



ความปลอดภัยในการติดตั้ง
Solar Rooftop

นายสุจิ คอประเสริฐศักดิ์

Thai Electrical code Solar Rooftop Power Supply Installation



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 การป้องกันความผิดปกติของลงดิน (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 ตัวอย่างรูปแบบการเชื่อมต่อบริเวณกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ และระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	74
บทที่ 6 การทำสัญลักษณ์และเอกสาร	77

6.1 การทำสัญลักษณ์ของบริเวณ	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. การจำแนกประเภทแรงดันไฟฟ้าแบบเต็ดขาด	127
ซ. การต่อลงดินสำหรับระบบแบตเตอรี่	128
ณ. การออกแบบสายไฟ PV CABLE (ข้อเสนอแนะ)	136

Solar Rooftop system



บทที่ 3 ประเด็นด้านความปลอดภัย

- 3.1 ข้อกำหนดทั่วไป
- 3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (Protection Against Electric Shock)
- 3.3 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)
- 3.4 การป้องกันความผิดปกติของลงดิน (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)

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

Direct contact

ในระบบที่ซึ่งเอาท์พุทของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าต่อกับส่วนต่อลงดินเพื่อเป็นจุดอ้างอิง ถ้าใช้อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไม่แยกส่วน จะไม่อนุญาตให้มีตัวนำต่อลงดินตามหน้าที่ (functional earthing) ใน
ด้านระบบกระแสตรง

Indirect contact



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



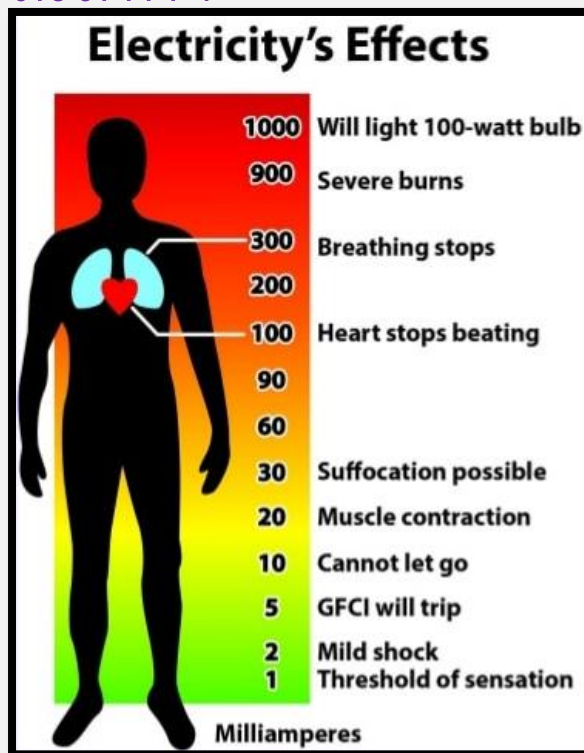
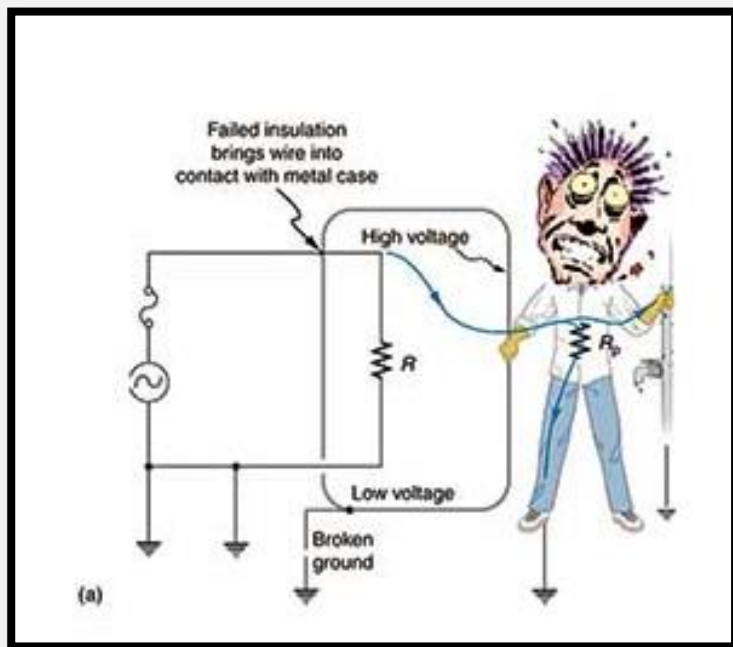
- เคเบิลที่ใช้ใน PV array ต้องเป็นดังนี้
- ก. มีพิกัดอุณหภูมิที่เหมาะสมตามลักษณะการใช้งาน
- ข. ถ้าต้องอยู่กับสิ่งแวดล้อมภายนอก ต้องเป็นแบบทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือได้รับการป้องกันจากแสงอัลตราไวโอเล็ตด้วยวิธีการที่เหมาะสม หรือต้องติดตั้งอยู่ภายในท่อที่มีการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต ต้องยึดหยุ่น (สายตีเกลียวหลายเส้น) เพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของ PV array / PV module เนื่องจากความร้อนหรือลม
- ค. ต้องไม่ลามไฟ ตามมาตรฐาน IEC 60332-1-3 หรือ IEC 60332-1-2
- 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 ต้องถูกป้องกัน
ชั้นต่ำด้วยฉนวนเสริม (reinforced insulation) ระหว่างสายตัวนำที่มีไฟกับส่วนต่อลง
ดิน หรือส่วนเปิดโล่งอื่น ๆ ที่นำไฟฟ้าได้

ในระบบที่ซึ่งเอาต์พุตของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าต่อกับส่วนต่อลงดินเพื่อ
เป็นจุดอ้างอิง ถ้าใช้อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไม่แยกส่วน จะไม่อนุญาตให้มี
ตัวนำต่อลงดินตามหน้าที่ (functional earthing) ในด้านระบบกระแสตรง

Solar Rooftop system



3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (electric shock)

มาตรฐาน EIT, NEC

การต่อลงดิน(Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

(System grounding)

การต่อลงดินของบริเวณที่ไฟฟ้า

(Equipment grounding)

มาตรฐาน IEC

การต่อลงดิน(Earthing)

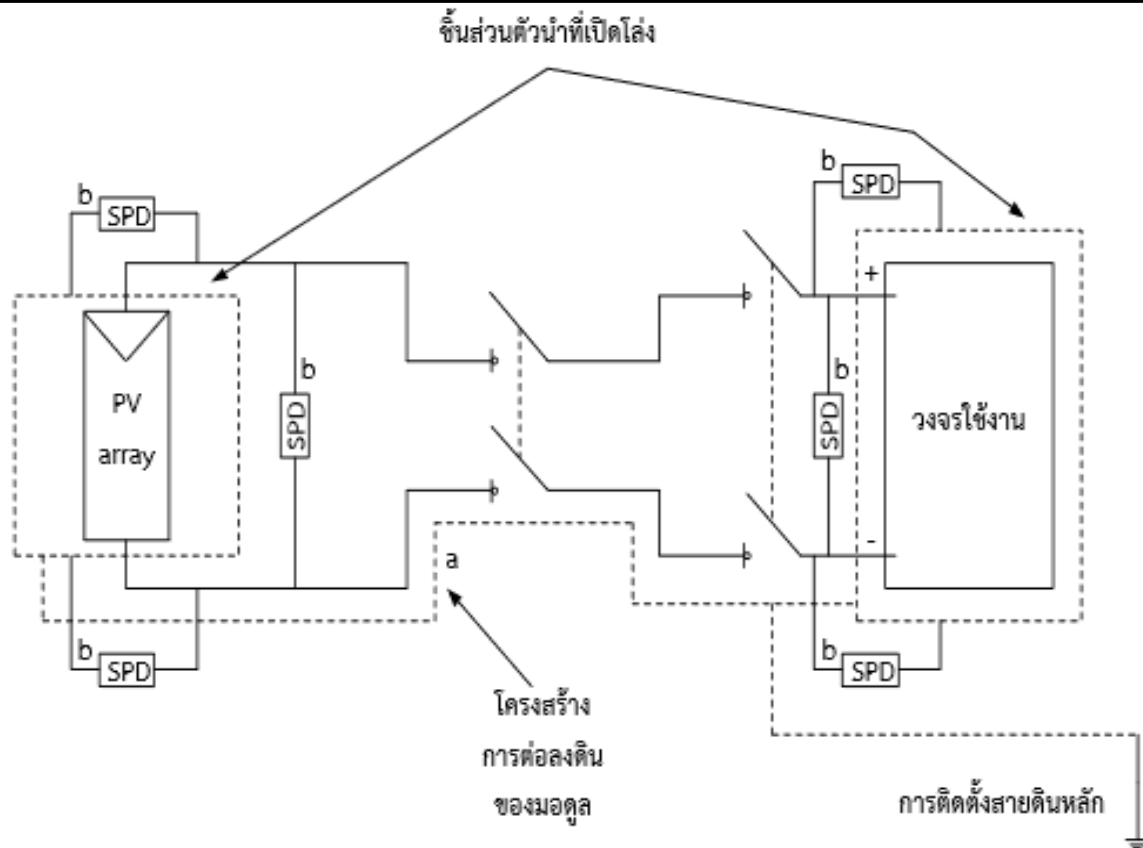
การต่อลงดินตามหน้าที่

(Functional earthing, FE)

การต่อลงดินของสายดินป้องกัน

(Protective earthing, PE)

Solar Rooftop system



Earthing system(IT)

ระบบไม่มีการต่อลงดิน แต่ยังต้องมีสายดินตัวนำป้องกัน(PE)ตัวนำที่ใช้ในการต่อลงดินสำหรับโครงสร้างโลหะที่รองรับ PV array ต้องเป็นตัวนำทองแดงที่มีขนาดไม่ต่ำกว่า 4 ตารางมิลลิเมตร

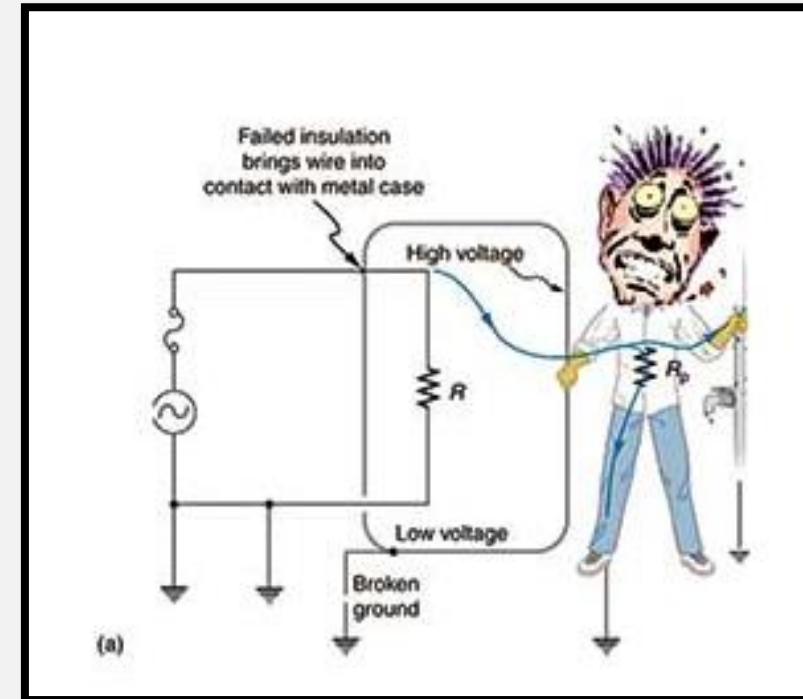
Solar Rooftop system



3.4 การป้องกันความผิดพลาดลงดิน (Protection Against Earth Faults)

3.4.2 อินเวอร์เตอร์ภายในไม่มีหม้อแปลง (Transformerless Inverter)

ห้ามต่อลงดินโดยตรงตามหน้าที่ (Functional earthing) สำหรับตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน กระแสตรง



Solar Rooftop system



- TN System
the transformer neutral is earthed
the electrical load frames are connected to neutral
- TT System
the transformer neutral is earthed
the electrical load frames are also earthed
- IT System
the transformer neutral is not earthed or via a high impedance earthing connection.
the electrical load frames are earthed

Solar Rooftop system



The First Letter



how the Earthing is done on Source side (Generator / Transformer).

T – (French word “Terre” meaning Earth) –connected to the earth

I – Isolated from the Earth or connected via high impedance

The Second Letter



how the Earthing is done on Device side (Frame connection)

T –direct connected to the earth

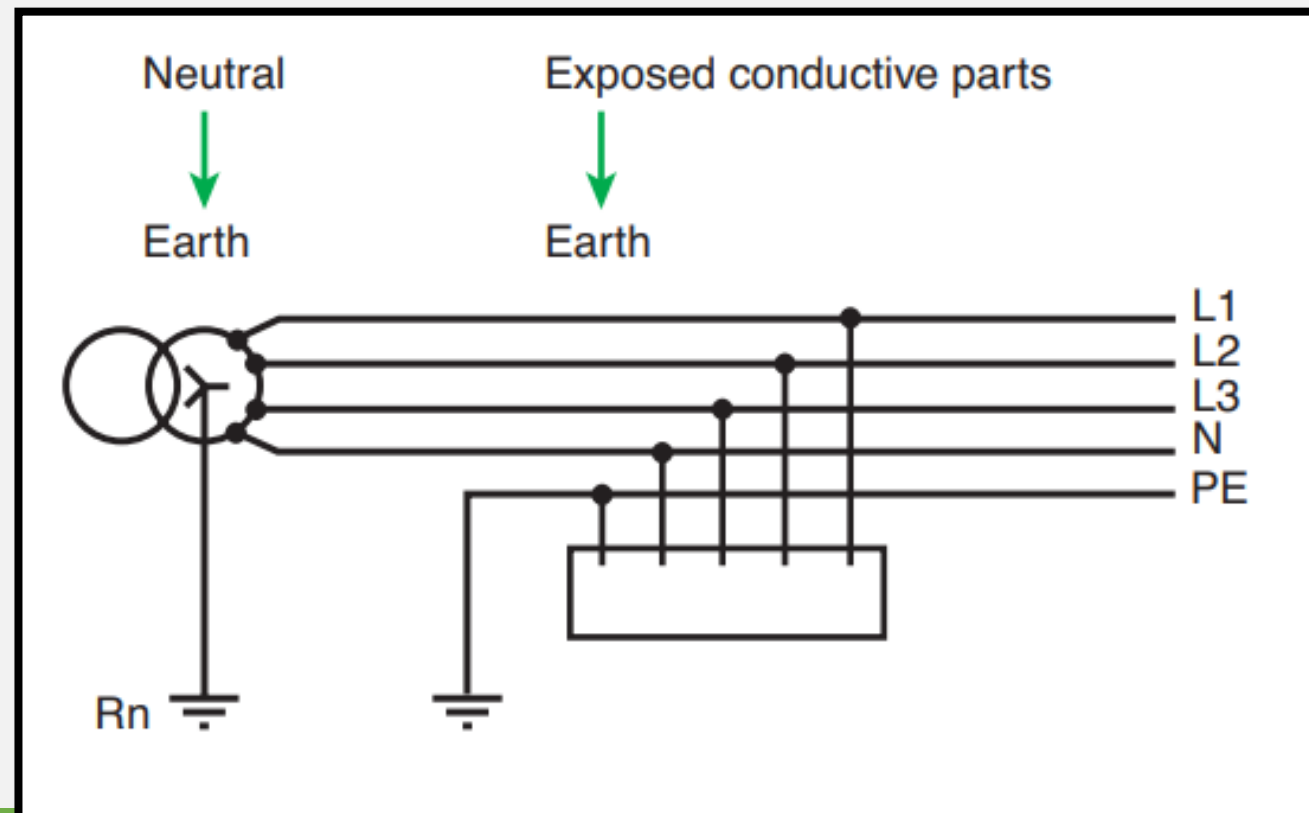
N –connected to the neutral at the source of installation which is connected to the earth

