



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 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 ตัวอย่างรูปแบบการเชื่อมต่อบatteryกับพลังงานแสงอาทิตย์และระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	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. การจำแนกประเภทแรงดันไฟฟ้าแบบเค็ดขาด	127
ซ. การต่อลงดินสำหรับระบบแบตเตอรี่	128
ณ. การออกแบบสายไฟ PV CABLE (ข้อเสนอแนะ)	136

จรรยาบรรณต่อสาธารณะ

ข้อ ๕ ผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมต้องประกอบวิชาชีพโดยให้ความสำคัญต่อความปลอดภัย สุขอนามัย และสวัสดิภาพของสาธารณชน ตลอดจนทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อมอันเป็นสาธารณะด้วย

ข้อ ๖ ผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมต้องละเว้นจากการให้การสนับสนุน ส่งเสริม หรือเป็นตุลาการ เกี่ยวกับการทุจริตในโครงการของภาครัฐหรือเอกชน

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

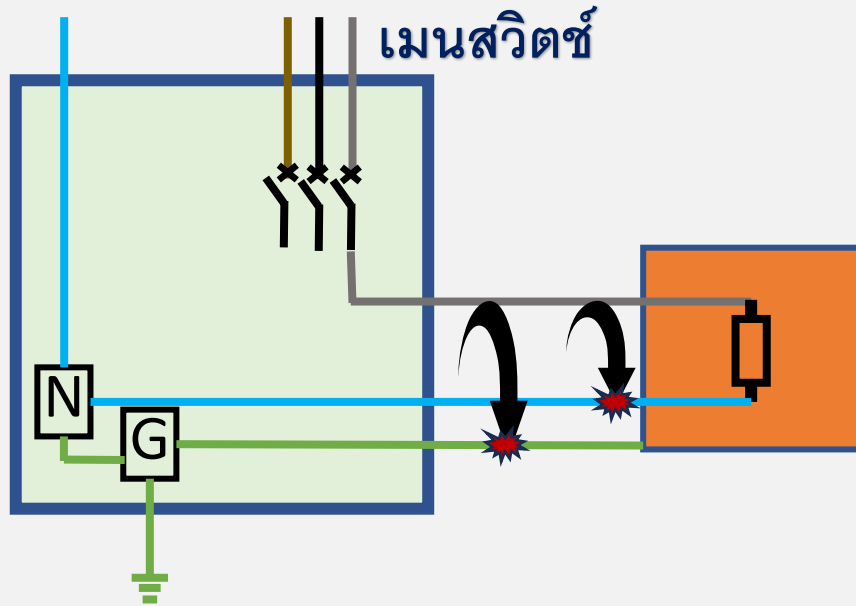
ในระบบที่ซึ่งเอาท์พุทของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าต่อกับส่วนต่อลงดินเพื่อเป็นจุดอ้างอิง ถ้าใช้อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไม่แยกส่วน จะไม่อนุญาตให้มีตัวนำต่อลงดินตามหน้าที่ (functional earthing) ใน
ด้านระบบกระแสตรง

Electric shock



ไฟฟ้าดูด (Electric Shock)

ไฟฟ้าดูด คือการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านร่างกายได้จะต้องเป็นการไหลครบวงจร



ไฟช็อต (Short Circuit) คือ ไฟฟ้าที่ลัดวงจร เกิดจากกระแสไฟฟ้าจากสายไฟเส้นหนึ่งโอนไปยังเส้นอื่น ๆ โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า

Electric shock



ไฟฟ้าดูด (Electric Shock)

ความรุนแรงหรืออันตราย จะขึ้นอยู่กับ

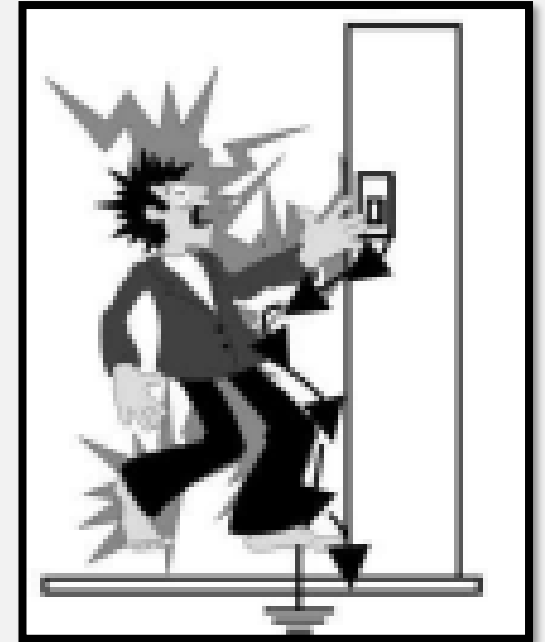
1.เส้นทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายที่เกิดขึ้นมากที่สุด และเกิดอันตรายมากที่สุด คือ เส้นทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านหัวใจ

2.ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านร่างกายสูง จะเกิดอันตรายสูงขึ้น

3.ระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายมาก จะเกิดอันตรายสูงขึ้น

4.ความต้านทานของร่างกายที่มีค่าสูง จะเกิดอันตรายลดลง

5.ความถี่ของกระแสไฟฟ้า



The graph plots the duration of current flow t (ms) on the y-axis (logarithmic scale from 10 to 10,000) against the body current I_b (mA) on the x-axis (logarithmic scale from 0.1 to 10,000). The graph is divided into several safety zones and threshold curves.

- AC-1:** Imperceptible zone (green background).
- AC-2:** Perceptible zone (light green background).
- AC-3:** Reversible effects: muscular contraction (orange background).
- AC-4:** Possibility of irreversible effects (red background).
- AC-4.1, AC-4.2, AC-4.3:** Sub-zones within AC-4.
- Curve A:** Threshold of perception of current (dashed line at $t = 0.5$ ms).
- Curve B:** Threshold of muscular reactions (dashed line).
- Curve C1:** Ventricular fibrillation unlikely to happen (solid red line).
- Curve C2:** Threshold of 5 % probability of ventricular fibrillation (dashed red line).
- Curve C3:** Threshold of 50 % probability of ventricular fibrillation (dotted red line).

A red dot is marked at $t = 40$ ms and $I_b = 30$ mA, labeled **RCD** (Residual Current Device).

Legend:

- zone: Imperceptible
- zone: Perceptible
- zone: Reversible effects: muscular contraction
- zone: Possibility of irreversible effects
- 1 zone: Up to 5 % probability of heart fibrillation
- 2 zone: Up to 50 % probability of heart fibrillation
- 3 zone: More than 50 % probability of heart fibrillation

Curve Descriptions:

- A curve: Threshold of perception of current
- B curve: Threshold of muscular reactions
- C1 curve: Ventricular fibrillation unlikely to happen
- C2 curve: Threshold of 5 % probability of ventricular fibrillation
- C3 curve: Threshold of 50 % probability of ventricular fibrillation

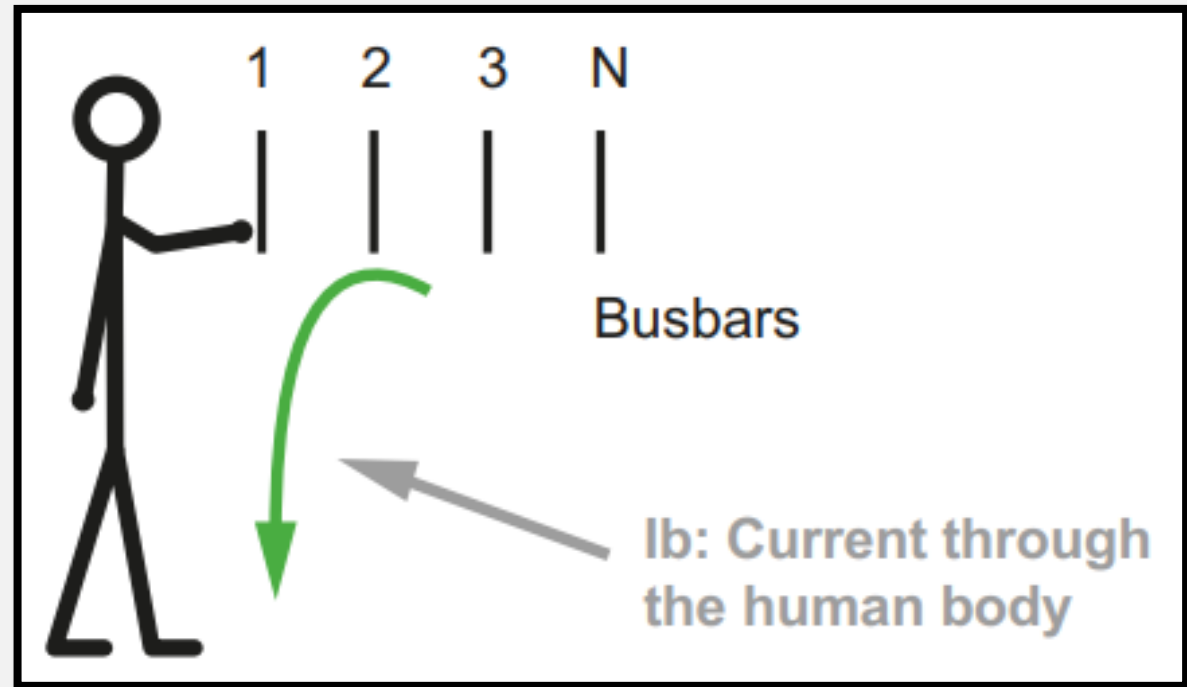
Electric shock



ไฟฟ้าดูดเกิดจากการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้า แบ่งการสัมผัสได้เป็น 2 แบบ

การสัมผัสโดยตรง (direct contact)

การที่ร่างกายสัมผัสกับส่วนที่อยู่ในสภาพปกติ มีแรงดันไฟฟ้าอยู่แล้ว เช่น สัมผัสบัสบาร์ที่เปิดโล่ง สายไฟฟ้าเปลือยหรือฉนวนชำรุด



Electric shock



การป้องกันการสัมผัสไฟฟ้าโดยตรง (direct contact)

หุ้มฉนวนส่วนที่มีไฟ เช่น
การหุ้มฉนวนสายไฟฟ้า



ป้องกันโดยมีสิ่งกั้นหรือตู้
เช่น ตู้หรือแผงสวิตช์

ป้องกันโดยมีสิ่งที่กีดขวาง เหมาะสมสำหรับ
อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ เช่น ลานหม้อแปลง



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

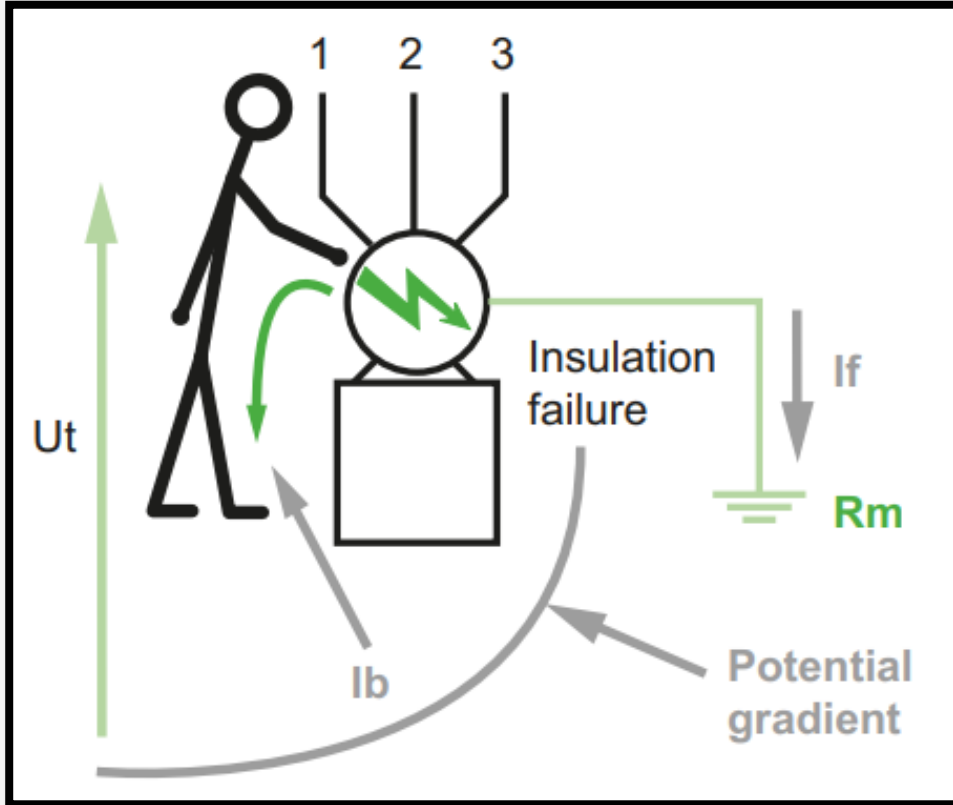
Electric shock



การสัมผัสโดยอ้อม (indirect contact)

การสัมผัสส่วนของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่ปกติ จะไม่มีไฟฟ้าและสามารถสัมผัสได้โดยไม่มีอันตราย เช่น โครงโลหะของบริภัณฑ์ไฟฟ้า เป็นต้น

การป้องกัน



- การต่อลงดินเปลือกหุ้มที่เป็นตัวนำและมีเครื่องปลดวงจรอัตโนมัติ
- ใช้เครื่องตัดไฟรั่ว เป็นการป้องกันหลักหรือป้องกันเสริม
- ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดฉนวน 2 ชั้น หรือประเภท II (**double insulation**)
- ใช้เครื่องใช้ที่มีแรงดันต่ำที่ไม่เกิน 50 V

Solar Rooftop system



3.2 การป้องกันการเกิดไฟดูด (electric shock)

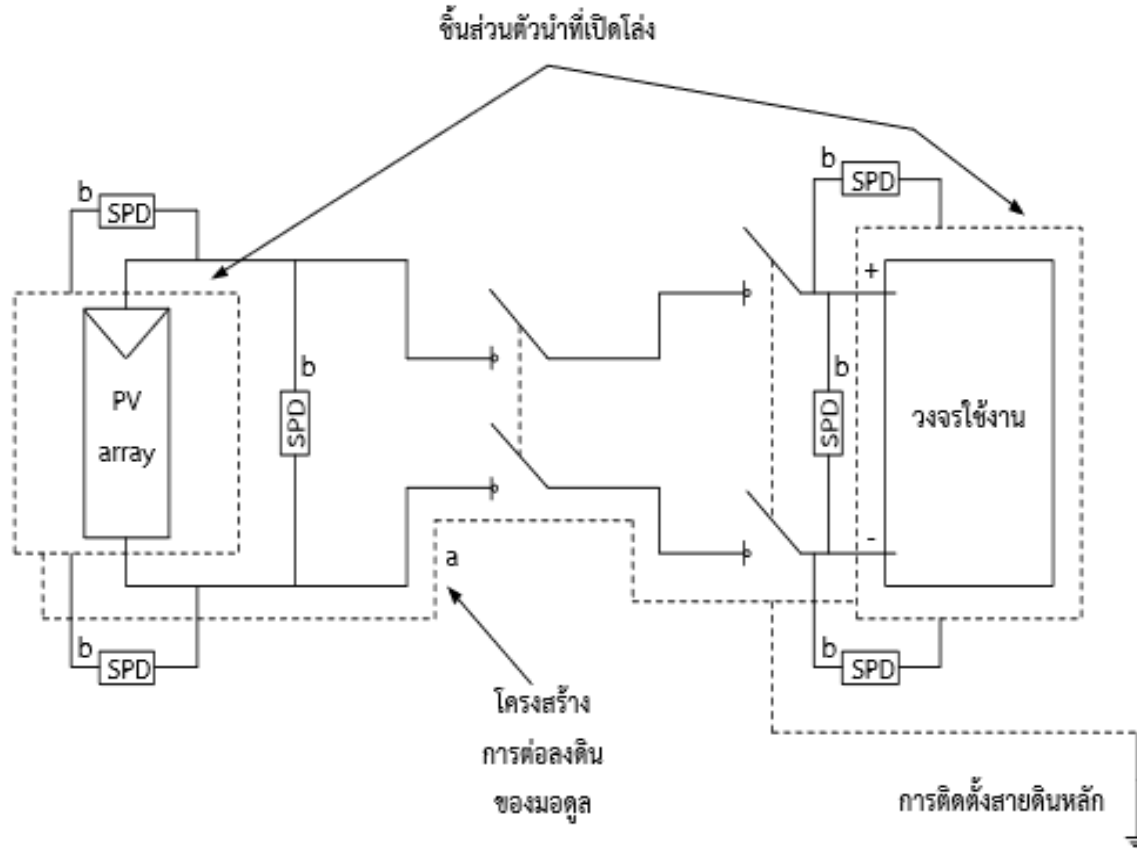
สำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำ เคเบิลและส่วนประกอบใน PV array ต้องถูกป้องกันชั้นต่ำด้วยฉนวนเสริม (reinforced insulation) ระหว่างสายตัวนำที่มีไฟกับส่วนต่อลงดิน หรือส่วนเปิดโล่งอื่น ๆ ที่นำไฟฟ้าได้

Direct contact

ในระบบที่ซึ่งเอาท์พุทของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าต่อกับส่วนต่อลงดินเพื่อเป็นจุดอ้างอิง ถ้าใช้อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไม่แยกส่วน จะไม่อนุญาตให้มีตัวนำต่อลงดินตามหน้าที่ (functional earthing) ใน
ด้านระบบกระแสตรง

Indirect contact

Solar Rooftop system



Earthing system(IT)

ระบบไม่มีการต่อลงดิน แต่ยังมีสายดินตัวนำป้องกัน(PE)ตัวนำที่ใช้ในการต่อลงดินสำหรับโครงสร้างโลหะที่รองรับ PV array ต้องเป็นตัวนำทองแดงที่มีขนาดไม่ต่ำกว่า 4 ตารางมิลลิเมตร

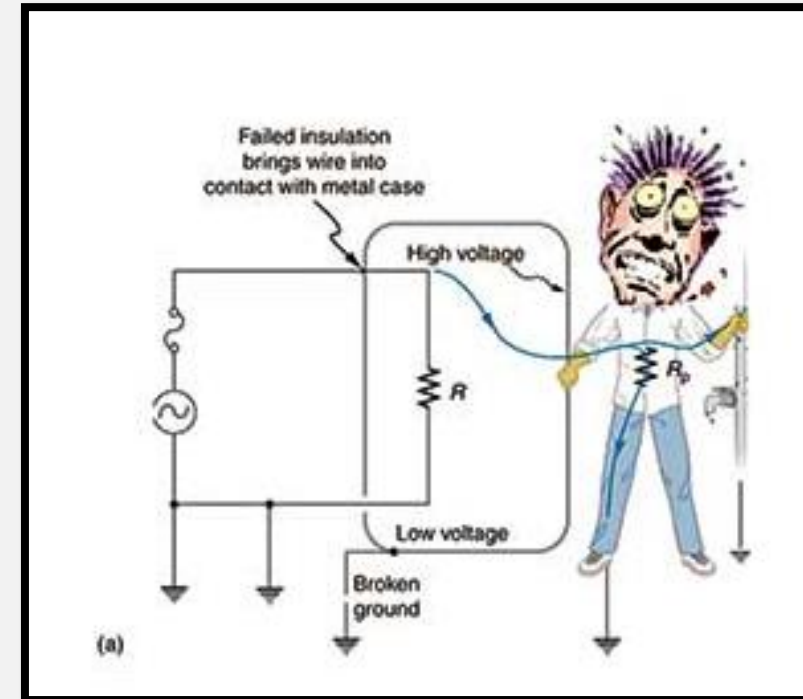
Solar Rooftop system



3.4 การป้องกันความผิดปกติลงดิน (Protection Against Earth Faults)

