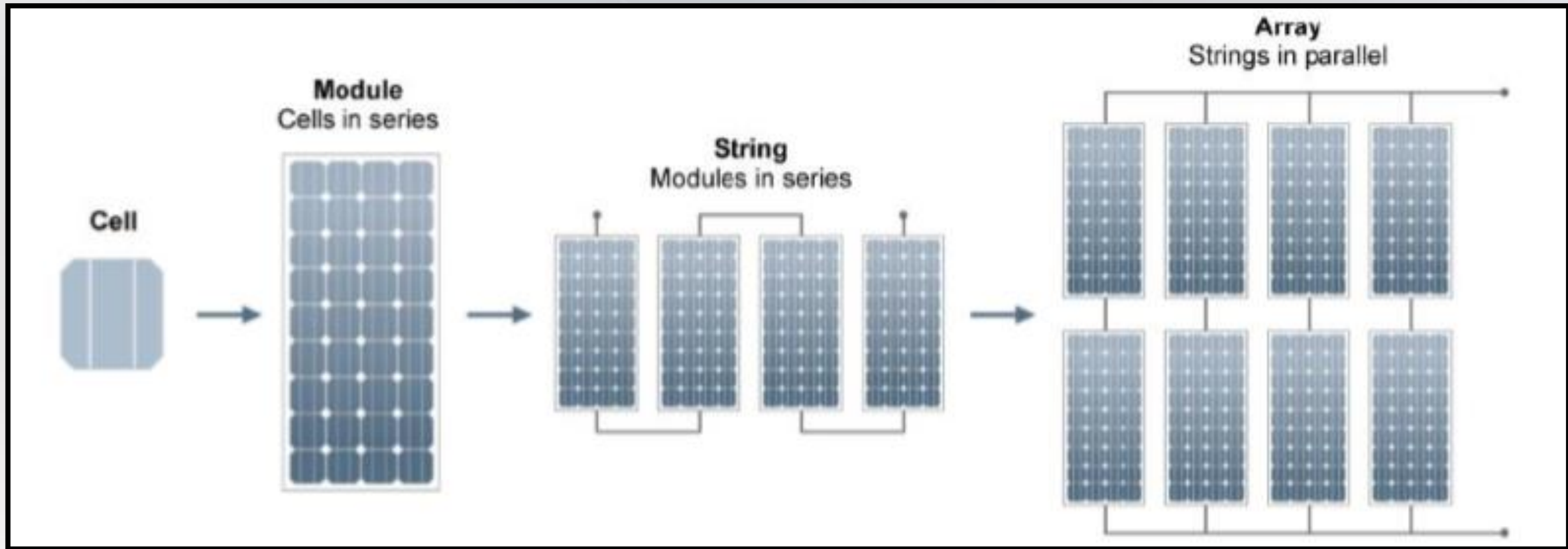
- No 'Tier 1 Solar Module', only 'Tier 1 Module Manufacturers'
- Marked by BNEF as "bankable"
 - Manufacturers have their own products and factories
 - The products were used on 6 megawatt-size projects (> 1.5 MW), financed by 6 different banks in the last 2 years.
 - Any brand with financial issues such as bankruptcy will be removed from Tier 1.
- BNEF does not publish Tier 2 or 3 list

"We strongly recommend that module purchasers and banks do not use this list as a measure of quality, but instead consult a technical due diligence firm"

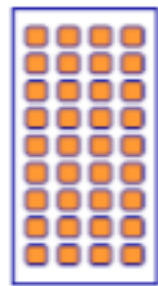
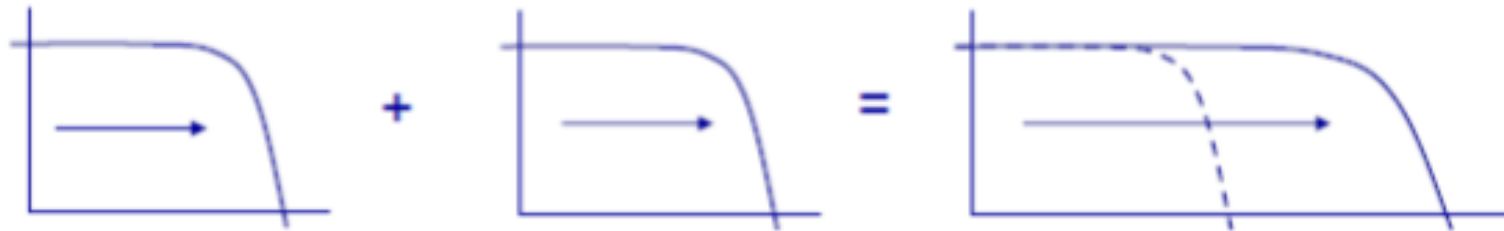
Bloomberg
NEW ENERGY FINANCE



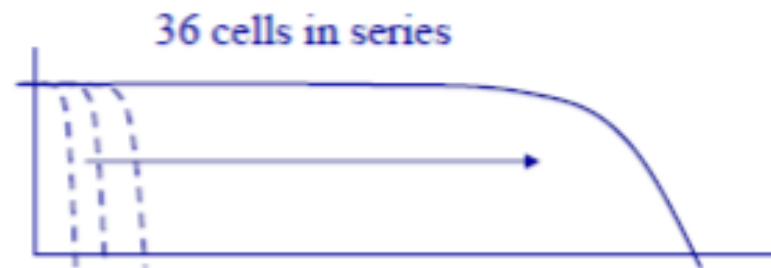
Solar Rooftop system



PV Module



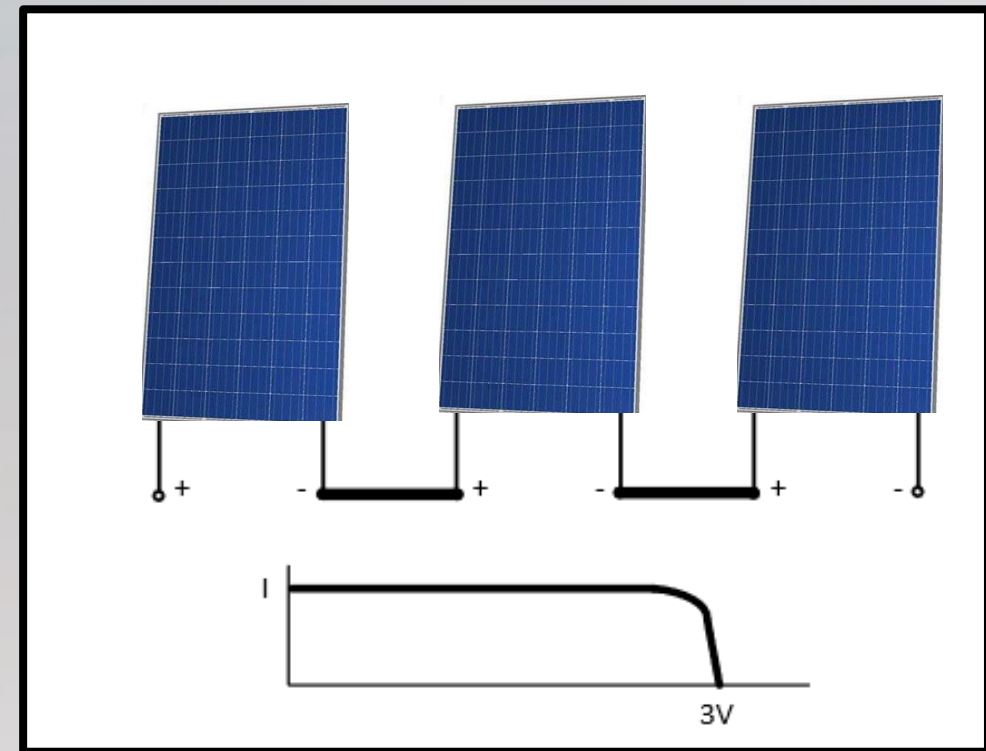
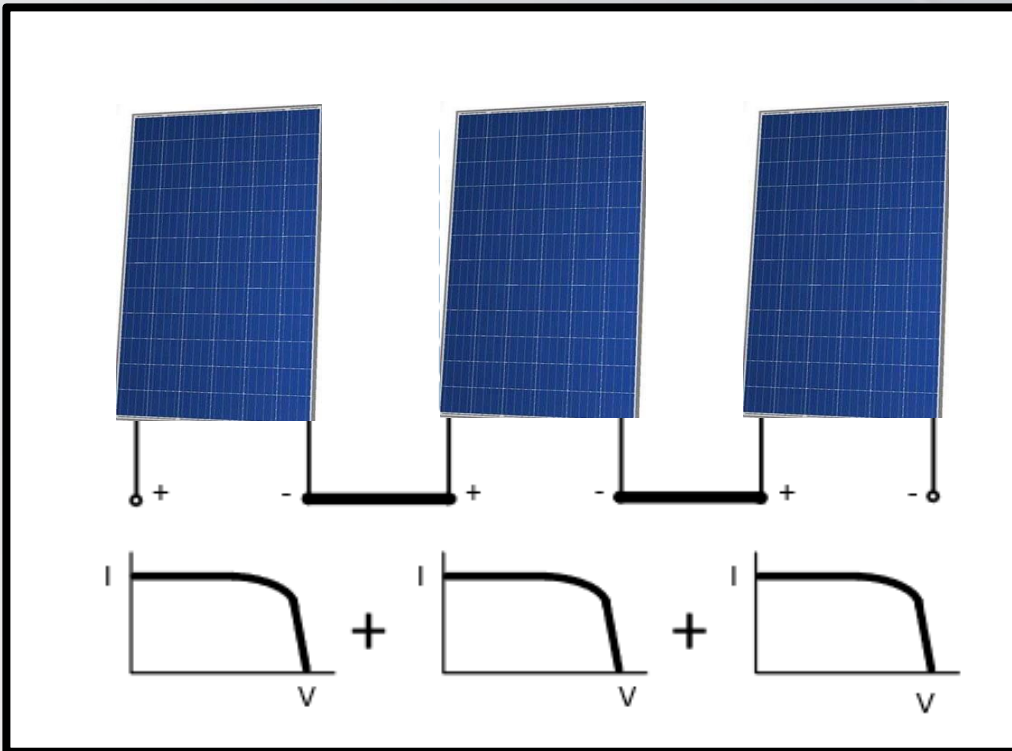
PV module





PV Module

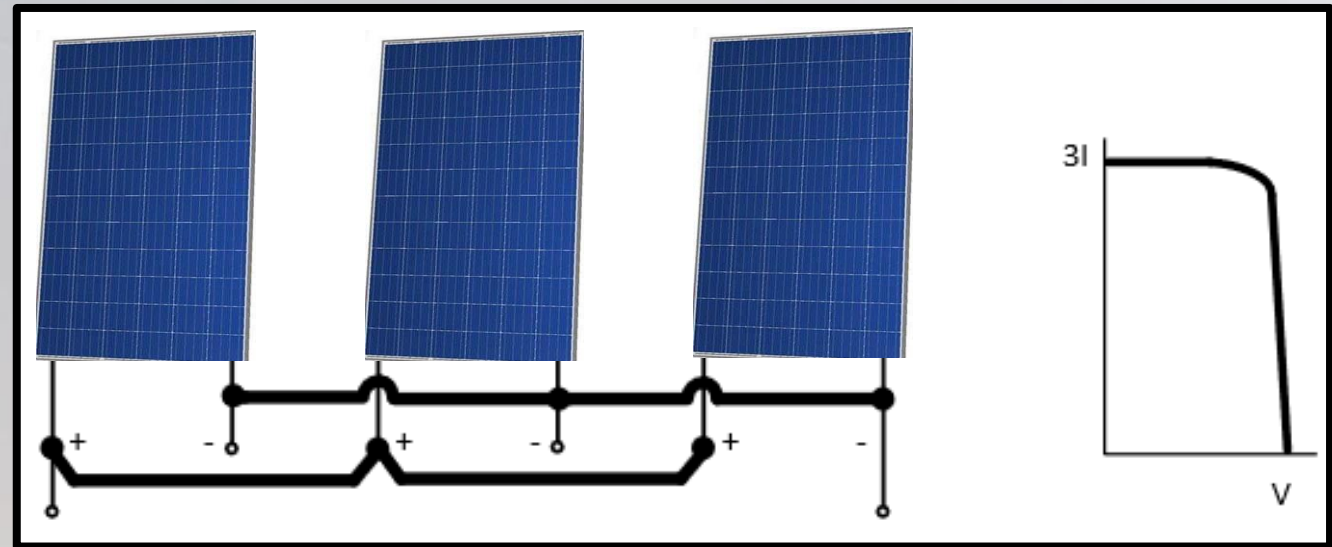
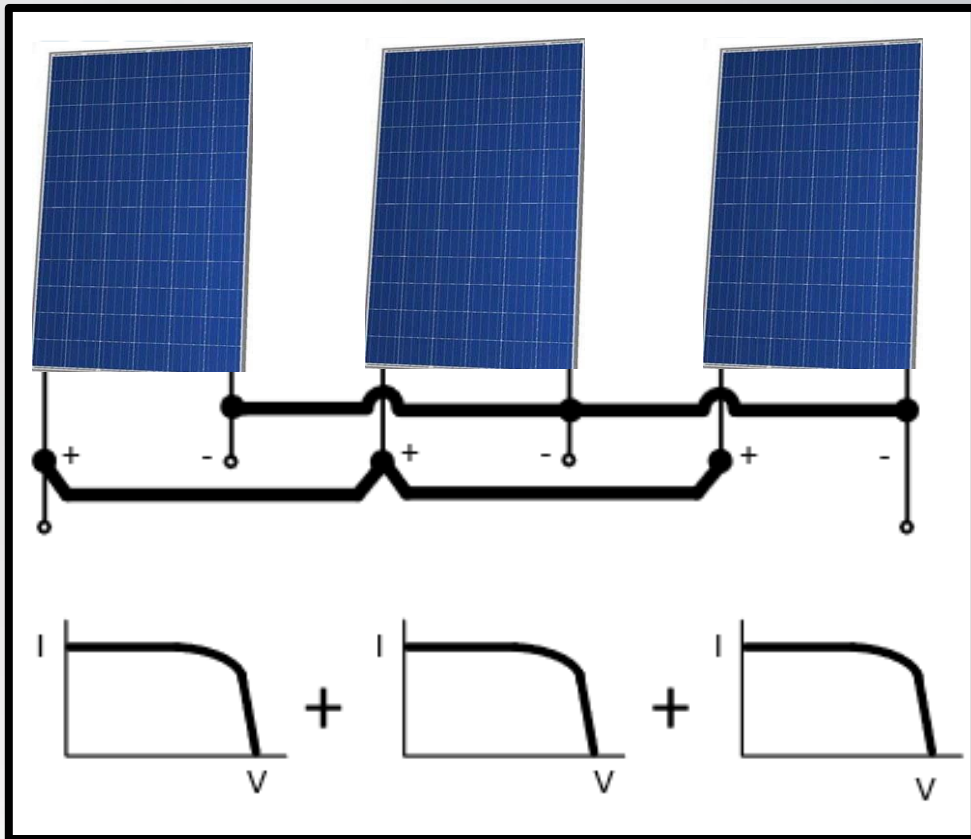
Panel Connection: Series