Solar Rooftop system



TT System

the transformer neutral is earthed
the electrical load frames are also earthed



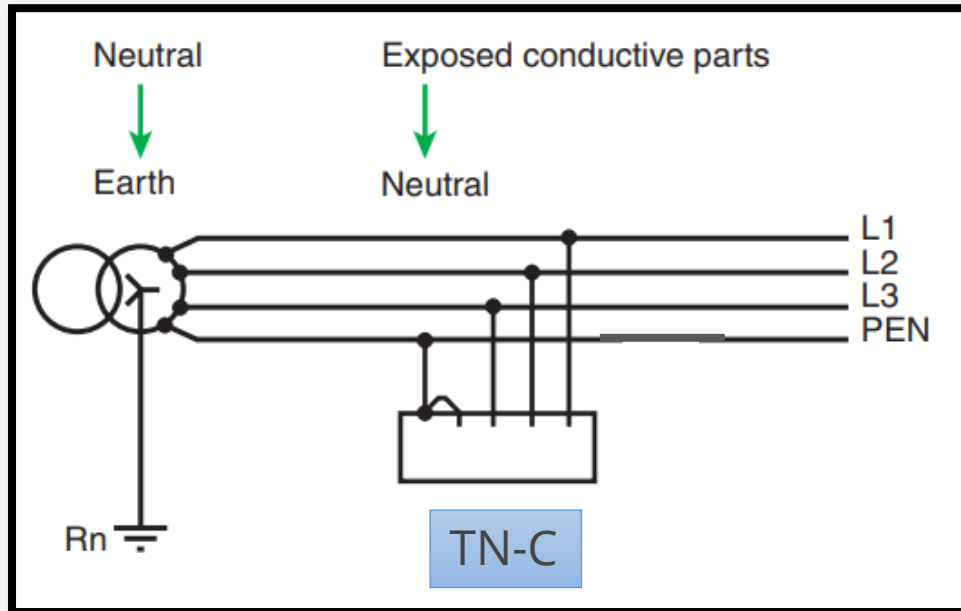
Solar Rooftop system



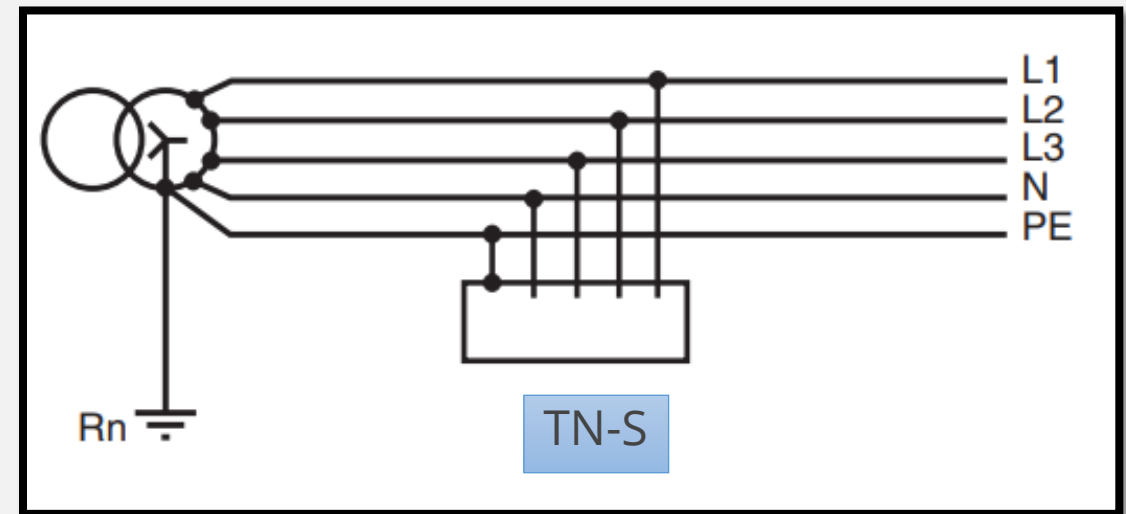
TN System

the transformer neutral is earthed

the electrical load frames are connected to neutral



the same conductor acts as a neutral and a protective conductor



the neutral and the protective conductor are separate

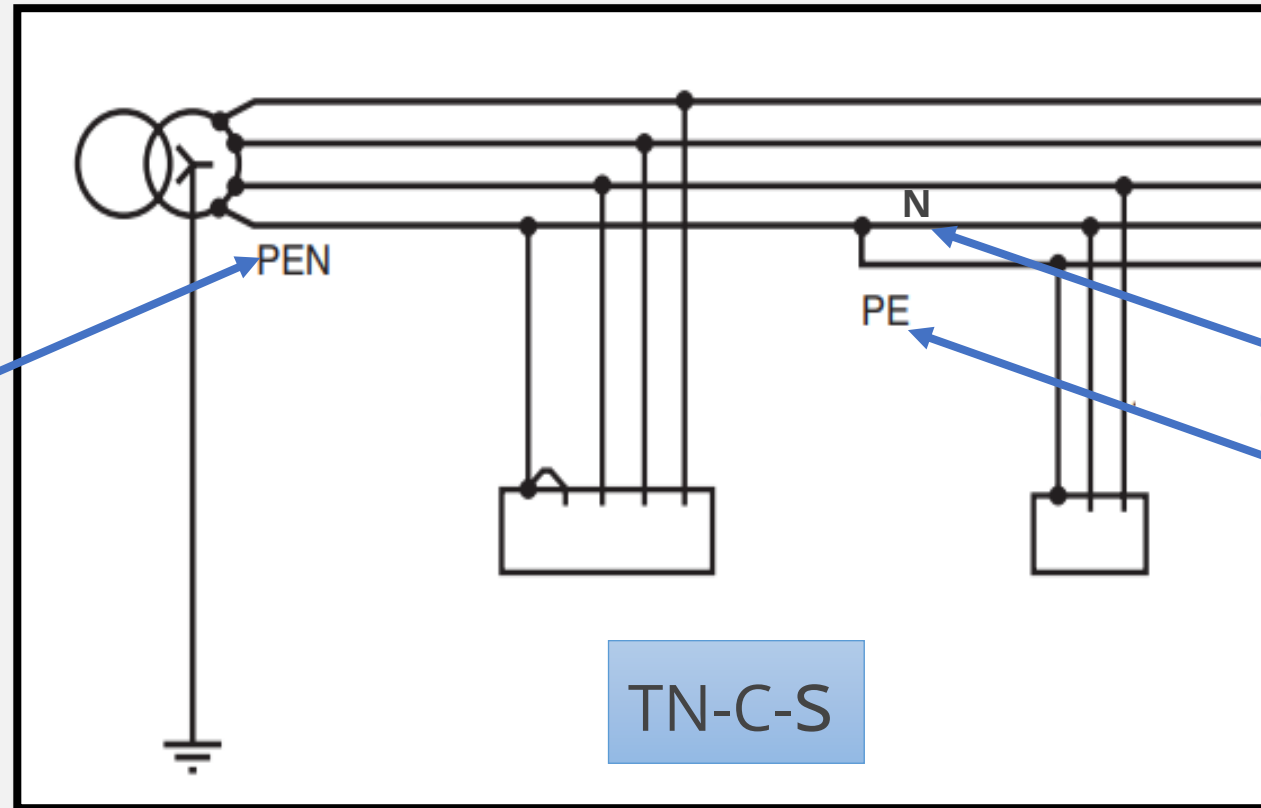
Solar Rooftop system



TN System

the transformer neutral is earthed

the electrical load frames are connected to neutral



PEN as a
neutral and a
protective
conductor

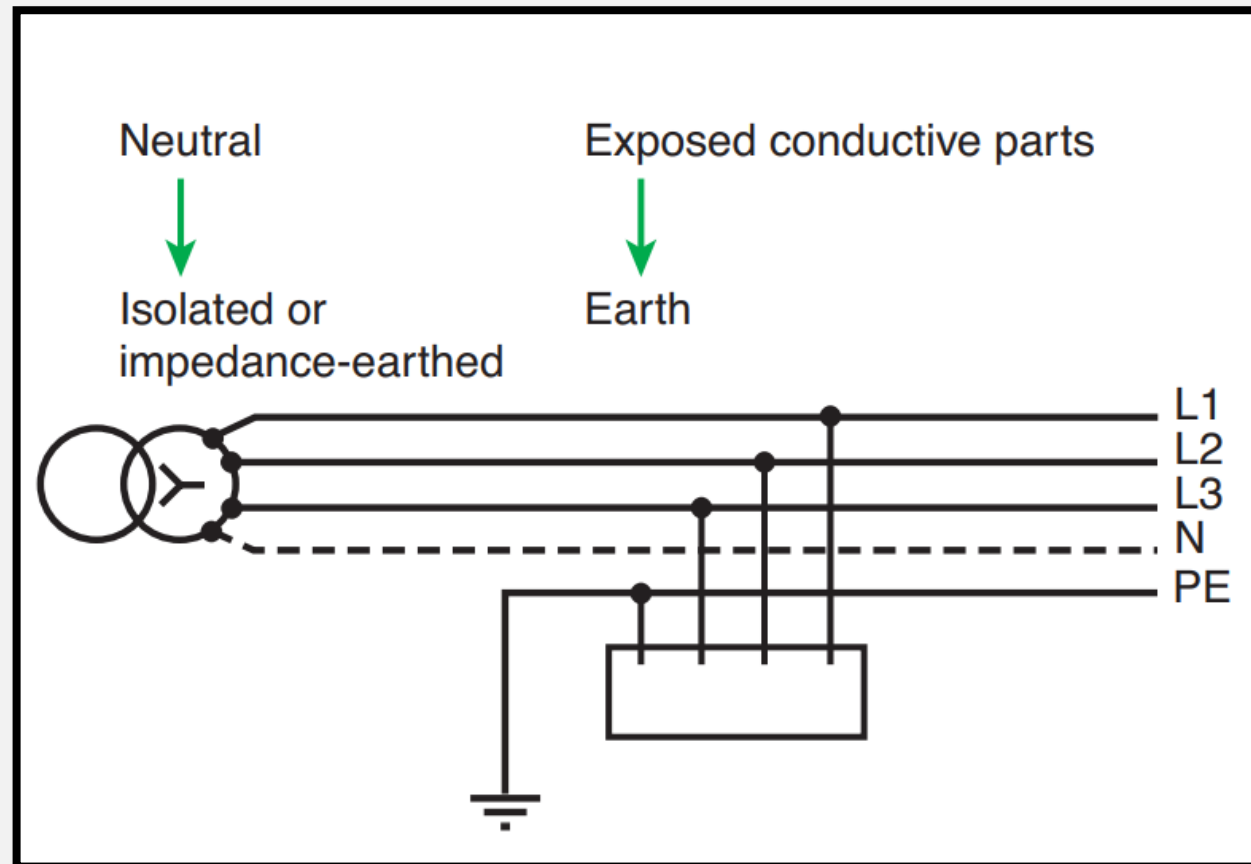
the neutral and
the protective
conductor are
separate

Solar Rooftop system



IT System the transformer neutral is not earthed or via a high impedance earthing connection.

the electrical load frames are earthed



Solar Rooftop system



มาตรฐาน EIT, NEC

การต่อลงดิน(Grounding)

การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

(System grounding)

การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

(Equipment grounding)

มาตรฐาน IEC

การต่อลงดิน(Earthing)

การต่อลงดินตามหน้าที่

(Functional earthing, FE)

การต่อลงดินของสายดินป้องกัน

(Protective earthing, PE)

Solar Rooftop system



การต่อลงดินตามมาตรฐาน วสท.

การต่อลงดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)

หมายถึง การต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านลงดิน เช่น การต่อจุดนิวทรัล (Neutral Point) ลงดิน

2) การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (Equipment Grounding)

หมายถึง การต่อส่วนที่เป็น โลหะ ที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของ อุปกรณ์ต่าง ๆ ลงดิน

การต่อลงคืนตามมาตรฐาน วสท.



Solar Rooftop system



การต่อลงดินตามมาตรฐาน วสท.

- 1 สายต่อหลักดิน(**System Grounding**) ตาราง 4-1(พิจารณาจากขนาดของตัวนำประธาน)
- 2 สายดินบริภัณฑ์ไฟฟ้า (**Equipment Grounding**) ตาราง 4-2 (พิจารณาจากขนาดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน)
- 3 สายต่อฝากระหว่าง สายศูนย์และสายดิน(N – G) ตาราง 4-1 +

Solar Rooftop system



การต่อลงดินตามมาตรฐานวสท.

ตารางที่ 4-1

ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน
ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
ไม่เกิน 35	10*
เกิน35แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน50แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน95แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน185แต่ไม่เกิน 300	50
เกิน300แต่ไม่เกิน 500	70
เกิน 500	95



Solar Rooftop system

การต่อลงดินตามมาตรฐานวสท.

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของ เครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
20	2.5*
40	4*
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

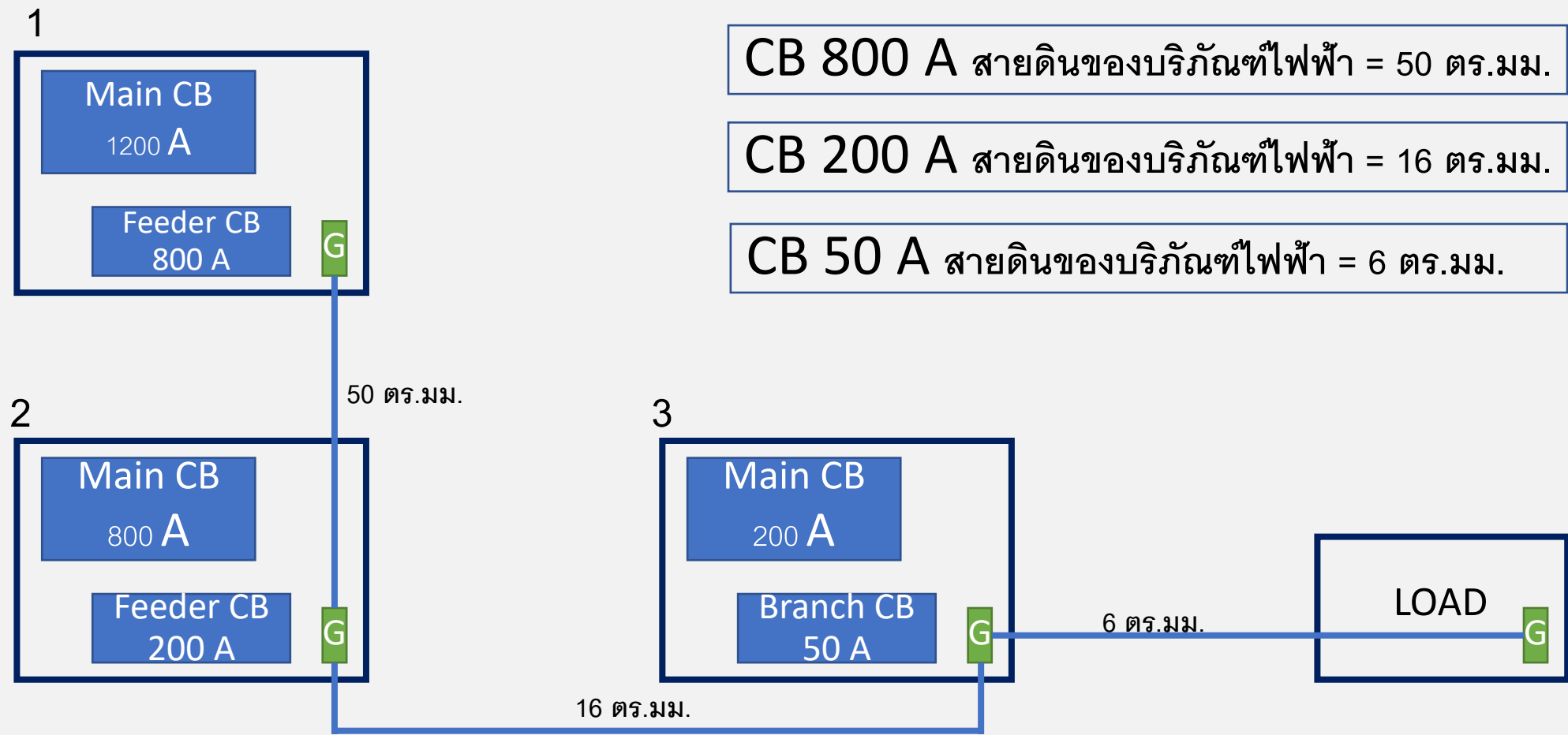
ตารางที่ 4-2

ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า



Solar Rooftop system

การต่อลงดินตามมาตรฐานวสท.





Solar Rooftop system

การต่อลงดินตามมาตรฐานวสท.

สายต่อฝากด้านไฟเข้ากรณีสายประธานเดินในช่องเดินสายเดียวกันหรือเป็นเคเบิลเดียวกัน ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่าขนาดของสายต่อหลักดินที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 4-1 ถ้าสายเส้นไฟของตัวนำประธานมีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4-1 ให้ใช้สายต่อฝากขนาดไม่เล็กกว่าร้อยละ 12.5 ของตัวนำประธานขนาดใหญ่ที่สุด กรณีเป็นการเดินสายควบให้คิดพื้นที่หน้าตัดรวมของทุกสายเส้นไฟในเฟสเดียวกัน

ตัวอย่าง สายตัวนำประธานมีขนาด 2(400 x 3) สายต่อหลักดิน ,สายต่อฝากระหว่าง N – G จะมีขนาดเท่าไร

สายตัวนำประธานต่อเฟสมีขนาด $2 \times 400 = 800$ มากกว่า 500 ตร.มม.

สายต่อหลักดิน (ตาราง 4-1) = 95 ตร.มม.

สายต่อฝากระหว่าง N – G จะมีขนาด = $800 \times 12.5\% = 100$ ตร.มม.

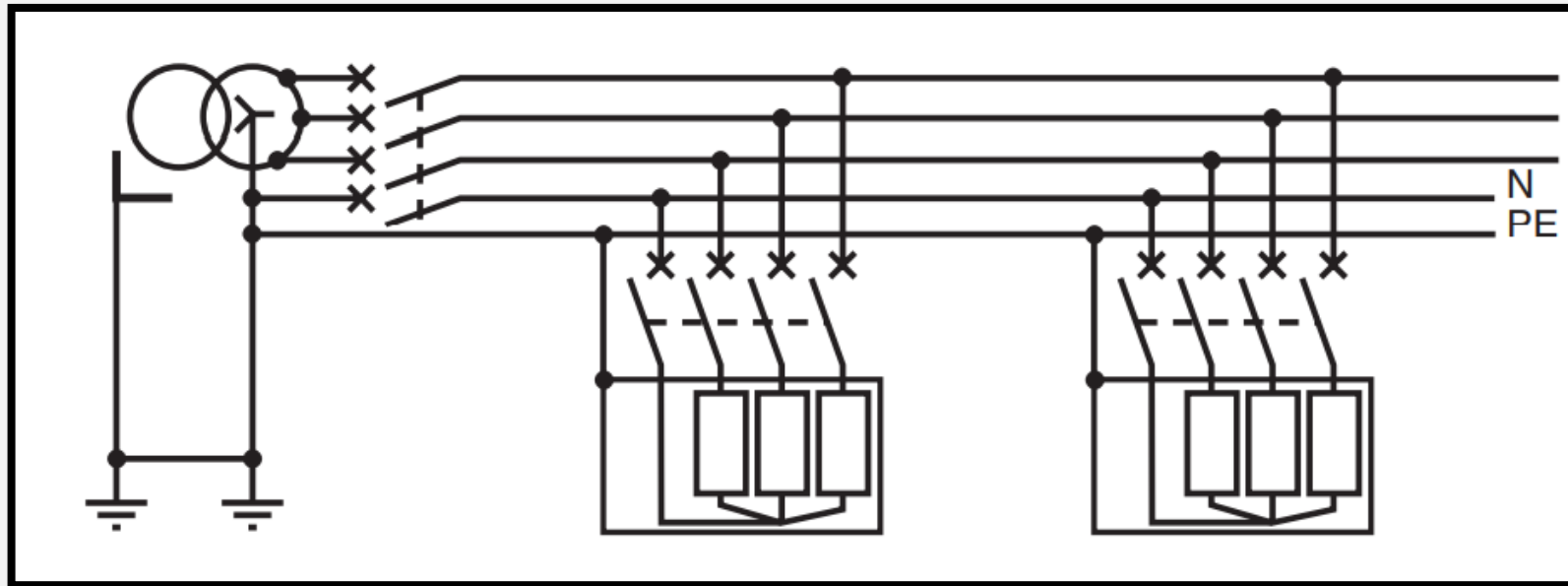
= **120** ตร.มม.

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 $I_d \leq 0.1 \text{ A}$

TN System



the protection of persons:

- Interconnection the earthing of exposed conductive parts and the neutral
- Interruption for the first fault using overcurrent protection (circuit-breakers or fuses)

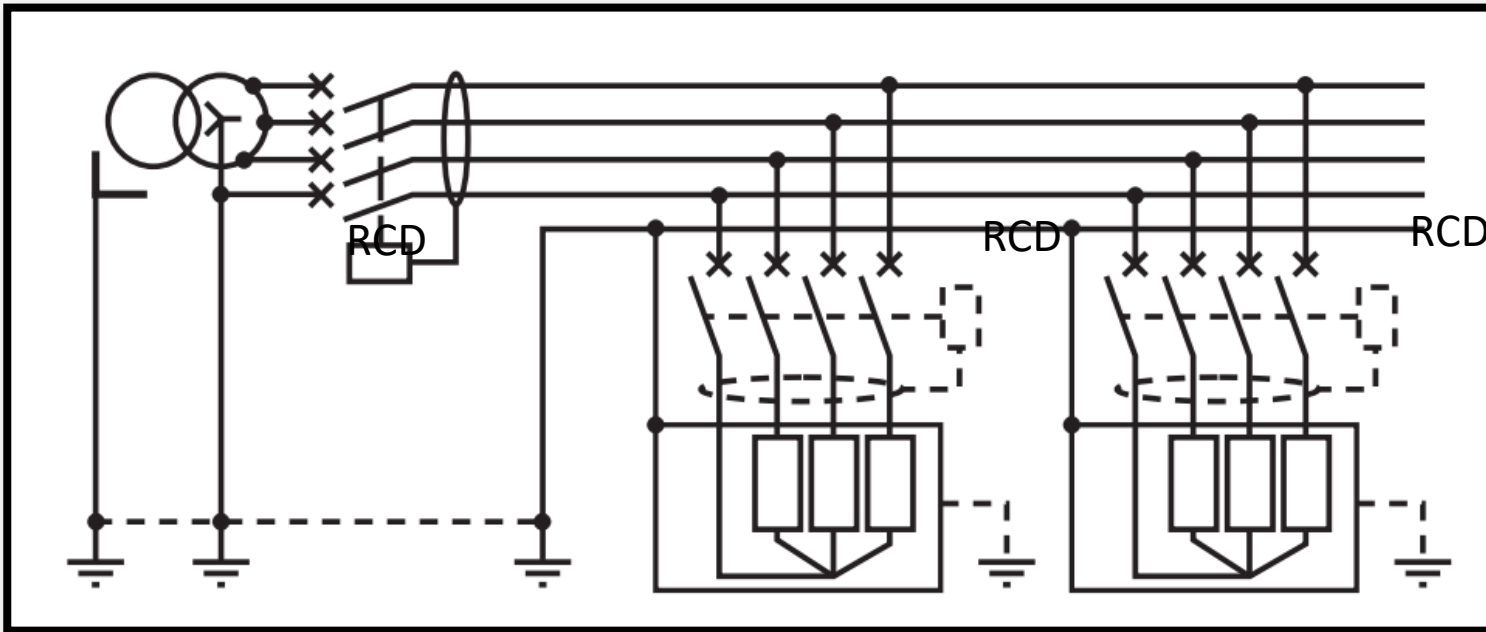
Interruption for the first insulation fault

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 $I_d \leq 0.1 \text{ A}$

TT System



the protection of persons
-The exposed conductive parts are earthed
-Residual current devices (RCDs) are used