3.4.2 อินเวอร์เตอร์ภายในไม่มีหม้อแปลง (Transformerless Inverter)

ห้ามต่อลงดินโดยตรงตามหน้าที่ (Functional earthing) สำหรับตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านกระแสตรง



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)

Earthing system



IEC standard Earthing 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

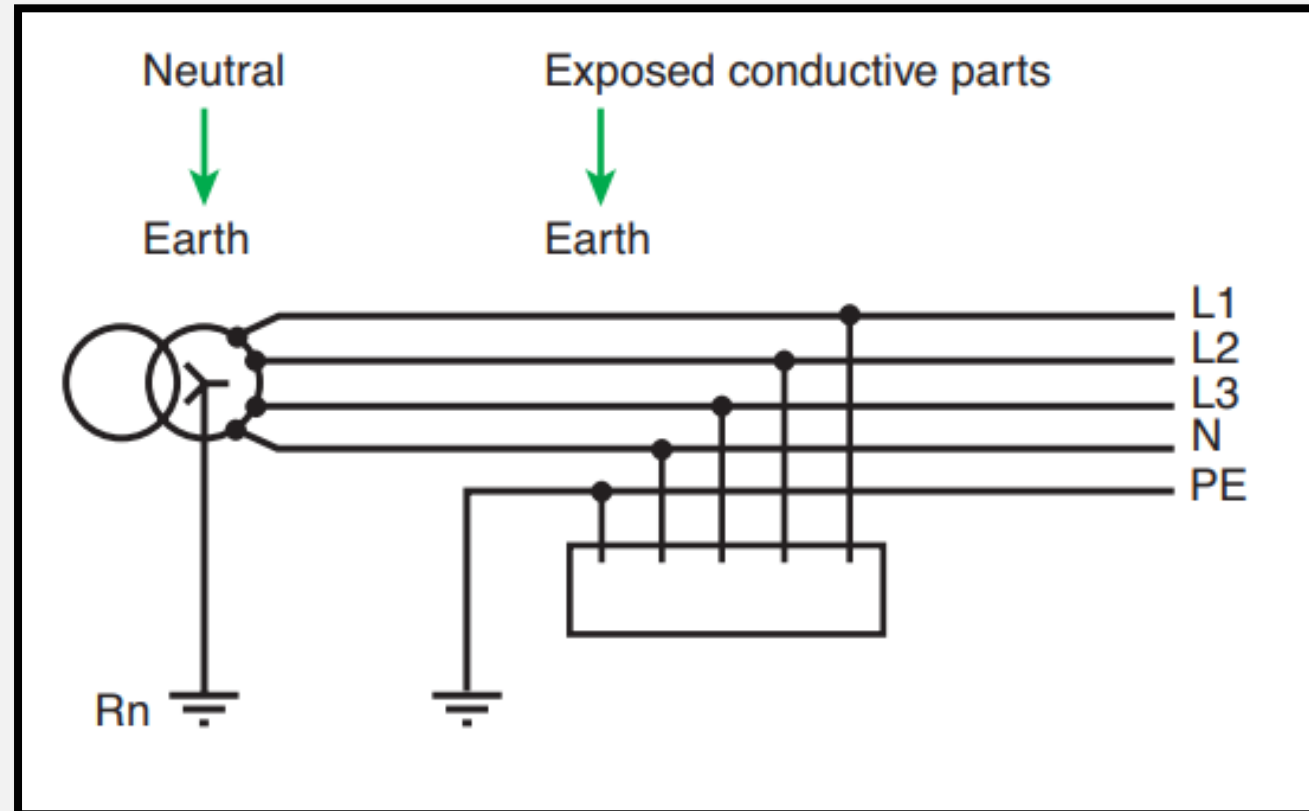
Solar Rooftop system



TT System

the transformer neutral is earthed

the electrical load frames are also earthed



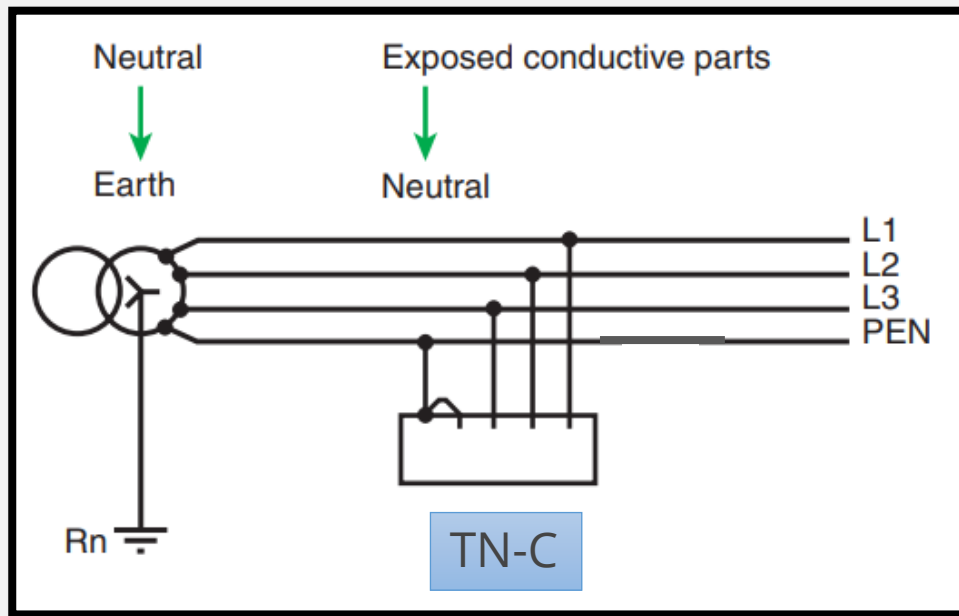
Solar Rooftop system



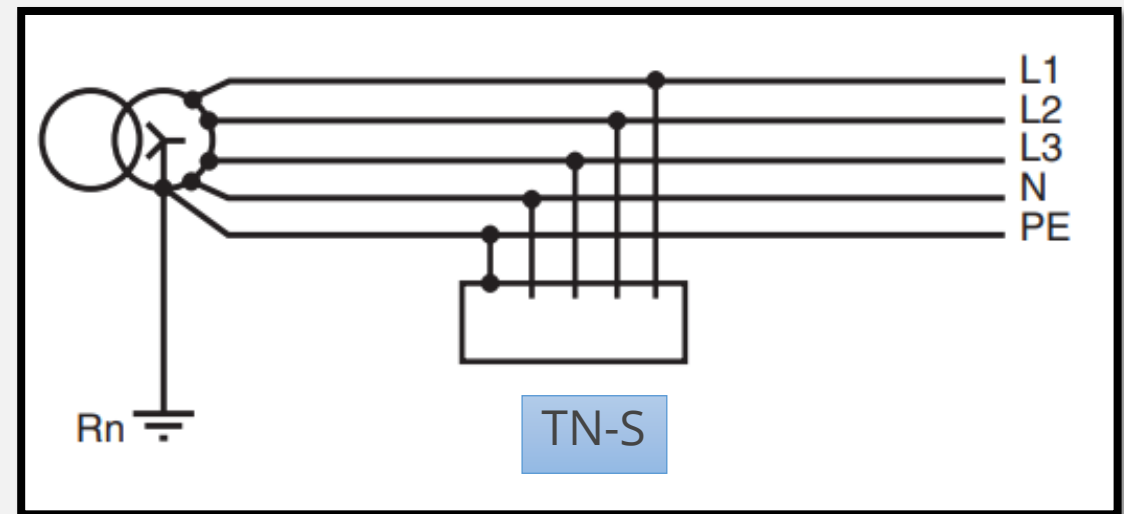
TN System

the transformer neutral is earthed

the electrical load frames are connected to neutral



the same conductor acts as a neutral and a protective conductor



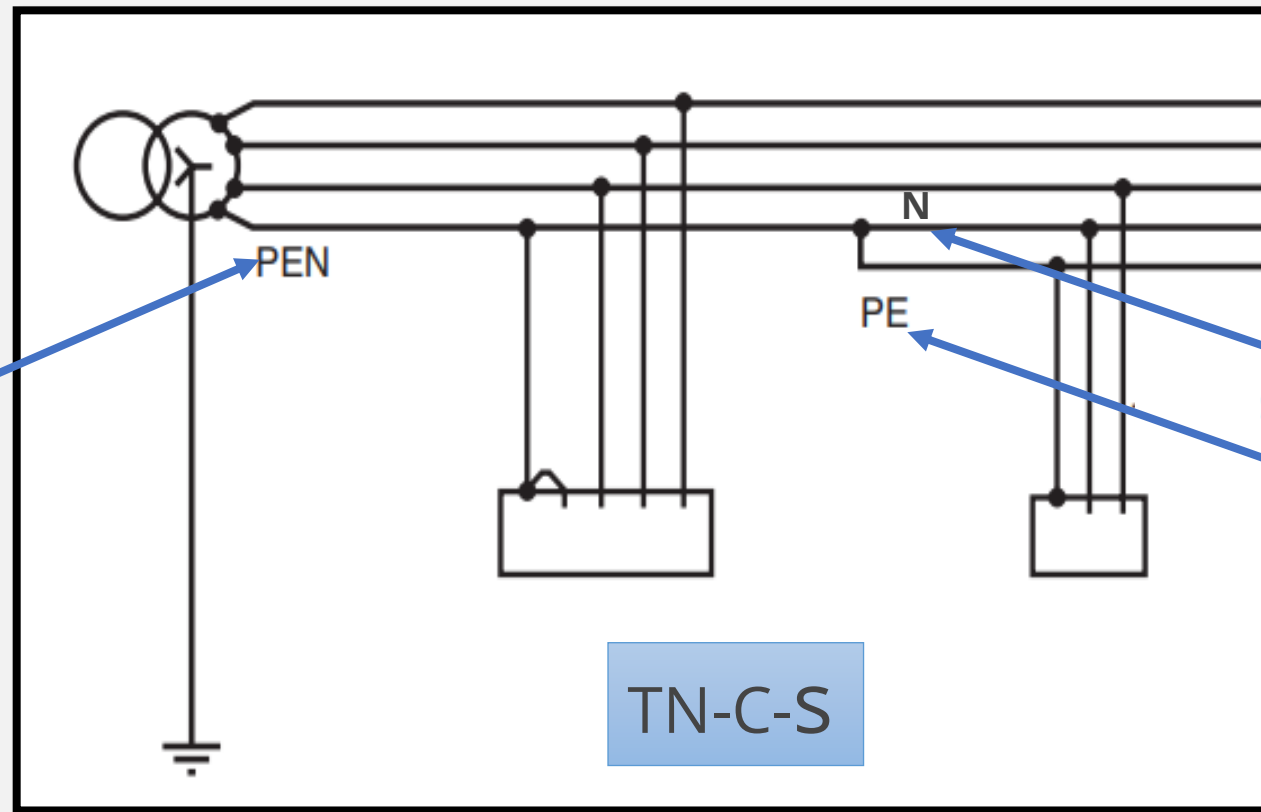
the neutral and the protective conductor are separate

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

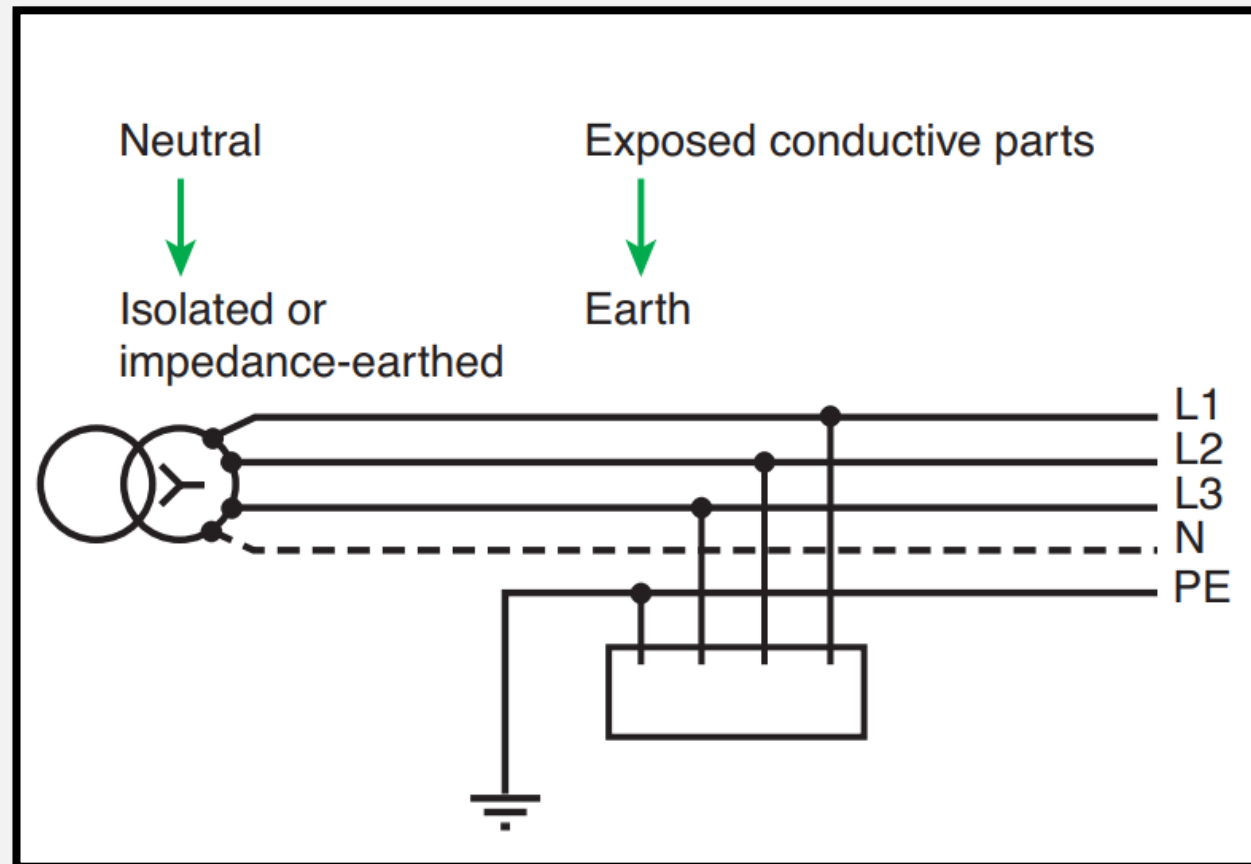
the neutral and
the protective
conductor are
separate



Solar Rooftop system

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

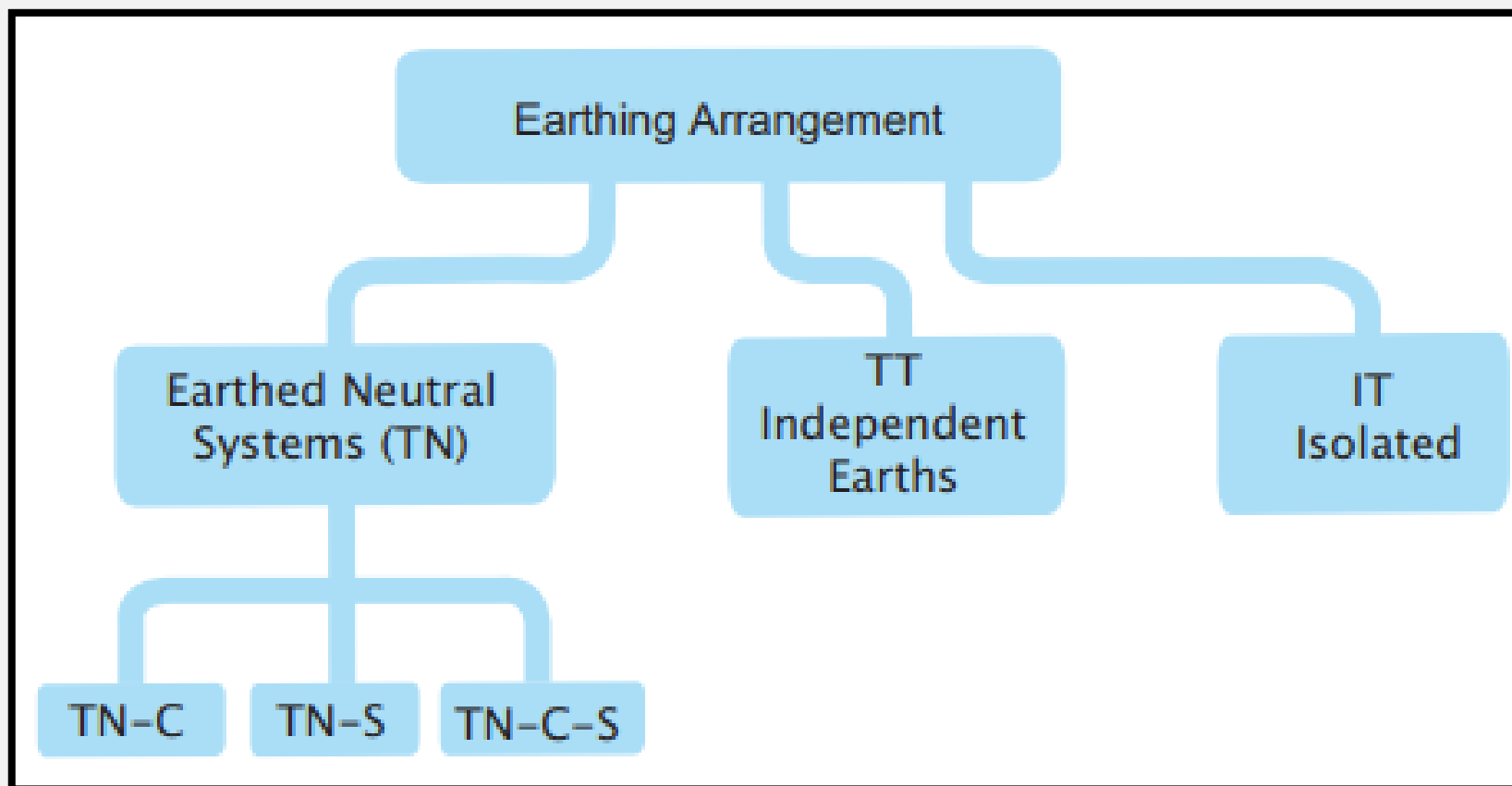
the electrical load frames are earthed





Earthing system

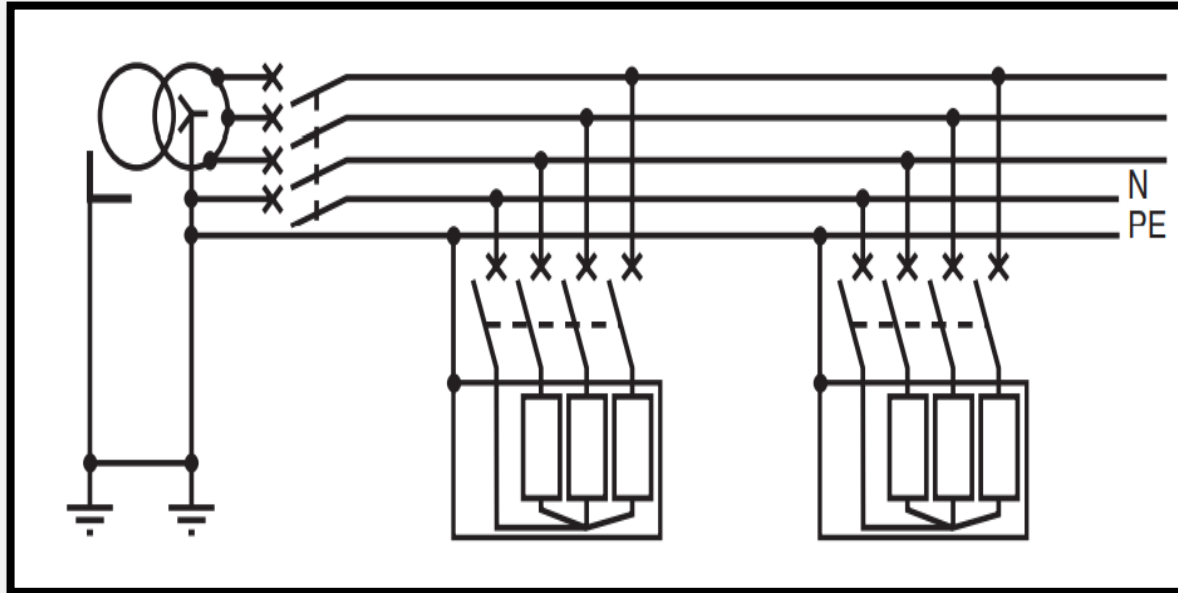
แนวการออกแบบ ระบบป้องกันอันตรายต่อ
บุคคลจากความผิดพลาดของกระแสไฟฟ้า