PV Module

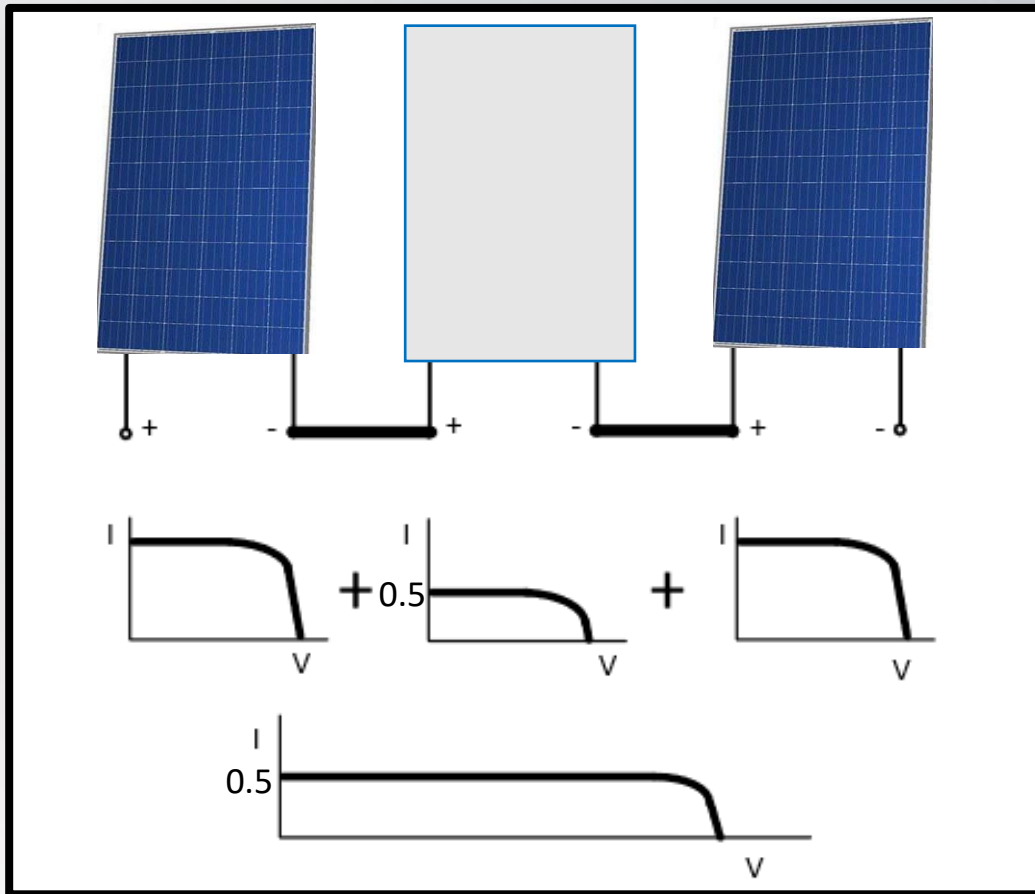
Panel Connection: Parallel





PV Module

Shaded Panels

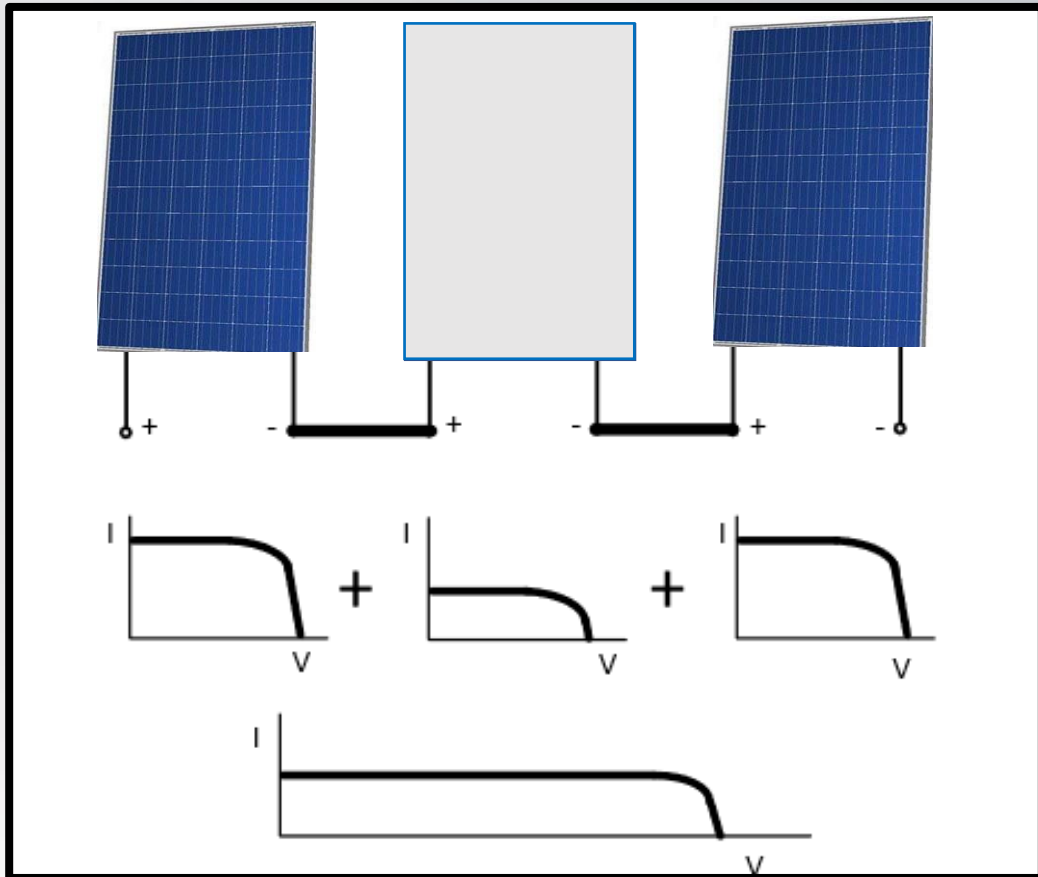


Total current = The lowest current source

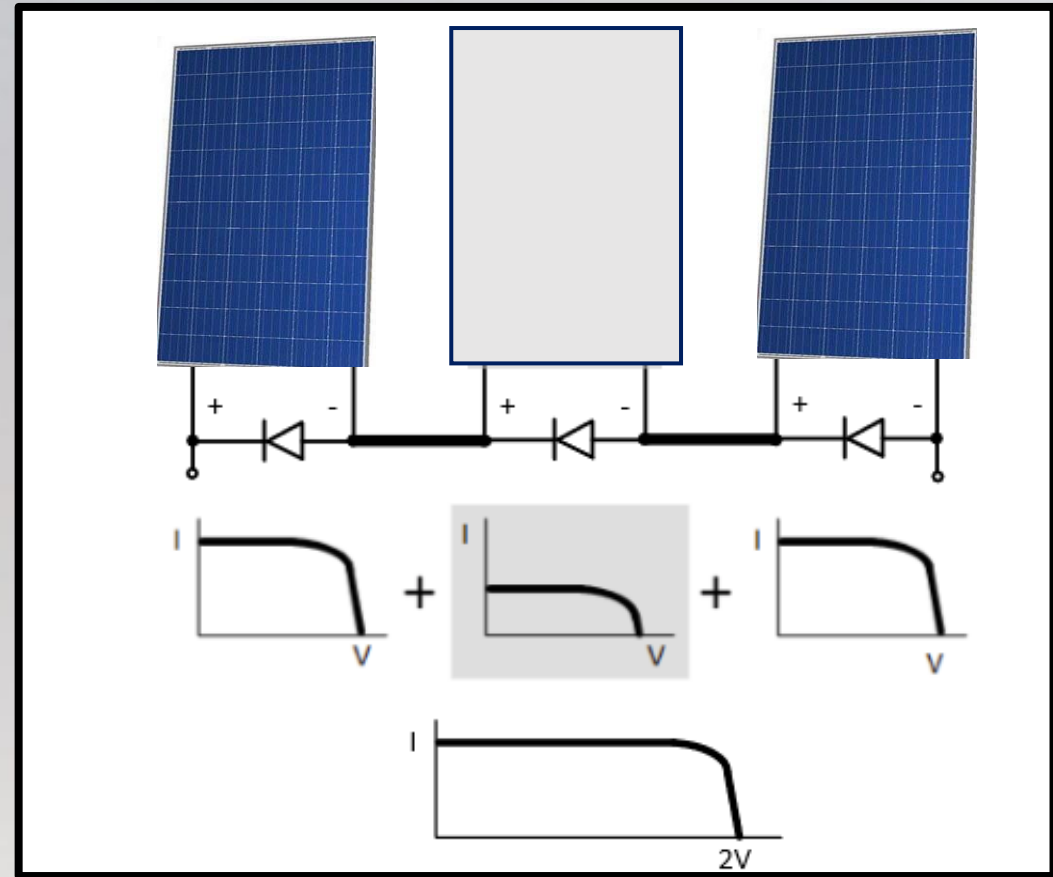
If several energy sources rated at different currents are connected in series, the total current of the combined sources will be equal to the lowest current energy source. However, the excess current, generated by the source with the higher current, will flow into the lowest current source and be discharged as heat, causing reduced performance and potential damage. Therefore, connecting energy sources of different current ratings in series should be avoided.

PV Module

Shaded Panels



Bypass Diodes

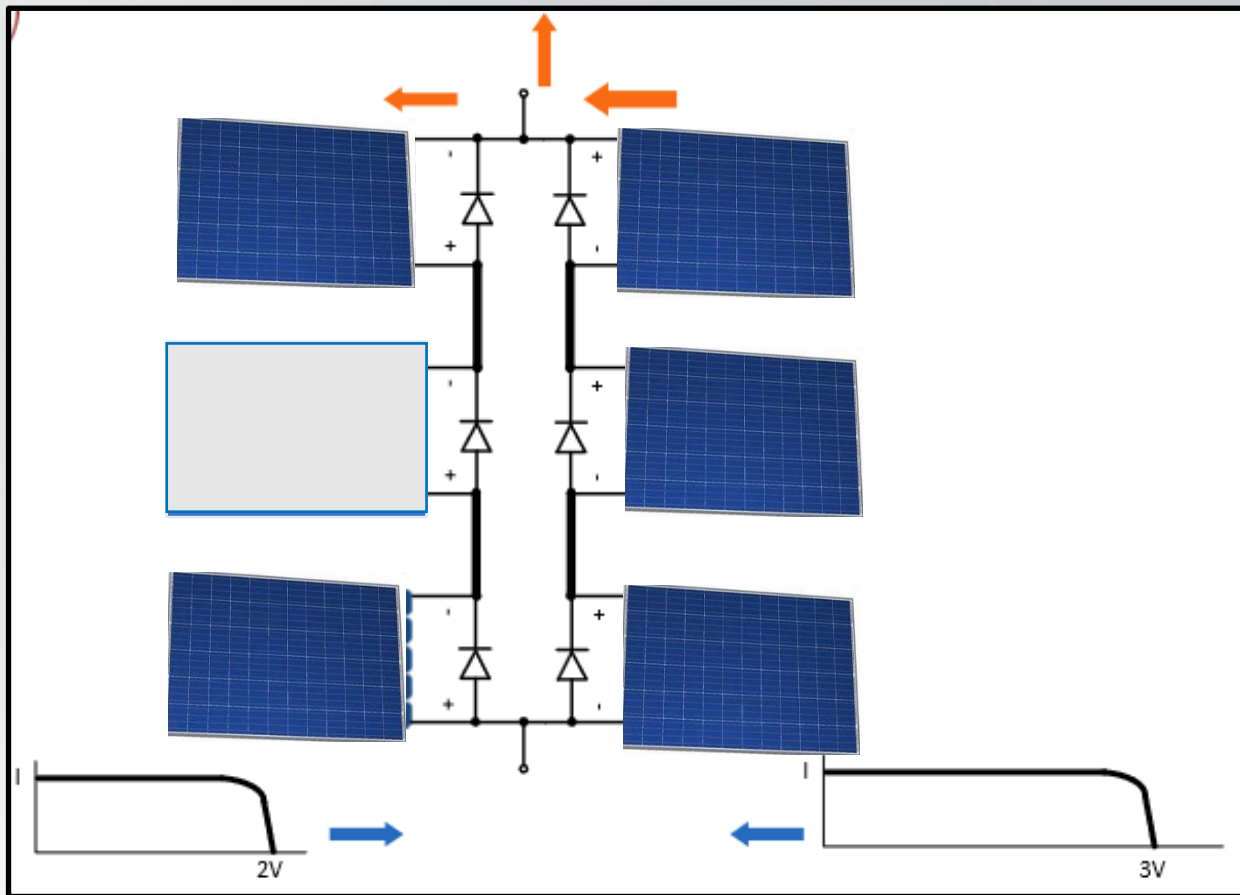




PV Module

Shaded Panels

System Voltage= The lowest string voltage

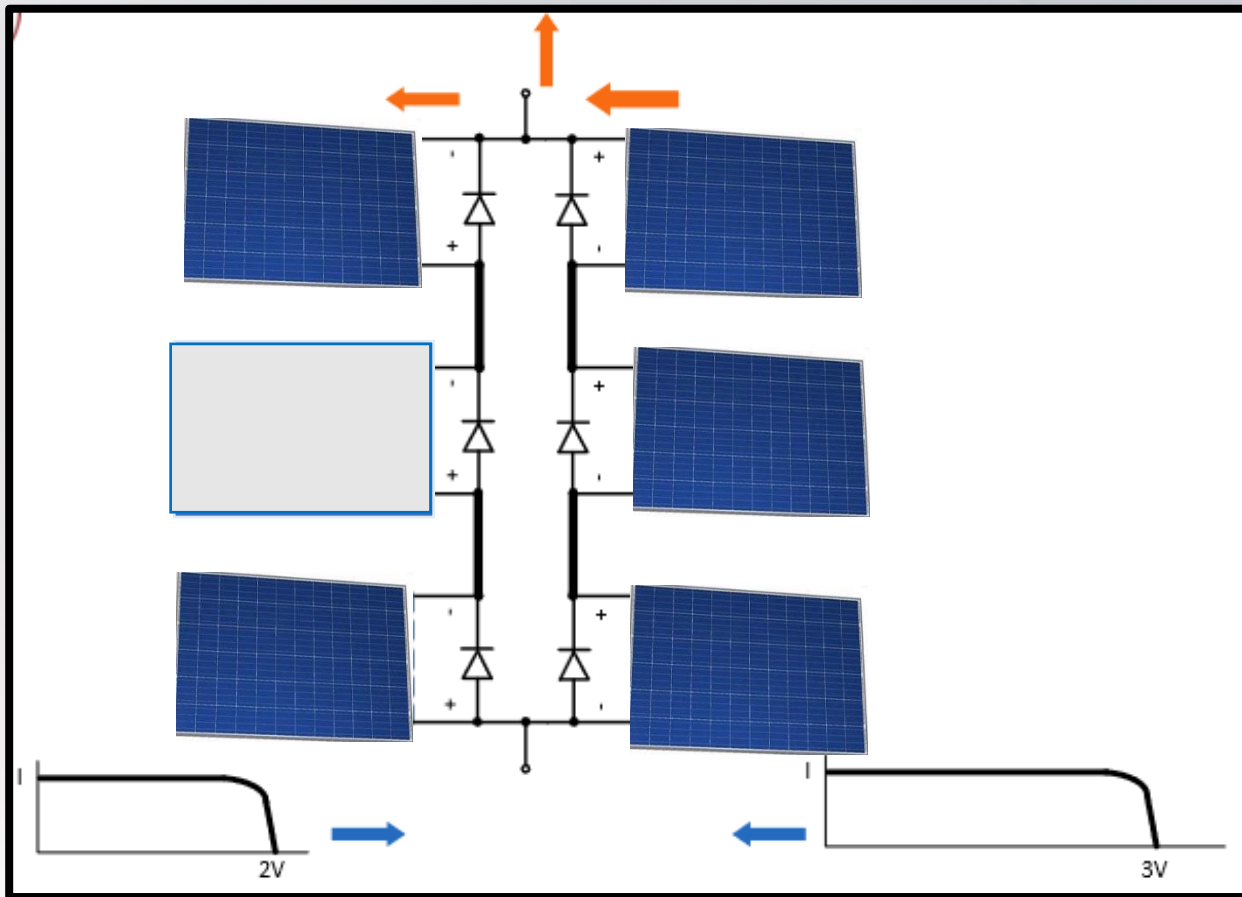


Energy sources that have different voltages should not be connected in parallel. If they are the system will operate at the lowest string voltage, and excess energy will be dissipated as heat. This will result in under-performance of the system, and over time it will potentially cause physical damage to the components.