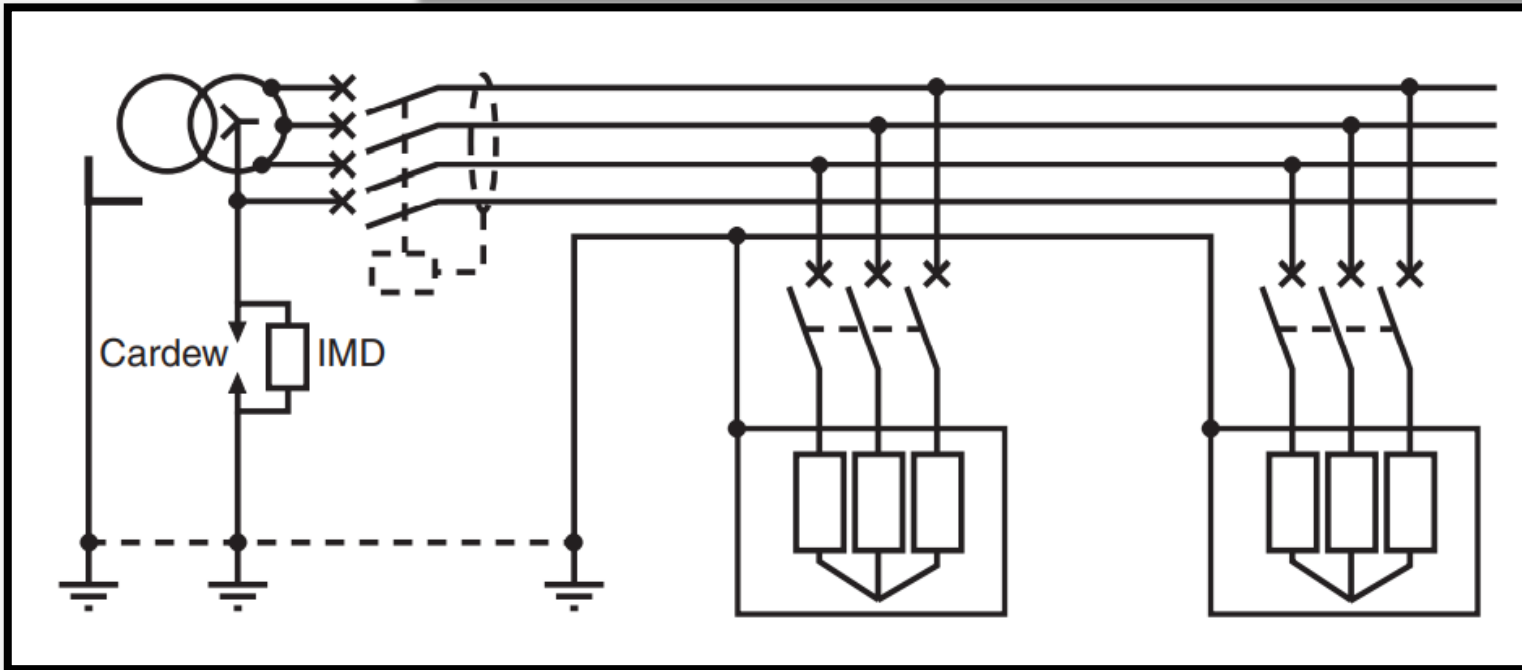
Interruption for the first insulation fault

Solar Rooftop system



IT 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 $I_d \leq 0.1 \text{ A}$



Protection of persons:

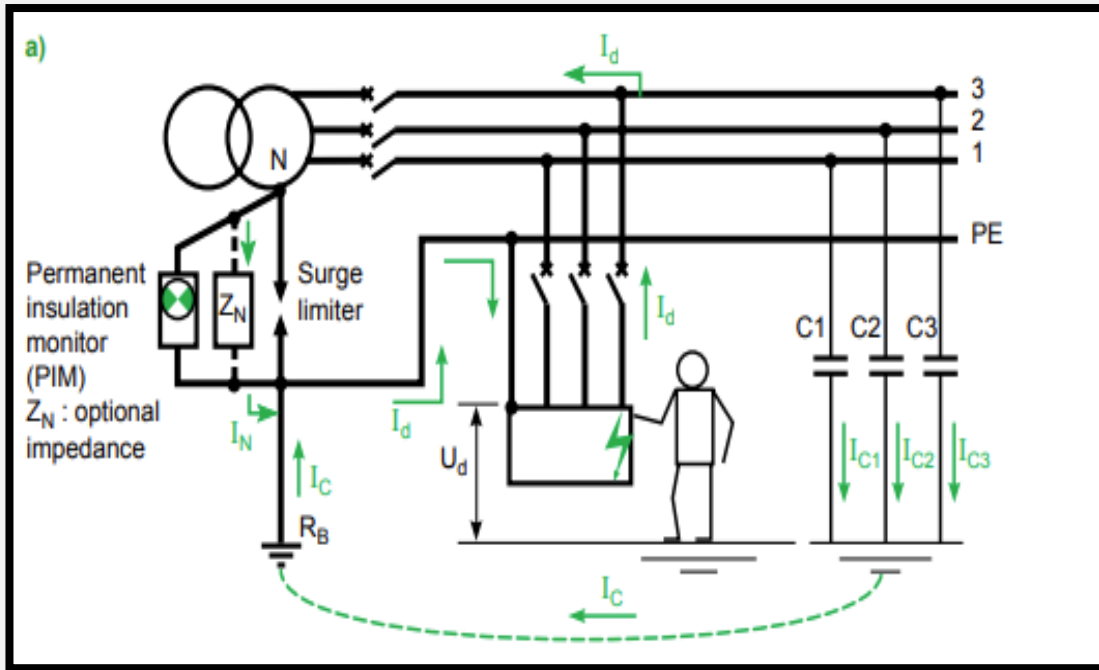
- Interconnection and earthing of exposed conductive parts
- Indication of the first fault by an insulation monitoring device (IMD)
- Interruption for the second fault using overcurrent protection (circuit-breakers or fuses)

- Monitoring of the first insulation fault
- Mandatory location and clearing of the fault
- Interruption for two simultaneous insulation faults

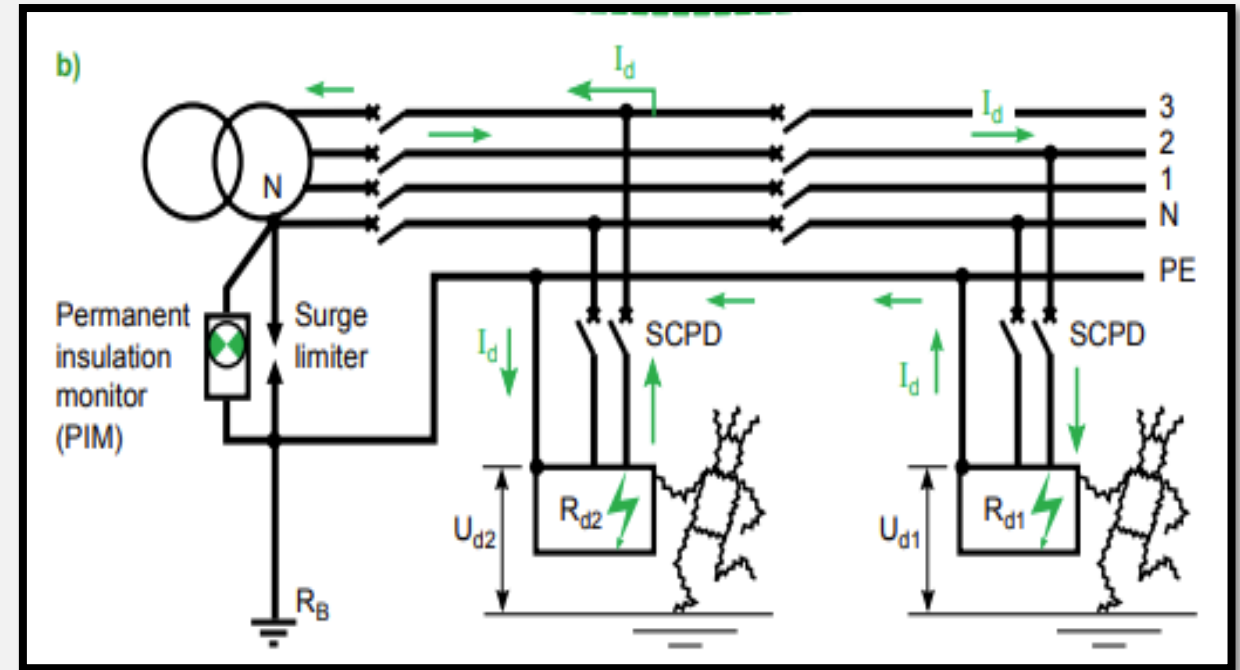
Solar Rooftop system



IT system 1st Fault



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



IT system ใช้กับระบบที่มีความปลอดภัยสูง ต้องการความต่อเนื่อง เช่น ห้องผ่าตัด แต่ราคาแพง

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}), $k\Omega$
≤ 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



การแจ้งเตือนฉนวนผิวดม (Insulation alarm)

Residual current monitoring device

จะต้องมีการติดตั้งระบบแจ้งเตือนความผิวดมลงดิน ซึ่งนำไปสู่การแก้ไขความผิวดมดังกล่าว ระบบแจ้งเตือน

จะต้องทำงานช้าอย่างน้อยทุก ๆ ชั่วโมง จนกว่าความผิวดมนั้นจะได้รับการแก้ไขเสร็จสิ้น

การแจ้งเตือนอาจอยู่ในรูปของเสียงเตือน เพื่อให้เจ้าหน้าที่ หรือเจ้าของ ที่ทำงานอยู่บริเวณนั้นรับรู้ถึง

สัญญาณเตือน หรืออาจอยู่ในรูปแบบการสื่อสารแจ้งเตือนแบบอื่น ๆ เช่น จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ข้อความ

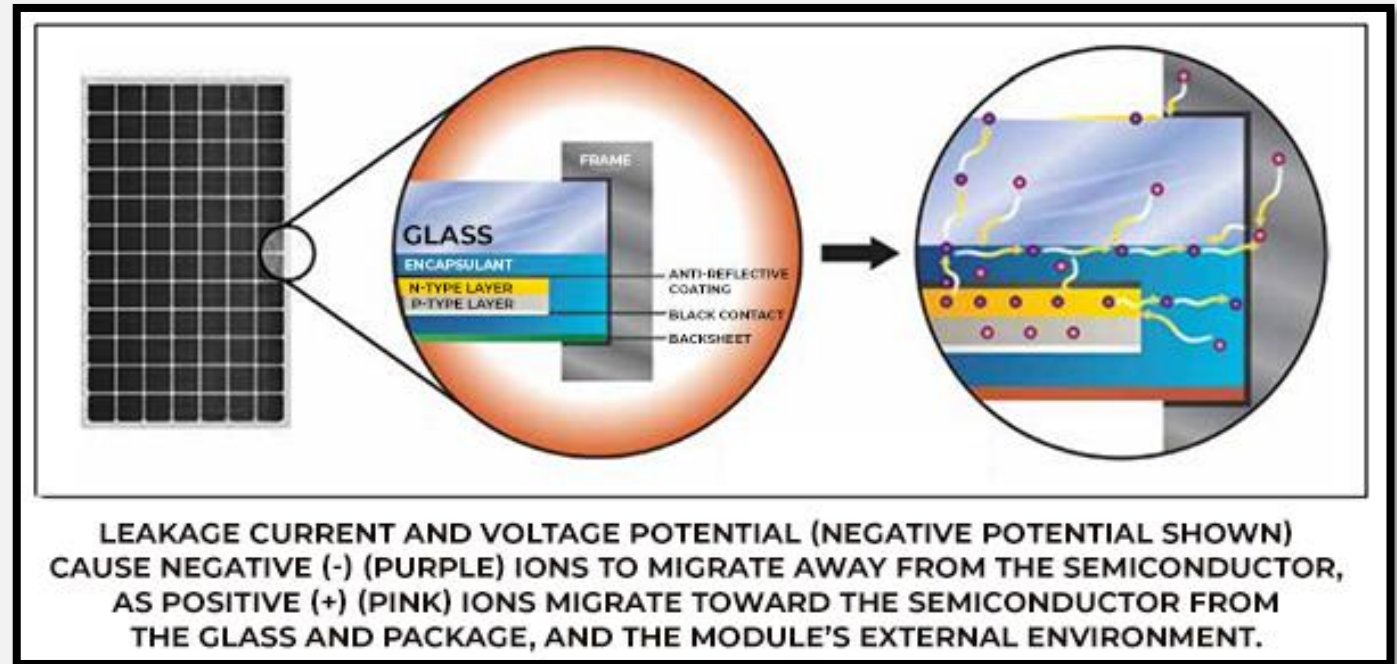
สั้น หรือ อื่น ๆ ที่คล้ายกัน เพื่อแจ้งเตือนผู้ดูแลระบบ

Solar Rooftop system



PID

Potential Induced Degradation



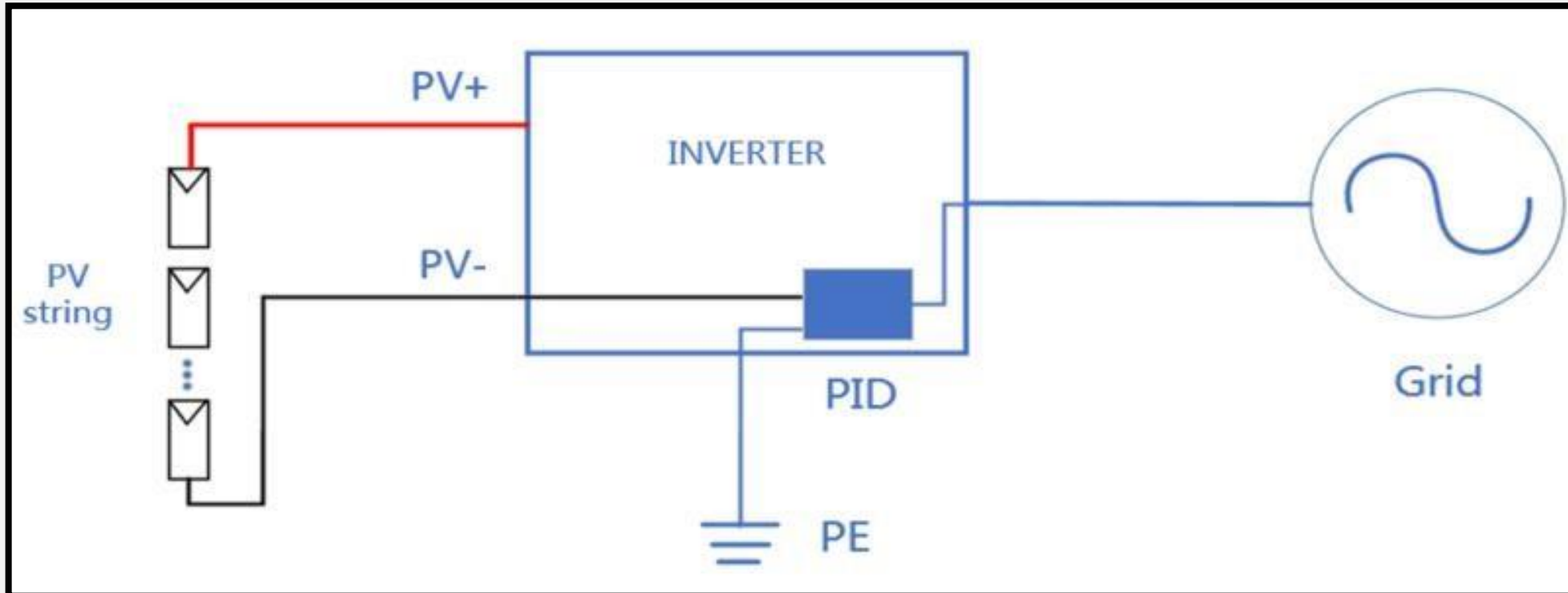
Potential Induced Degradation can occur when the potential difference between the solar cells in a module and the ground potential is very high.

Resulting in leakage current that drives ion mobility within the module between the semiconductor material and other elements of the module (e.g. glass, mount and frame), thus causing the module's power output capacity to degrade, in some cases significantly.

Solar Rooftop system



It uses the PV module PID reversible principle. This method applies a positive voltage between the PV module and the ground at night to allow the conductive ions, which lost from the PN junction during the day to return, thereby restoring the power generation capacity of the PV cell.



Solar Rooftop system

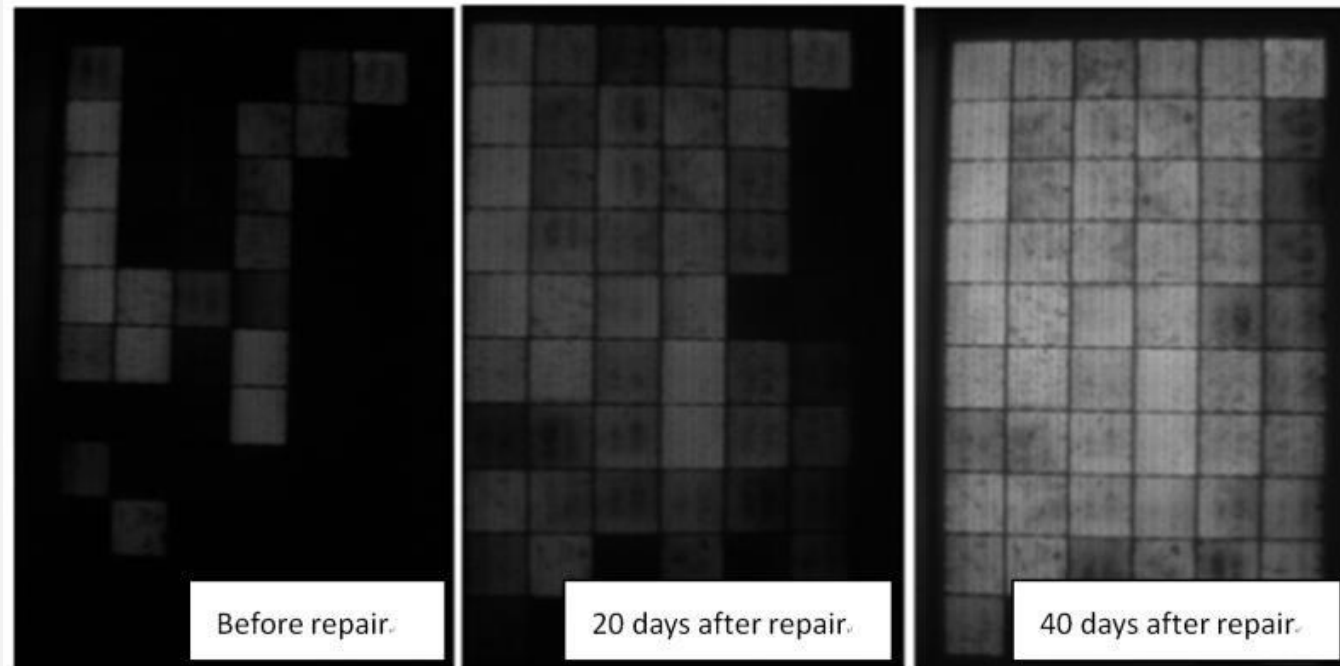


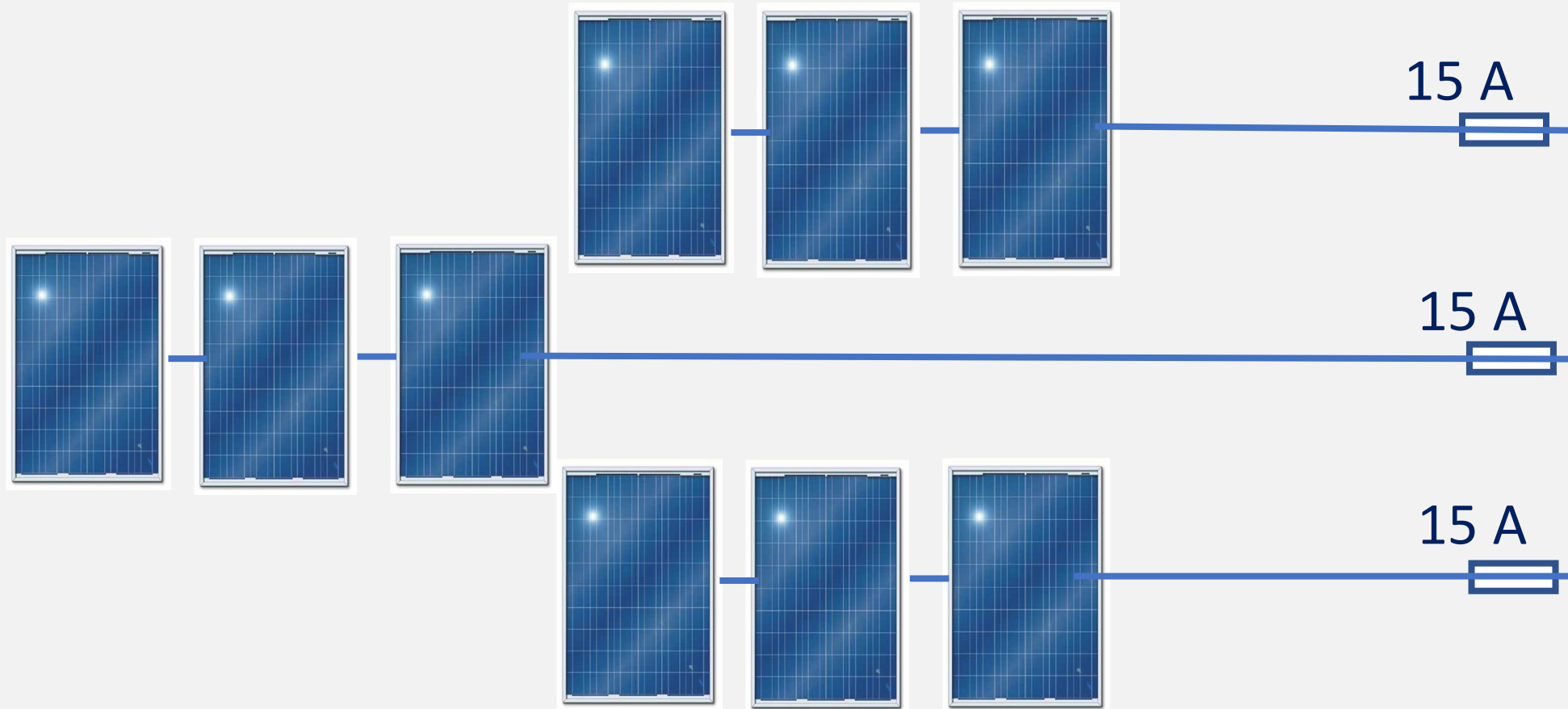
Table 1-1 EL test effect comparison

	Test Status	Temp.	Cd	<u>Voc</u>	<u>Isc</u>	<u>Pmax</u>	<u>Vpm</u>	<u>Ipm</u>
EL test effect comparison	Begin	21.2	1000.2	27.185	7.912	71.382	15.831	4.500
	20 Days later	21.2	1000.2	33.423	8.213	111.028	22.188	5.133
	40 Days later	21.2	1000.2	35.416	8.502	156.533	26.214	5.974

Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)



Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)

1. ข้อกำหนดทั่วไป

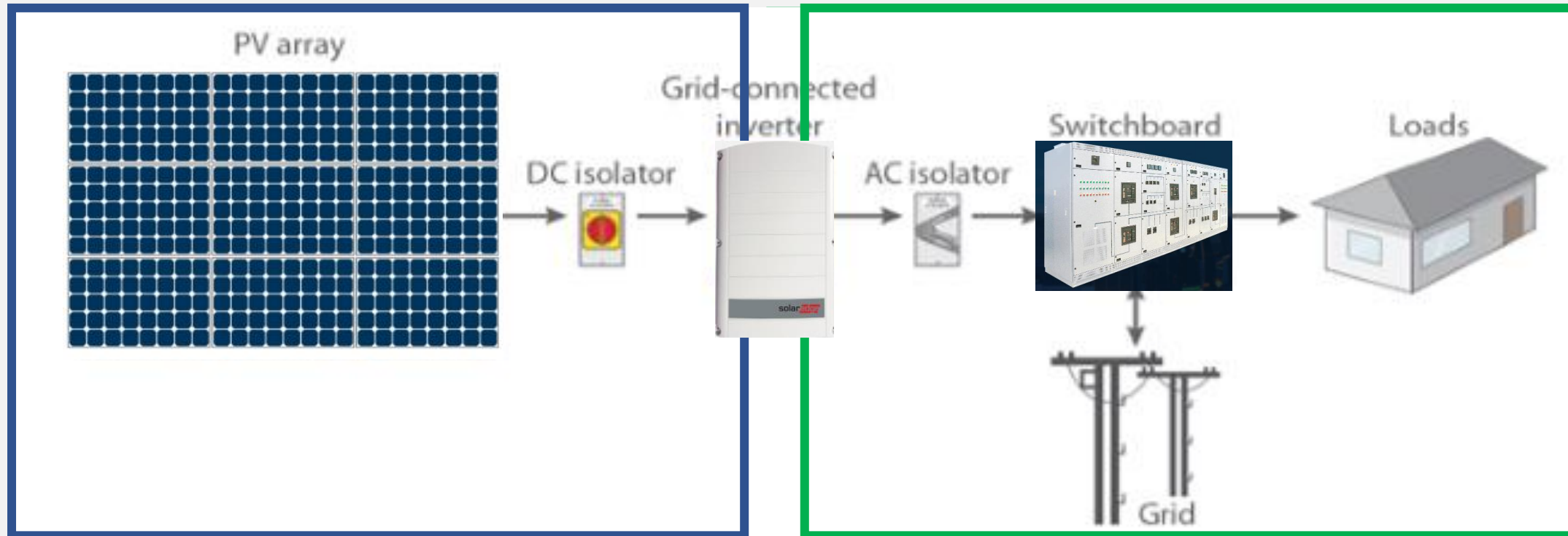
ความผิดปกติที่เกิดจากการลัดวงจรใน PV module กล่องต่อสาย กล่องรวมสาย การต่อสายไฟใน PV module หรือการลัดวงจรลงดินใน PV array จะทำให้เกิดกระแสเกินภายใน PV array

PV Module เป็นแหล่งกำเนิดจำกัดกระแส แต่เนื่องจาก PV module สามารถต่อขนานกับแหล่งกำเนิดภายนอก (เช่น แบตเตอรี่) จึงอาจเกิดกระแสเกินเนื่องจาก

ก. PV string ข้างเคียงที่ต่อขนานอยู่

ข. อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าบางประเภทที่ PV module ต่ออยู่ หรือจากแหล่งกำเนิดภายนอกอื่นๆ หรือทั้งสองส่วน

Solar Rooftop system



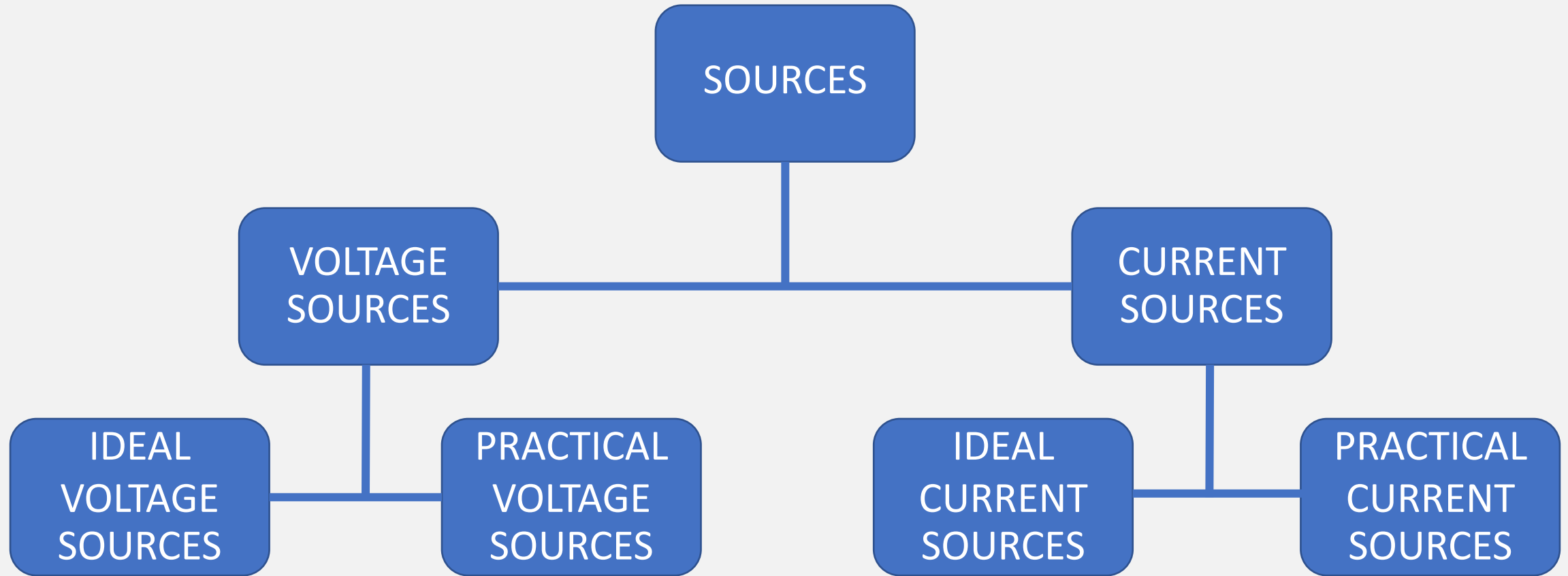
Current source

DC 1000 V, 1500 V

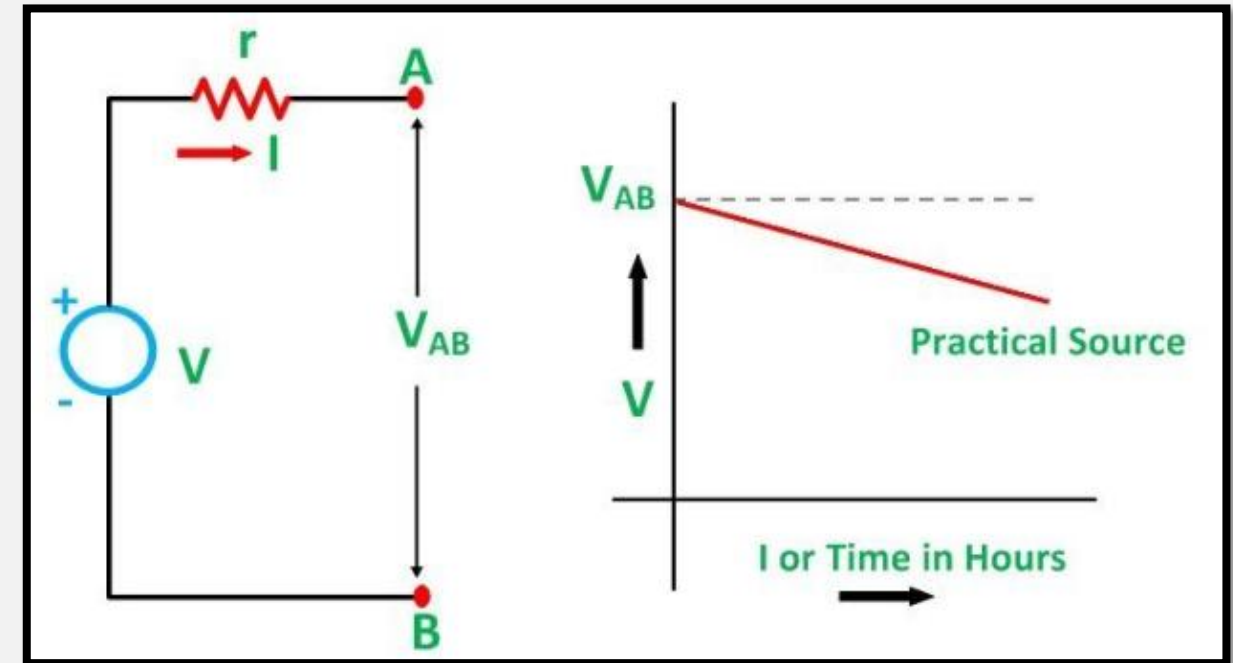
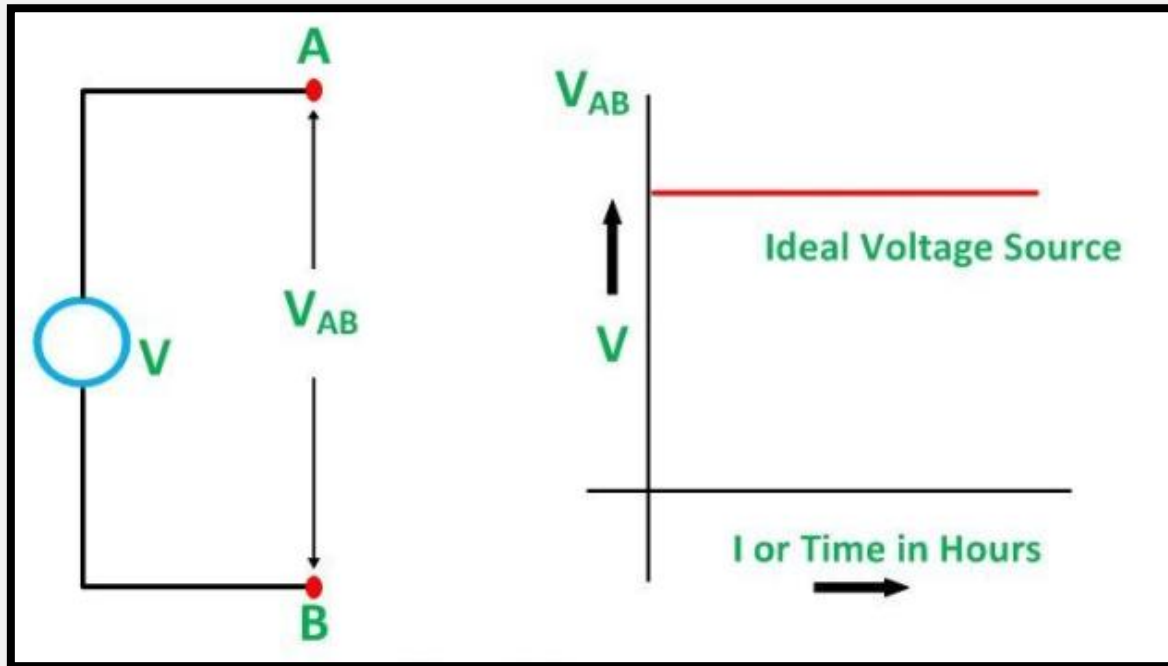
Voltage source

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

Solar Rooftop system

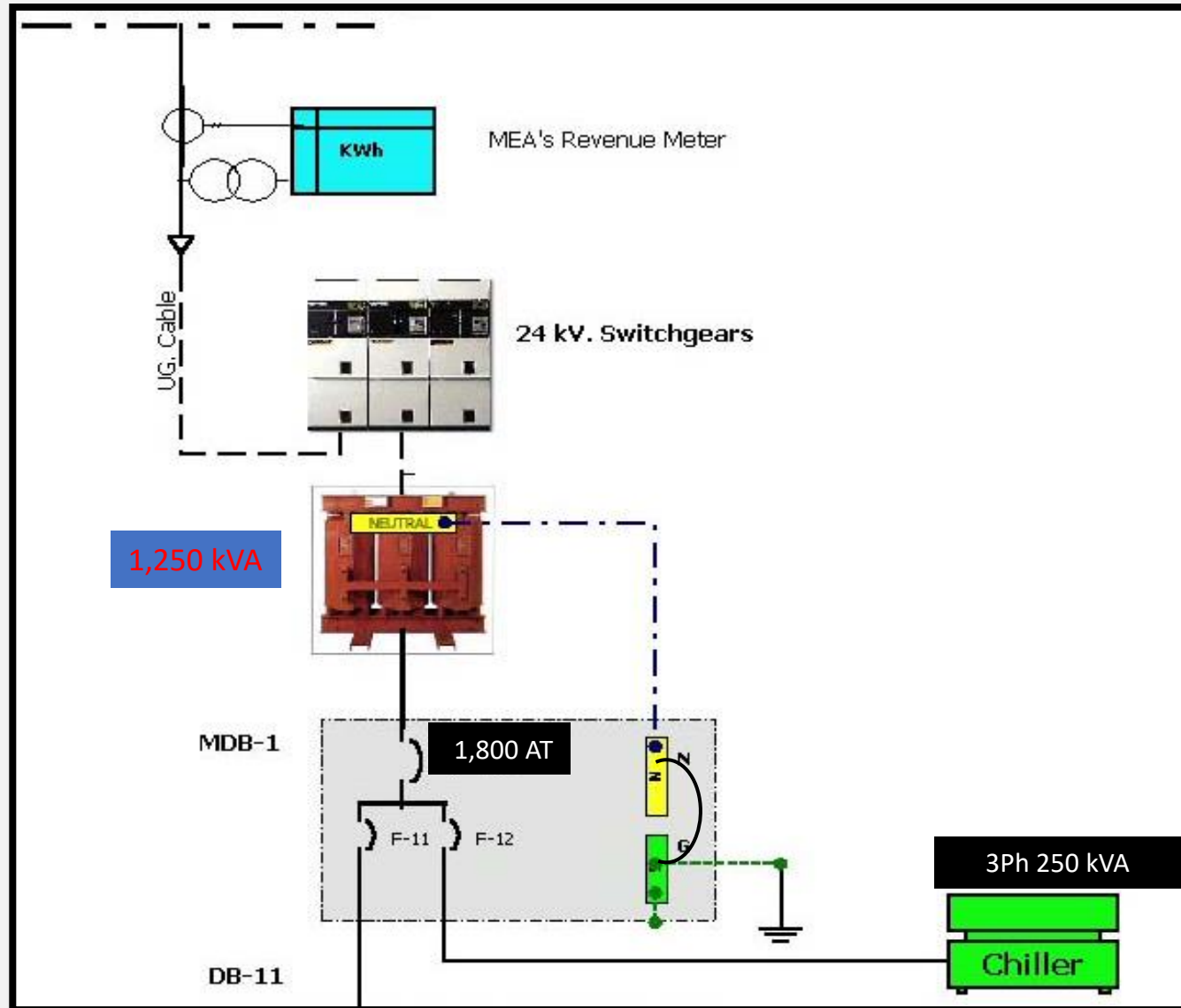


Solar Rooftop system



- Voltage Source
 - maintains **constant voltage** irrespective of the load
 - **Internal resistance** $\ll$ **load** for stable voltage

Solar Rooftop system



AC side

Solar Rooftop system

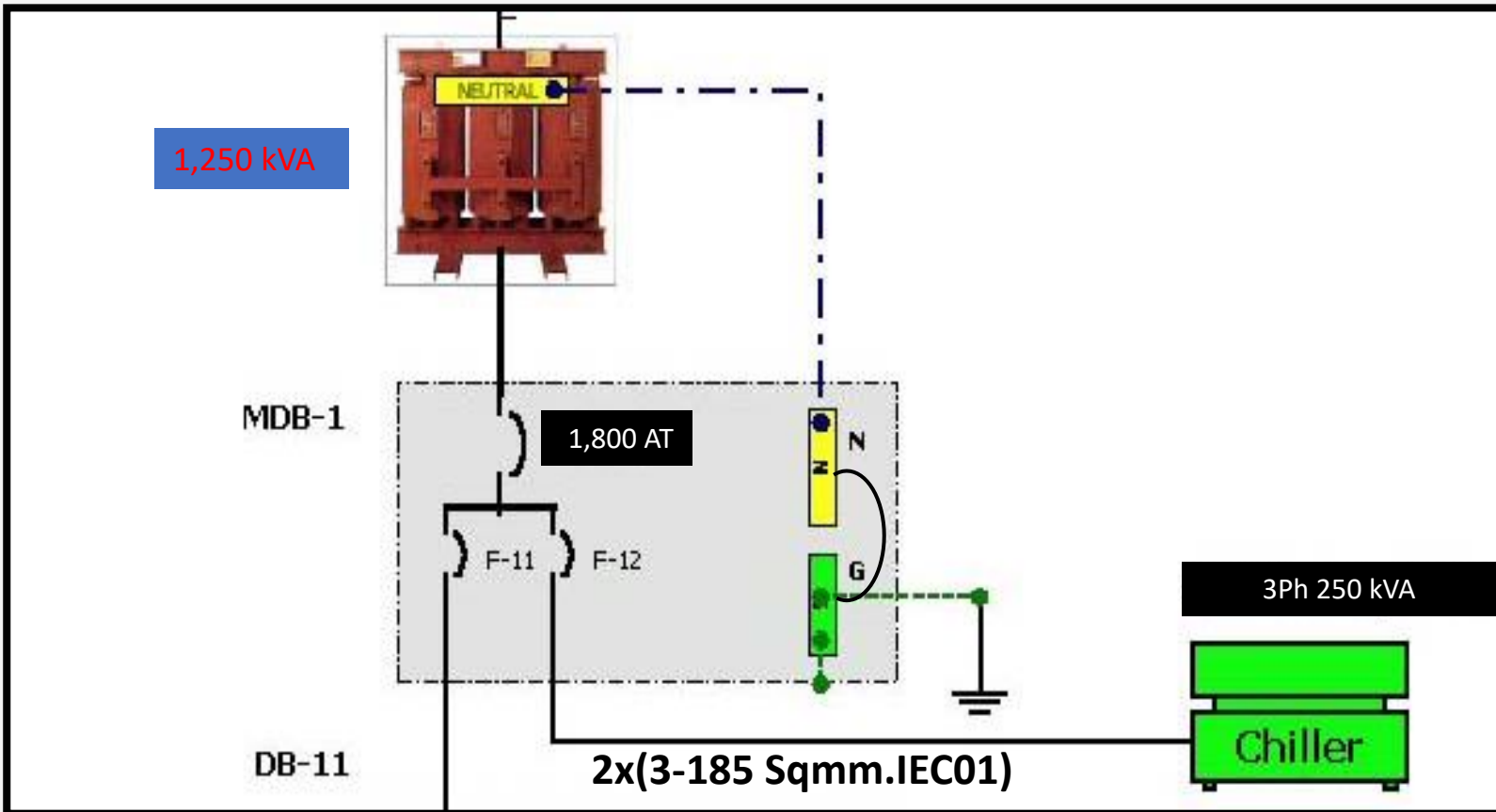


AC side

Chiller 3Ph 250 kVA

Full load current = 451 A

2x(3-185 Sqmm.IEC01) ,(ในท่อ; 2x258A=516A)