Solar Rooftop system



TN System

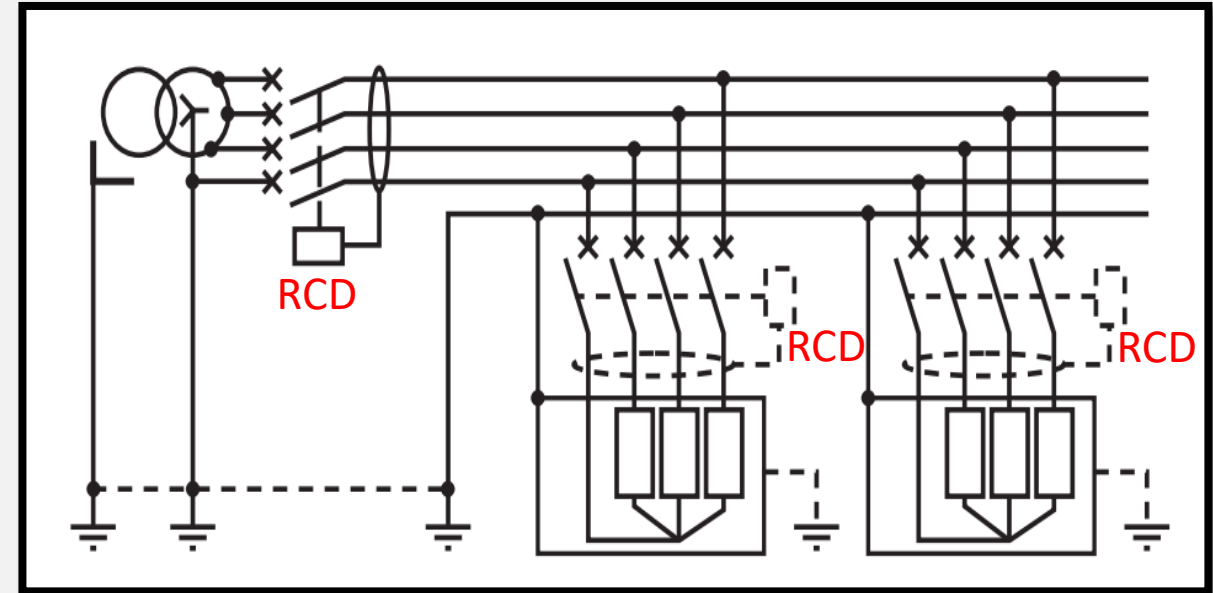


the protection of persons:

- 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

TT System



the protection of persons:

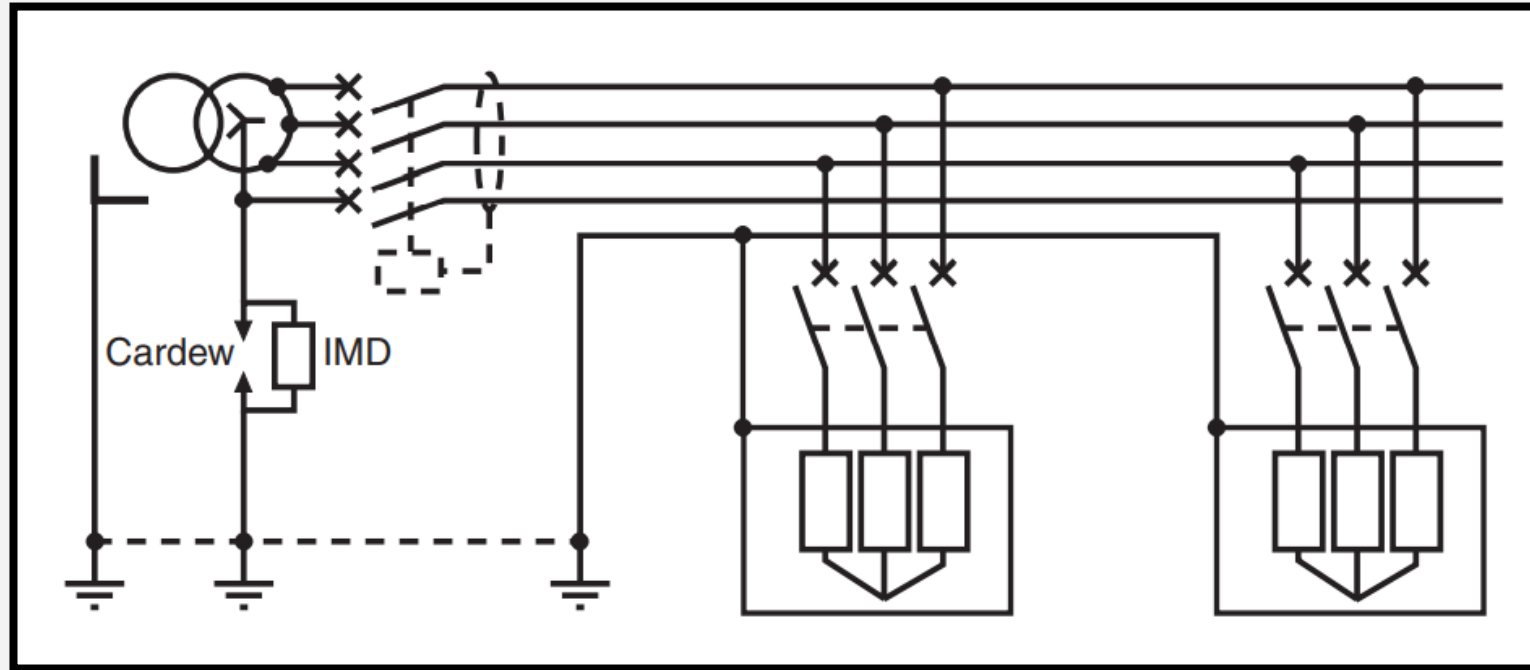
- the exposed conductive parts are earthed
- Residual current devices (RCD) are used

Interruption for the first insulation fault

Solar Rooftop system



IT System :



Protection of persons:

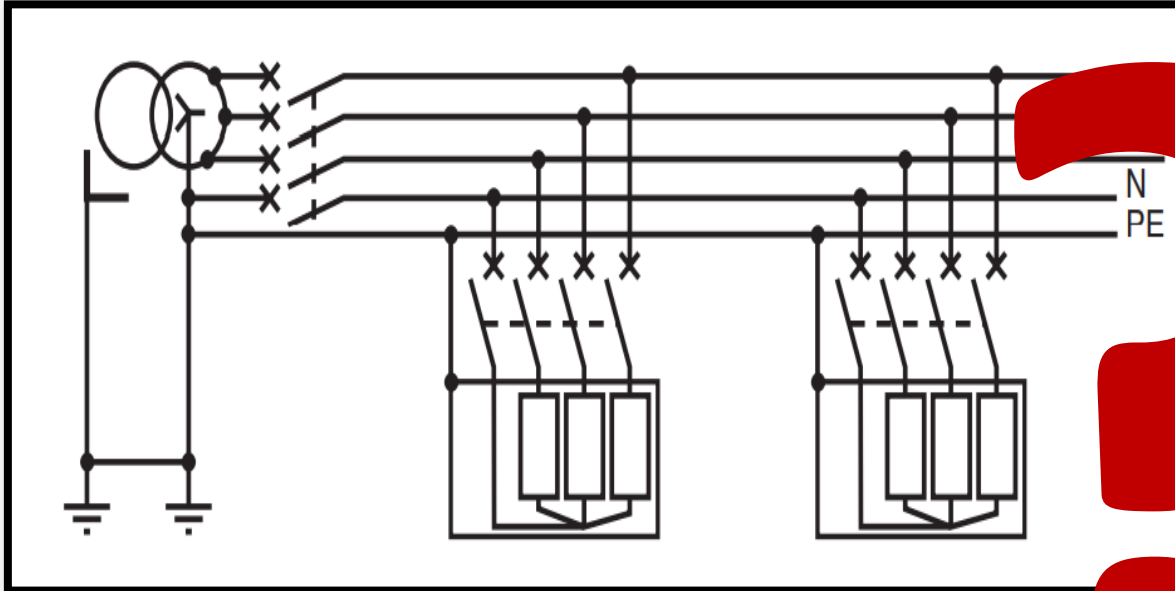
- Interconnection and earthing of exposed conductive parts
- Indication of the first fault by an insulation monitoring device (IMD)
- Interruption for the second fault using overcurrent protection (circuit-breakers or fuses)

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

Solar Rooftop system



TN System

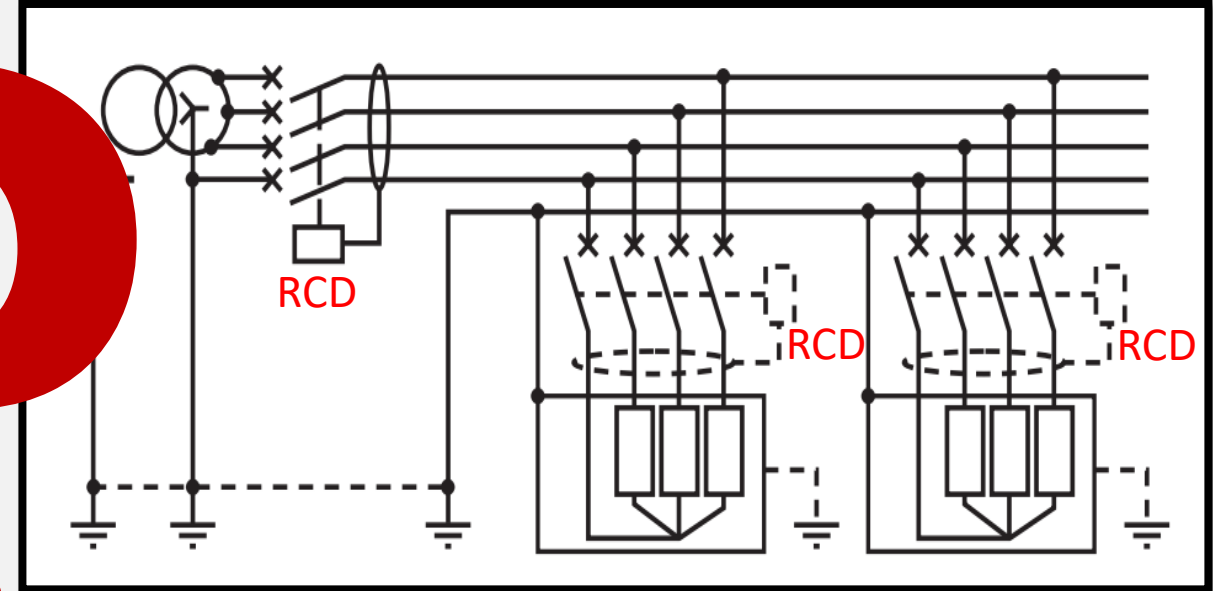


the protection of persons:

- 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

TT System



the protection of persons:

- the exposed conductive parts are earthed
- Residual current devices (RCD) are used

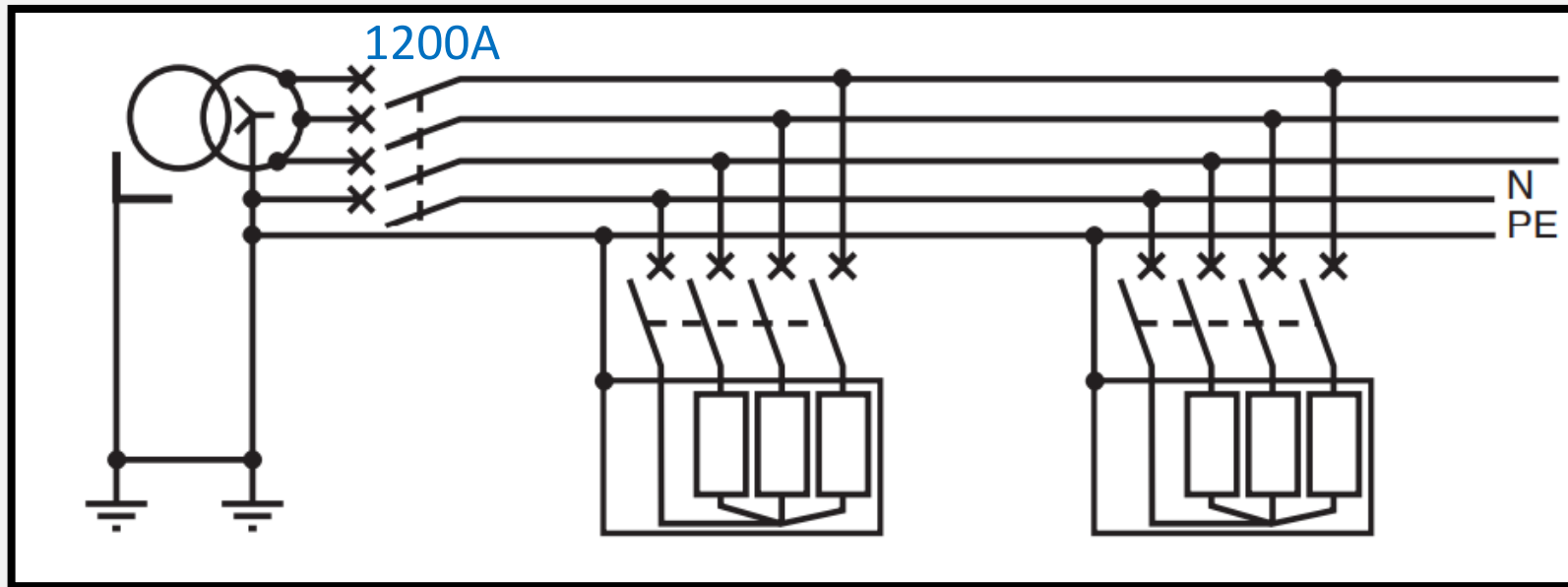
Interruption for the first insulation fault

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 $I_d \leq 0.1 \text{ A}$

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)

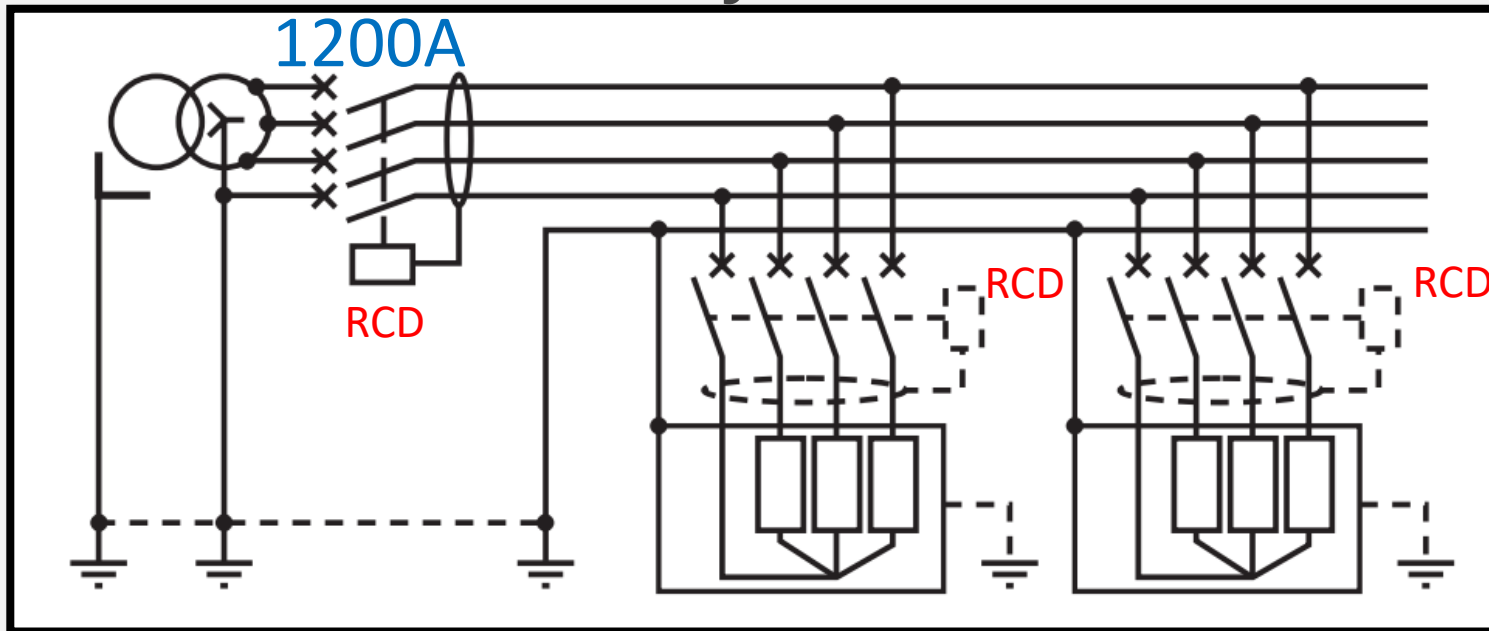
Interruption for the first insulation fault