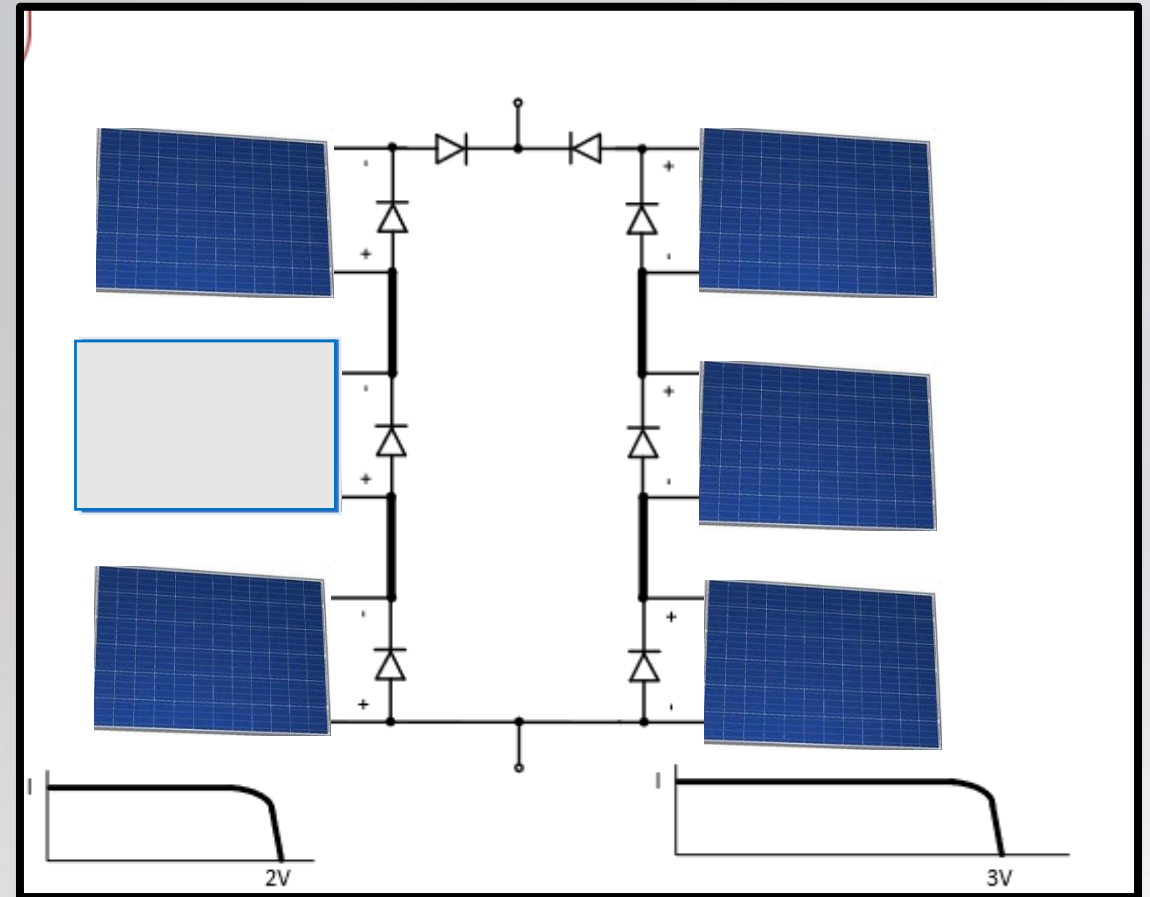


PV Module

Shaded Panels



Blocking Diodes



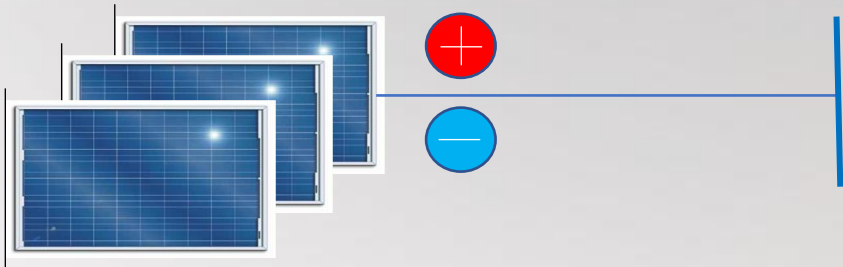


PV Module

2.1.6 รูปแบบการต่ออนุกรม-ขนาน

PV array ต้องถูกออกแบบเพื่อป้องกันกระแสไหลวนภายใน PV array โดยที่ PV string ในแต่ละแถวที่นำมาต่อขนานกันต้องมีแรงดันเปิดวงจรแตกต่างกันไม่เกิน 5%

เพื่อประสิทธิภาพที่ดีและลดค่าแรงดันที่ไม่เท่ากัน (mismatch) PV module ทุกตัวที่ต่อกับอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเดียวกันควรเป็นชนิดเดียวกัน และมีจำนวนการต่ออนุกรมเท่ากัน โดยที่ PV module ทุกตัวที่ต่อกับอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเดียวกัน ควรมีพิกัดทางไฟฟ้าเหมือนกัน รวมถึงพิกัดกระแสลัดวงจร แรงดันเปิดวงจร กระแสที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด แรงดันที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด พิกัดกำลังไฟฟ้า และสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต้องเหมือนกันด้วย





PV Module

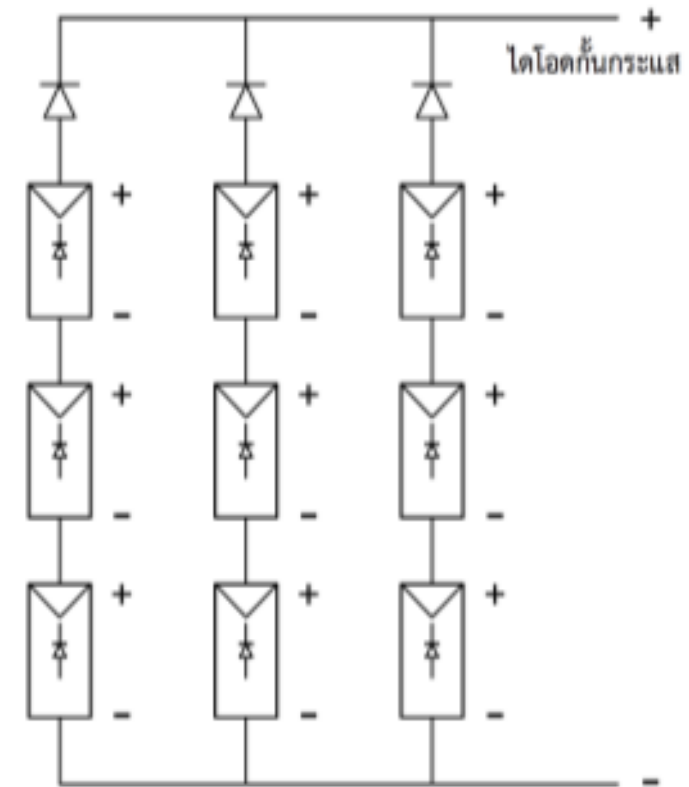
1.4.1 ไดโอดกั้นกระแส (blocking diode)

ไดโอดที่ต่ออนุกรมกับ PV module, PV string, PV sub-array และ PV array เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสไหลย้อนกลับไปในอุปกรณ์ PV module, PV string, PV sub-array และ PV array

1.4.3 ไดโอดลัดข้าม (bypass diode)

ไดโอดที่ต่อข้าม PV cell หนึ่งเซลล์ หรือมากกว่าเพื่ออนุญาตให้กระแสข้ามเซลล์ที่ถูกบังแสงหรือชำรุดไปในทิศทางที่กระแสไหล ในการป้องกันจุดร้อนหรือเซลล์เสียหายอันเนื่องมาจากแรงดันย้อนกลับจากเซลล์อื่นใน PV Module นั้น

Bypass & Blocking Diodes



รูปที่ 4.3 การใช้ไดโอดกั้นกระแส

Inverter



อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า (Power Conversion Equipment ; PCE)

อุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงและควบคุมกำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดกระแสหรือแรงดันรูปหนึ่งไปเป็นกระแสไฟฟ้าอีกรูปหนึ่งที่มีกระแส แรงดัน และ/หรือความถี่ ตามต้องการ เช่น DC/AC Inverter, DC/DC Converter, Charger Controller



Inverter



อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า (Power Conversion Equipment ; PCE)

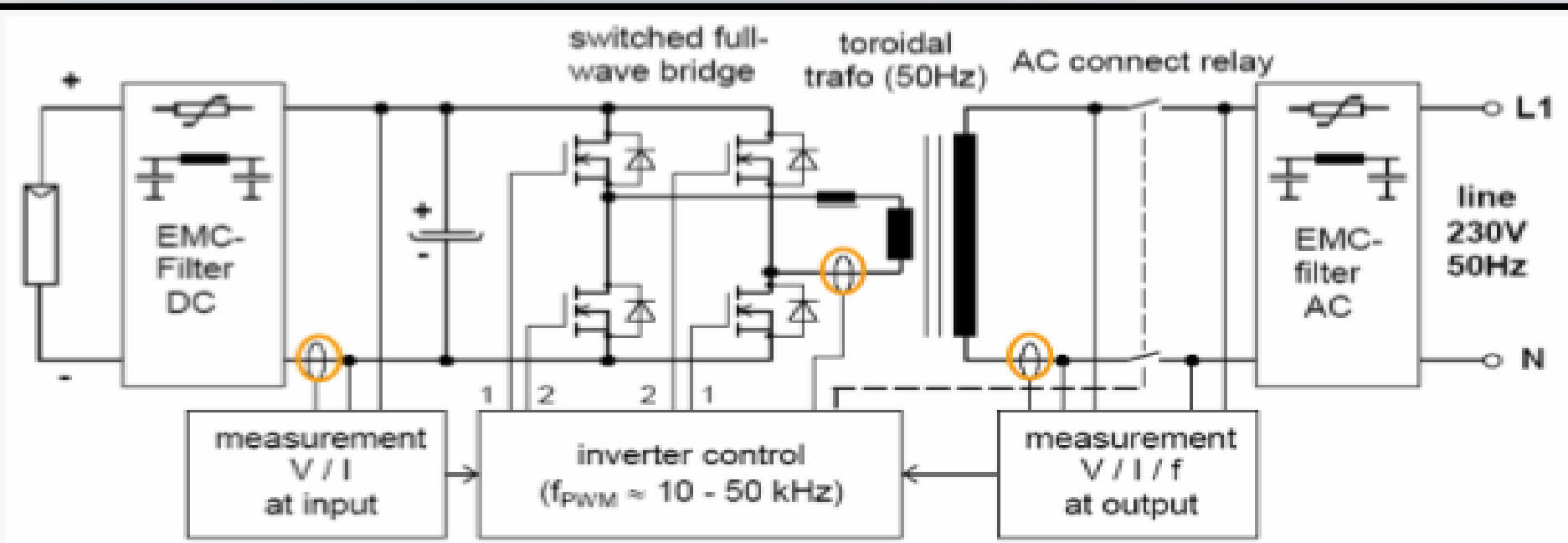
อุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงและควบคุมกำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดกระแสหรือแรงดันรูปหนึ่งไปเป็นกระแสไฟฟ้าอีกรูปหนึ่งที่มีกระแส แรงดัน และ/หรือความถี่ ตามต้องการ เช่น DC/AC Inverter, DC/DC Converter, Charger Controller



Inverter



Inverter with Low-Frequency Transformers

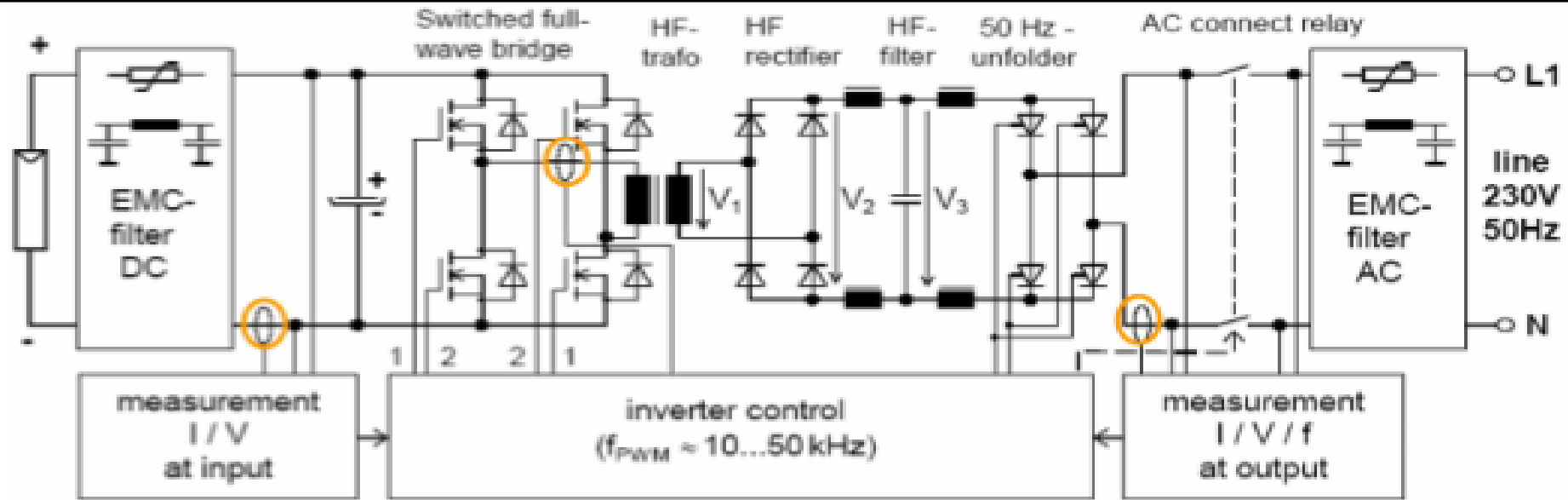


- Pros: very reliable, cost effective, DC current injection not possible, efficiency up to 96 %
- Cons: weight and size

Inverter



Inverter with High-Frequency Transformer (16-100 kHz)

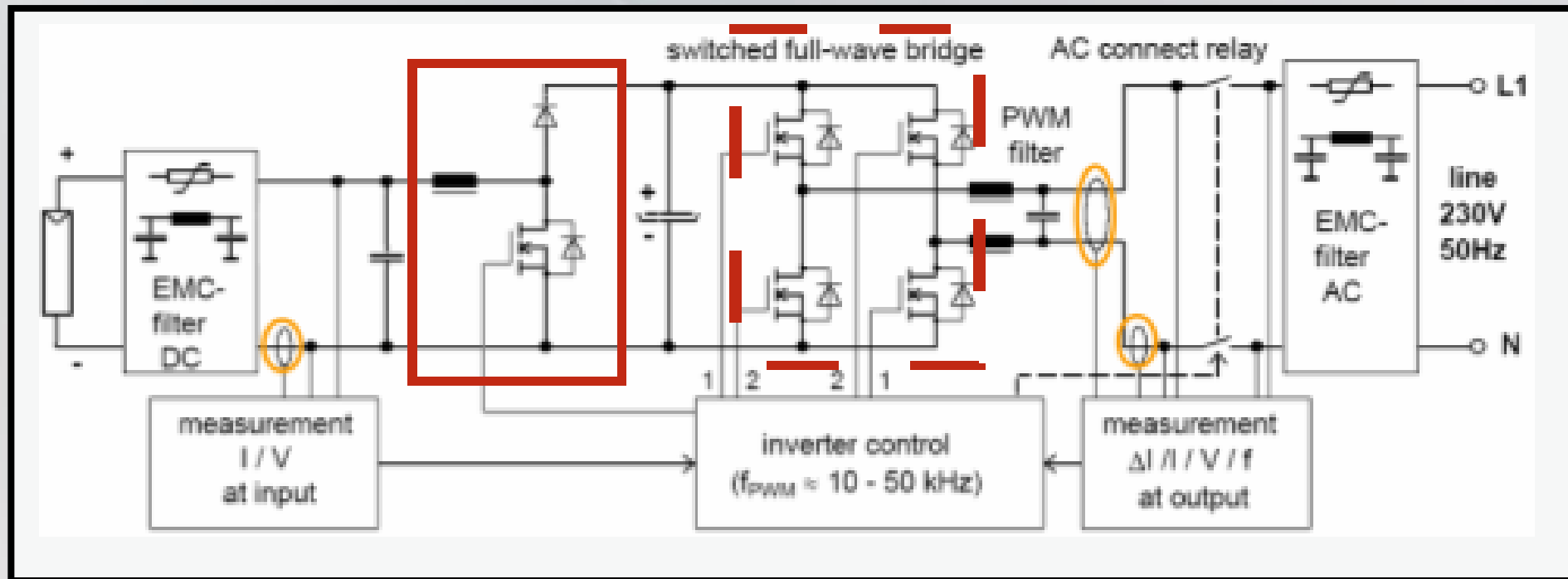


- Pros: low weight, small size
- Cons: high number of components, DC injection possible, efficiency over 95 % difficult to achieve

Inverter



Transformerless Inverter with DC Chopper



Very high efficiency, low weight, small size, wide input voltage range

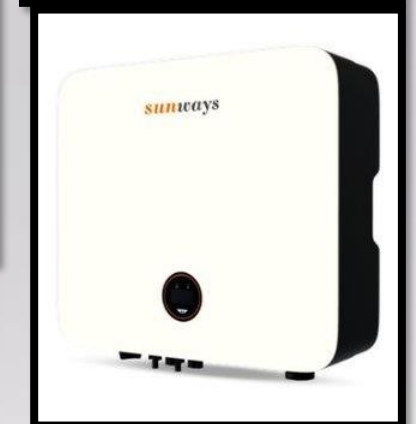
Inverter



INVERTER converts DC output of PV panels into a **clean AC current** for AC appliances or feed back into grid line.