Solar Rooftop system



AC side

Chiller 3Ph 500 kVA

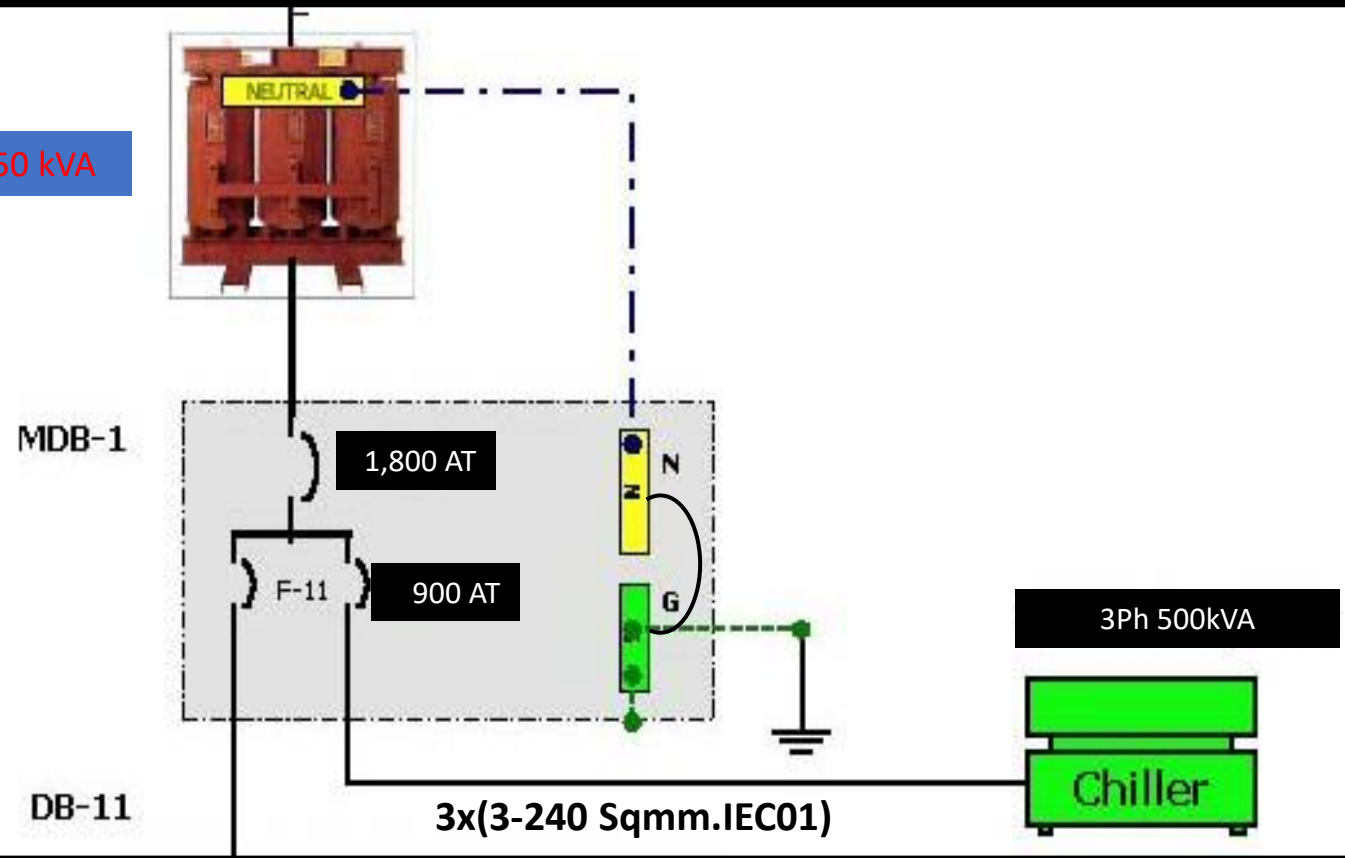
Full load current = 721 A

~~2x(3-185 Sqmm.IEC01) ,ในท่อ; (2x258 =516 A)~~

3x(3-240 Sqmm.IEC01) ,ในท่อ; (3x301 =903 A)

CB 900 AT

1,250 kVA



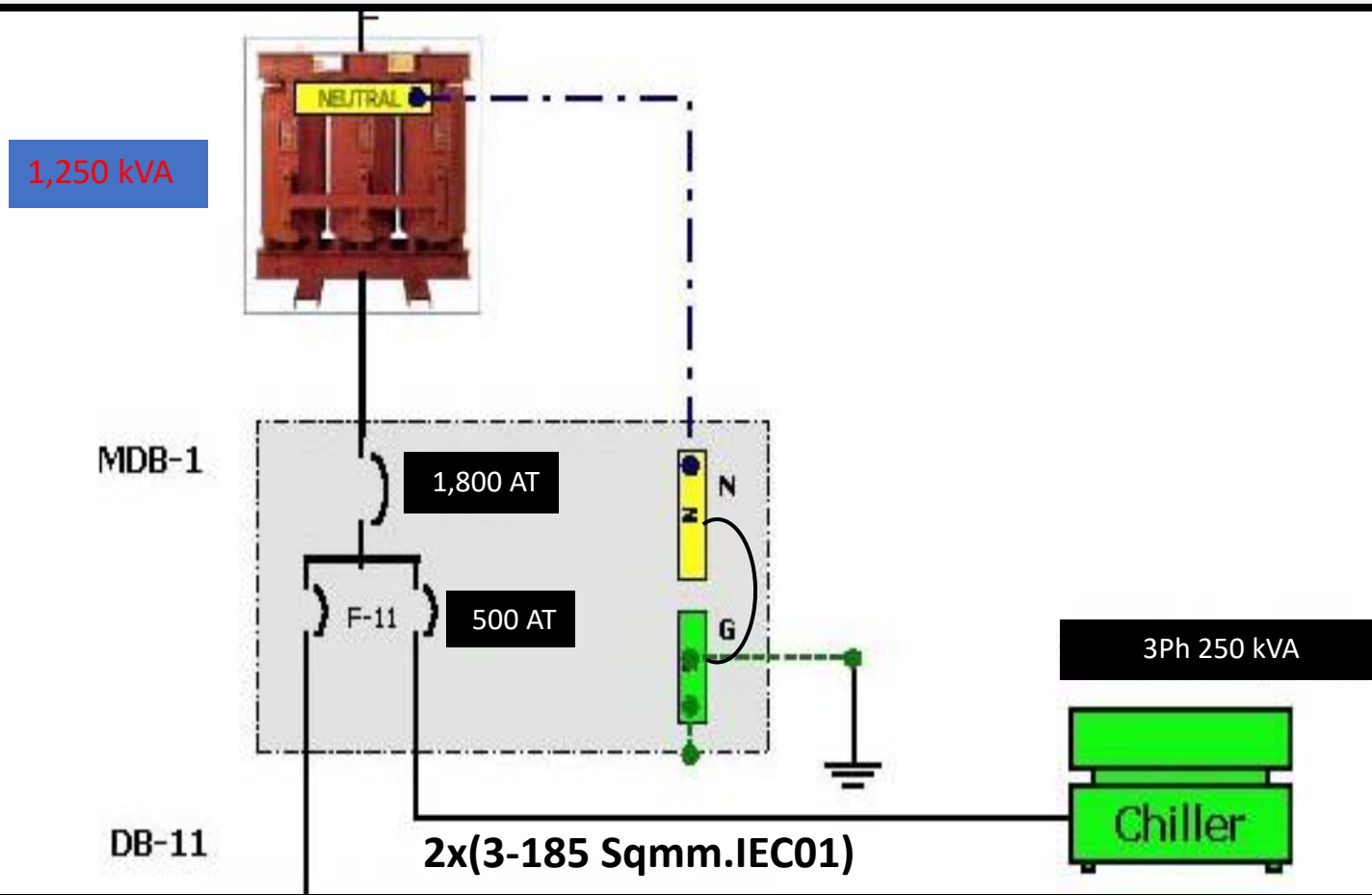
Solar Rooftop system



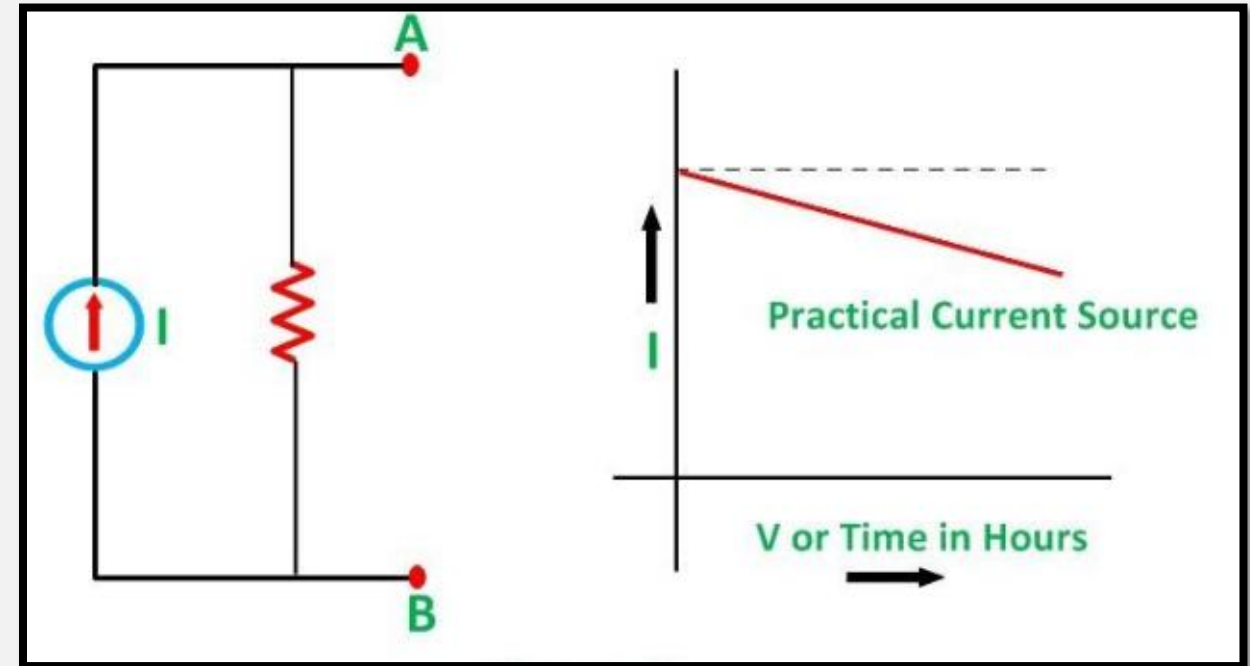
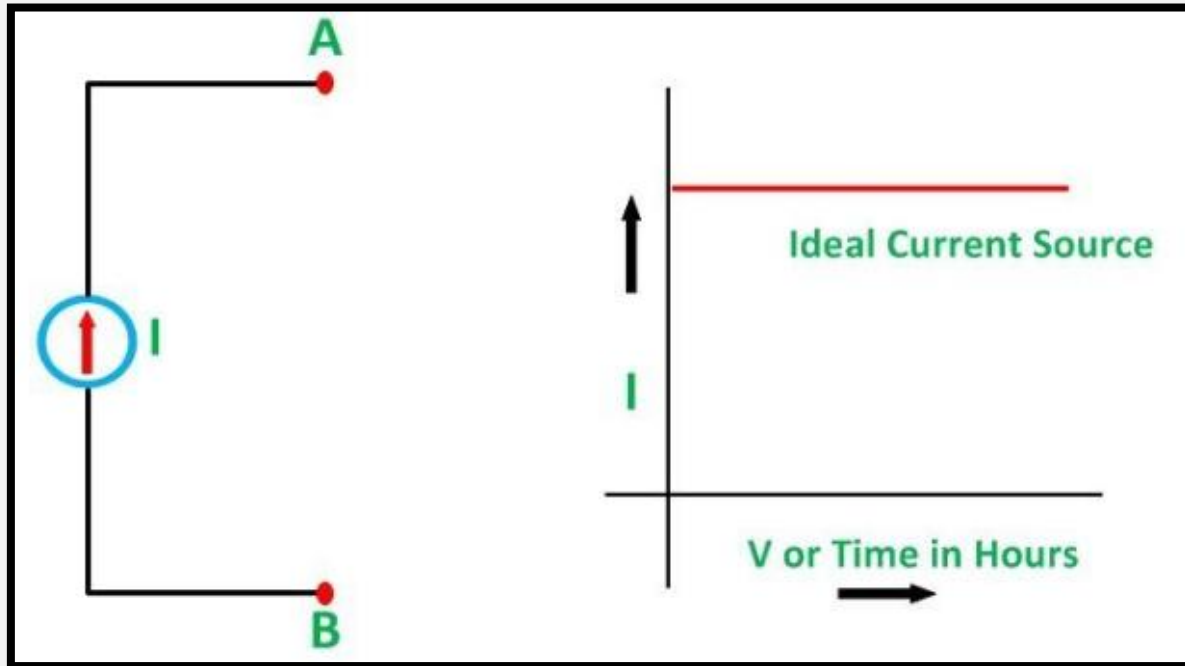
AC side

3.3 การป้องกันกระแสเกิน สำหรับวงจรย่อย และสายป้อน

- วงจรย่อย และสายป้อน ต้องมีการป้องกันกระแสเกิน
- เป็นฟิวส์ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CBs) ก็ได้



Solar Rooftop system



- Current Source
 - maintains constant current irrespective of the load
 - Internal resistance $\gg$ load for stable current

Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)

1. ข้อกำหนดทั่วไป

ความผิดปกติที่เกิดจากการลัดวงจรใน PV module กล่องต่อสาย กล่องรวมสาย การต่อสายไฟใน PV module หรือการลัดวงจรลงดินใน PV array จะทำให้เกิดกระแสเกินภายใน PV array

PV Module เป็นแหล่งกำเนิดจำกัดกระแส แต่เนื่องจาก PV module สามารถต่อขนานกับแหล่งกำเนิดภายนอก (เช่น แบตเตอรี่) จึงอาจเกิดกระแสเกินเนื่องจาก

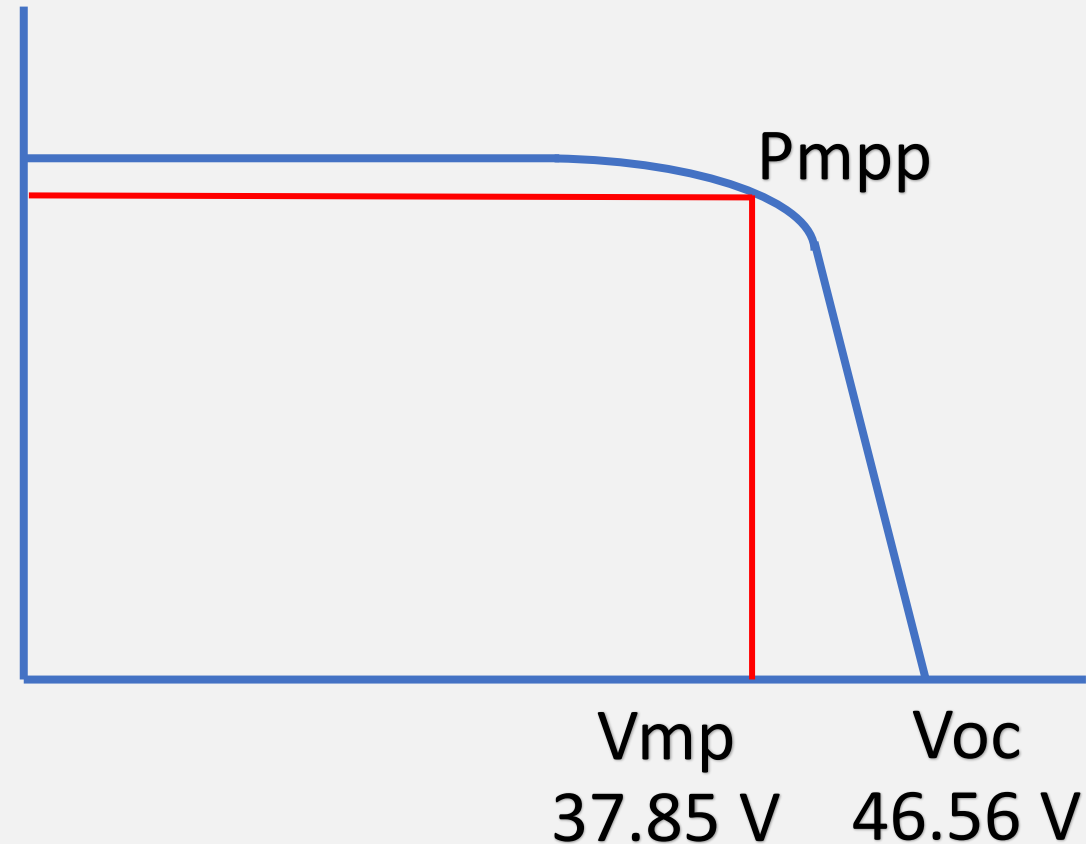
ก. PV string ข้างเคียงที่ต่อขนานอยู่

ข. อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าบางประเภทที่ PV module ต่ออยู่ หรือจากแหล่งกำเนิดภายนอกอื่นๆ หรือทั้งสองส่วน

Solar Rooftop system

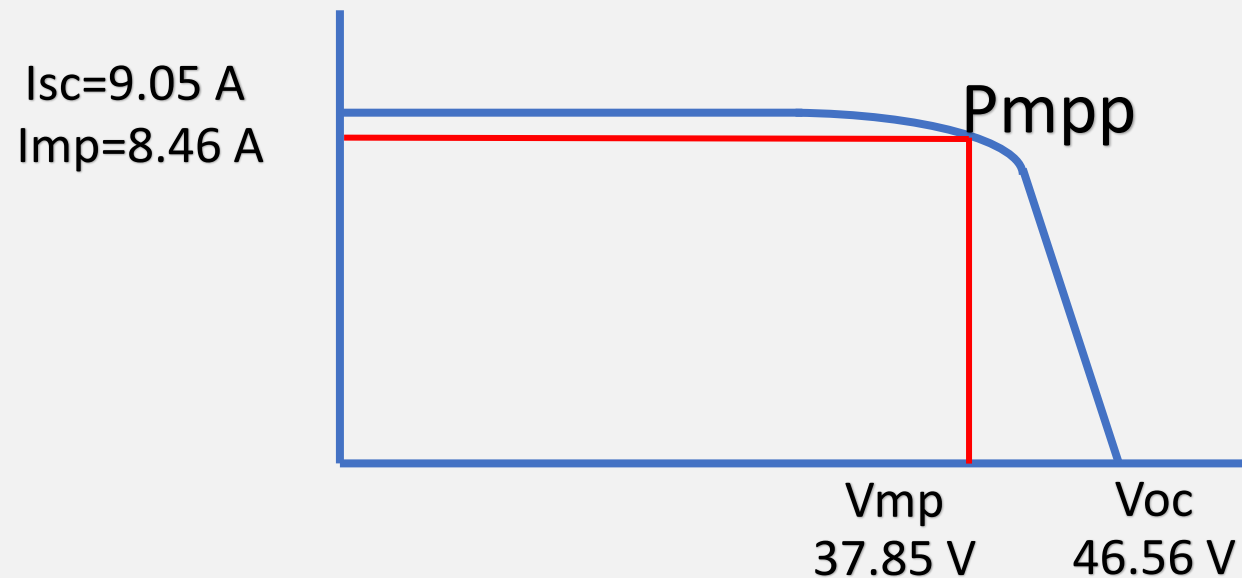
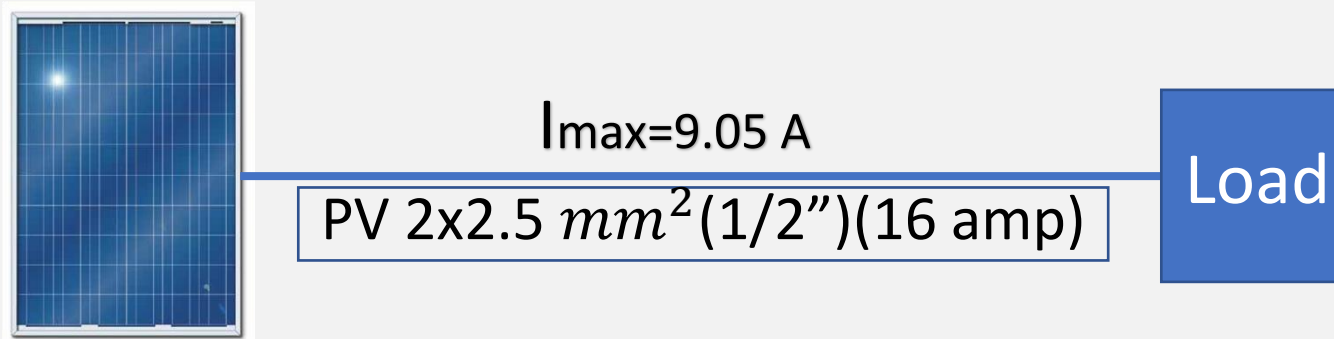