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

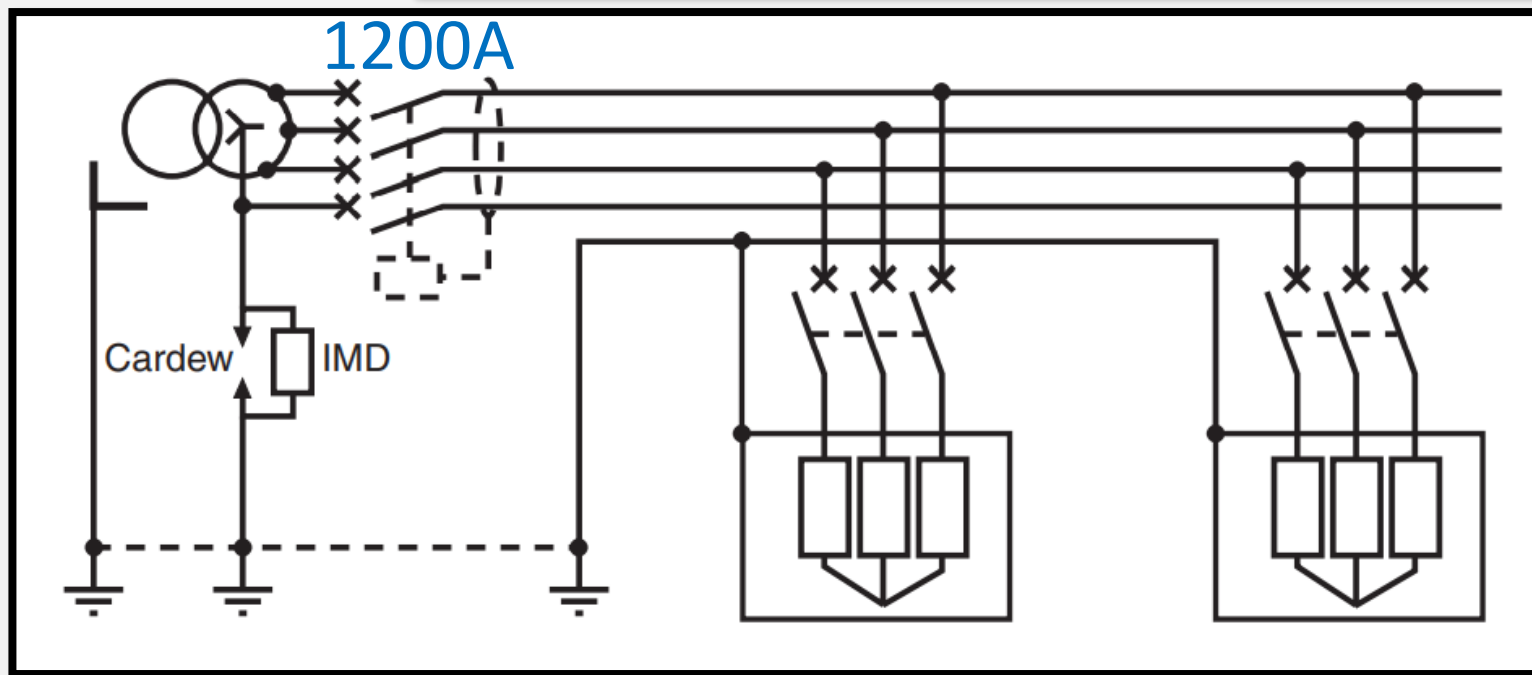
Interruption for the first insulation fault



Earthing 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:

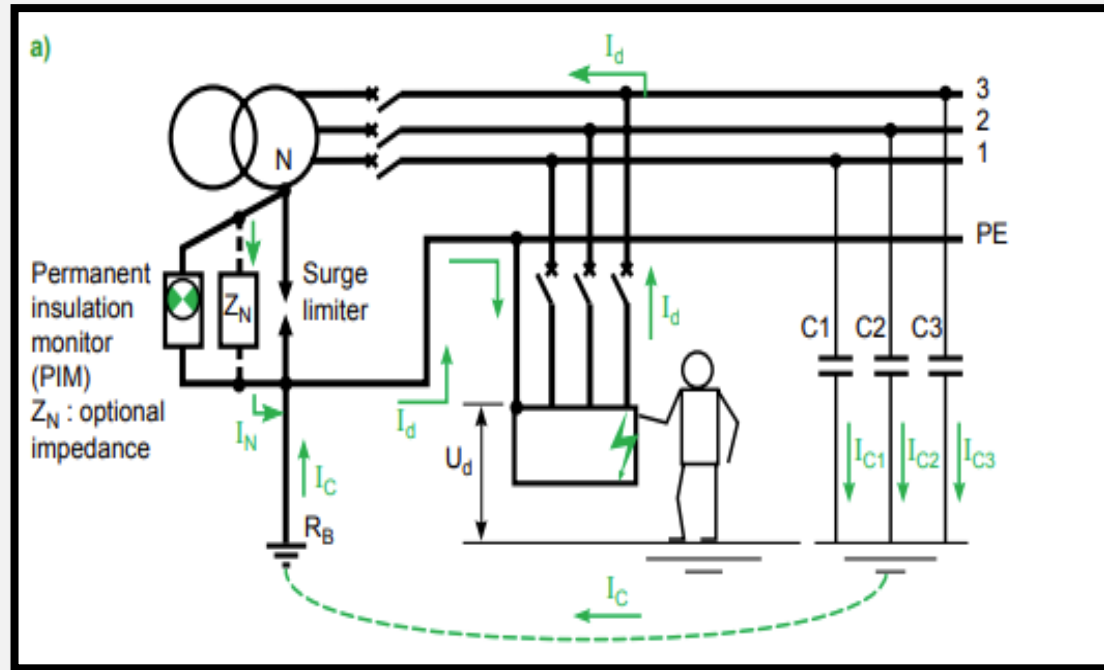
- Interconnection and earthing of exposed conductive parts
- Indication of the first fault by an insulation monitoring device (IMD)
- Interruption for the second fault using overcurrent protection (circuit-breakers or fuses)

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

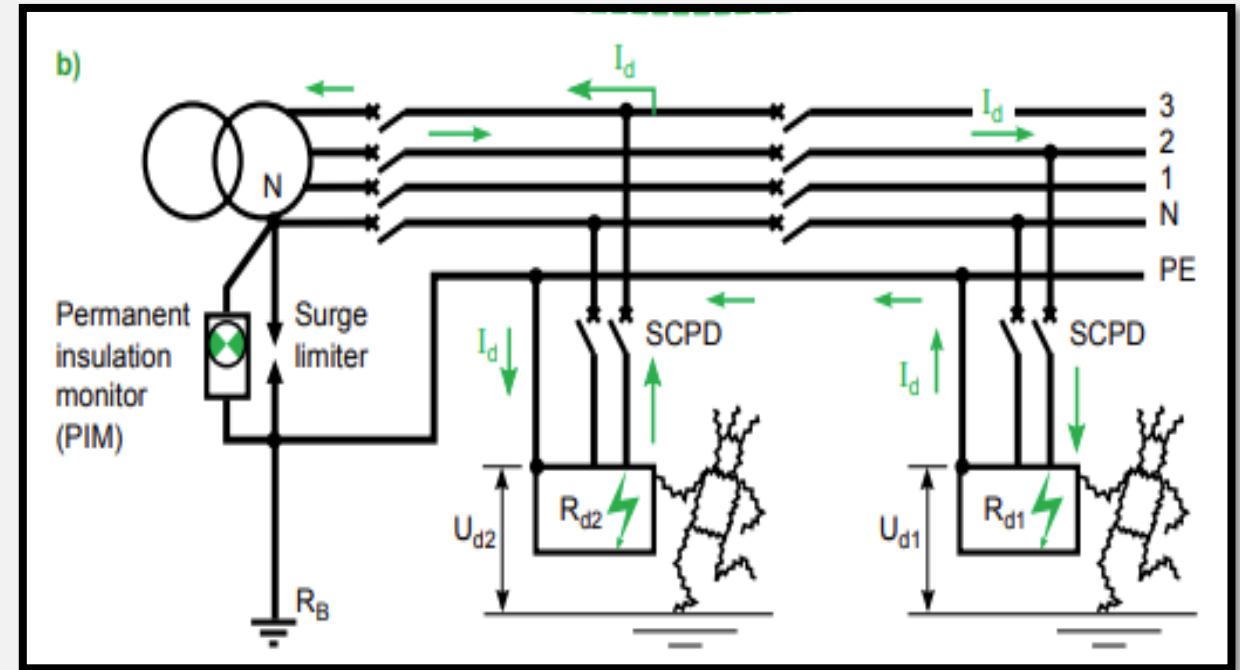
Solar Rooftop system



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

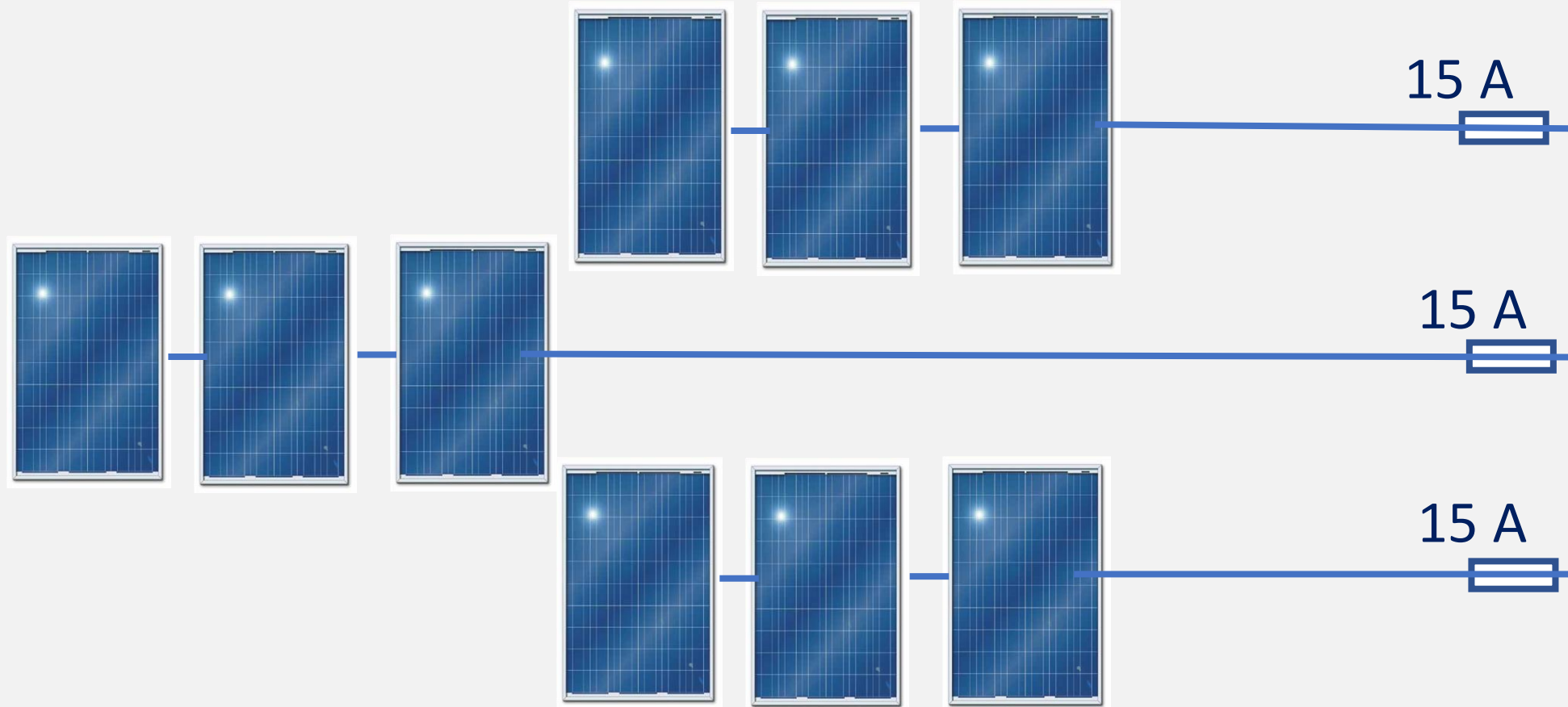
สัญญาณเตือน หรืออาจอยู่ในรูปแบบการสื่อสารแจ้งเตือนแบบอื่น ๆ เช่น จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ข้อความ

สั้น หรือ อื่น ๆ ที่คล้ายกัน เพื่อแจ้งเตือนผู้ดูแลระบบ

Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)



Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)

1. ข้อกำหนดทั่วไป

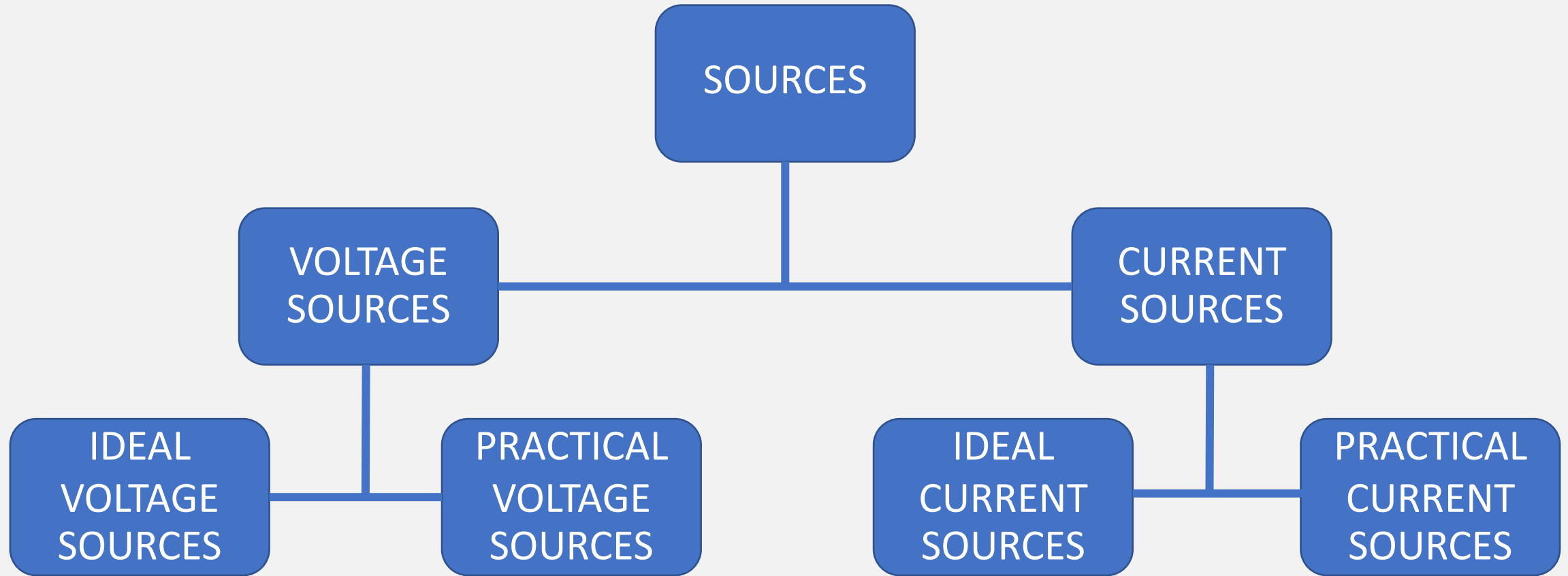
ความผิดปกติที่เกิดจากการลัดวงจรใน PV module กล่องต่อสาย กล่องรวมสาย การต่อสายไฟใน PV module หรือการลัดวงจรลงดินใน PV array จะทำให้เกิดกระแสเกินภายใน PV array

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

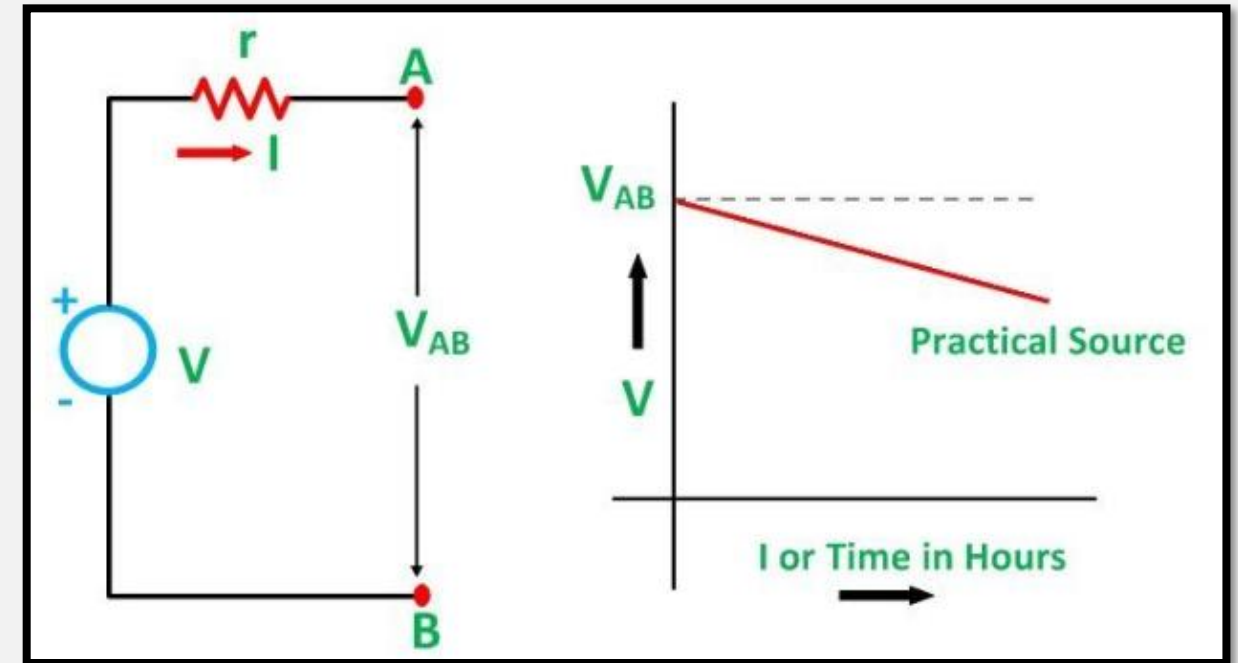
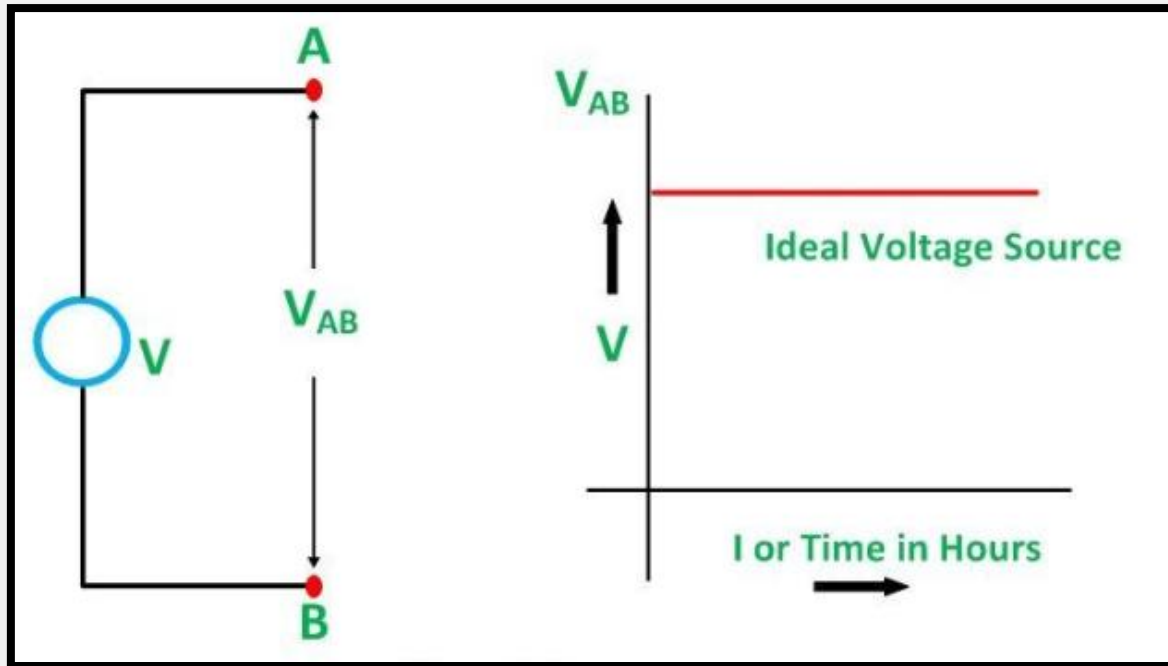
ก. PV string ข้างเคียงที่ต่อขนานอยู่