Additional features

- Anti-Islanding
- DC side fault monitoring
- Arc fault Protection
- Emergency Rapid shut down



Inverter

Anti-Islanding

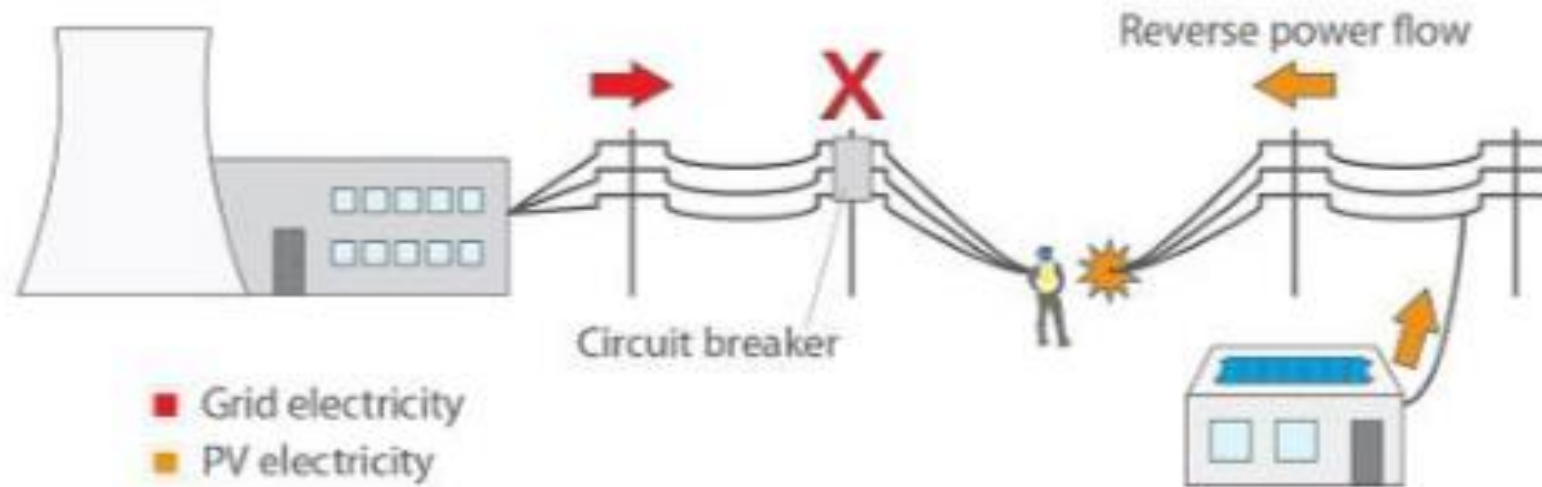


Figure b: One of the issues with two-way electrical flow – the circuit breaker stops the current flowing in one direction (from the power station) into a fault but cannot stop the current flowing in the other direction (from the residential PV system), thus creating a potential safety hazard for workers trying to repair the fault.

Solar Rooftop system



สารบัญ

บทที่ 1 บทนำและเรื่องทั่วไป	1
1.1 ขอบเขต	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 มาตรฐานอ้างอิง	1
1.4 นิยาม	3
บทที่ 2 รูปแบบของการต่อ PV Array	9
2.1 รูปแบบของการต่อ PV Array	9
2.2 การออกแบบทางกล	20
บทที่ 3 ประเด็นด้านความปลอดภัย	23
3.1 ข้อกำหนดทั่วไป	23
3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (electric shock)	23
3.3 การป้องกันกระแสเกิน	23
3.4 การป้องกันความผิดปกติของดิน (Protection Against Earth Faults)	28
3.5 การป้องกันผลกระทบจากฟ้าผ่าและแรงดันเกิน (Protection Against Effect of Lightning and Overvoltage)	30
บทที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า	33
4.1 ข้อกำหนดทั่วไป	33
4.2 แรงดันสูงสุดของ PV array	33
4.3 ข้อกำหนดสำหรับส่วนประกอบ	35
4.4 ข้อกำหนดจุดติดตั้งและวิธีการติดตั้ง	44
4.5 การทดสอบการทำงานหลักการติดตั้ง (Commissioning)	54
บทที่ 5 ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่	55
5.1 ขอบเขต	55
5.2 ข้อกำหนดการติดตั้ง	56
5.3 อันตรายจากไฟฟ้า	61
5.4 อันตรายจากแก๊สระเบิด (Explosive Gas Hazard)	66
5.5 ประเด็นความปลอดภัยสำหรับระบบกักเก็บพลังงาน	72
5.6 ตัวอย่างรูปแบบการเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ และระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	74
บทที่ 6 การทำสัญลักษณ์และเอกสาร	77

XIII

6.1 การทำสัญลักษณ์ของบริษัท	77
6.2 ข้อกำหนดสำหรับป้าย	77
6.3 การระบุว่ามีระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	77
6.4 ข้อมูลสำหรับเจ้าหน้าที่ดับเพลิง	78
6.5 ป้าย/สัญญาณสำหรับอุปกรณ์ติดตั้ง	79
6.6 เอกสาร	80

ภาคผนวก

ก. การต่อลงดินและการแยกวงจรกระแสตรง	81
ข. ข้อเสนอแนะสำหรับการบำรุงรักษา	87
ค. การทดสอบและกระบวนการทดสอบก่อนใช้งาน	91
ง. กระบวนการทดสอบก่อนใช้งาน-เพิ่มเติม	97
จ. การป้องกันผลกระทบของฟ้าผ่าและแรงดันเกิน	101
ฉ. องค์ประกอบของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่	113
ช. การจำแนกประเภทแรงดันไฟฟ้าแบบเด็ดขาด	127
ซ. การต่อลงดินสำหรับระบบแบตเตอรี่	128
ณ. การออกแบบสายไฟ PV CABLE (ข้อเสนอแนะ)	136



Solar Rooftop system

บทที่ 3 ประเด็นด้านความปลอดภัย

- 3.1 ข้อกำหนดทั่วไป
- 3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (Electric Shock)
- 3.3 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)
- 3.4 การป้องกันความผิดพลาดลงดิน (Protection Against Earth Faults)
- 3.5 การป้องกันผลกระทบจากฟ้าผ่าและแรงดันเกิน (Protection Against Effect of Lightning and Overvoltage)



Solar Rooftop system

3.1 ข้อกำหนดทั่วไป

PV array ที่ติดตั้งใช้งานบนอาคารต้องมีค่า VOC ARRAY สูงสุด ดังนี้

- ไม่เกิน ~~600~~ 1,000 โวลต์ (DC) สำหรับอาคารประเภทบ้านอยู่อาศัย
- ไม่เกิน ~~1,000~~ 1,500 โวลต์ (DC) สำหรับอาคารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ บ้านอยู่อาศัย

Solar Rooftop system



3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (electric shock)

การสัมผัสโดยตรง(Direct contact) การสัมผัสส่วนที่ปกติมีกระแสไฟฟ้า เช่น สายไฟฟ้า

3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (electric shock)

สำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ เคเบิลและส่วนประกอบใน PV array ต้องถูกป้องกันขั้นต่ำด้วยฉนวนเสริม (reinforced insulation) ระหว่างสายตัวนำที่มีไฟกับส่วนต่อลงดิน หรือส่วนเปิดโล่งอื่น ๆ ที่นำไฟฟ้าได้



- เคเบิลที่ใช้ใน PV array ต้องเป็นดังนี้
 - ก. มีพิกัดอุณหภูมิที่เหมาะสมตามลักษณะการใช้งาน
 - ข. ถ้าต้องอยู่กับสิ่งแวดล้อมภายนอก ต้องเป็นแบบทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือได้รับการป้องกันจากแสงอัลตราไวโอเล็ตด้วยวิธีการที่เหมาะสม หรือต้องติดตั้งอยู่ภายในท่อที่มีการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต ต้องยึดหย่อน (สายตีเกลียวหลายเส้น) เพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของ PV array / PV module เนื่องจากความร้อนหรือลม
 - ค. ต้องไม่ลามไฟ ตามมาตรฐาน IEC 60332-1-3
- สำหรับเคเบิลแรงต่ำในทุกะบบ (string cable) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด BS EN 50618 หรือ PV2-F ตาม TUV 2 PfG 1169 หรือ UL 4703 หรือ VDE-AR-E 2283-4 หรือ IEC 62930

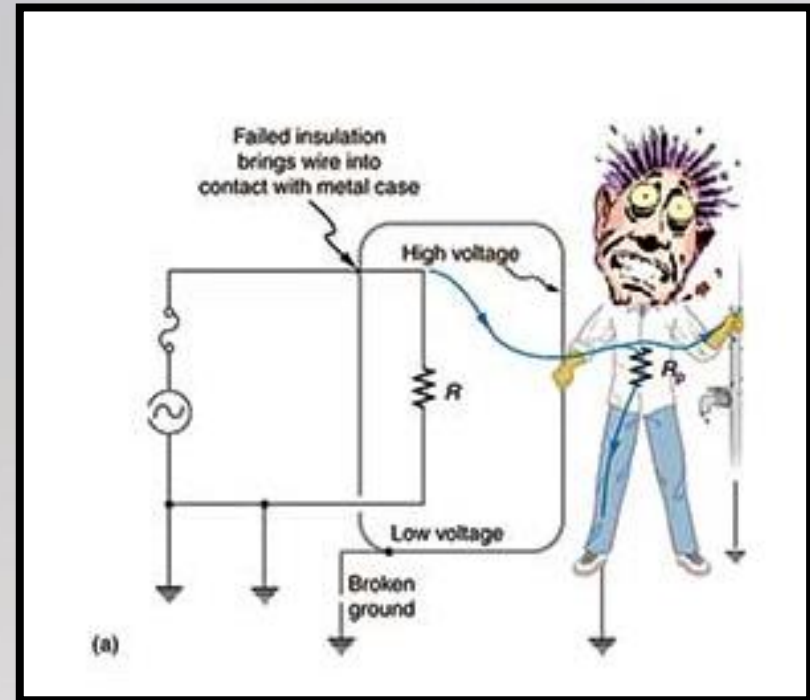
Solar Rooftop system



3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (electric shock)

การสัมผัสทางอ้อม (Indirect contact) การสัมผัสส่วนที่ปกติไม่มีกระแสไฟฟ้า
เช่น โครงโลหะอุปกรณ์ไฟฟ้า

การต่อลงดิน(Earthing)



Solar Rooftop system



3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (electric shock)

สำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ เคเบิลและส่วนประกอบใน PV array ต้องถูกป้องกันชั้นต่ำด้วยฉนวนเสริม (reinforced insulation) ระหว่างสายตัวนำที่มีไฟกับส่วนต่อลงดิน หรือส่วนเปิดโล่งอื่น ๆ ที่นำไฟฟ้าได้

ในระบบที่ซึ่งเอาต์พุตของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าต่อกับส่วนต่อลงดินเพื่อเป็นจุดอ้างอิง ถ้าใช้อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไม่แยกส่วน จะไม่อนุญาตให้มีตัวนำต่อลงดินตามหน้าที่ในด้านระบบกระแสตรง

Solar Rooftop system



3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (electric shock)

มาตรฐาน EIT, NEC

การต่อลงดิน(Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

(System grounding)

การต่อลงดินของบริเวณที่ไฟฟ้า

(Equipment grounding)

มาตรฐาน IEC

การต่อลงดิน(Earthing)

การต่อลงดินตามหน้าที่

(Functional earthing, FE)

การต่อลงดินของสายดินป้องกัน

(Protective earthing, PE)

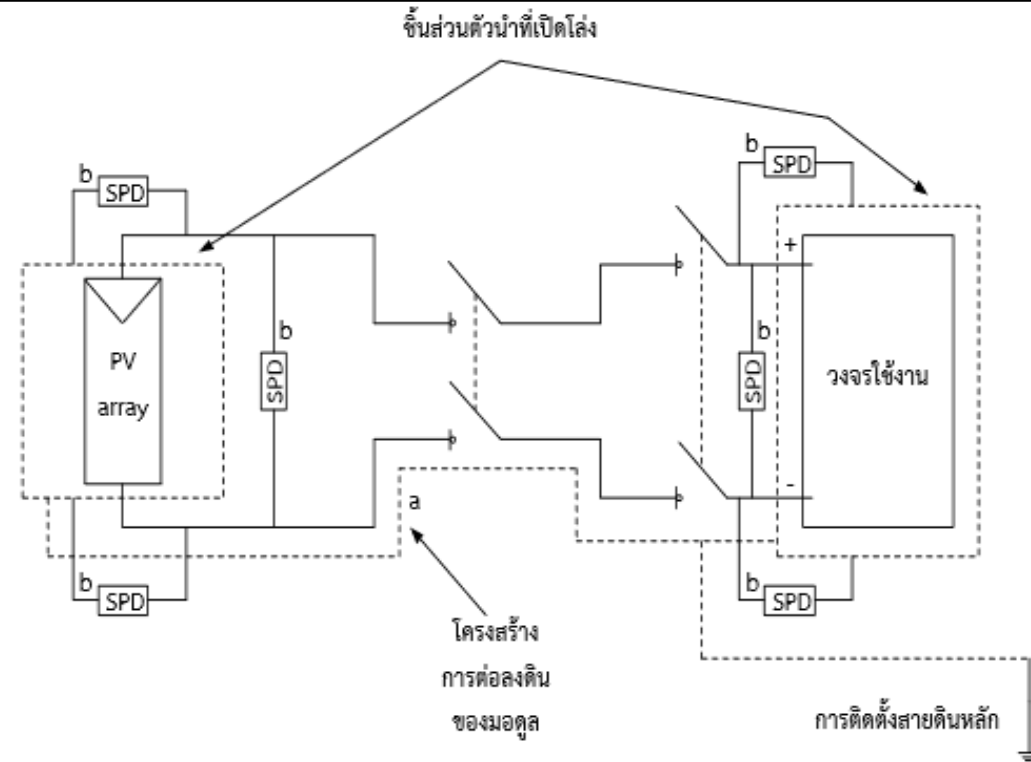


Solar Rooftop system

Grounding system(IT)

ระบบไม่มีการต่อลงดิน แต่ยังต้องมี สาย
ดินตัวนำป้องกัน(PE)

ตัวนำที่ใช้ในการต่อลงดินสำหรับ
โครงสร้างโลหะที่รองรับ PV array ต้อง
เป็นตัวนำทองแดงที่มีขนาดไม่ต่ำกว่า 4
ตารางมิลลิเมตร



Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน

การป้องกันกระแสเกินใน PV string

ต้องมีการป้องกันกระแสเกินใน PV string ถ้า

$$((S_A - 1) \times I_{SC \text{ MOD}}) > I_{MOD \text{ MAX OCPR}}$$

ถ้ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน PV module ภายใน PV string นั้นมีค่าต่ำกว่าค่า กระแสสูงสุดที่

PV module รับได้ (ข้อมูลจากผู้ผลิต)

PV string นั้นไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

Electrical characteristics	
Model	EE2320
Maximum power (Pmax)	320 W
Power tolerance	± 5%
Voltage at Pmax (Vmp)	37.85 V
Current at Pmax (Imp)	8.46 A
Short - circuit current (Isc)	9.05 A
Open - circuit voltage (Voc)	46.56 V
Weight (Approximate)	24.5 Kg
Dimension (mm.)	1956 x 992 x 40 mm
Maximum series fuse rating	15 A
Maximum System Voltage	1000 Vdc
All technical data Standard, test condition (STC)	
Air Mass (AM)	1.5
Irradiance	1000 W/m ²
Cell Temperature	25 °C

Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน

การป้องกันกระแสเกินใน PV string

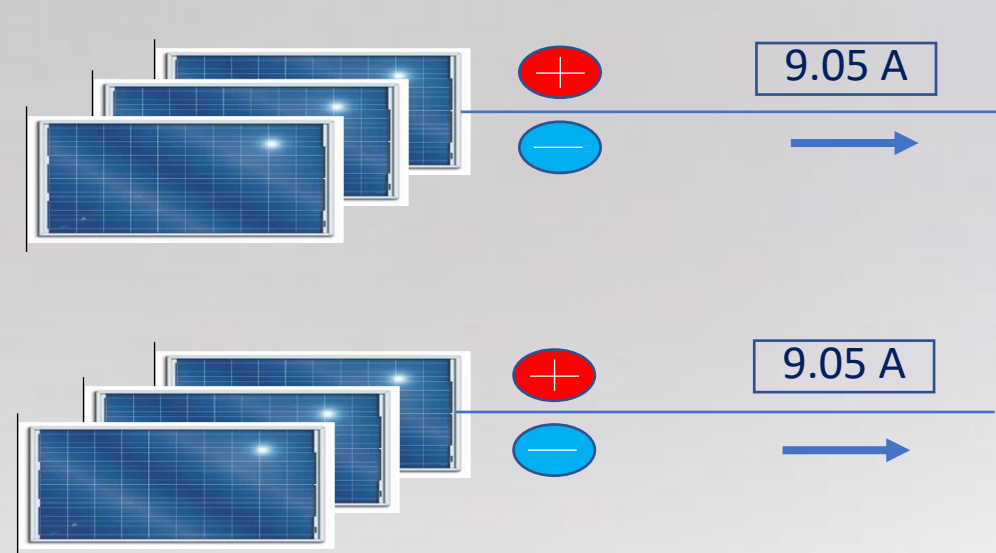
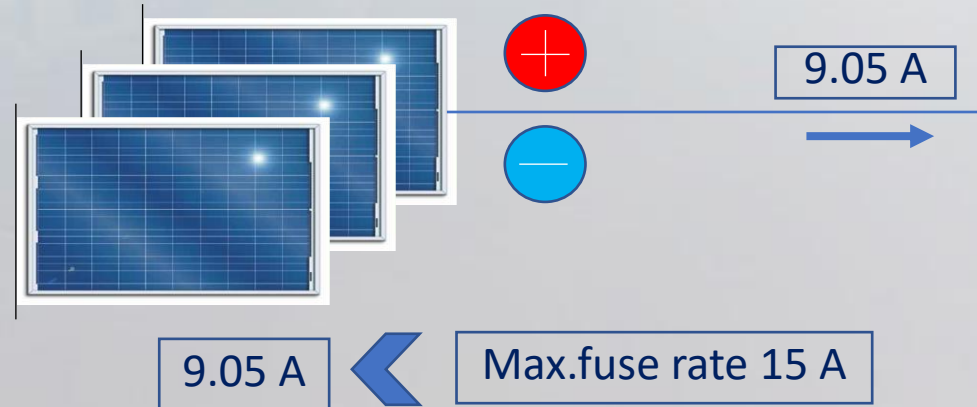
ต้องมีการป้องกันกระแสเกินใน PV string ถ้า

$$((S_A - 1) \times I_{SC \text{ MOD}}) > I_{\text{MOD MAX OCPR}}$$

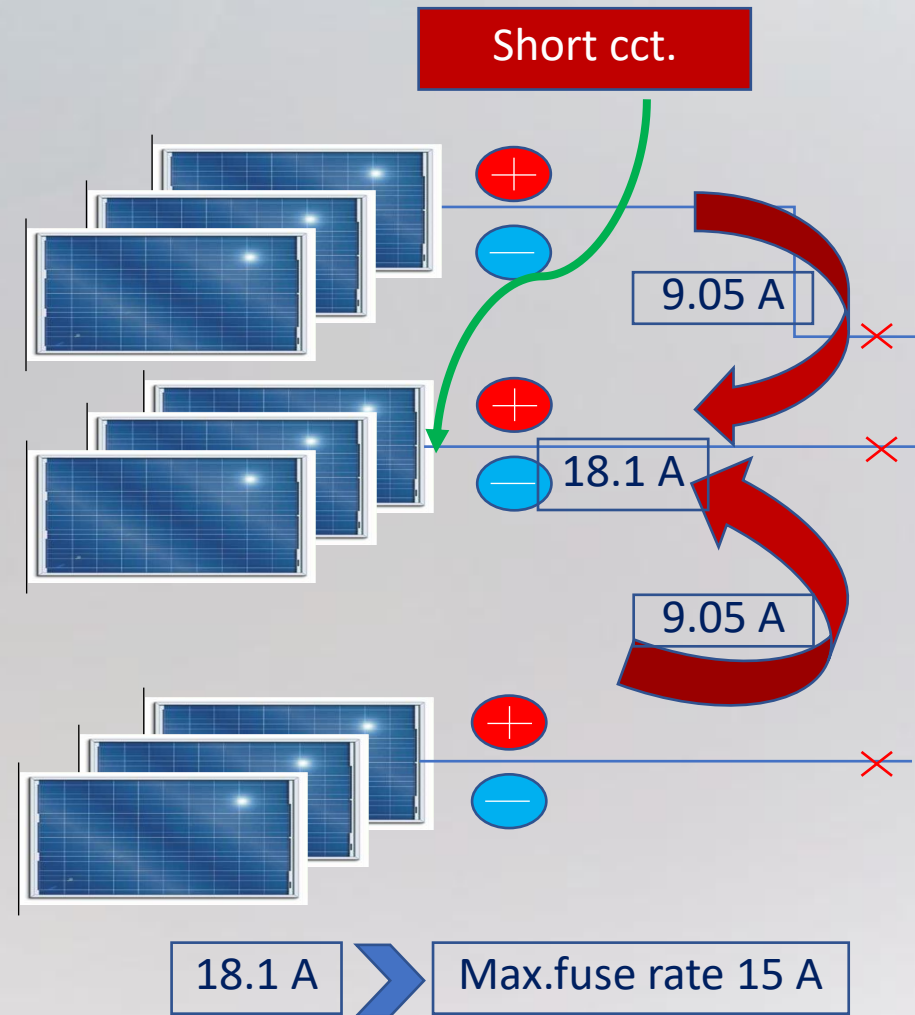
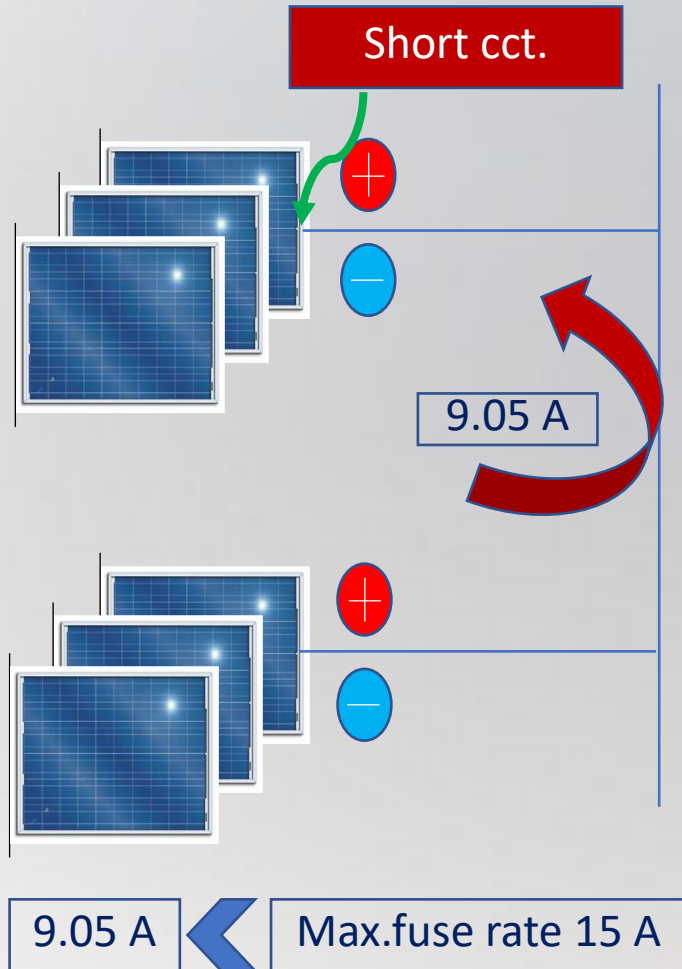
ถ้ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน PV module ภายใน PV string นั้นมีค่าต่ำกว่าค่า กระแสสูงสุดที่

PV module รับได้ (ข้อมูลจากผู้ผลิต)

PV string นั้นไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน



Solar Rooftop system



Solar Rooftop system



• 3 การป้องกันกระแสเกิน

• PV string

ถ้าต้องมีการป้องกันกระแสเกินใน PV string ให้พิจารณา ดำเนินการตามข้อใดข้อหนึ่ง ดังนี้

- PV string แต่ละแถว อาจจะมีการป้องกันด้วยอุปกรณ์ ป้องกันกระแสเกิน ที่พิกัด I_n โดยที่

$$1.5 \times I_{SC \text{ MOD}} > I_n < 2.4 \times I_{SC \text{ MOD}} \quad \text{และ} \quad I_n \leq I_{MOD \text{ MAX OCPR}}$$

- เมื่อ $I_{MOD \text{ MAX OCPR}}$ มากกว่า $5 \times I_{SC \text{ MOD}}$ PV string อาจถูก ต่อขนานรวมกันแล้วได้รับการป้องกันภายใต้อุปกรณ์ ป้องกันกระแสเกินหนึ่งตัว โดยที่

$$1.5 \times (S_g) \times I_{SC \text{ MOD}} \geq I_{ng} < I_{MOD \text{ MAX OCPR}} - (S_g - 1) \times I_{SC \text{ MOD}}$$

S_g คือ จำนวนของ PV string ภายในกลุ่มเดียวกัน ภายใต้การป้องกัน โดยอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินหนึ่งตัว

I_{ng} คือ พิกัดการป้องกันกระแสเกินที่ระบุสำหรับกลุ่มของ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน



PV array

- อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินในวงจร PV sub-array อาจไม่มีความจำเป็น ถ้ากระแสลัดวงจรรวมของ PV array ทั้งหมด คูณด้วย 1.25 มีค่าน้อยกว่าพิกัด นำกระแสของทุกเคเบิลของ PV sub-array อุปกรณ์ปลด-สับ และอุปกรณ์เชื่อมต่อ
- ถ้า PV array มีจำนวนมากกว่าสอง PV sub-array ต้องมีการติดตั้งการป้องกันกระแสเกินใน PV sub-array โดย พิกัดกระแสที่

$$1.25 \times I_{SC \text{ S-ARRAY}} \geq I_n \leq 2.4 \times I_{SC \text{ S-ARRAY}}$$

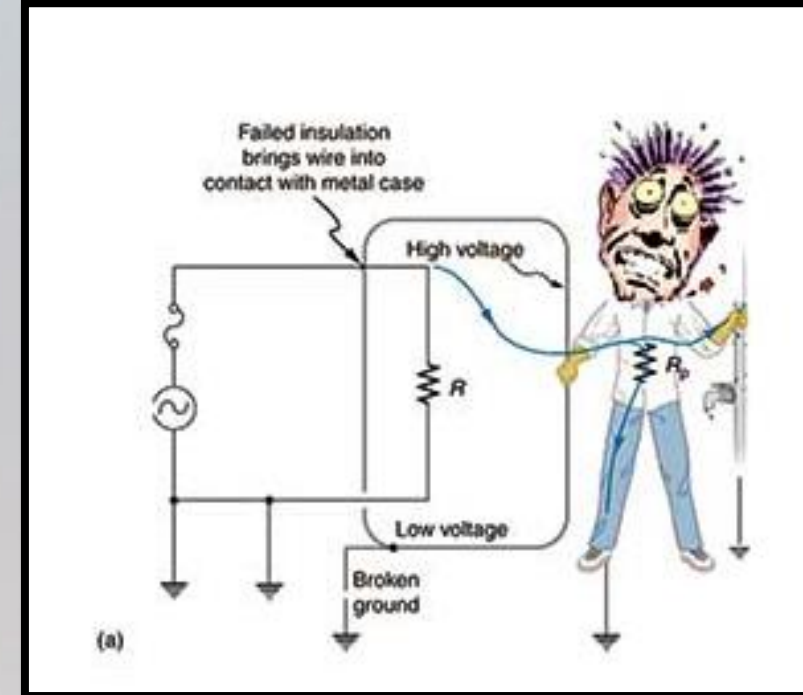


Solar Rooftop system

• 3.4 การป้องกันความผิดปกติ ลงดิน (Protection Against Earth Faults)

3.4.2 อินเวอร์เตอร์ภายในไม่มีหม้อแปลง
(Transformerless Inverter)

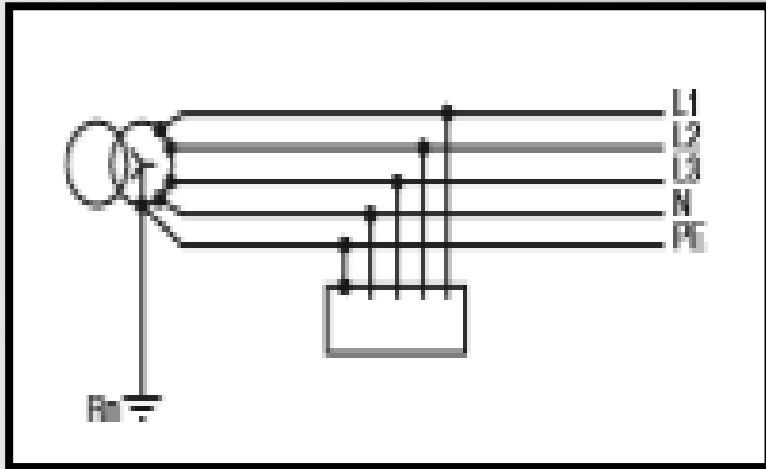
ห้ามต่อลงดินโดยตรงตามหน้าที่ (Functional
earthing) สำหรับตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน
กระแสตรง