$I_{sc}=9.05\text{ A}$
 $I_{mp}=8.46\text{ A}$



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

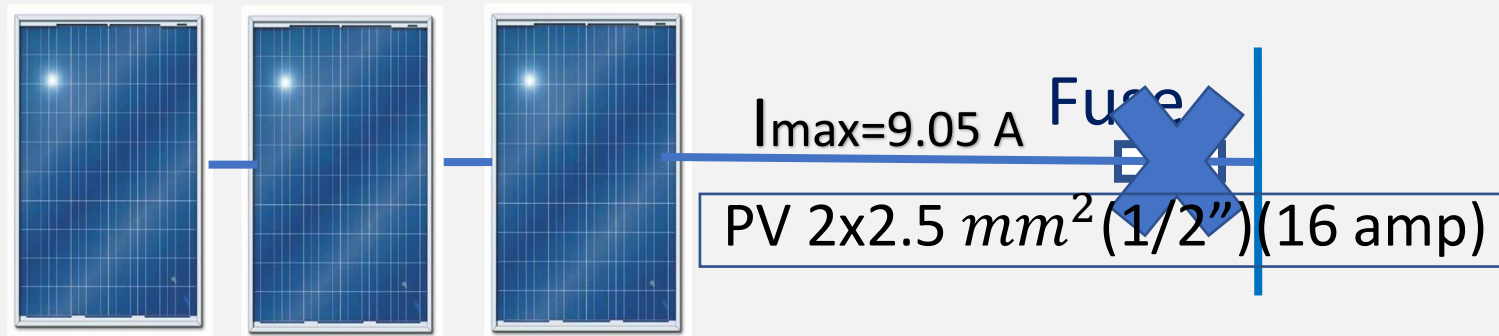
Solar Rooftop system



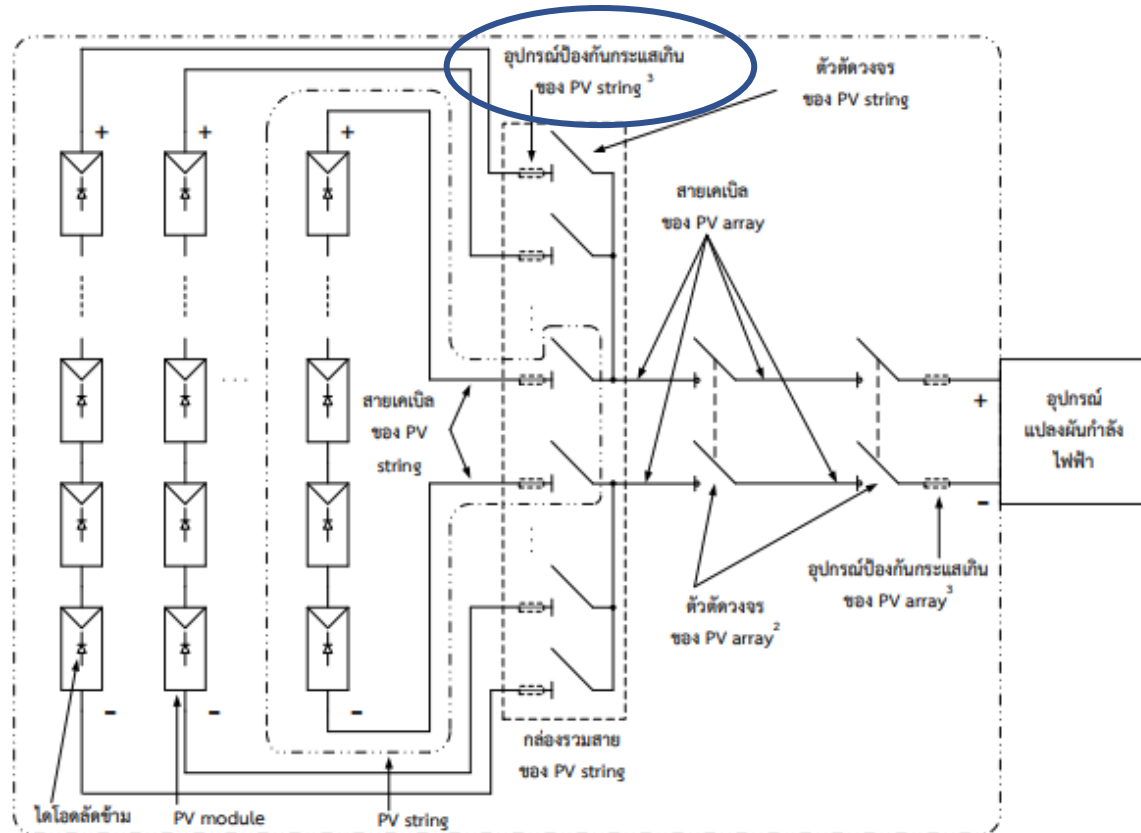
Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)



Solar Rooftop system



หมายเหตุ:

- (1) โดยทั่วไป ไดโอดลัดข้ามเป็นชิ้นส่วนมาตรฐานของ PV module ซึ่งให้มาโดยผู้ผลิต
- (2) อ้างอิงถึงข้อ 4.3.5 และ 4.4.1 สำหรับข้อกำหนดเรื่องตัวตัดวงจรของ PV array โดยตัวตัดวงจรนี้เป็นตัวตัดวงจรขณะมีโหลด หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็ได้
- (3) อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ในที่นี้จำเป็นต้องมี ตามข้อ 3.3

รูปที่ 2.4 โดอะแกรมของ PV array – กรณี PV string ต่อขนานกันหลายแถว

การป้องกันกระแสเกินใน PV string

ต้องมีการป้องกันกระแสเกินใน PV string ถ้า

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

Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)

ความผิดปกติที่เกิดจากการลัดวงจรใน PV module กล่องต่อสาย กล่องรวมสาย การต่อสายไฟใน PV module หรือการลัดวงจรลงดินใน PV array จะทำให้เกิดกระแสเกินภายใน PV array

PV Module เป็น**แหล่งกำเนิดจำกัดกระแส** แต่เนื่องจาก PV module สามารถต่อขนานกับแหล่งกำเนิดภายนอก (เช่น แบตเตอรี่) จึงอาจเกิดกระแสเกินเนื่องจาก

ก. PV string ข้างเคียงที่ต่อขนานอยู่

ข. อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าบางประเภทที่ PV module ต่ออยู่ หรือจากแหล่งกำเนิดภายนอกอื่นๆ หรือทั้งสองส่วน

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

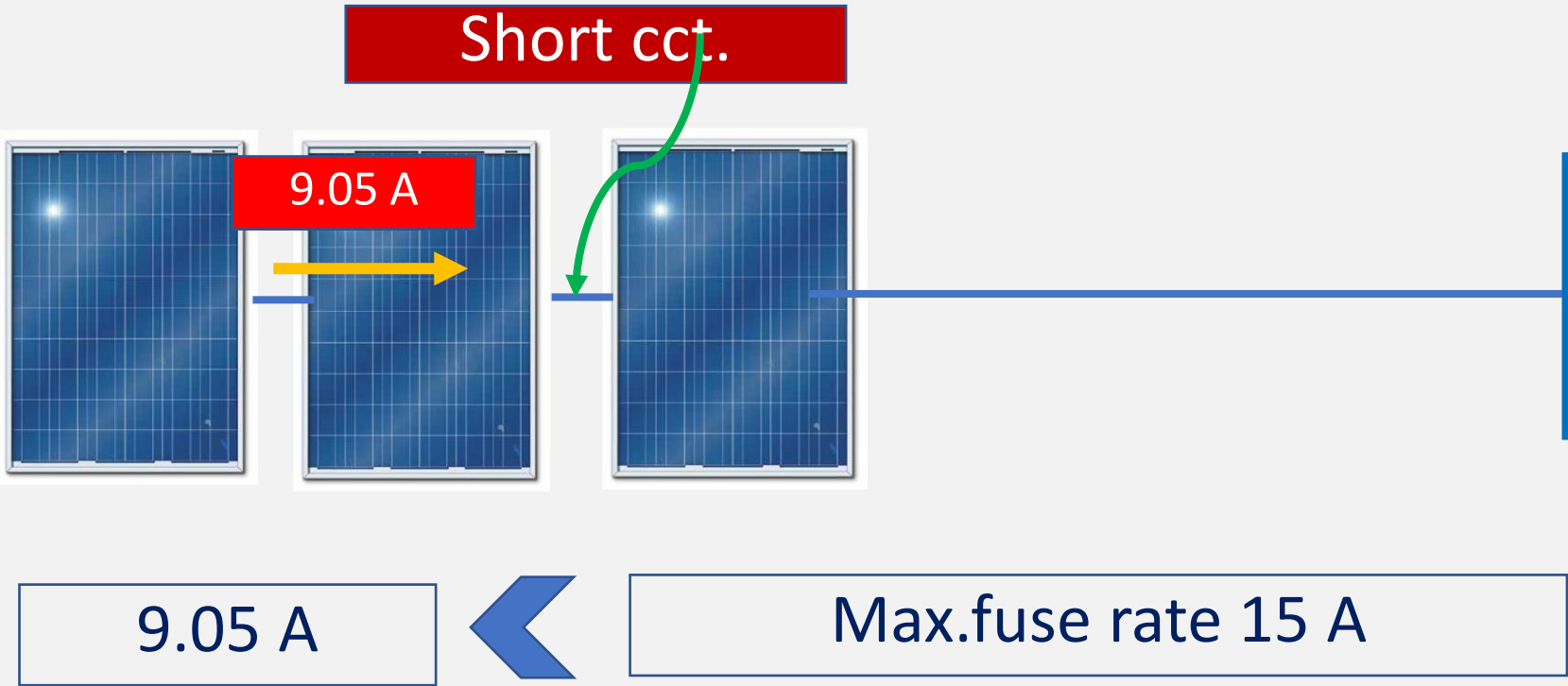


Solar Rooftop system

3.3การป้องกันกระแสเกิน

การป้องกันกระแสเกินใน PV string ต้องมีการป้องกันกระแสเกินใน PV string ถ้า

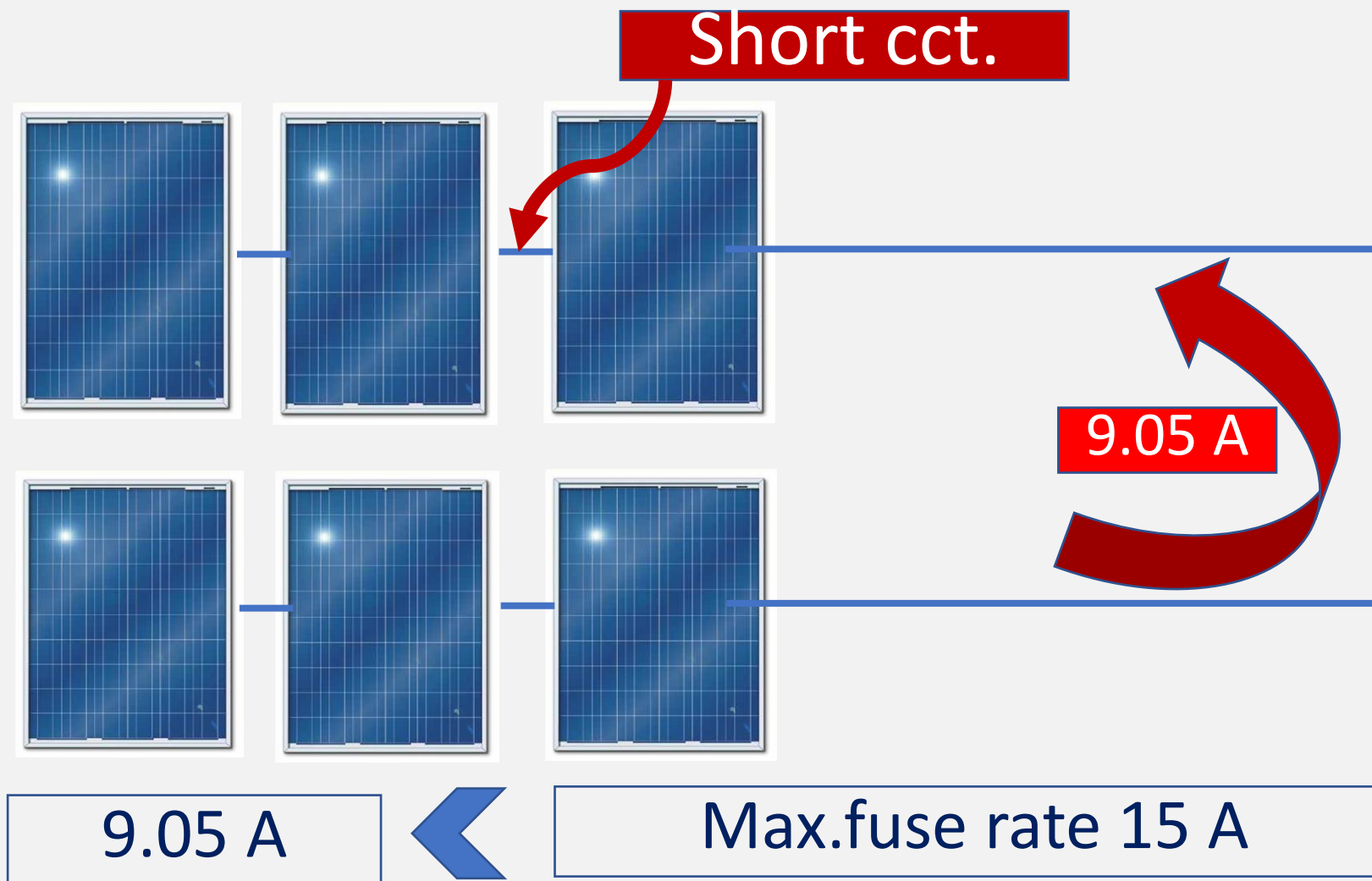
$$((S_A - 1) \times I_{SC \text{ MOD}}) > I_{MOD \text{ MAX OCPR}}$$





Solar Rooftop system

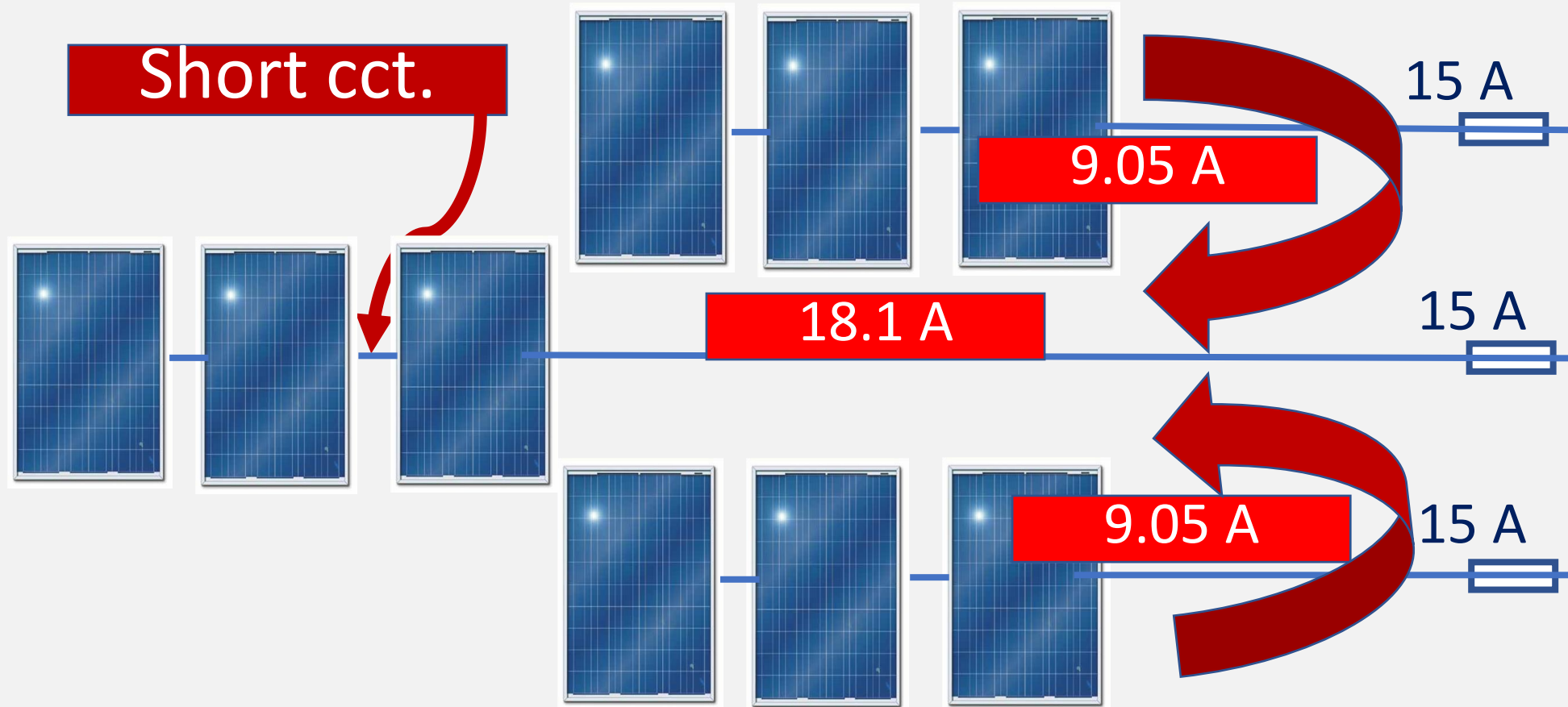
3.3 การป้องกันกระแสเกิน



Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน



18.1 A ➔ Max.fuse rate 15 A

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

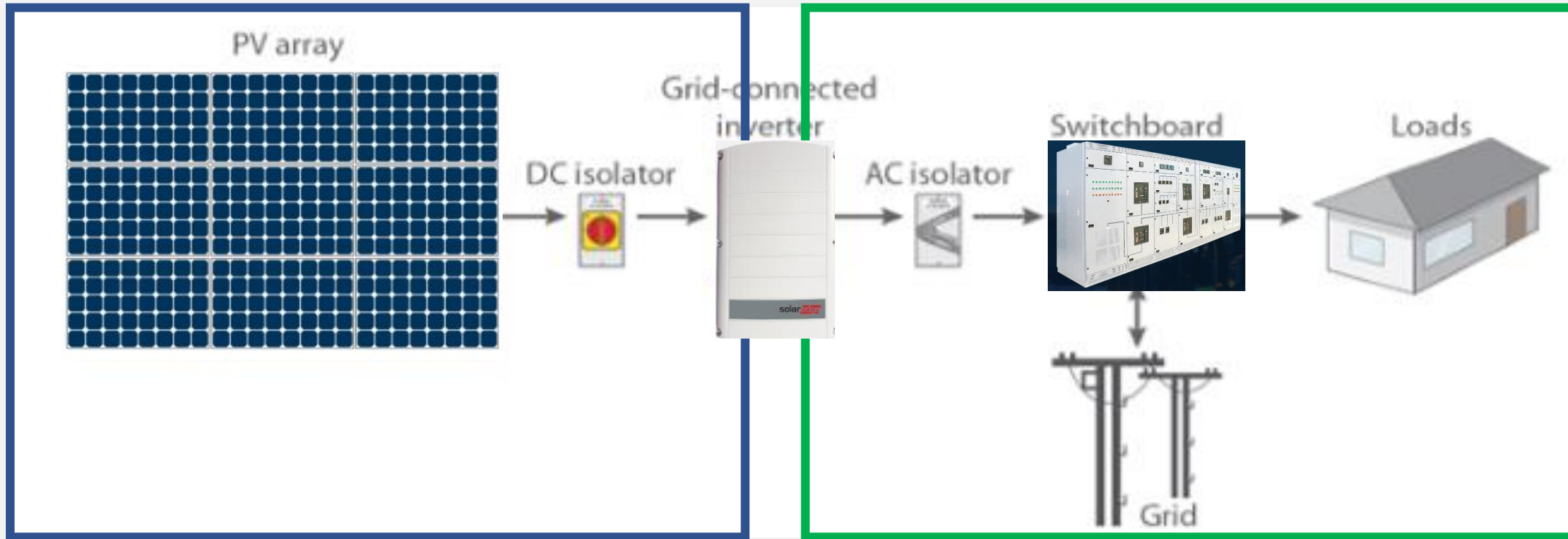


PV array

- 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 ต้องมี
การติดตั้งการป้องกันกระแสเกินใน 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