ข. อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าบางประเภทที่ PV module ต่ออยู่ หรือจากแหล่งกำเนิดภายนอกอื่นๆ หรือทั้งสองส่วน

Solar Rooftop system

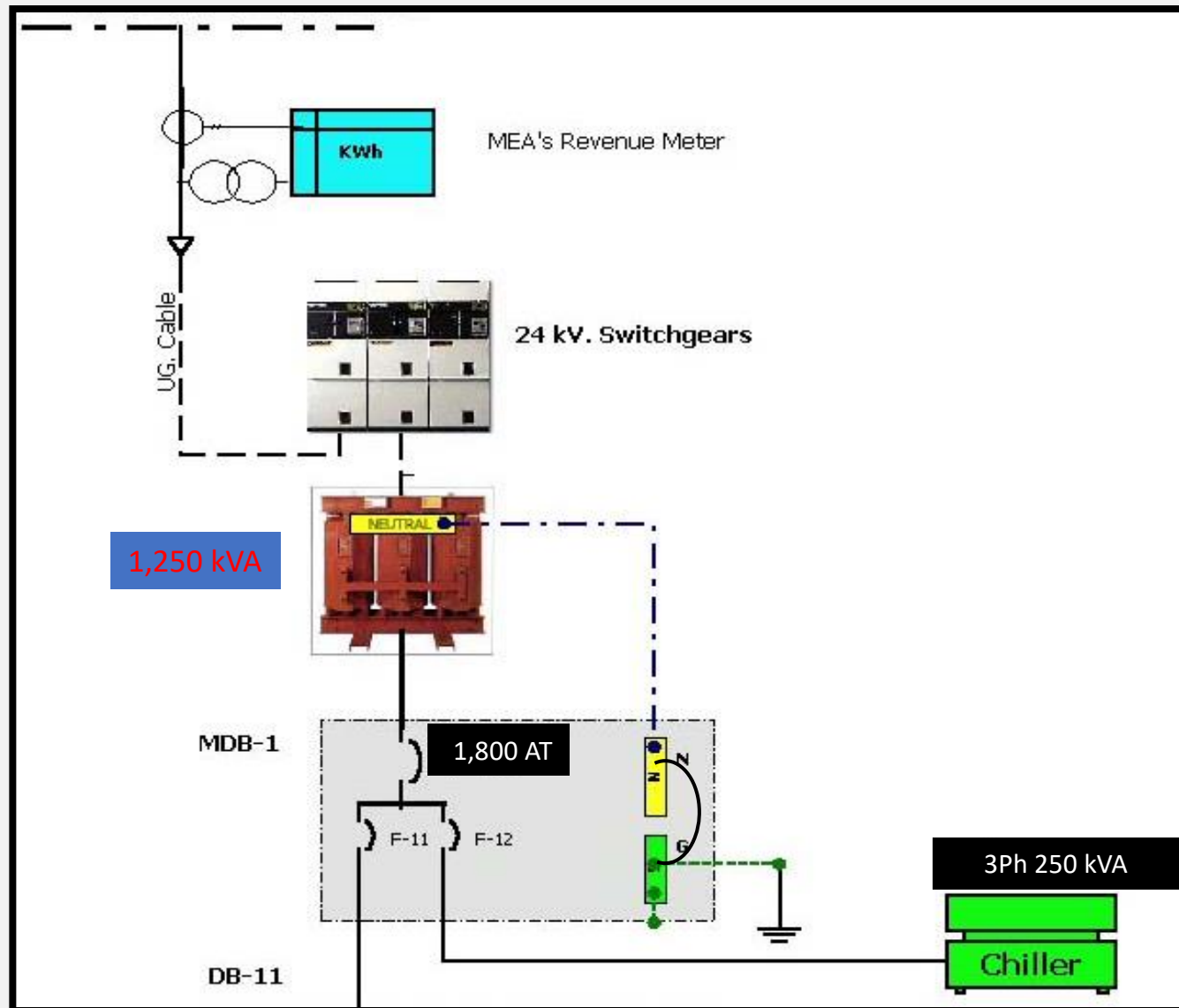


Solar Rooftop system



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

Solar Rooftop system



AC side

Solar Rooftop system

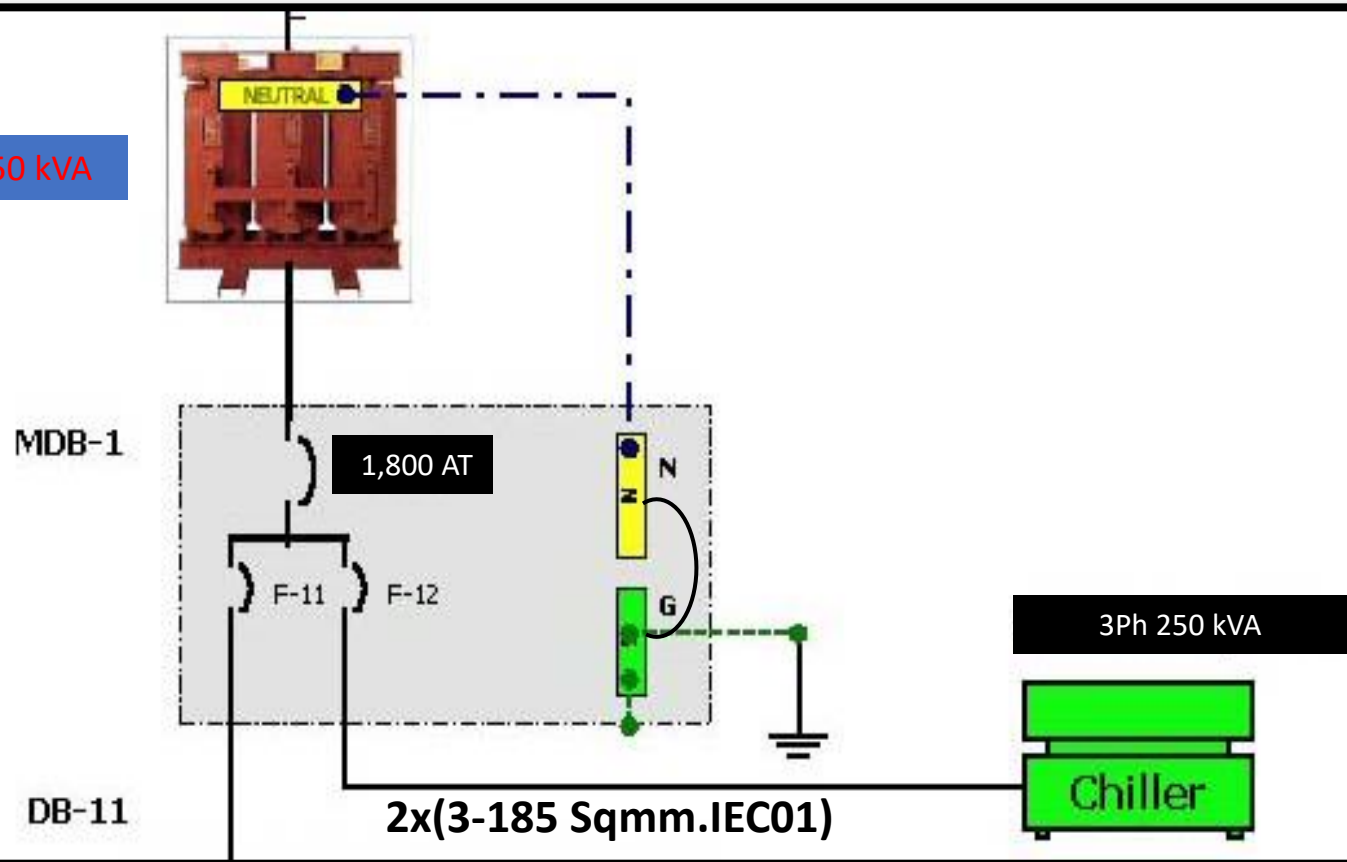


AC side

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

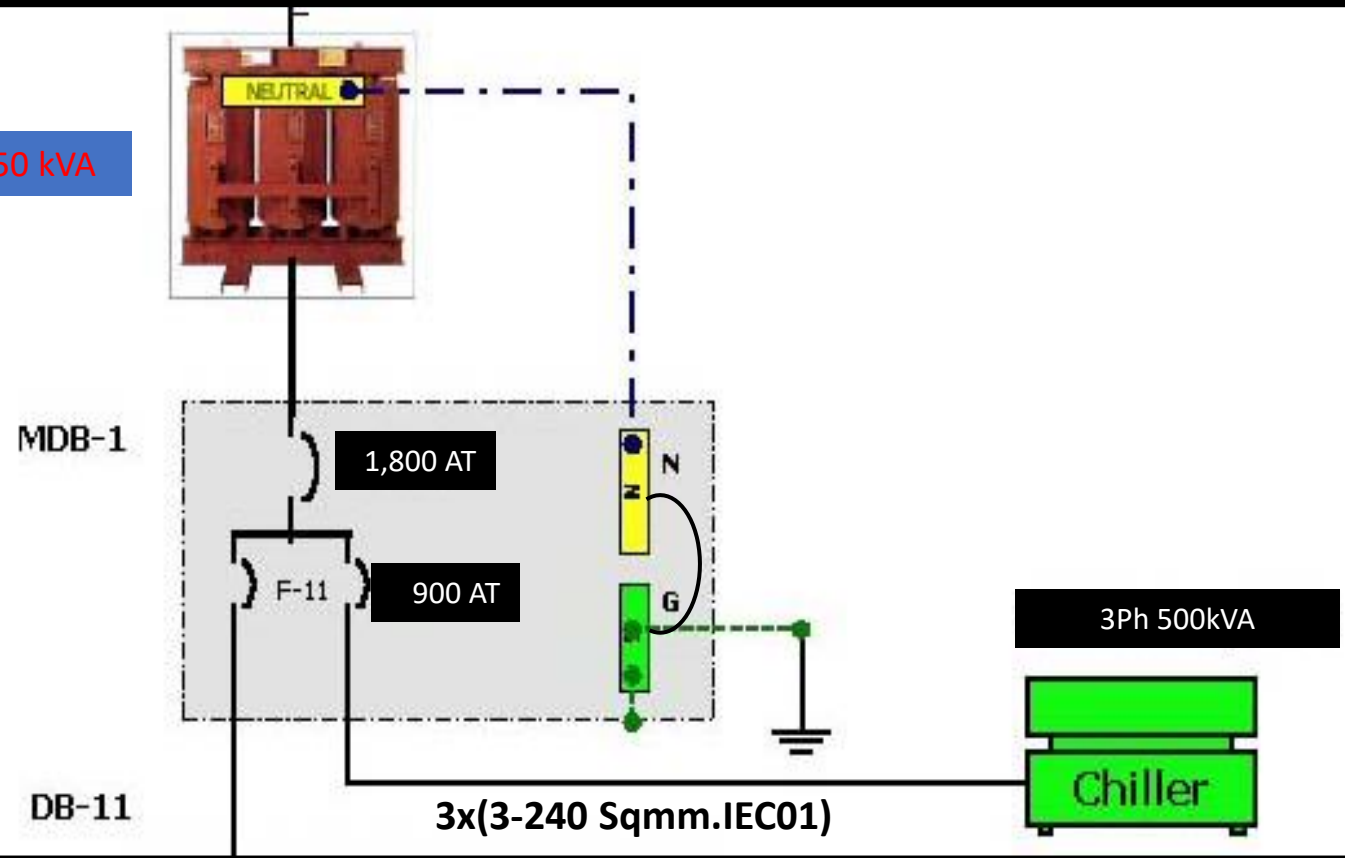
Full load current = 721 A

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

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

CB 900 AT

1,250 kVA



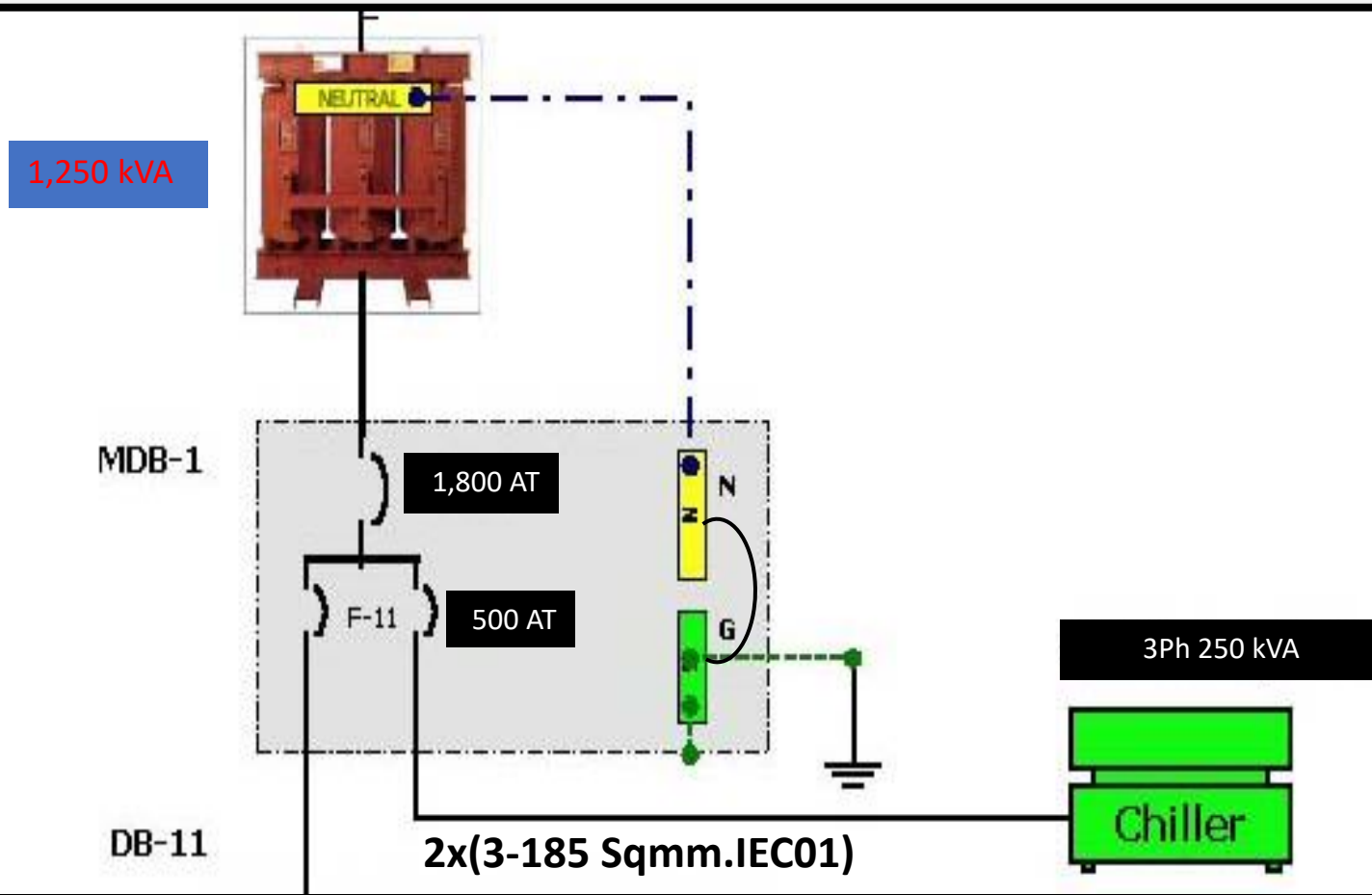
Solar Rooftop system



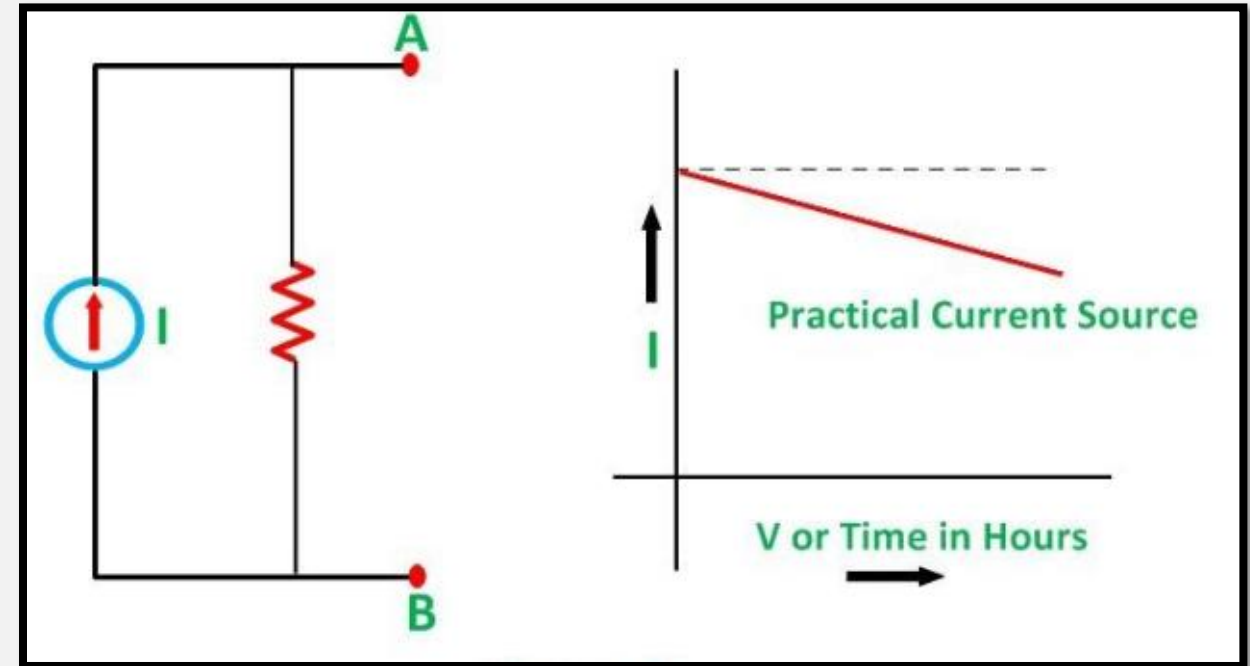
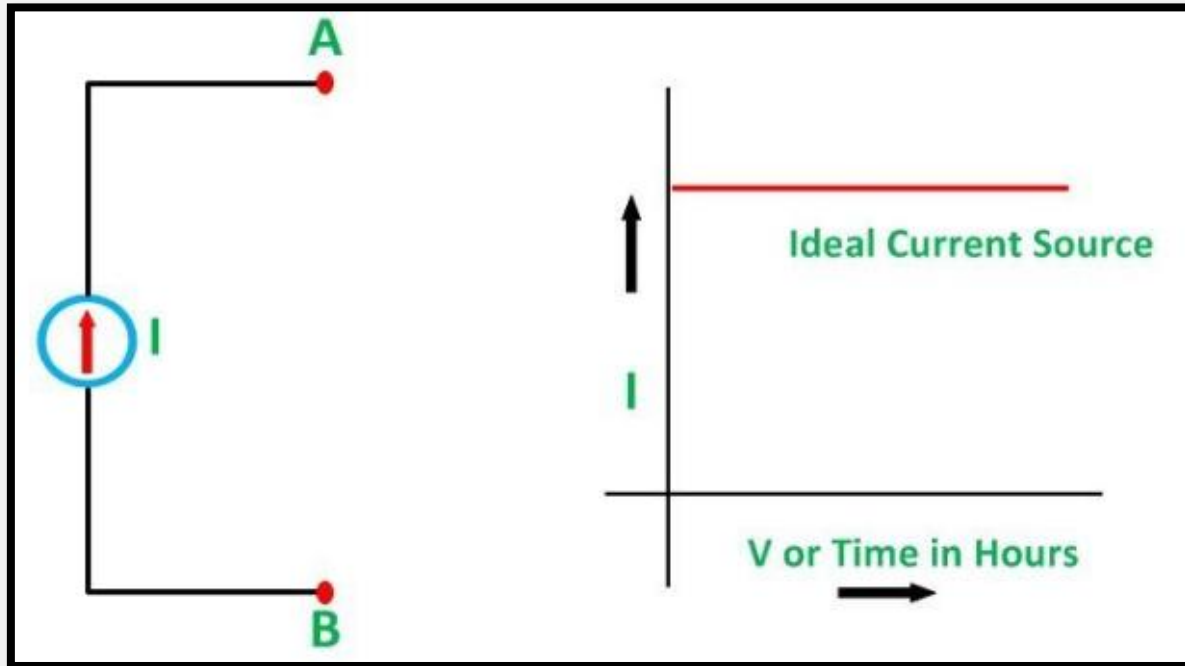
AC side