Solar Rooftop system

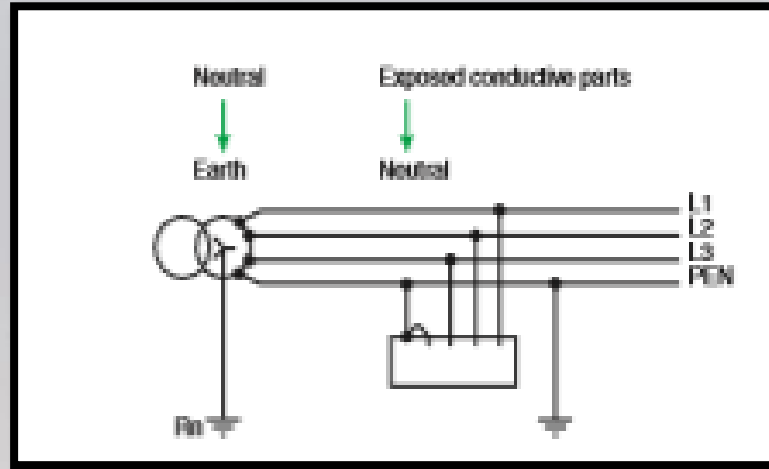


Grounding system



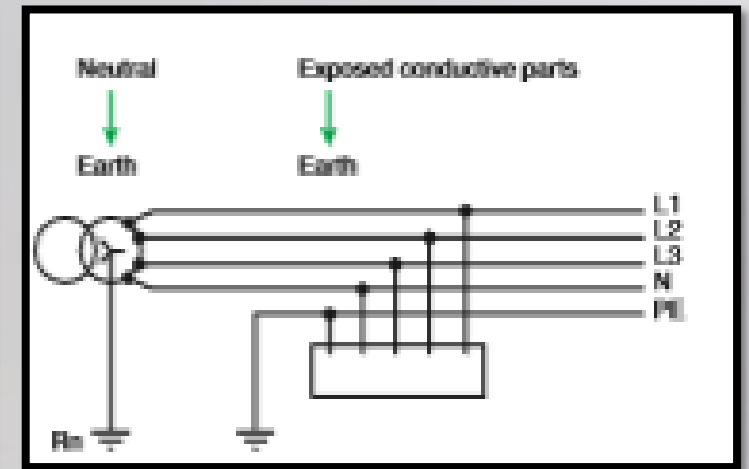
TN-S system

Grounded system



TN-C system

Grounded system



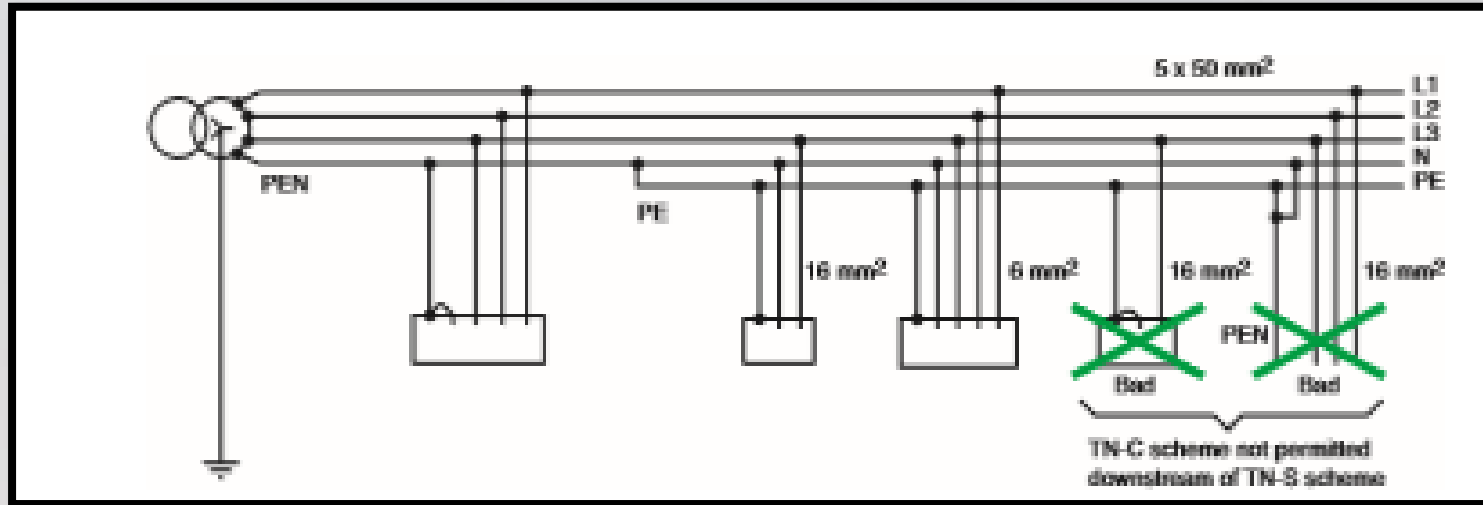
TT system

Grounded system

Solar Rooftop system



Grounding system



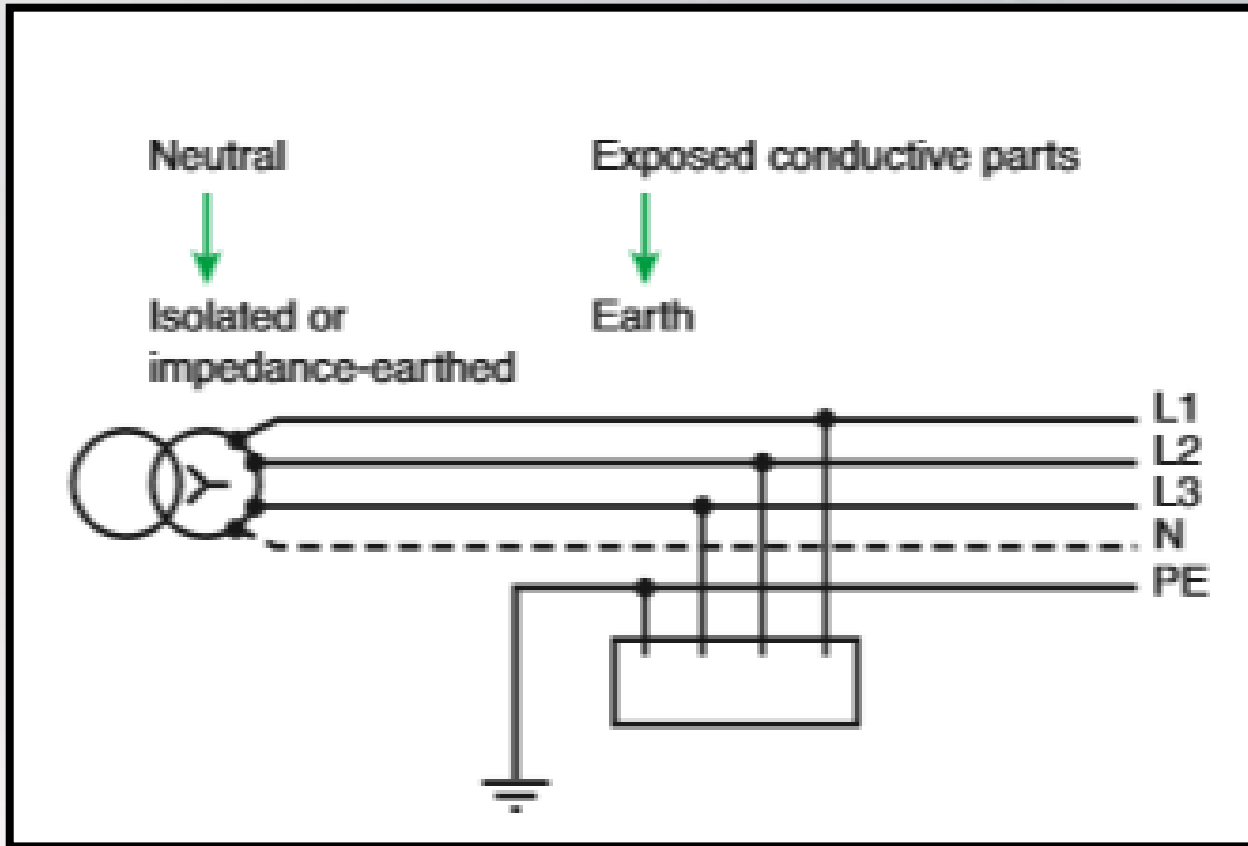
TN-C-S system (ประเทศไทยใช้ใน AC system)

Grounded system

Solar Rooftop system



Grounding system



IT system ใช้กับระบบที่มีความ
ปลอดภัยสูง ต้องการความต่อเนื่อง
เช่น ห้องผ่าตัด

ราคาแพง

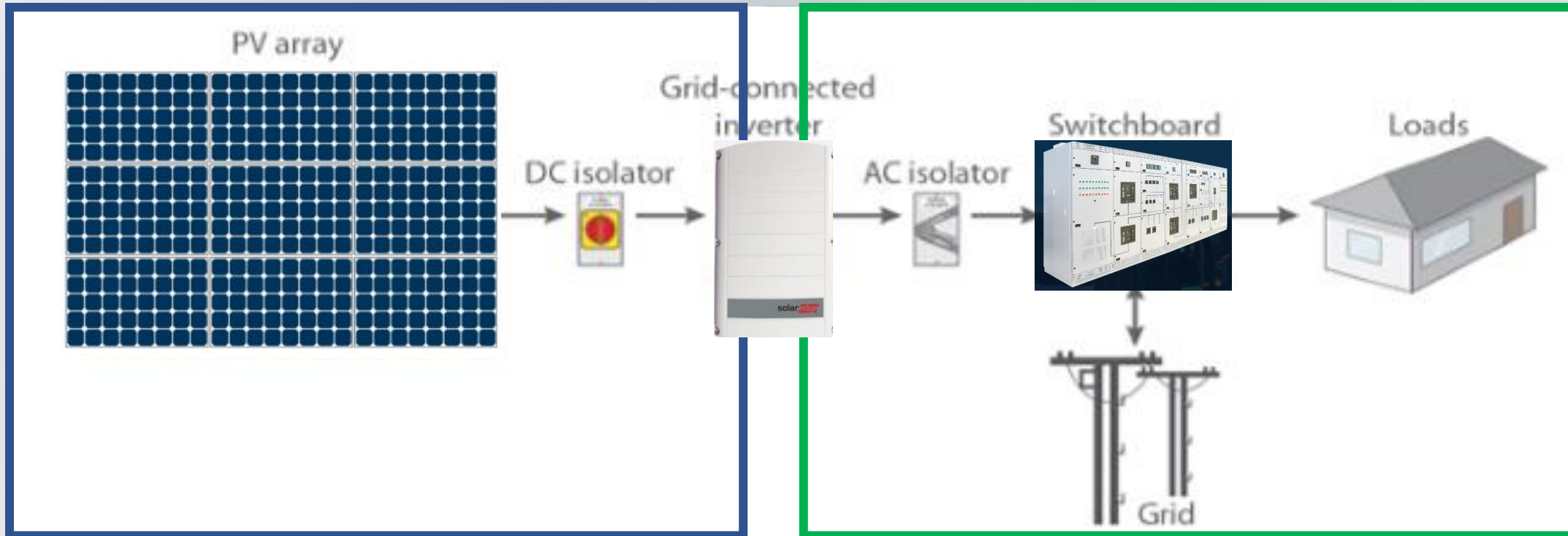
Ungrounded system

Solar Rooftop system



Earthing System	TN-C System	TN-S System	TT System	IT-1st fault System
fault current	strong $I_d \leq 20 \text{ kA}$	strong $I_d \leq 20 \text{ kA}$	medium $I_d \leq 20 \text{ A}$	weak $I_d \leq 0,1 \text{ A}$

Solar Rooftop system



Current source

DC 1000 V, 1500 V

Ungrounded system(IT)

Cannot be switch off

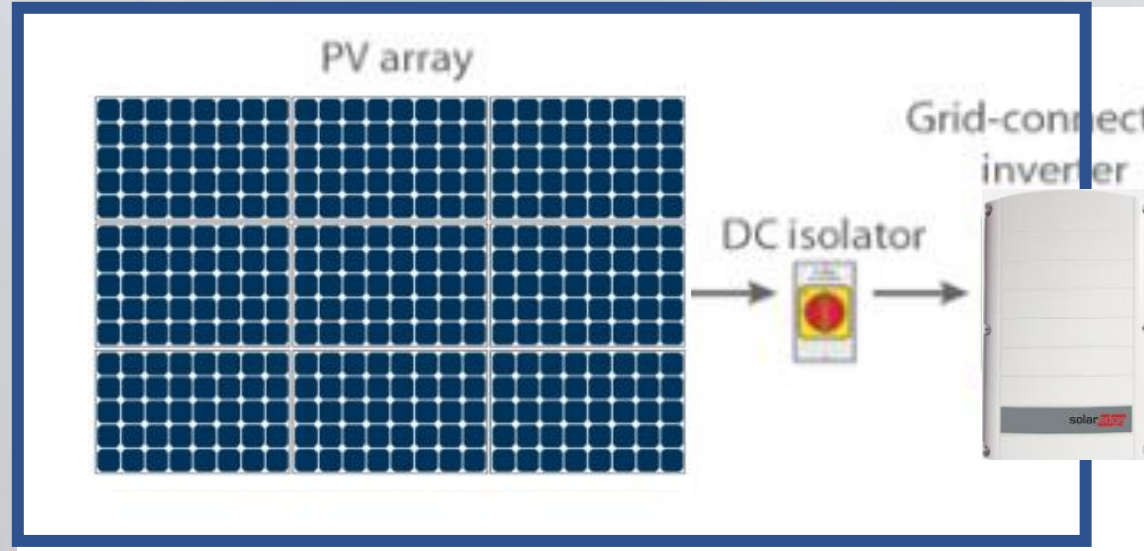
Voltage source

AC 3p(1p)400 V/230 V, 50Hz

Grounded system(TN-C-S)

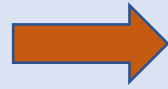
Can be switch off

Solar Rooftop system



DC-side

Current source



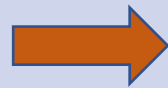
Isc -low



low I_c equipment

DC 1000 V, 1500 V

Ungrounded system(IT)



Fault current-very low(mA)

System remain continuity

Cannot be switch off

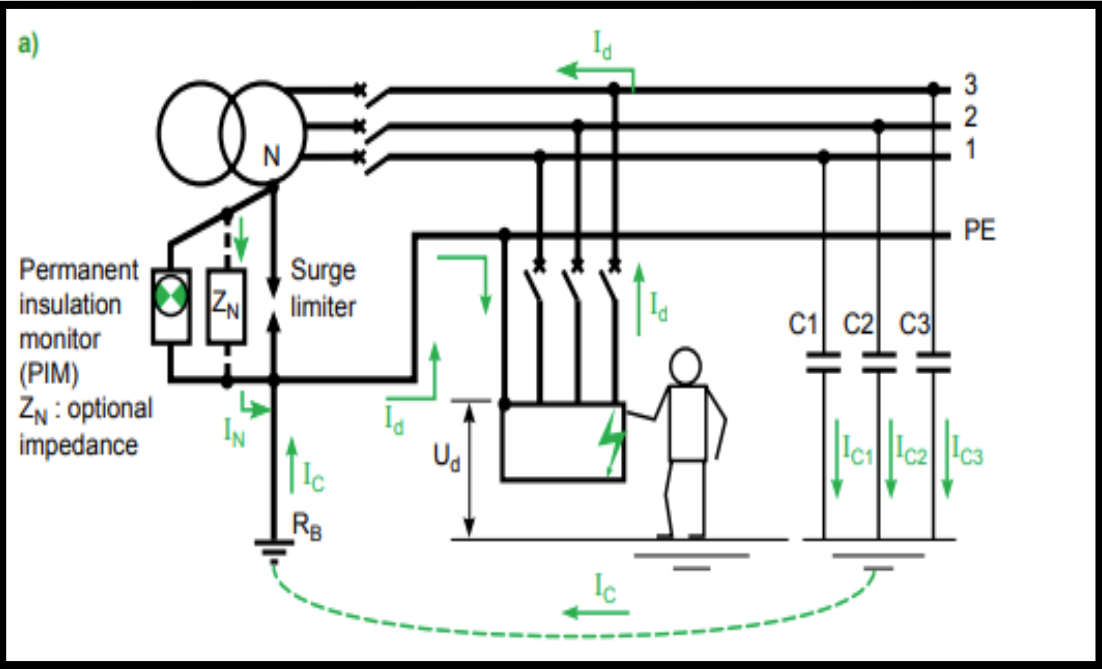


Serious hazard(2nd fault)