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



3.5 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



3.5 การป้องกันผลกระทบจากฟ้าผ่าและแรงดันเกิน

(Protection Against Effect of Lightning and Overvoltage)

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

อาคารที่ไม่มีระบบล่อฟ้า

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

Solar Rooftop system



ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

อาคารที่มีระบบล่อฟ้า

p	Penetration depth
r	Radius of rolling sphere
d	Distance of Air-termination system

$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

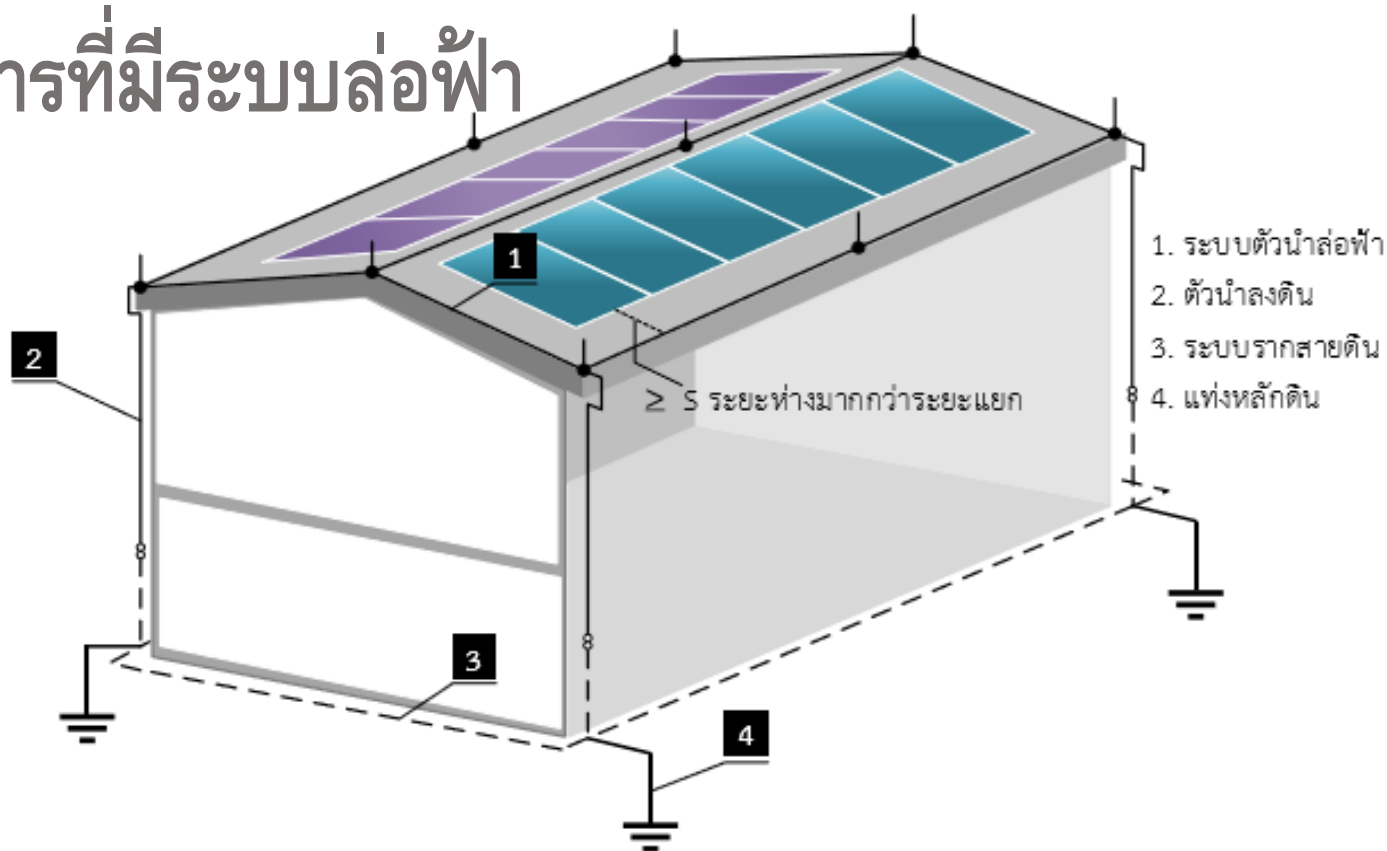
ตารางที่ 4.3 แสดงระยะล่อฟ้าตามระดับการป้องกันของรัศมีทรงกลมกลิ้ง

ระยะห่างแท่งตัวนำล่อฟ้า d (เมตร)	รัศมีทรงกลมกลิ้ง (เมตร)			
	LPS Class I	LPS Class II	LPS Class III	LPS Class IV
1	0.01	0.00	0.00	0.00
2	0.03	0.02	0.01	0.01
3	0.06	0.04	0.03	0.02
4	0.10	0.07	0.04	0.03
5	0.16	0.10	0.07	0.05
6	0.23	0.15	0.10	0.08
7	0.31	0.20	0.14	0.10
8	0.40	0.27	0.18	0.13
9	0.51	0.34	0.23	0.17
10	0.64	0.42	0.28	0.21
11	0.77	0.51	0.34	0.25
12	0.92	0.61	0.40	0.30
15	1.46	0.95	0.63	0.47
18	2.14	1.38	0.91	0.68
20	2.68	1.72	1.13	0.84
25	4.39	2.73	1.77	1.32
30	6.77	4.02	2.57	1.91

Solar Rooftop system

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

อาคารที่มีระบบล่อฟ้า



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

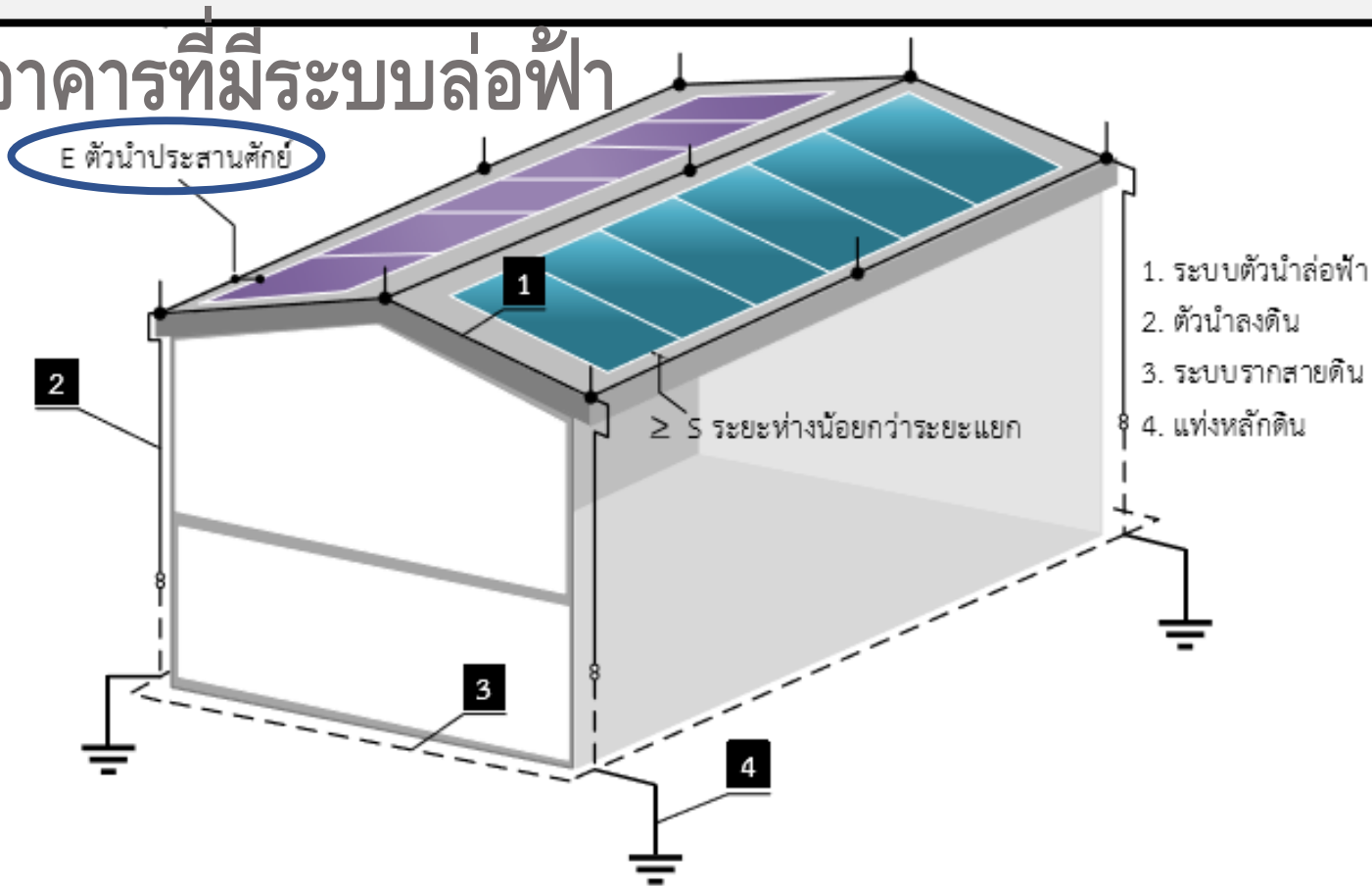
เมื่อPV array ได้รับการป้องกันด้วยระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ควรต้อง คงระยะการแยกต่ำสุดระหว่างส่วนนำไฟฟ้าของ PV array และระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกไว้ให้ได้ เพื่อป้องกันกระแสฟ้าผ่าบางส่วน ไหลผ่านส่วนที่เป็นโลหะของ PV array

ระยะการแยก “S” เกิดจากระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่แยกอิสระจาก PV array

Solar Rooftop system

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

อาคารที่มีระบบล่อฟ้า



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

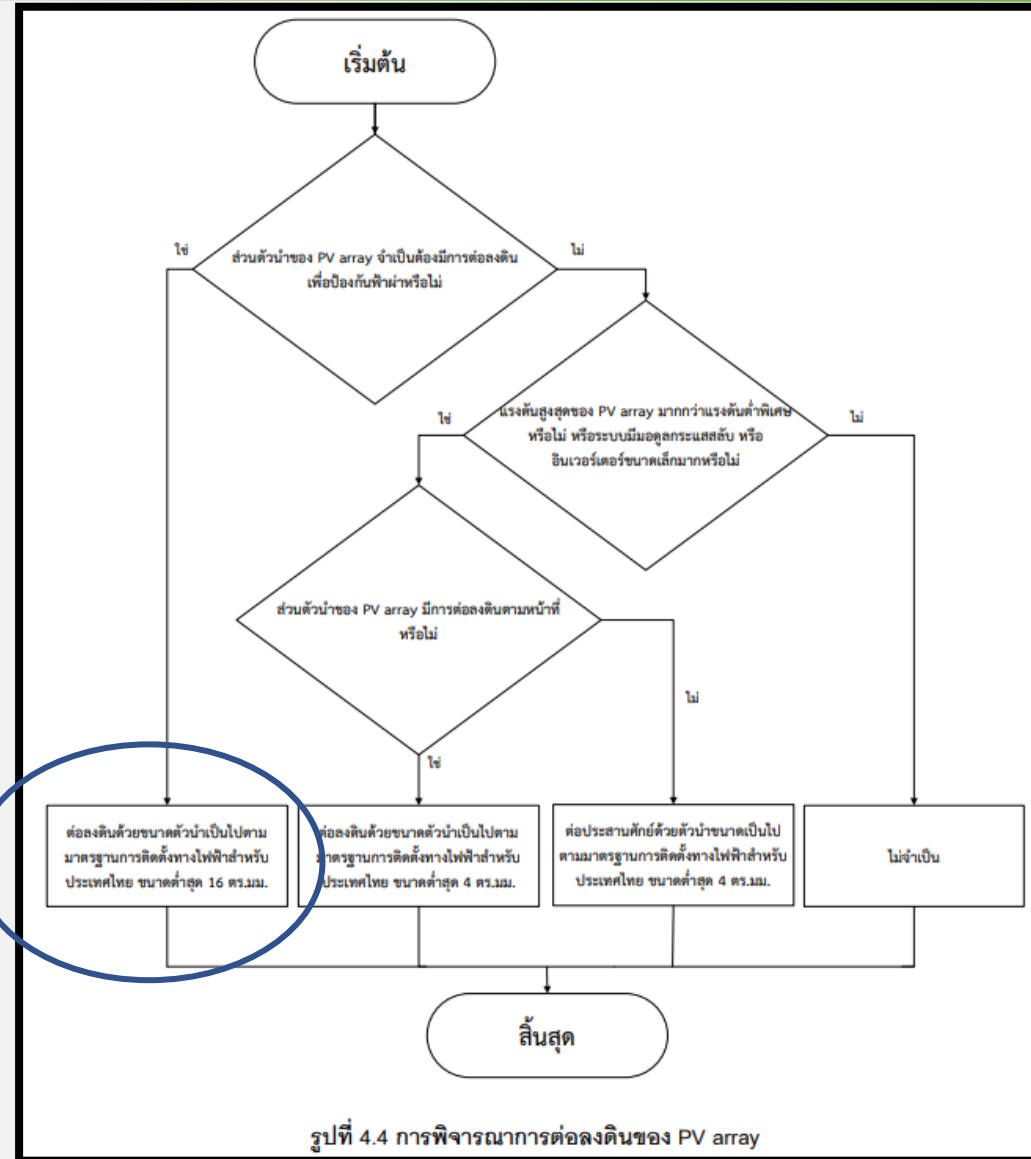
PV array ที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคาร และไม่สามารถรักษาระยะการแยกได้ เนื่องจากพื้นที่จำกัด จำเป็นจะต้องต่ออุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่ากับส่วนโลหะของ PV module เข้าด้วยกันโดยตรง

ระยะการแยก “S” เกิดจากระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่แยกอิสระจาก PV array

Solar Rooftop system



ต้องลงดินด้วยขนาดตัวนำไป
ตามมาตรฐานการติดตั้งทาง
ไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ขนาด
ต่ำสุด 16 ตร.มม.





Solar Rooftop system

การพิจารณาระยะการแยก (Separation distance)

$$S = \frac{k_i \times k_c}{k_m} \times L$$

L คือ ความยาวของตัวนำล่อฟ้า และตัวนำลงดิน หน่วยเป็นเมตร วัดจากจุด ที่พิจารณาระยะการแยกกับจุดที่มีการประสานให้ศักย์เท่ากัน หรือ รากสายดิน ที่ใกล้ที่สุด

k_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการเลือกชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ชั้นของระบบป้องกัน	k_i
I	0.08
II	0.06
III และ IV	0.04

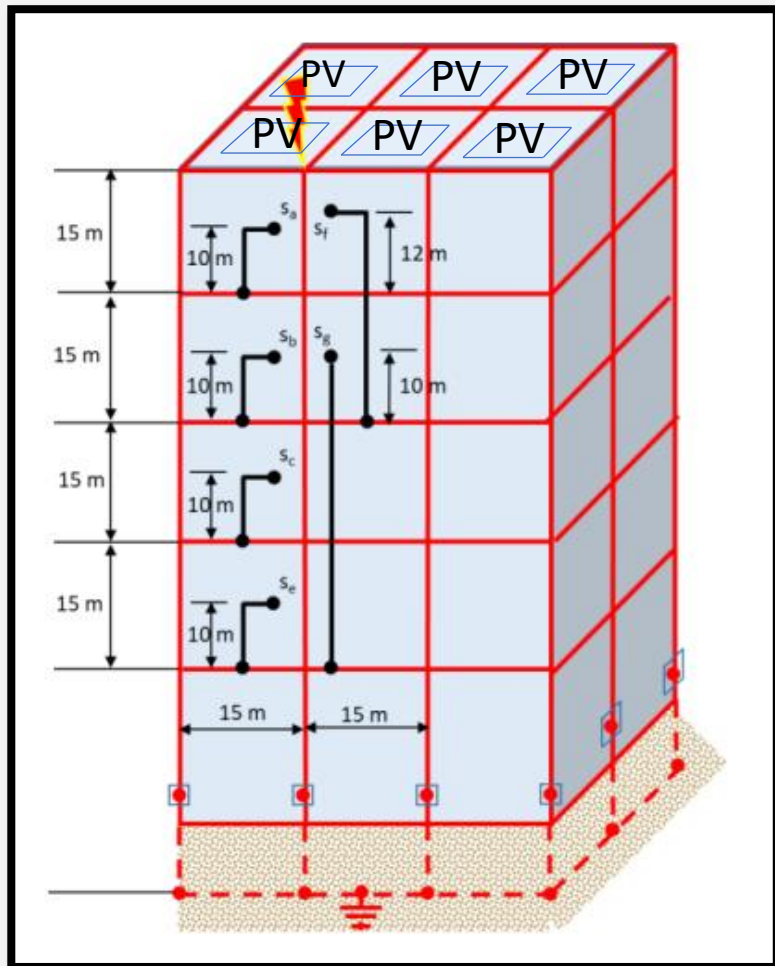
k_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า

วัสดุ	k_m
อากาศ	1
คอนกรีต อิฐ ไม้	0.5

k_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์กระแสฟ้าผ่า ที่ไหลในตัวนำล่อฟ้า และตัวนำลงดิน

จำนวนตัวนำลงดิน	k_c
1	1
2	0.66
ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป	0.44