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

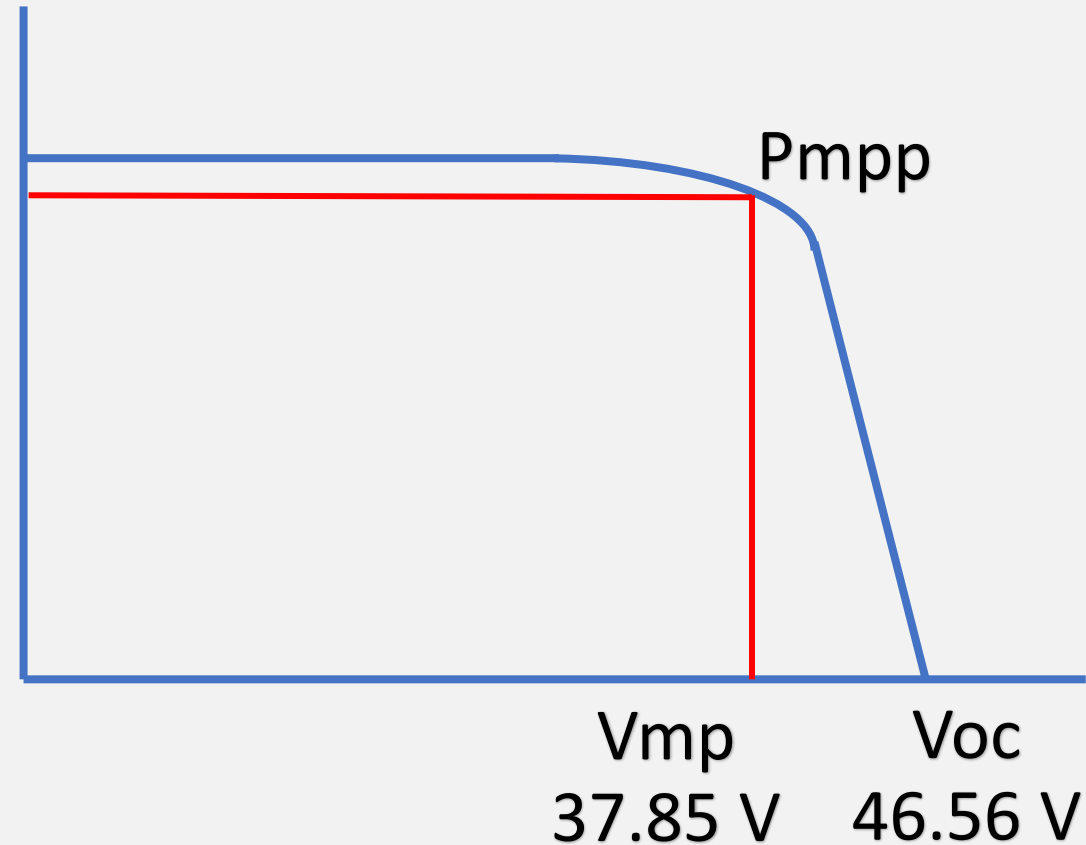
ก. PV string ข้างเคียงที่ต่อขนานอยู่

ข. อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าบางประเภทที่ PV module ต่ออยู่ หรือจากแหล่งกำเนิดภายนอกอื่นๆ หรือทั้งสองส่วน

Solar Rooftop system

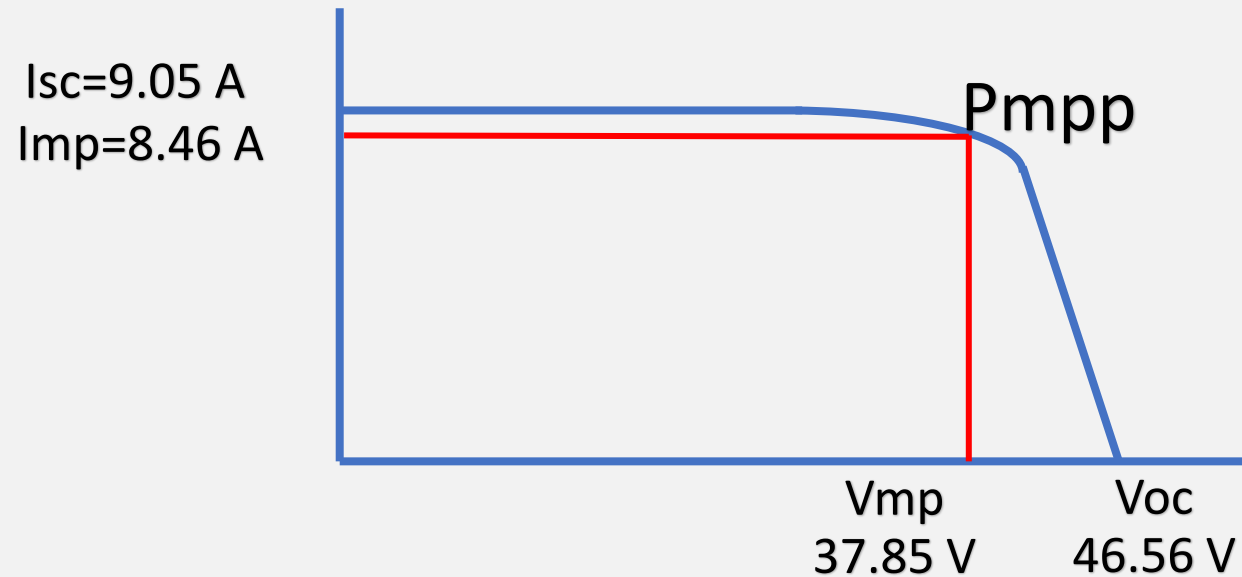
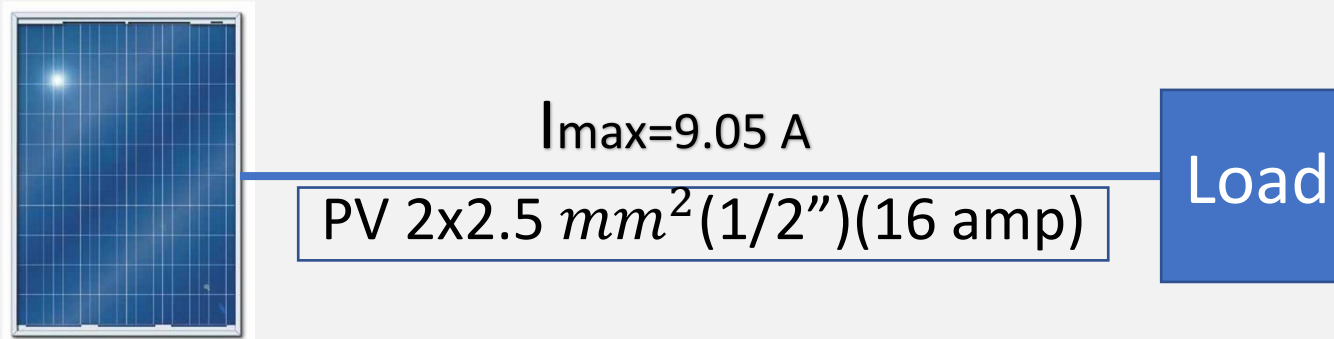


$I_{sc}=9.05\text{ A}$
 $I_{mp}=8.46\text{ A}$



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

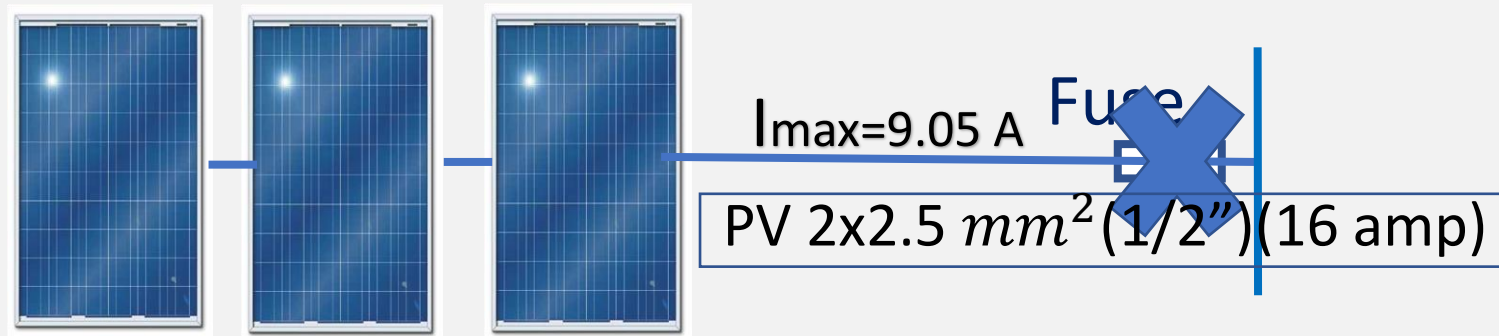
Solar Rooftop system



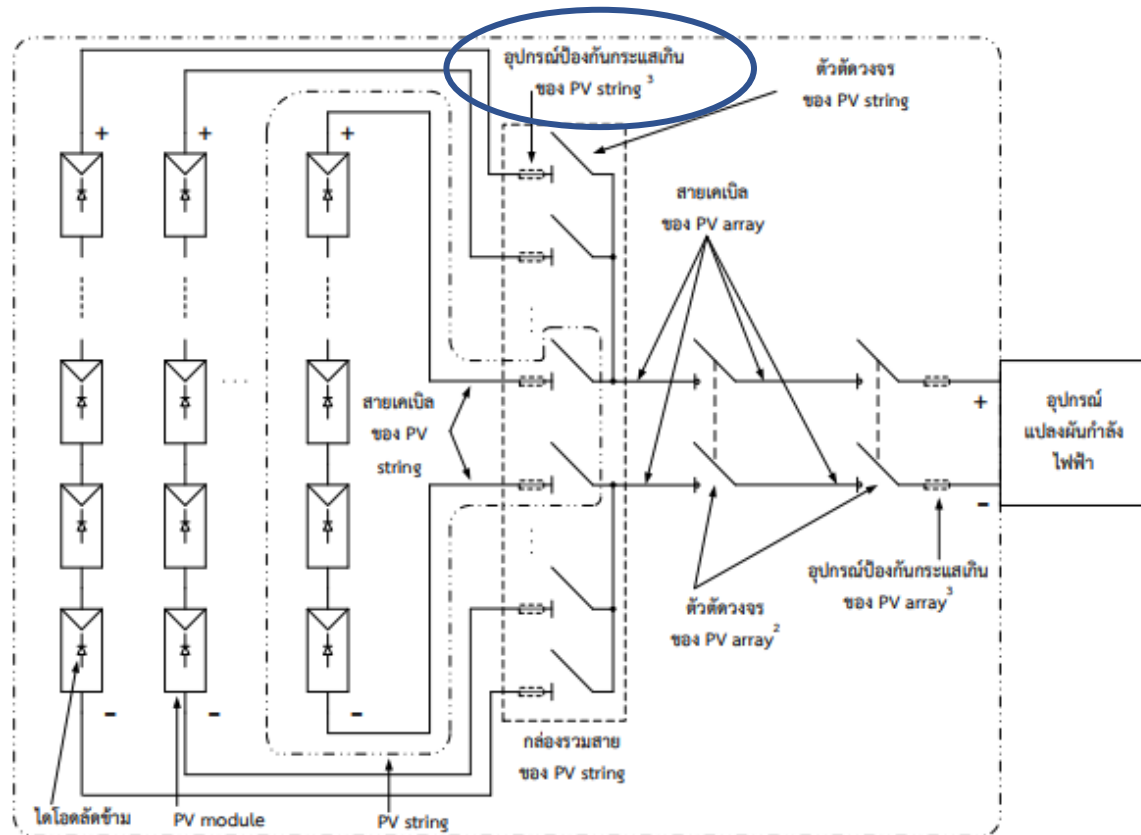
Solar Rooftop system



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

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

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

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

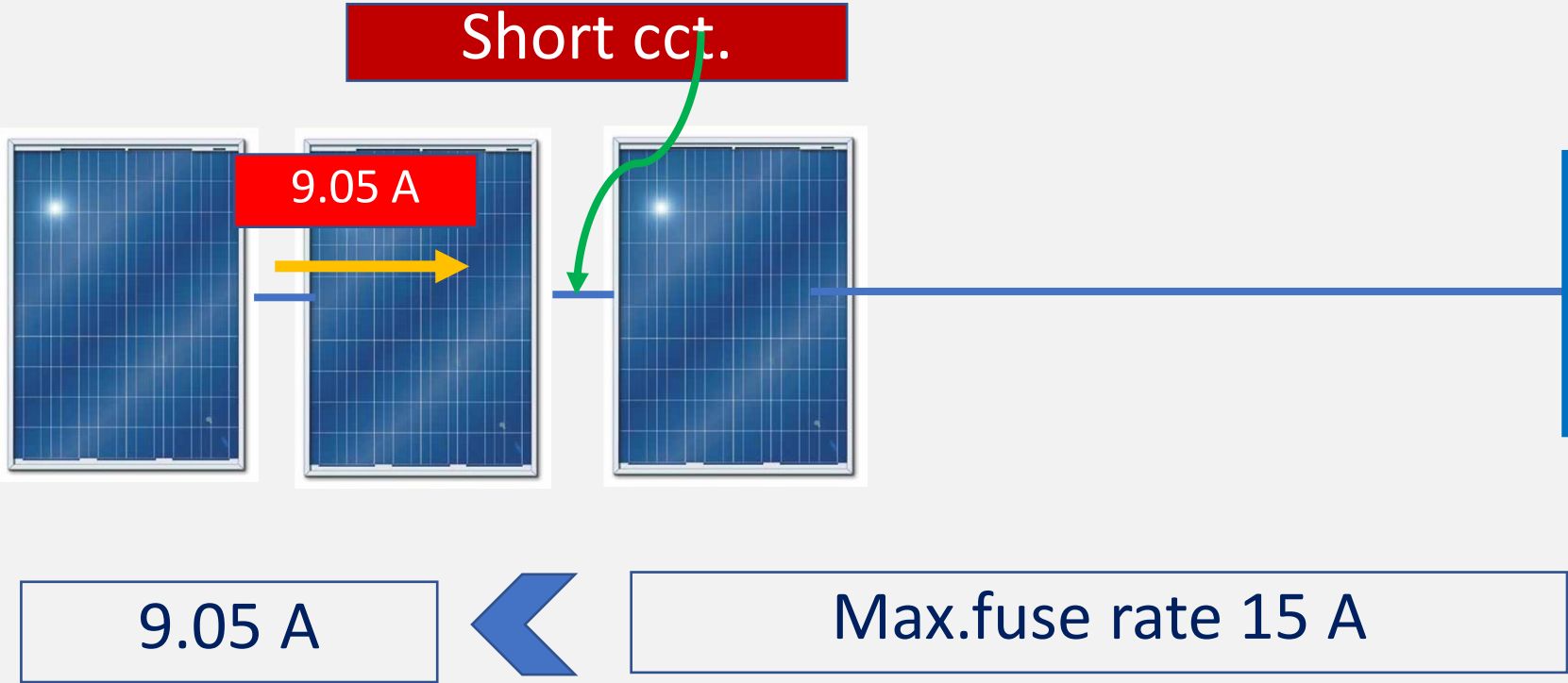


Solar Rooftop system

3.3การป้องกันกระแสเกิน

การป้องกันกระแสเกินใน PV string ต้องมีการป้องกันกระแสเกินใน PV string ถ้า

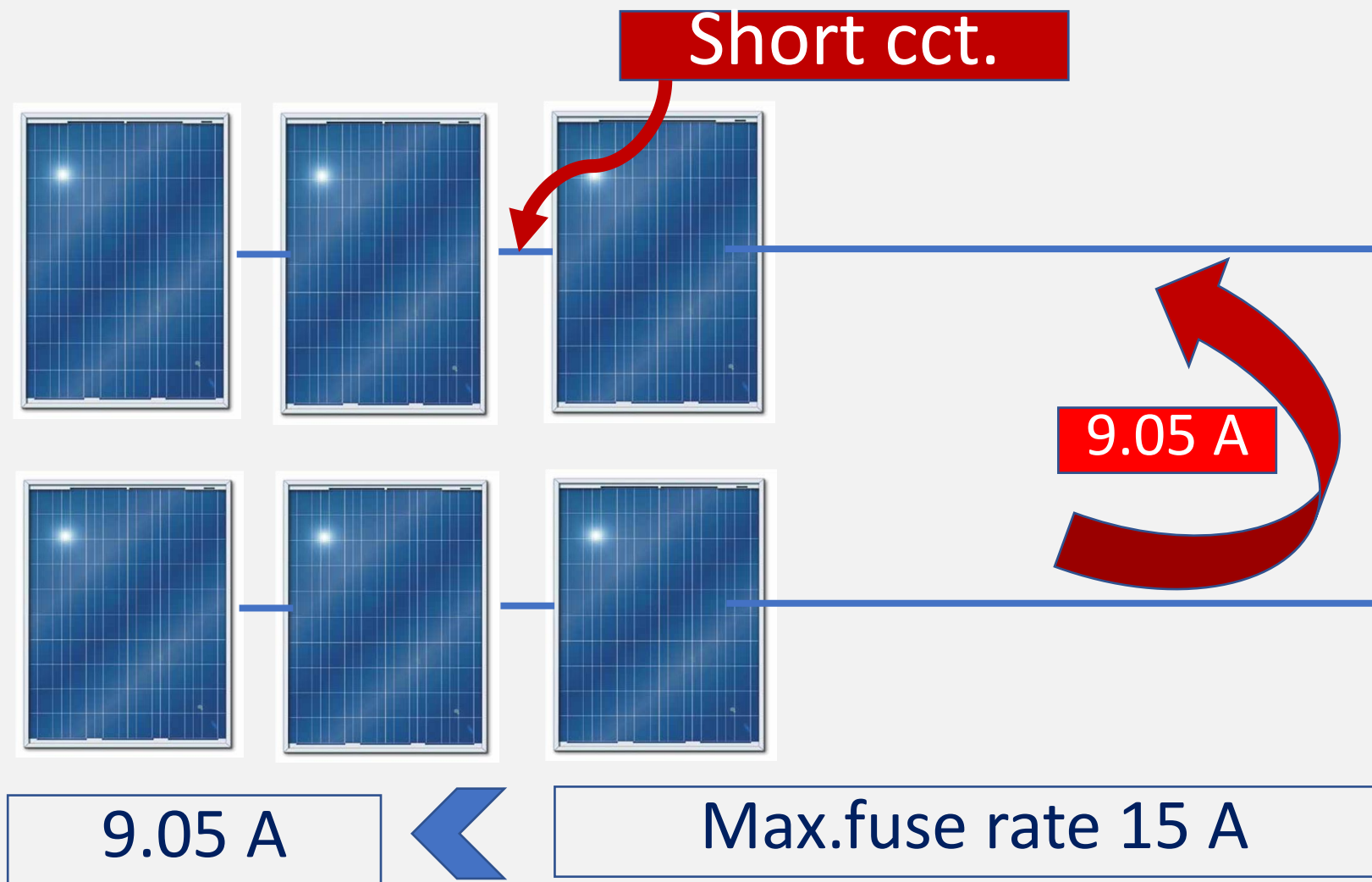
$$((S_A - 1) \times I_{SC \text{ MOD}}) > I_{MOD \text{ MAX OCPR}}$$