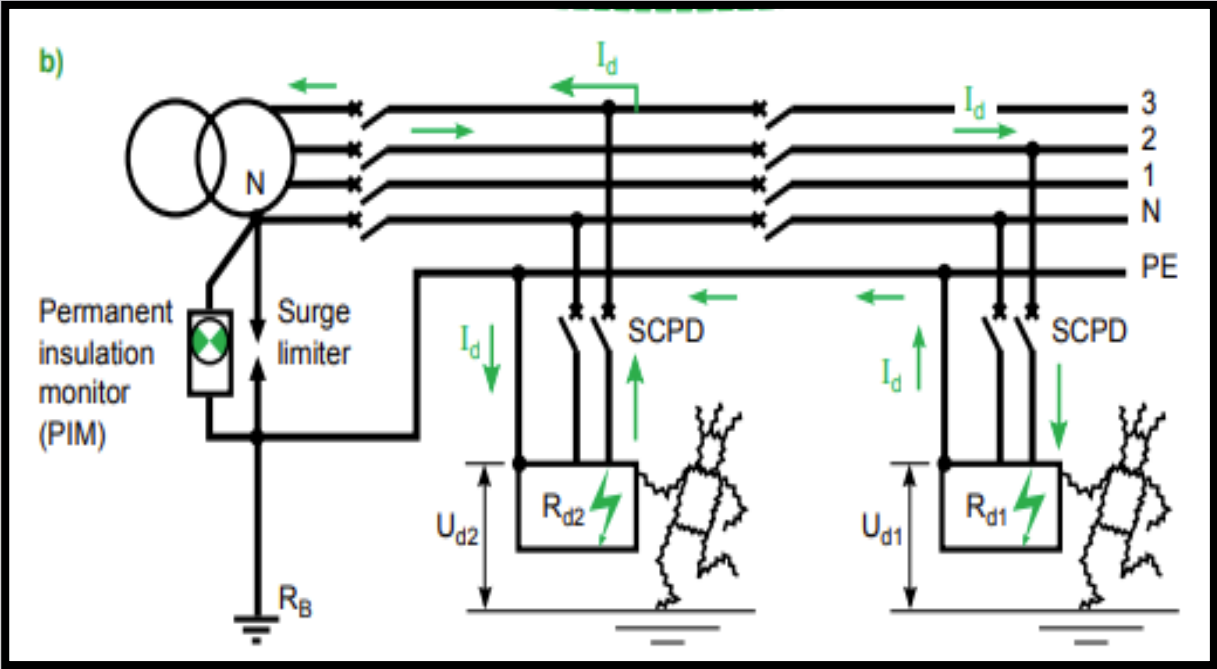


Solar Rooftop system

IT system 1st Fault



IT system 2nd Fault
(1st fault not eliminated)



Solar Rooftop system



ต้องมีการตรวจจับค่าความต้านทาน PV array โดยอุปกรณ์ตรวจวัดค่าฉนวนตาม IEC 61557-2 หรือ อุปกรณ์เฝ้าตรวจฉนวน (insulation monitoring device, IMD) ตาม Annex C ของ IEC 61557-8

หากการตรวจจับค่าความเป็นฉนวนระหว่าง PV array เทียบกับดินมีค่าต่ำกว่า R_{limit} ให้ อินเวอร์เตอร์หยุดการทำงาน (shutdown)

ตารางที่ 3.1 ค่าความเป็นฉนวนต่ำสุดระหว่าง PV array เทียบกับดิน

พิกัด PV array kW	ค่าความเป็นฉนวนต่ำสุดระหว่าง PV array เทียบกับดิน (R_{limit}), k Ω
≤ 20	30
> 20 ถึง ≤ 30	20
> 30 ถึง ≤ 50	15
> 50 ถึง ≤ 100	10
> 100 ถึง ≤ 200	7
> 200 ถึง ≤ 400	4
> 400 ถึง ≤ 500	2
> 500	1

Solar Rooftop system



การแจ้งเตือนฉนวนมิดพร่อง (Insulation alarm)

จะต้องมีการติดตั้งระบบแจ้งเตือนความมิดพร่องลงดิน ซึ่งนำไปสู่การแก้ไขความมิดพร่องดังกล่าว ระบบแจ้งเตือนจะต้องทำงานช้าอย่างน้อย

ทุก ๆ ชั่วโมง จนกว่าความมิดพร่องนั้นจะได้รับการแก้ไขเสร็จสิ้น

การแจ้งเตือนอาจอยู่ในรูปของเสียงเตือน เพื่อให้เจ้าหน้าที่ หรือเจ้าของ ที่ทำงานอยู่บริเวณนั้นรับรู้ถึงสัญญาณเตือน หรืออาจ

อยู่ในรูปแบบการสื่อสารแจ้งเตือนแบบอื่น ๆ เช่น จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ข้อความสั้น หรือ อื่น ที่คล้ายกัน เพื่อแจ้งเตือนผู้ดูแล

ระบบ

Solar Rooftop system



- 5 การป้องกันผลกระทบจากฟ้าผ่าและแรงดันเกิน
- (Protection Against Effect of Lightning and Overvoltage)

ฟ้าผ่าลงดินอาจเป็นอันตรายต่อ
โครงสร้างและสายที่ต่อเชื่อม วิธีการ
หลักที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับการ
ป้องกันความเสียหายต่อโครงสร้าง
คือ การใช้ระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่ง
ประกอบด้วย

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน



ควรต่อเชื่อมระบบ solar
rooftop กับระบบล่อฟ้า หรือไม่

Solar Rooftop system



5 การป้องกันผลกระทบจากฟ้าผ่าและแรงดันเกิน

(Protection Against Effect of Lightning and Overvoltage)

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

อาคารที่ไม่มีระบบล่อฟ้า

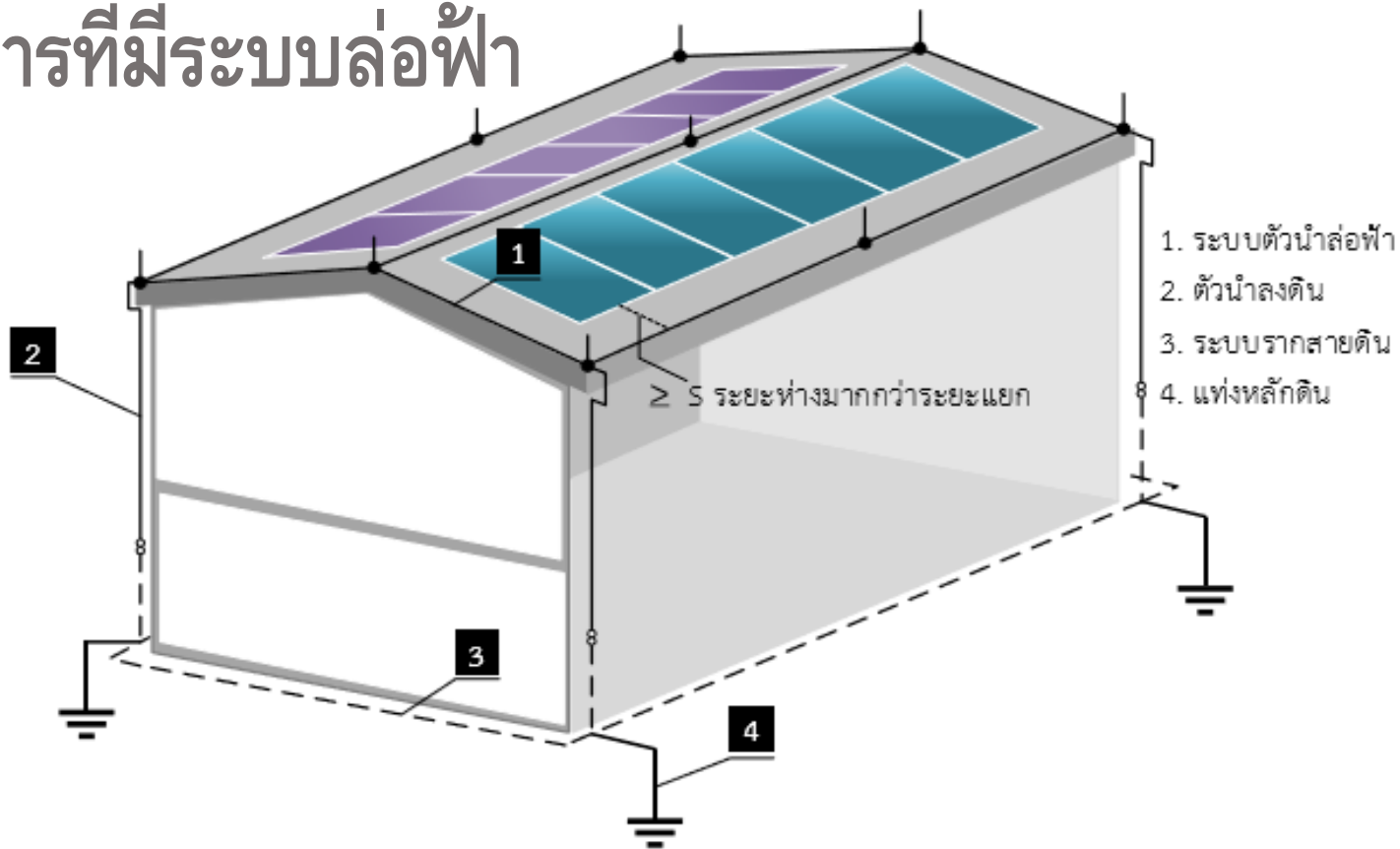
การติดตั้ง **PV array** บนอาคาร มีความเสี่ยงที่จะถูกฟ้าผ่าโดยตรง
ค่อนข้างต่ำ ถึงแม้ว่าอาคารนั้นไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าอยู่ ก็ไม่มีความ
จำเป็นที่จะต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มเติม



Solar Rooftop system

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

อาคารที่มีระบบล่อฟ้า



รูปที่ จ.1 ตัวอย่าง ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก โดยจะต้องรักษาระยะการแยก “S” ระหว่าง PV array และเสาป้องกันฟ้าผ่าแบบแยกอิสระไว้ให้ได้

เมื่อ PV array ได้รับการป้องกันด้วยระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ควรต้องคงระยะการแยกต่ำสุดระหว่างส่วนนำไฟฟ้าของ PV array และระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกไว้ให้ได้ เพื่อป้องกันกระแสฟ้าผ่าบางส่วน ไหลผ่านส่วนที่เป็นโลหะของ PV array

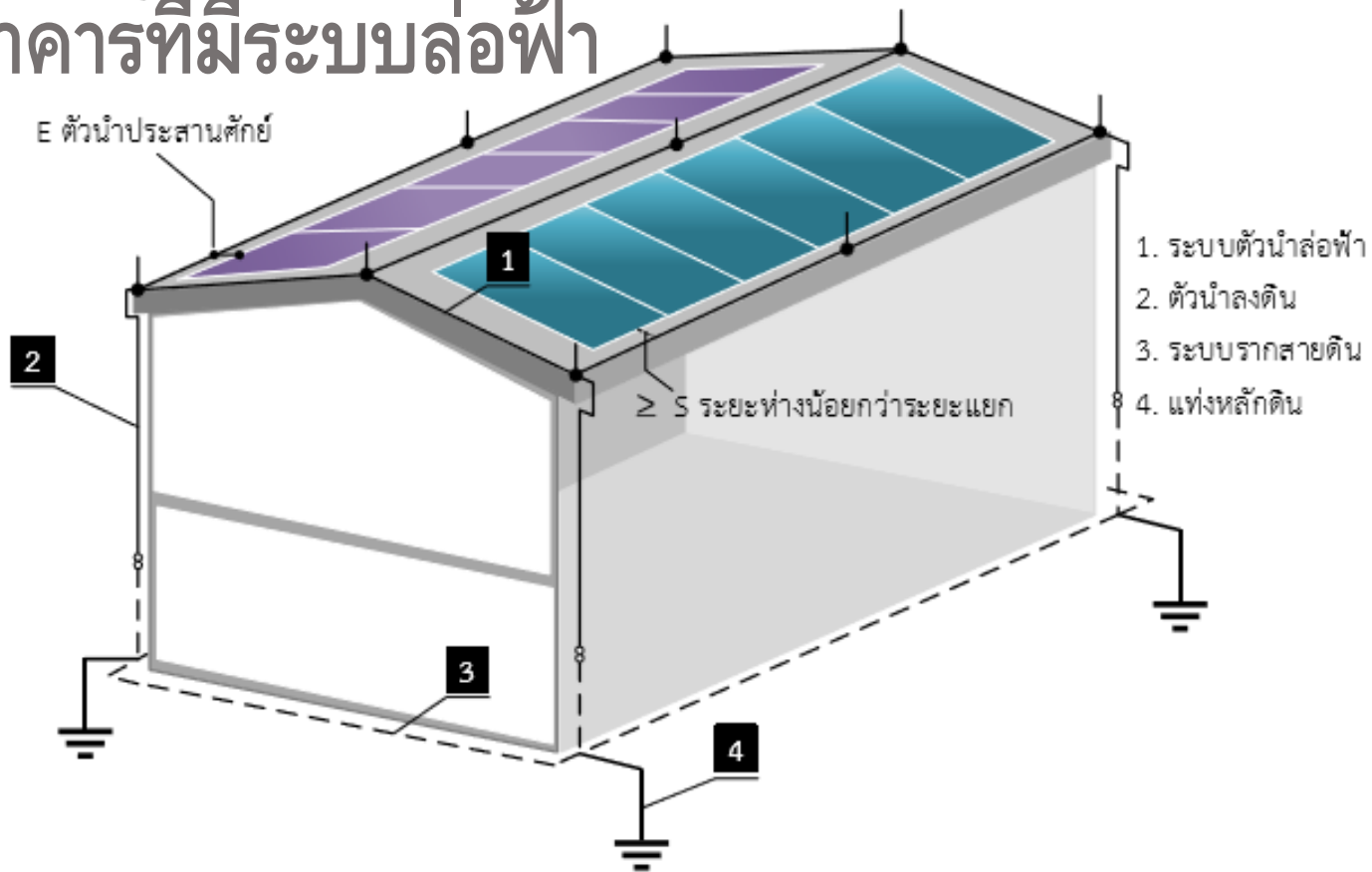
ระยะการแยก “S” เกิดจากระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่แยกอิสระจาก PV array

Solar Rooftop system

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก



อาคารที่มีระบบล่อฟ้า



รูปที่ จ.2 ตัวอย่างระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก โดยไม่สามารถรักษาระยะการแยก “S”
ระหว่าง PV array และเสาป้องกันฟ้าผ่าแบบแยกอิสระไว้ให้ได้

PV array ที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคาร และไม่สามารถรักษาระยะการแยกได้ เนื่องจากพื้นที่จำกัด จำเป็นจะต้องต่ออุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่ากับส่วนโลหะของ PV module เข้าด้วยกันโดยตรง

ระยะการแยก “S” เกิดจากระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่แยกอิสระจาก PV array

Solar Rooftop system



ระยะแยกเพื่อความปลอดภัย (Separation Distance)

วิธีคิดแบบง่าย (IEC 62305 Ed.2, Clause 6.3.2)

$$s = \frac{k_i}{k_m} \times k_c \times l \quad (\text{m})$$

l ความยาวของตัวนำลงดิน วัดจากจุดที่พิจารณา
ระยะการแยก กับจุดที่มีการประสานให้ศักย์เท่ากันที่
ใกล้ที่สุด

k_i ขึ้นอยู่กับการเลือกระดับการป้องกันฟ้าผ่า
(IEC 62305 Ed.2, Table 10)

Class of LPS	K_i
I	0.08
II	0.06
III and IV	0.04

k_m ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า
(IEC 62305 Ed.2, Table 11)

Material	K_m
Air	1
Concrete, bricks	0.5

k_c ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวนำลงดิน
(IEC 62305 Ed.2, Table 12)

Number of down conductor	K_c
1 (only in case of an isolated lightning Protection system)	1
2	0.66
3 and more	0.44