Solar Rooftop system



อาคารมีชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า III

- อาคารมีขนาด กว้าง 30 เมตร ยาว 45 เมตร และ สูง 75 เมตร
- มีจำนวนตัวนำลงดิน 10 จุด
- รากสายดินแบบ ข. (รากสายดินฐานราก) ลึก 1 เมตร

$$S = \frac{k_i \times k_c}{k_m} \times L$$

$$k_i (\text{ระดับป้องกันฟ้าผ่า; III}) = 0.04$$

$$k_m (\text{วัสดุที่ใช้เป็นฉนวน; อากาศ}) = 1$$

$$k_c (\text{จำนวนตัวนำลงดิน; 10}) = 0.44$$

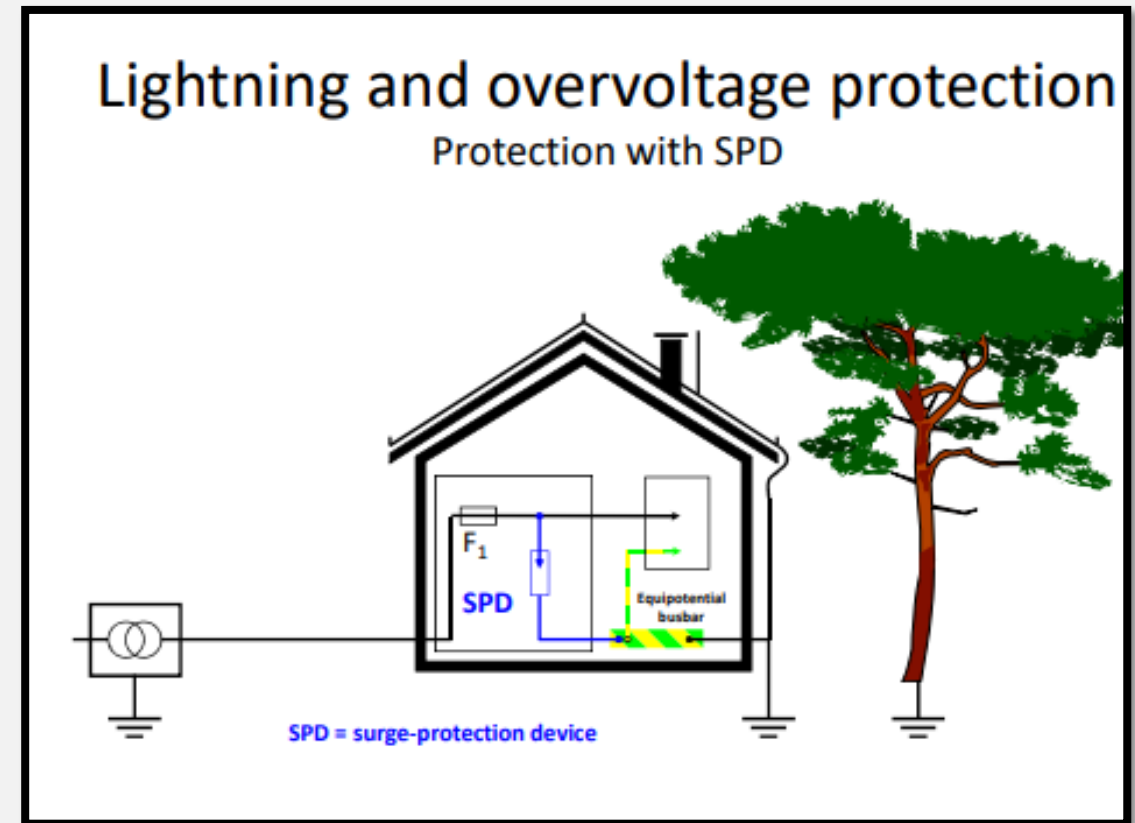
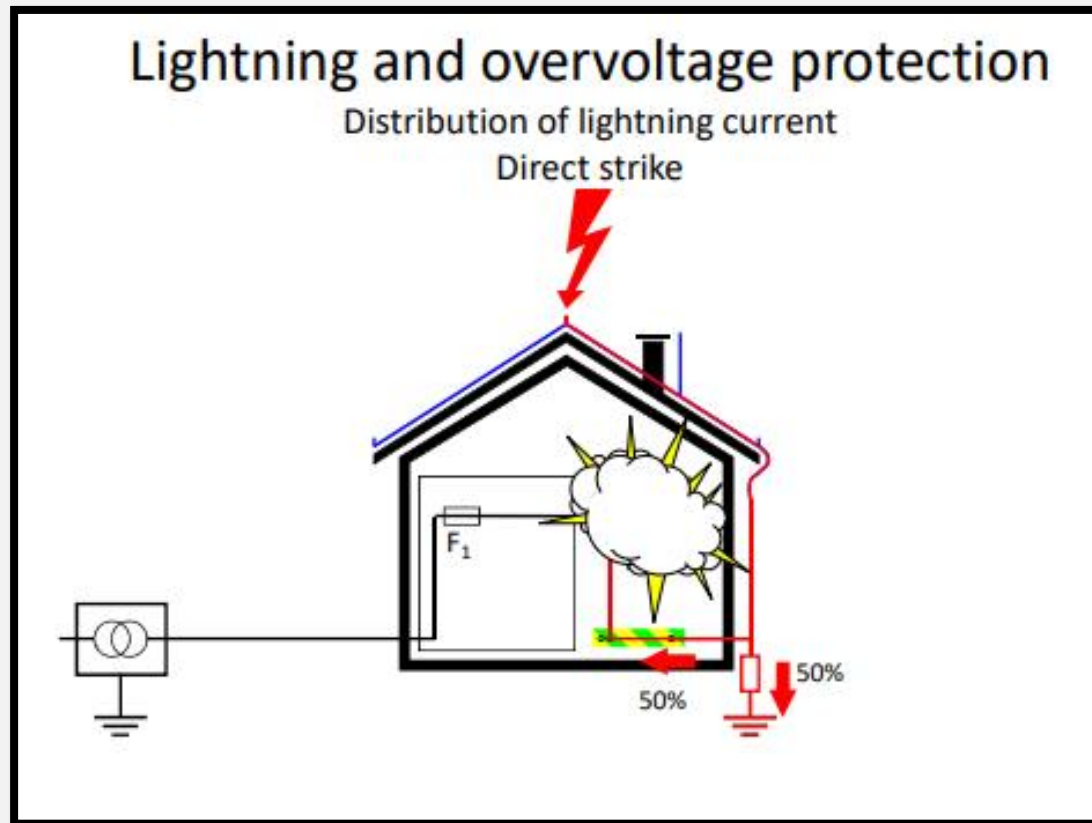
$$L (\text{ความยาวของตัวนำล่อฟ้า หรือตัวนำลงดิน}) = 7.5 + 75 + 1 = 83.5 \text{ เมตร}$$

$$S (\text{ระยะแยก}) = 1.47 \text{ เมตร}$$

Solar Rooftop system



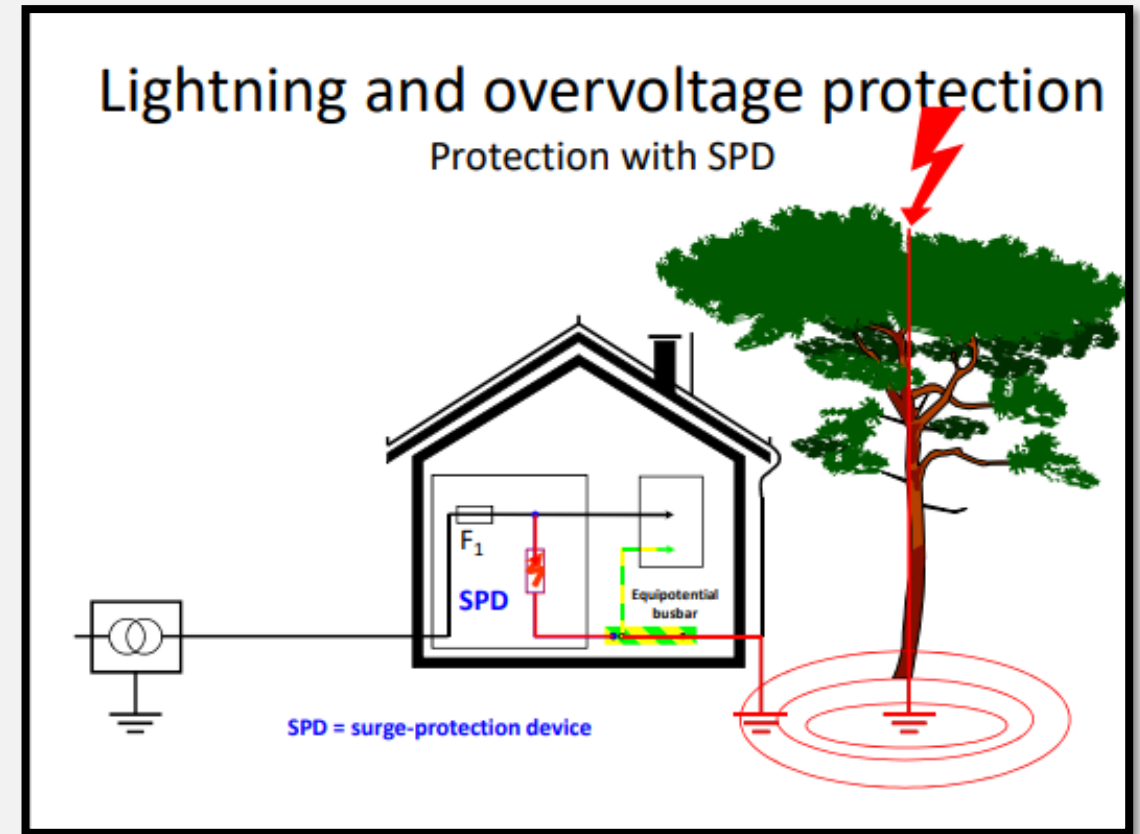
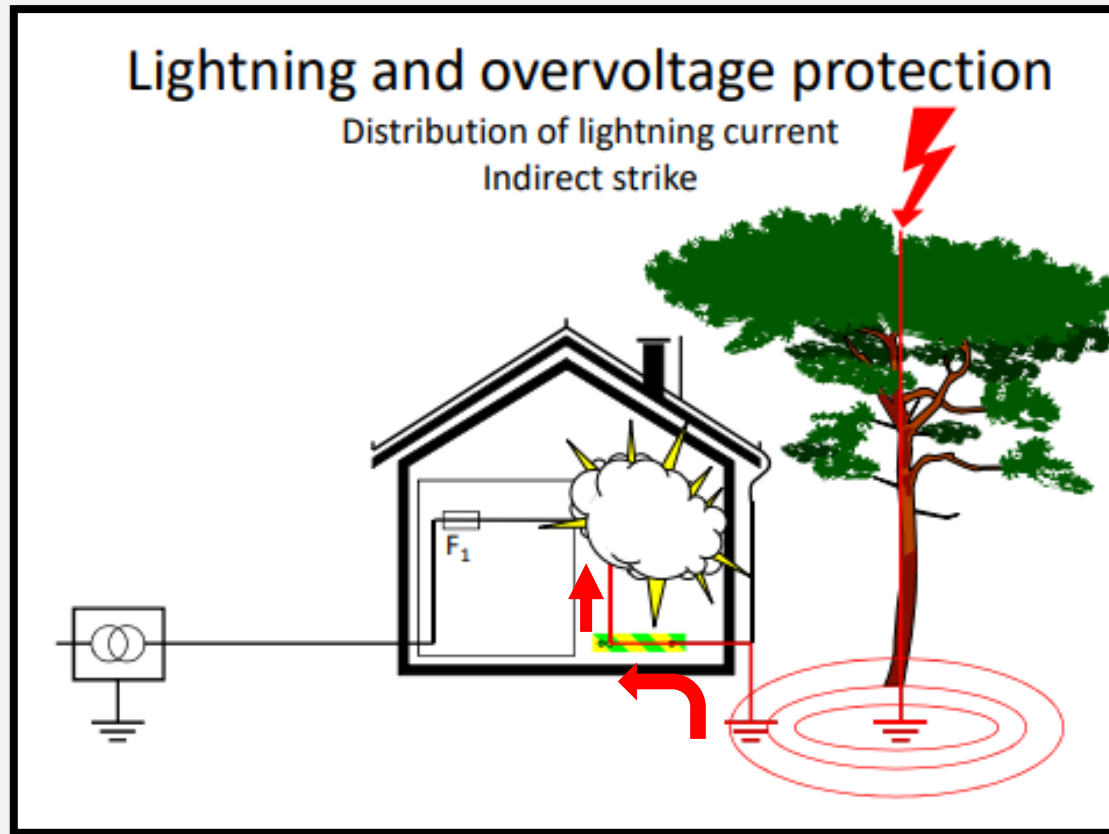
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกภายใน



Solar Rooftop system

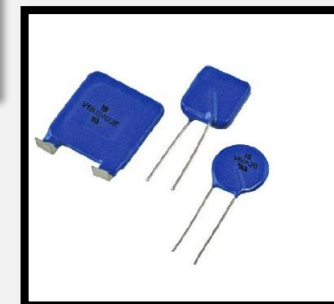
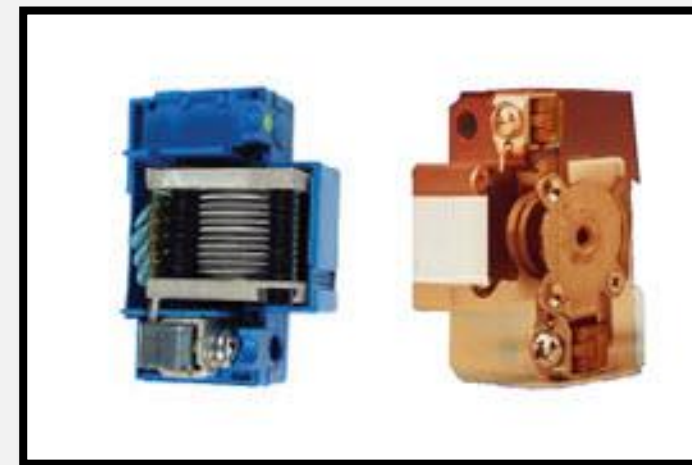
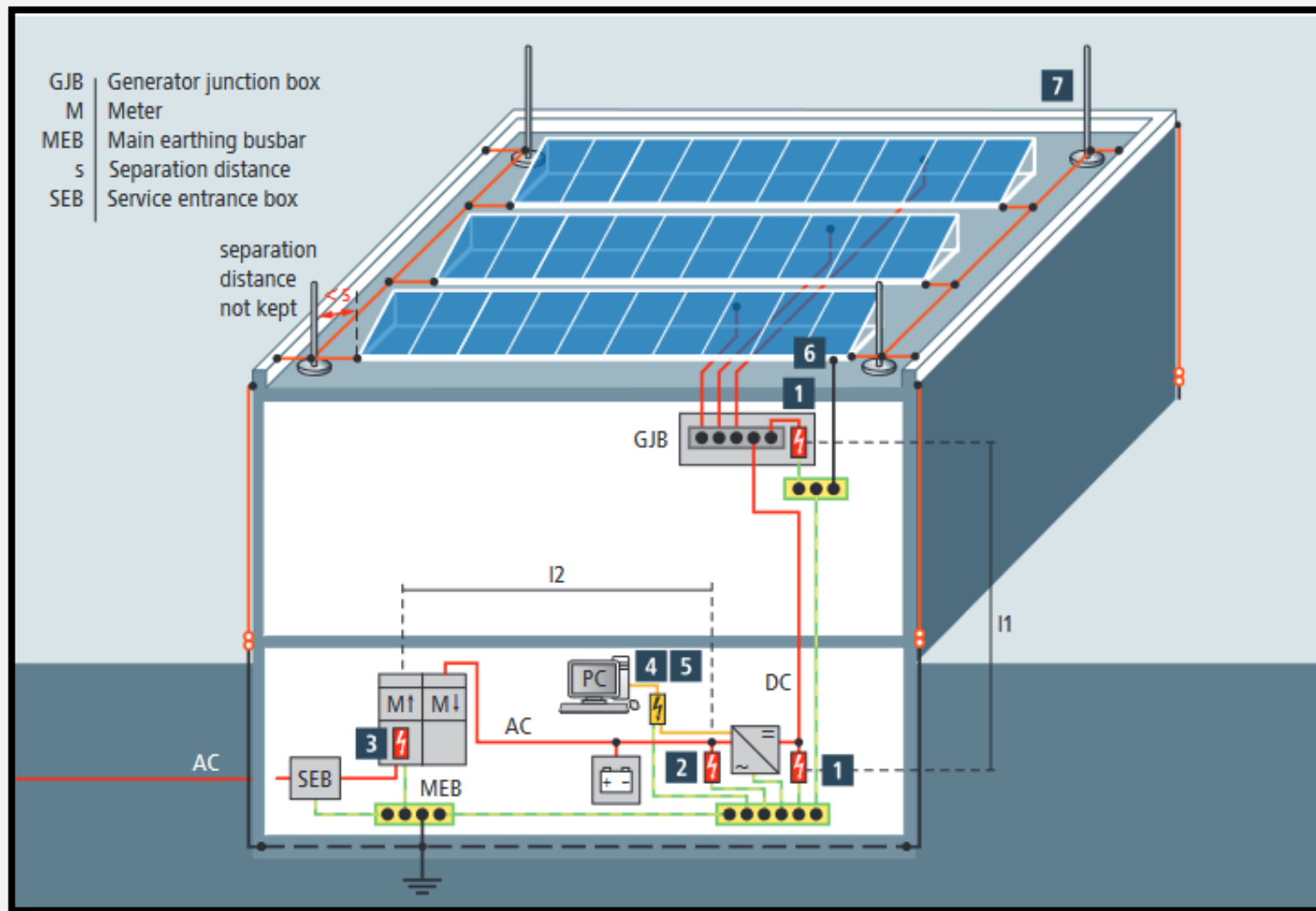


ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน



Solar Rooftop system

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกภายใน



Solar Rooftop system



ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน

การป้องกันฟ้าผ่า	อุปกรณ์ป้องกันสายฟ้าด้านอินพุต และเอาต์พุตของอุปกรณ์แปลงผัน กำลังไฟฟ้า	อุปกรณ์ป้องกันสายฟ้าด้านรับ ไฟฟ้ากระแสสลับจากภายนอก
ไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก	อุปกรณ์ป้องกันสายฟ้า class II ที่ถูกทดสอบ	อุปกรณ์ป้องกันสายฟ้า class II ที่ถูกทดสอบ
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ที่รักษาระยะการแยก “S” ไว้ได้	อุปกรณ์ป้องกันสายฟ้า class II ที่ถูกทดสอบ	อุปกรณ์ป้องกันสายฟ้า class I ที่ถูกทดสอบ
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ที่รักษาระยะการแยก “S” ไว้ไม่ได้	อุปกรณ์ป้องกันสายฟ้า class I ที่ถูกทดสอบ	อุปกรณ์ป้องกันสายฟ้า class I ที่ถูกทดสอบ

Solar Rooftop system

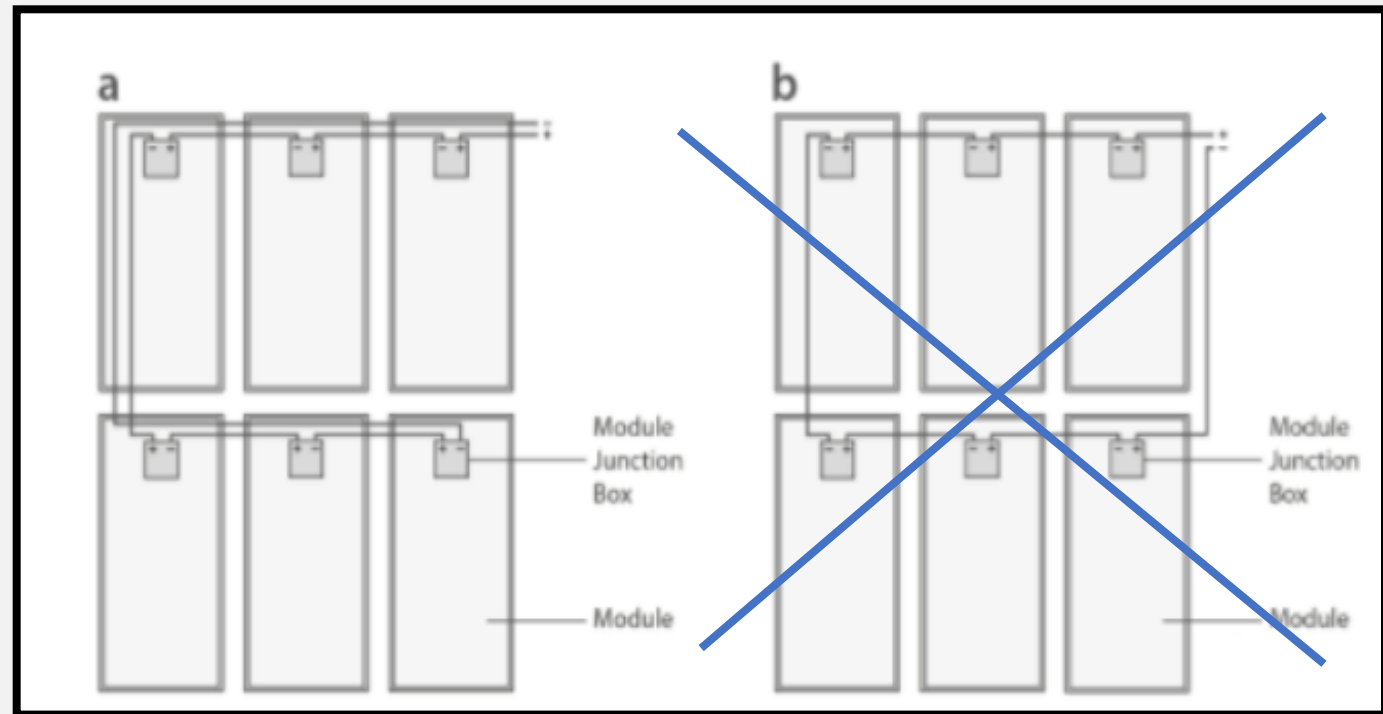


3.5 การป้องกันผลกระทบจากฟ้าผ่าและแรงดันเกิน

(Protection Against Effect of Lightning and Overvoltage)

การเดินสายเป็นวงรอบ (wiring loops)

เพื่อลดขนาดของแรงดันเกินเหนี่ยวนำจาก
ฟ้าผ่า การเดินสายของ PV array ควรมีพื้นที่
วงรอบของตัวนำไฟฟ้าให้น้อยที่สุด



Solar Rooftop system



ระบบ Solar Rooftop ที่ปลอดภัย

การออกแบบ

การเลือกใช้อุปกรณ์

การติดตั้ง

การบำรุงรักษา





ขอบคุณครับ