Solar Rooftop system

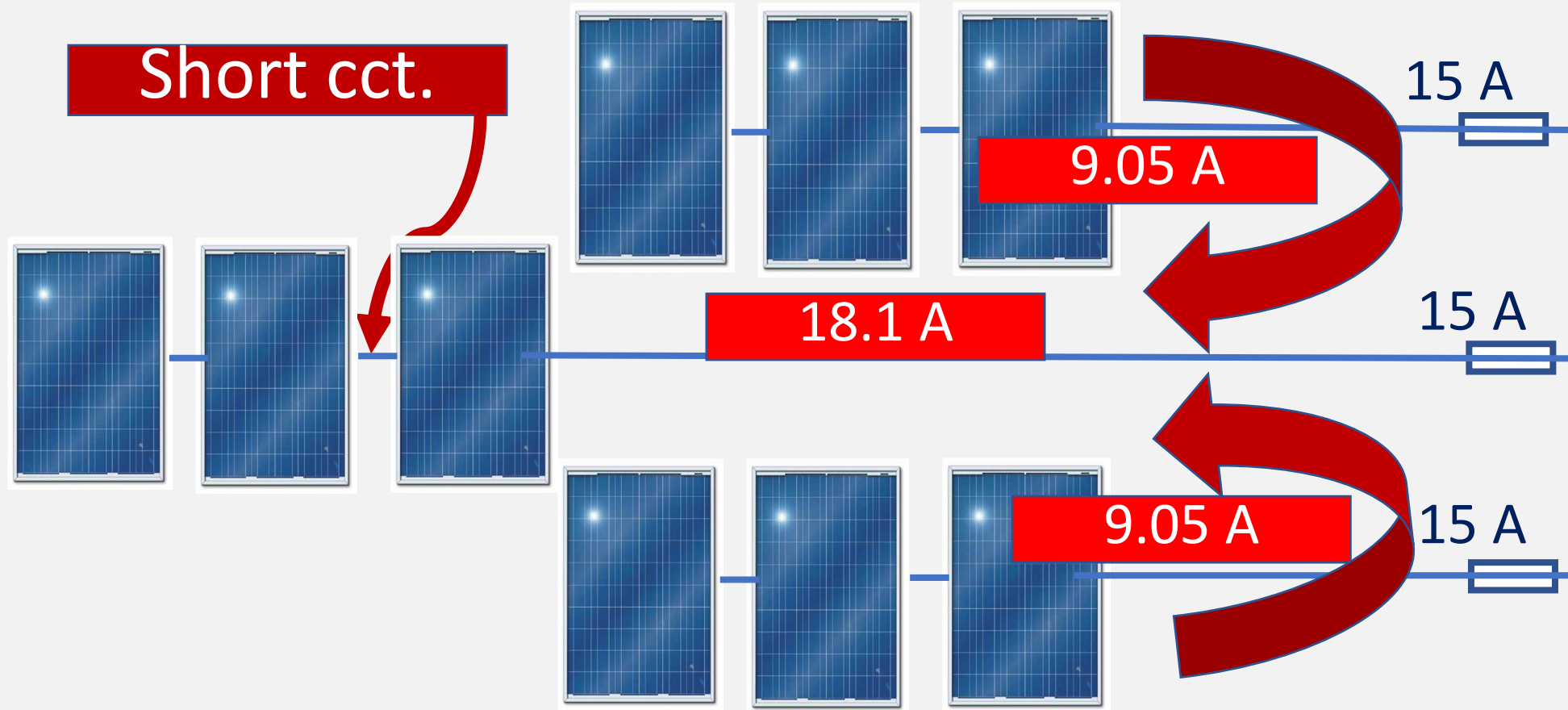
3.3 การป้องกันกระแสเกิน



Solar Rooftop system



3.3 การป้องกันกระแสเกิน



18.1 A ➔ Max.fuse rate 15 A

Solar Rooftop system



3.5 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

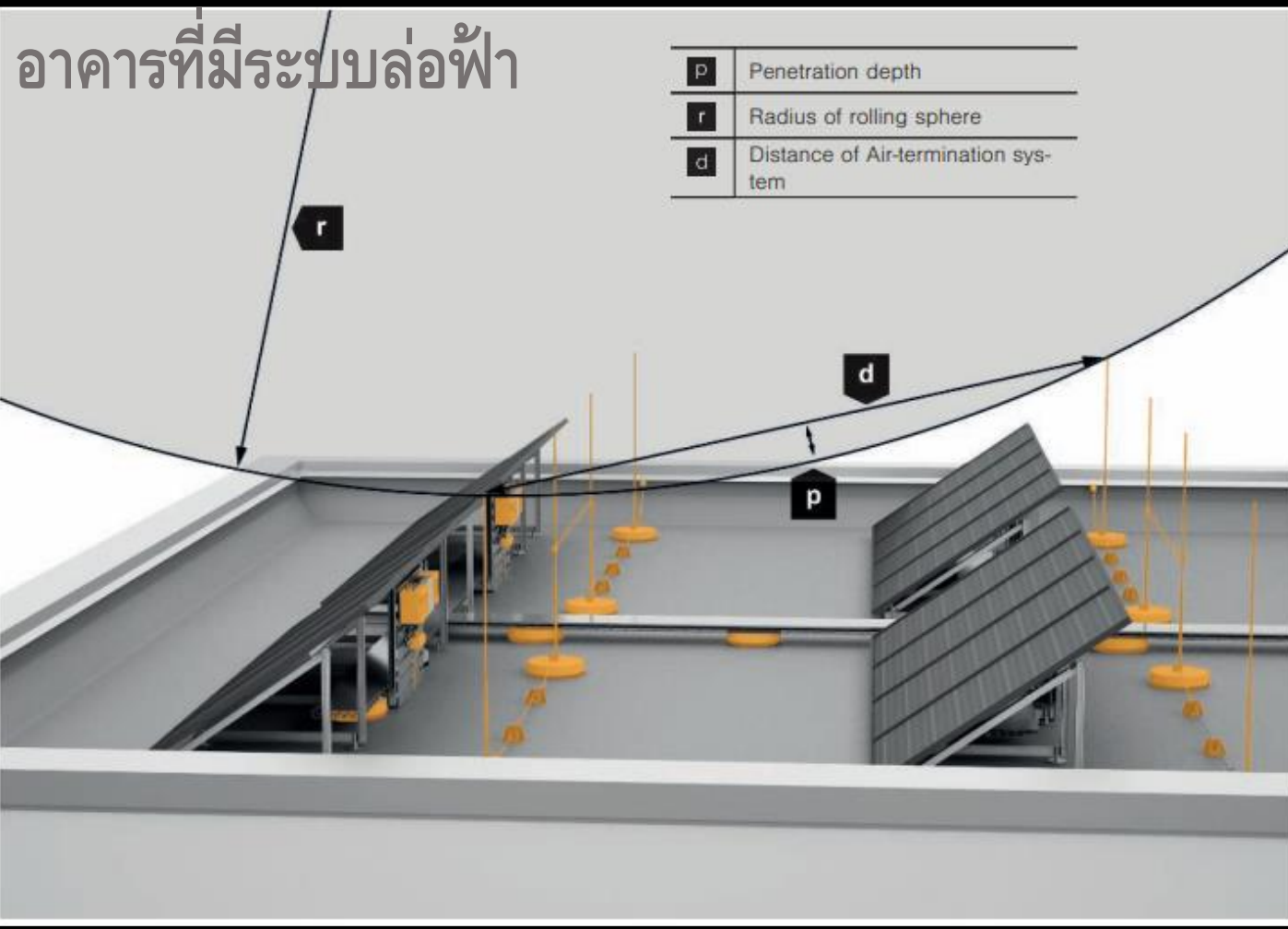
อาคารที่ไม่มีระบบล่อฟ้า

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

Solar Rooftop system



ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก



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

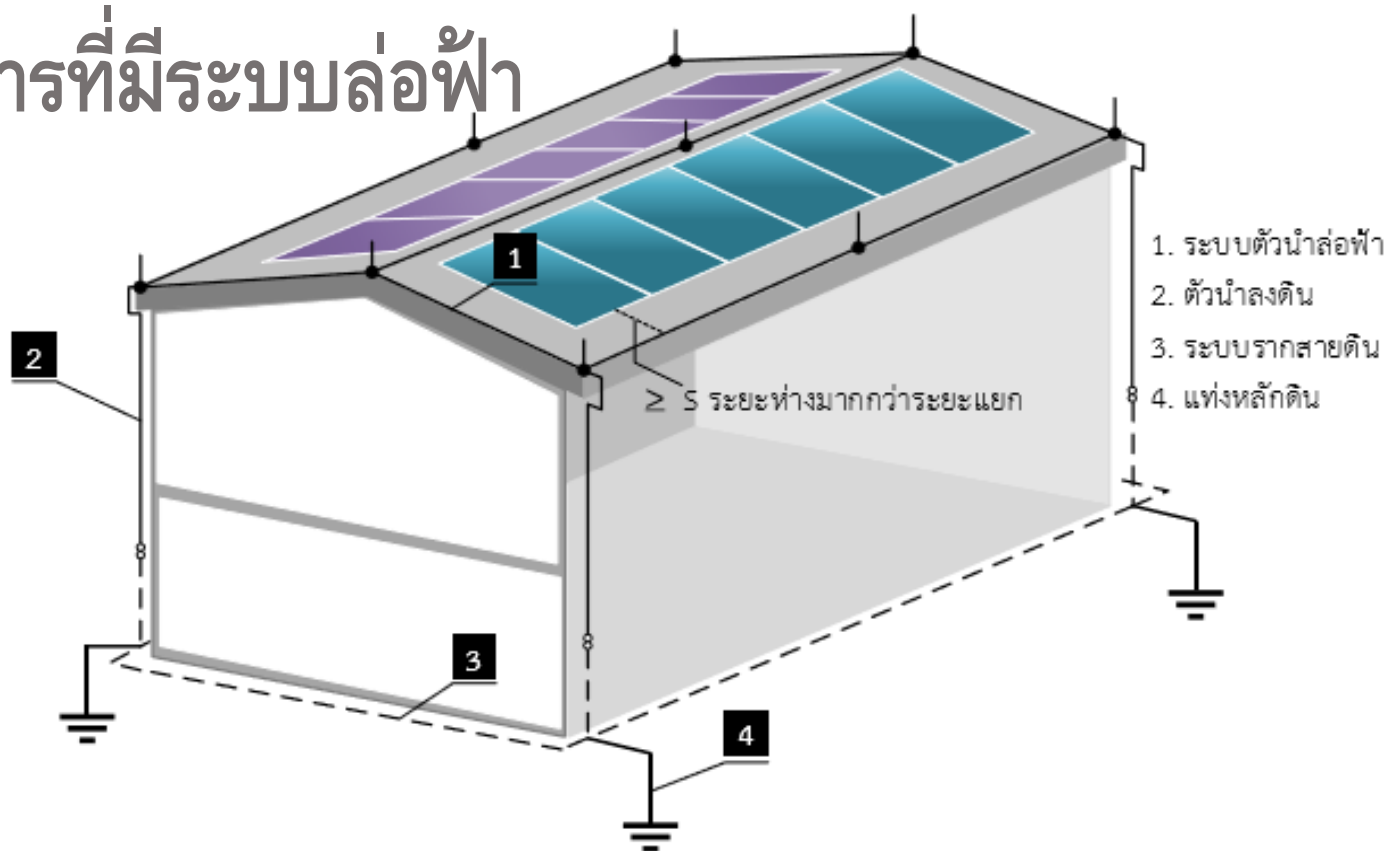
ตารางที่ 4.3 แสดงระยะล่อฟ้าตามระดับการป้องกันของรัศมีทรงกลมกลิ้ง

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

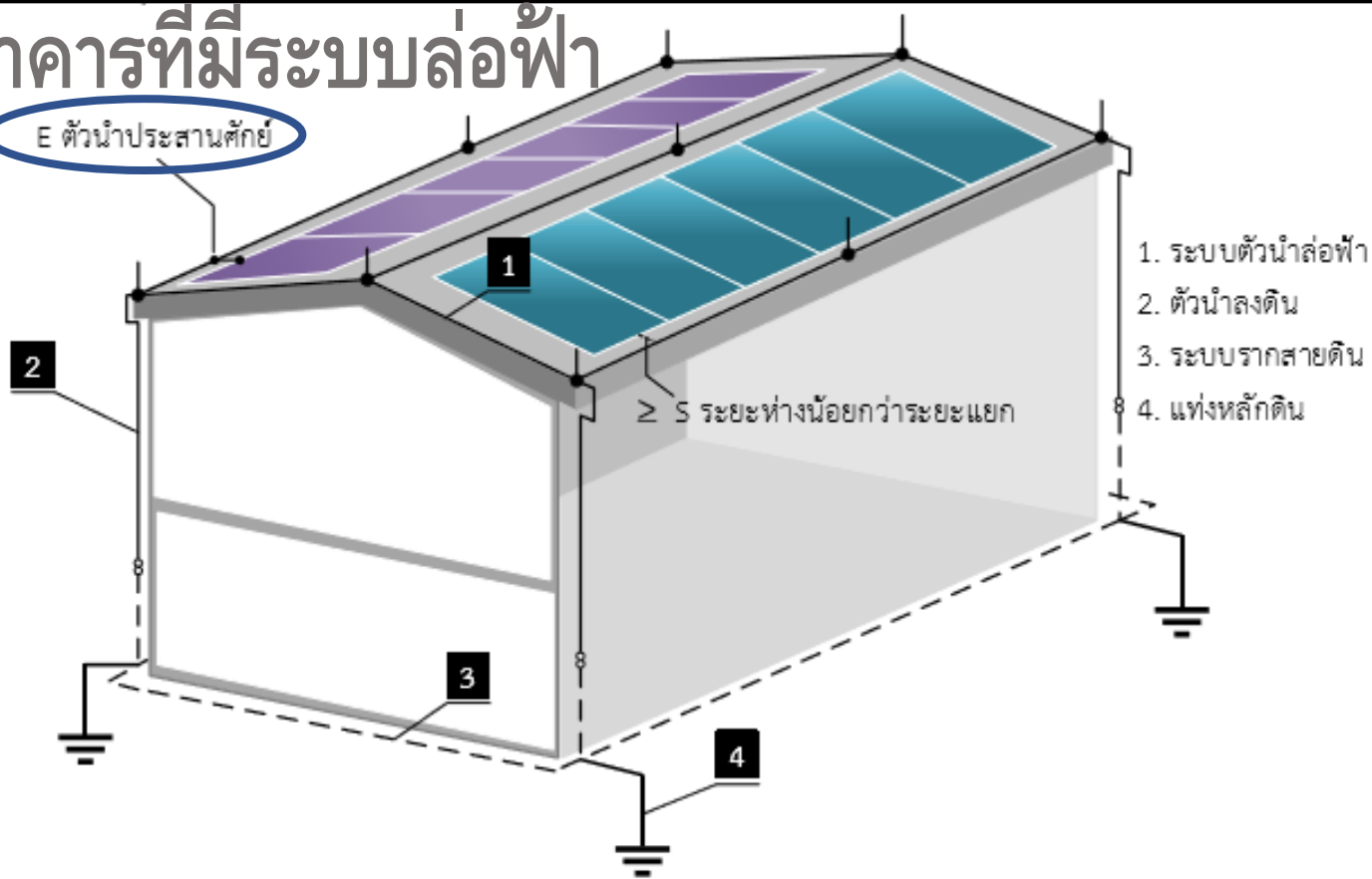
ระยะการแยก “S” เกิดจากระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่แยกอิสระจาก PV array