Solar Rooftop system



ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน

การป้องกันฟ้าผ่า	อุปกรณ์ป้องกันเสร็จด้านอินพุต และเอาต์พุตของอุปกรณ์แปลงผัน กำลังไฟฟ้า	อุปกรณ์ป้องกันเสร็จด้านรับ ไฟฟ้ากระแสสลับจากภายนอก
ไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก	อุปกรณ์ป้องกันเสร็จ class II ที่ถูกทดสอบ	อุปกรณ์ป้องกันเสร็จ class II ที่ถูกทดสอบ
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ที่รักษาระยะการแยก “S” ไว้ได้	อุปกรณ์ป้องกันเสร็จ class II ที่ถูกทดสอบ	อุปกรณ์ป้องกันเสร็จ class I ที่ถูกทดสอบ
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ที่รักษาระยะการแยก “S” ไว้ไม่ได้	อุปกรณ์ป้องกันเสร็จ class I ที่ถูกทดสอบ	อุปกรณ์ป้องกันเสร็จ class I ที่ถูกทดสอบ

Solar Rooftop system

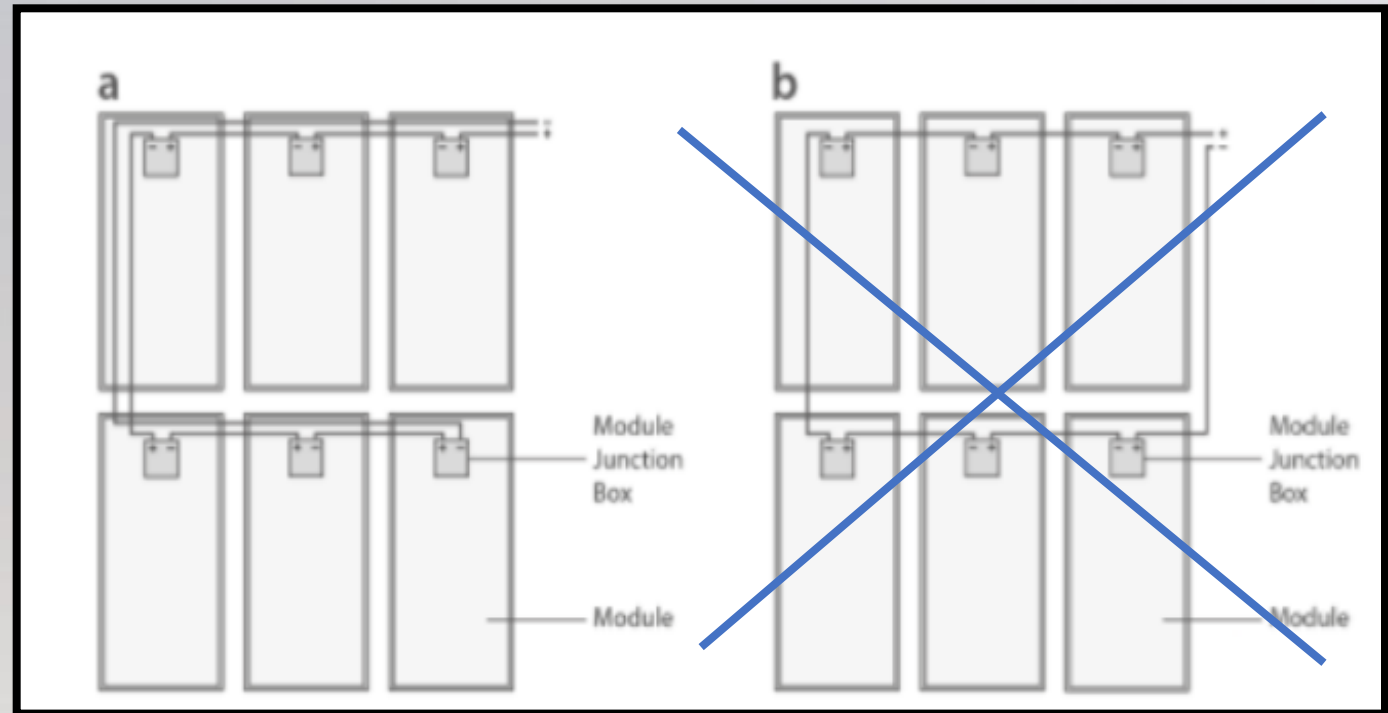


5 การป้องกันผลกระทบจากฟ้าผ่าและแรงดันเกิน

(Protection Against Effect of Lightning and Overvoltage)

การเดินสายเป็นวงรอบ (wiring loops)

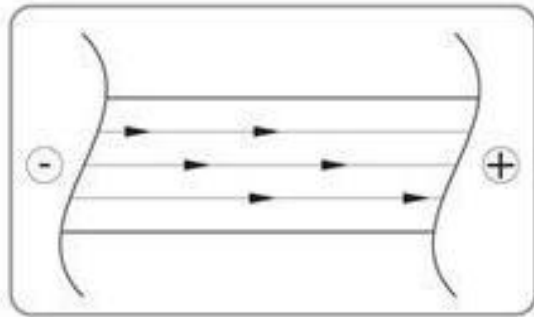
เพื่อลดขนาดของแรงดันเกินเหนี่ยวนำจาก
ฟ้าผ่า การเดินสายของ PV array ควรมีพื้นที่
วงรอบของตัวนำไฟฟ้าให้น้อยที่สุด



Solar Rooftop system

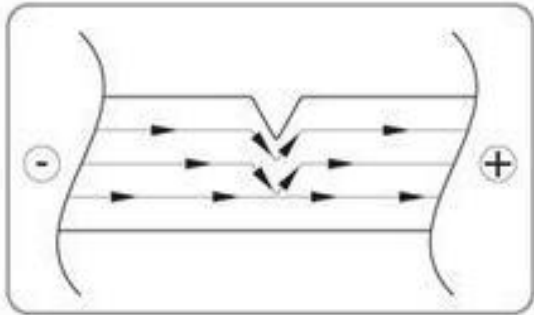


Solar Rooftop system



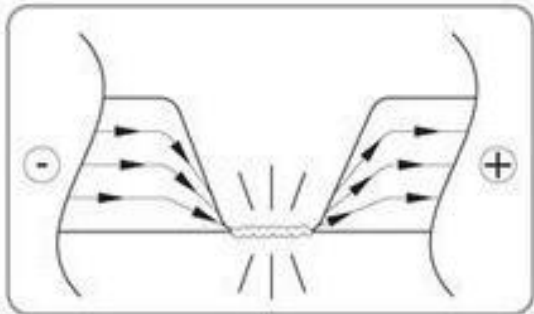
1. Unbroken conductor:

- The flow of current is uninhibited.



2. Damaged conductor (increased resistance):

- The current density is increased.
- The temperature of the conductor rises.
- The conductor melts.



3. Interrupted conductor (failure in continuity):

- The conductor is destroyed by heat.
- Plasma is created due to ionization.
- The current flows in the form of an electric arc



Temperature reaching above 3000°C, easily causes fires

Solar Rooftop system



DC Arc Fault Has Been Found the Major Cause of Fire in PV System



Where Does Arc Fault Occur in PV System ?

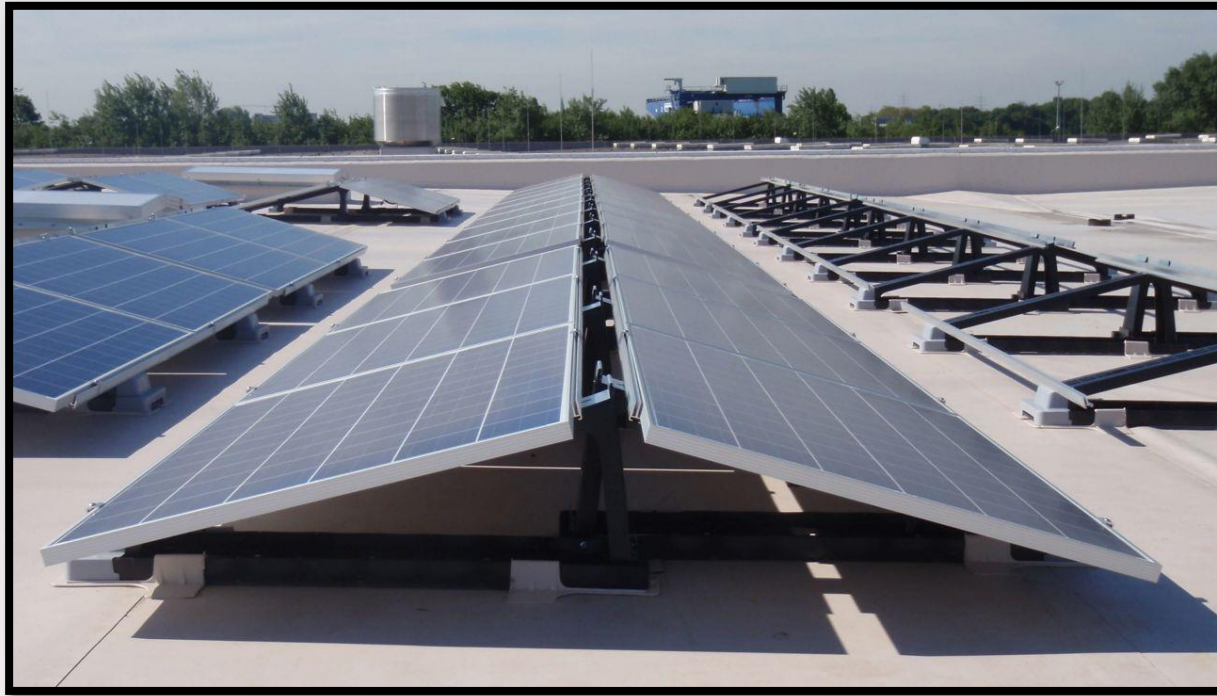
Poor welded PV module junction box, broken PV cables, loosen or incompatible PV connectors, etc.



Solar Rooftop system



ตาราง ณ2 พิกัดนำกระแสของ PV CABLE ที่
ambient temperature 60°C



ขนาดพื้นที่หน้าตัด (Sq.mm.)	เคเบิล 1 วงจรเดินในช่อง เดินสาย (A)
1.5	17
2.5	23
4	31
6	41
10	56
16	75
25	97
35	121
50	148
70	190
95	232
120	271
150	313
185	359
240	425
300	492
400	585

Solar Rooftop system



ตาราง ณ1 พิกัดน้ำกระแสของ PV
CABLE ที่ ambient temperature 70°C



ขนาดพื้นที่หน้าตัด (Sq.mm.)	เคเบิล 1 วงจรเดินในช่อง เดินสาย (A)
1.5	13
2.5	19
4	26
6	33
10	46
16	62
25	80
35	99
50	121
70	156
95	190
120	221
150	255
185	293
240	347
300	401
400	478

Solar Rooftop system



Connector - MC4 (IEC 62852)

Same type

Same manufacture



Multi-Contact MC4 male (above) and female (below) connectors. (Source: Multi-Contact AG.)

Solar Rooftop system



4.3.12 Arc Fault Circuit Interrupter

ต้องติดตั้ง AFCI ทางด้านกระแสตรงของอินเวอร์เตอร์ เพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้เนื่องจากความผิดพลาดจากอาร์ก (arc fault) และตัดวงจรทางด้านกระแสตรงภายใน 2.5 วินาที เมื่อเกิดความผิดพลาดจากอาร์ก (arc fault)

Solar Rooftop system

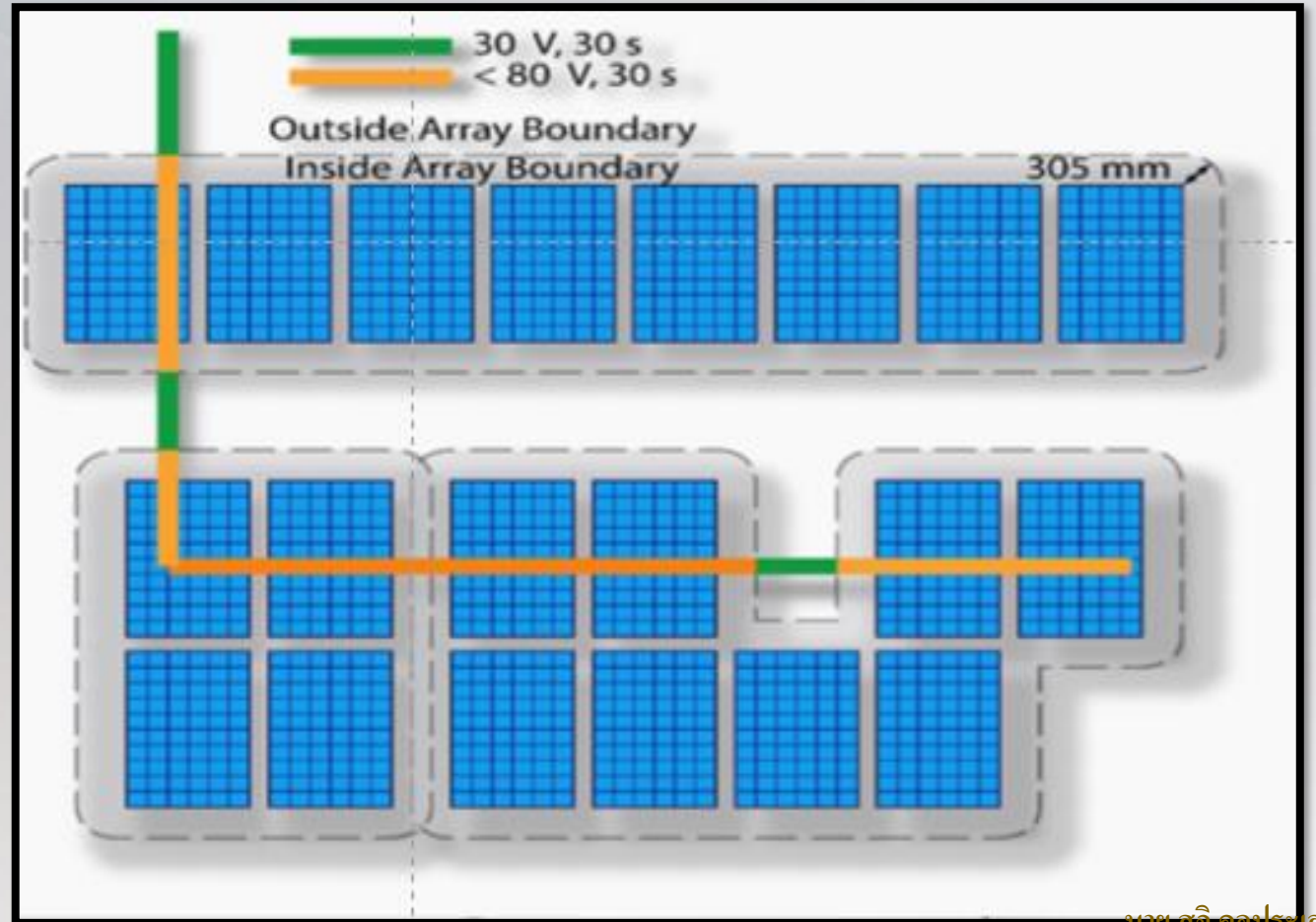
System cannot be switch off



Solar Rooftop system



ระบบหยุดทำงานฉุกเฉิน (Rapid Shutdown)



Solar Rooftop system



4.3.13 อุปกรณ์หยุดทำงานฉุกเฉิน (rapid shutdown)

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา “~~ควรพิจารณา~~” อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่หยุดทำงานฉุกเฉิน

ต้องติดตั้ง

อุปกรณ์หยุดทำงานฉุกเฉิน
ไฟฟ้าแสงอาทิตย์

สัญลักษณ์ต้องเป็น
ตัวอักษรสีขาวบนพื้นสีแดง

Solar Rooftop system



- 1,000Vdc บ้านอยู่อาศัย
- 1,500Vdc อาคารอื่นๆ
- **System cannot be switch off**
- การทำความสะอาด PV
- กลางวัน
- กลางคืน



Solar Rooftop



อาคารที่ทำการสภาวิศวกรแห่งใหม่

ขนาดกำลังการผลิต 45.12 กิโลวัตต์



Solar Rooftop system



ระบบ Solar Rooftop ที่ปลอดภัย

การออกแบบ

การเลือกใช้อุปกรณ์

การติดตั้ง

การบำรุงรักษา