Solar Rooftop system

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

อาคารที่มีระบบล่อฟ้า

E ตัวนำประจักษ์



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

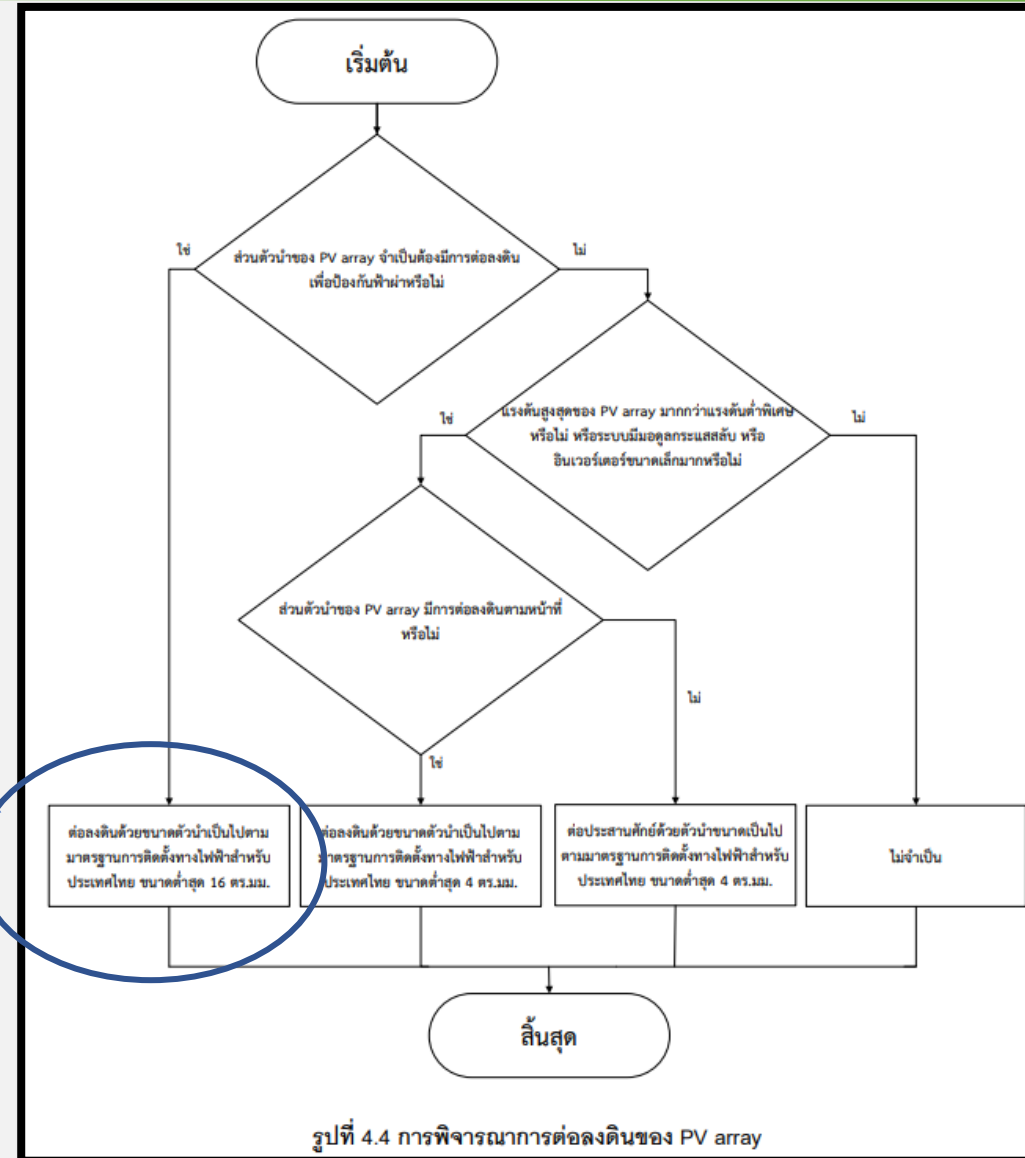
PV array ที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคาร และไม่สามารถรักษาระยะการแยกได้ เนื่องจากพื้นที่จำกัด จำเป็นจะต้องต่ออุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่ากับส่วนโลหะของ PV module เข้าด้วยกันโดยตรง

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 ที่พิจารณาระยะการแยกกับจุดที่มีการประสาณให้ศักย์เท่ากัน หรือ รากสายดิน ที่ใกล้ที่สุด

k_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการเลือกชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ชั้นของระบบป้องกัน	k_i
I	0.08
II	0.06
III และ IV	0.04

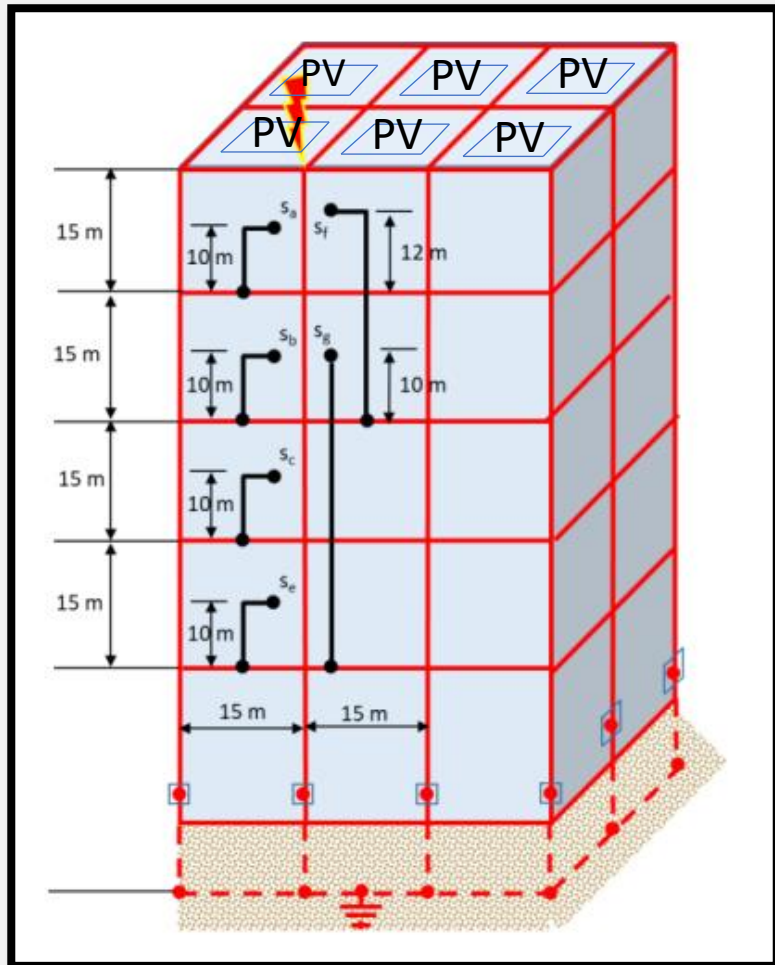
k_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า

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

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

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

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

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

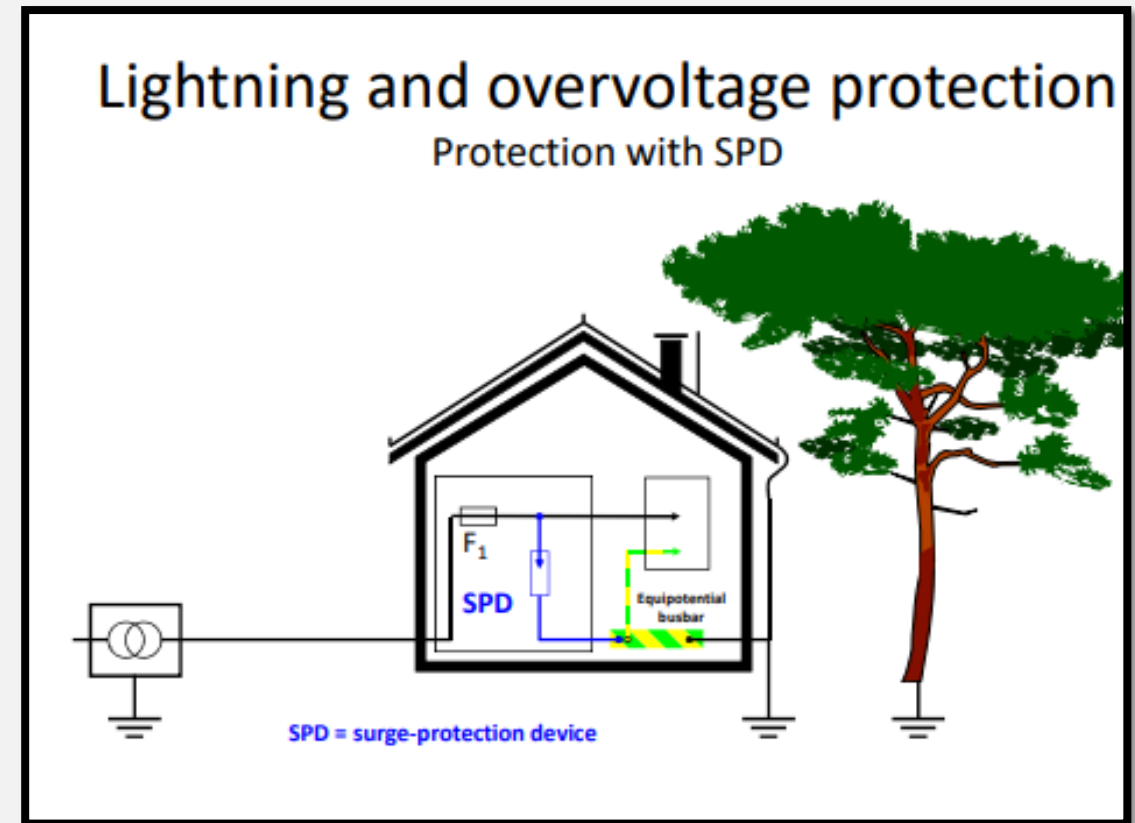
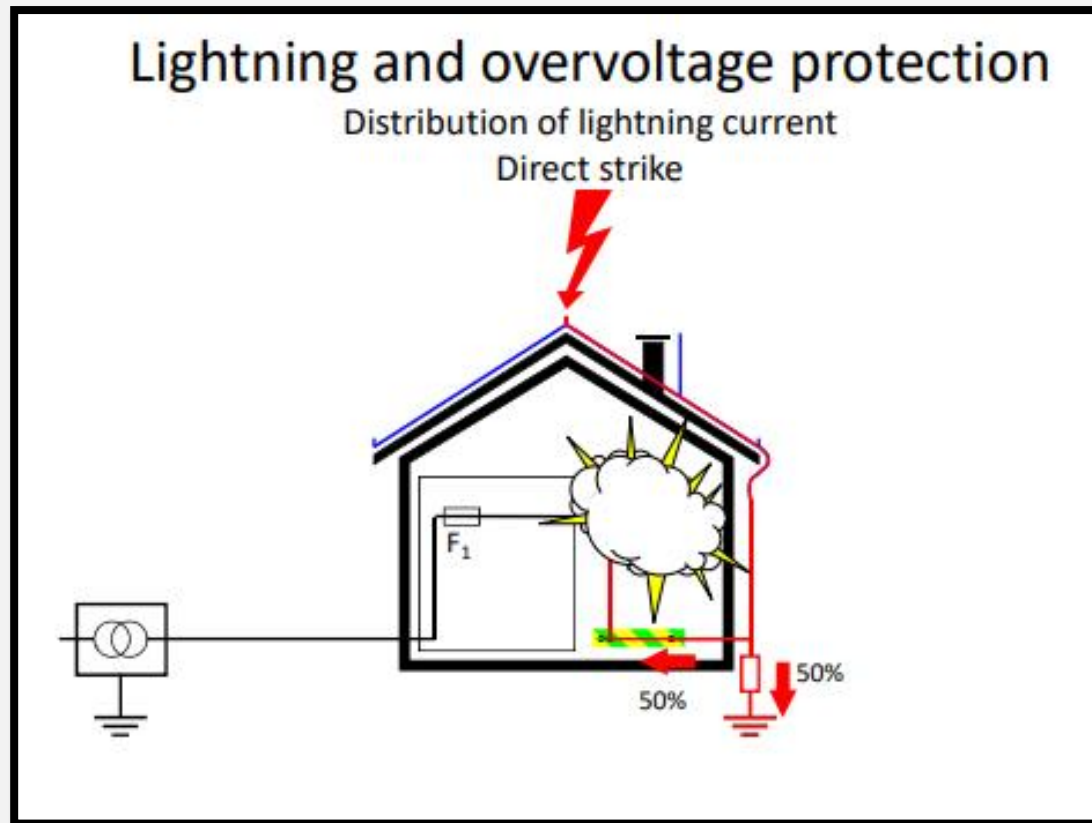
$$L (\text{ความยาวของตัวนำล่อฟ้า หรือตัวนำลงดิน}) = 7.5 + 75 + 1 = 83.5 \text{ เมตร}$$

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

Solar Rooftop system



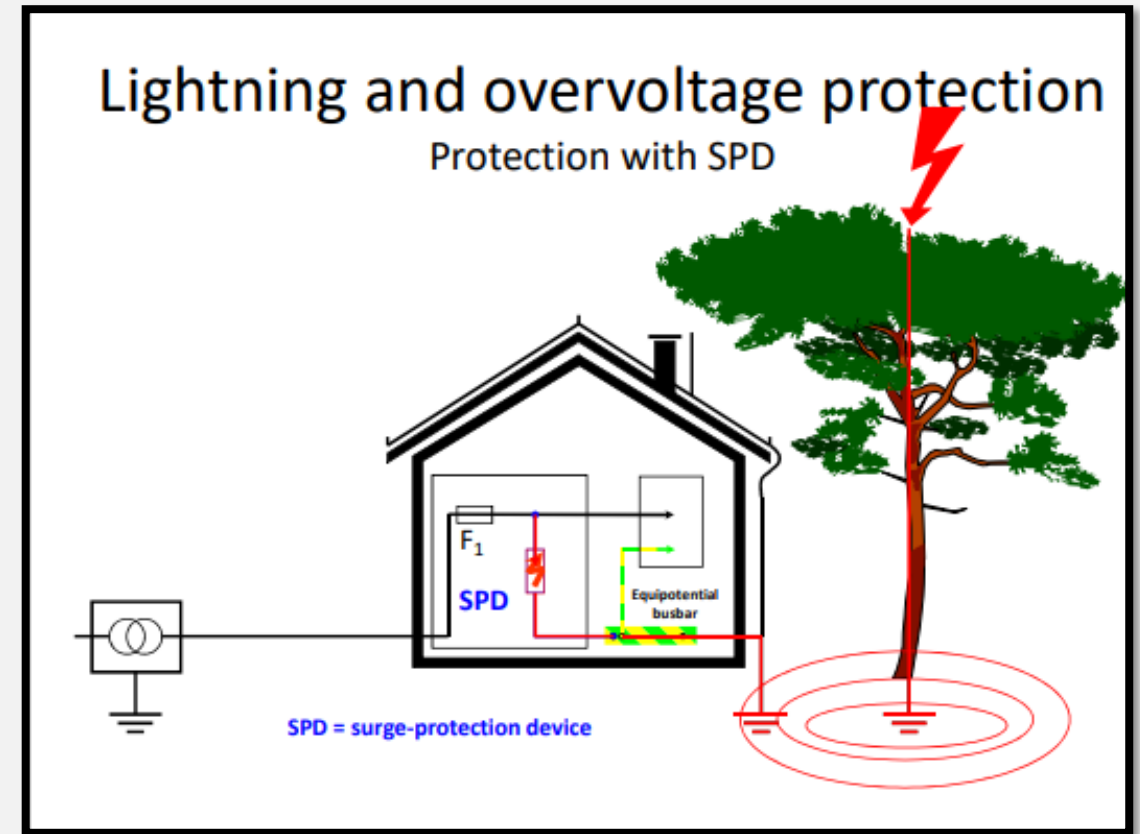
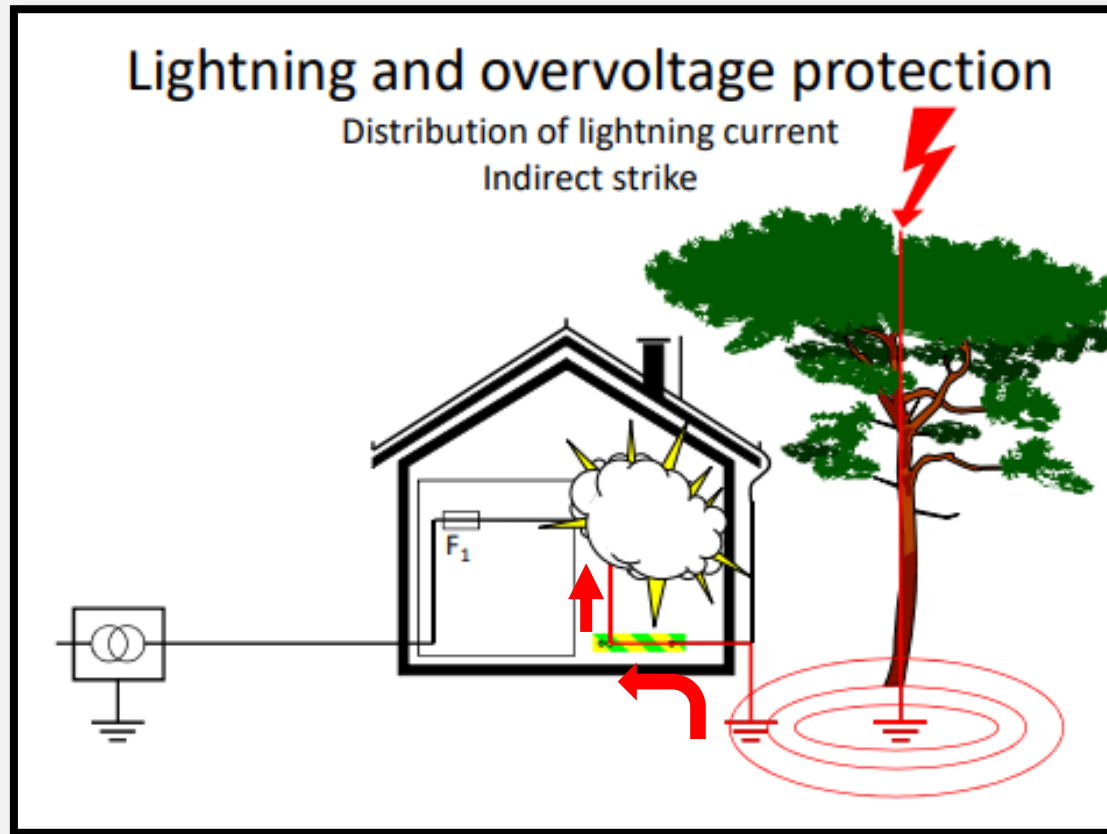
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกภายใน



Solar Rooftop system

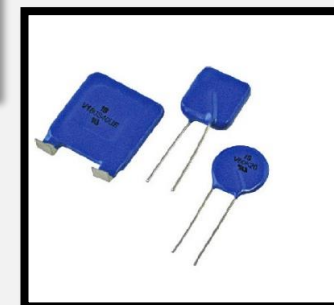
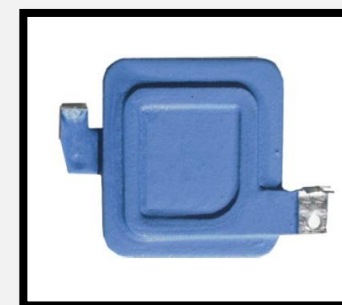
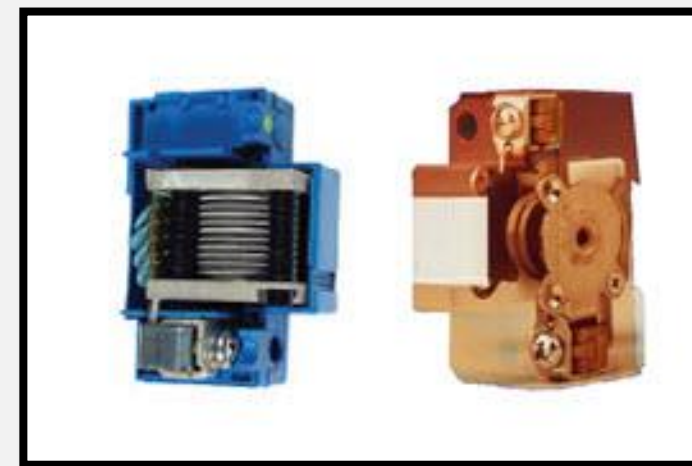
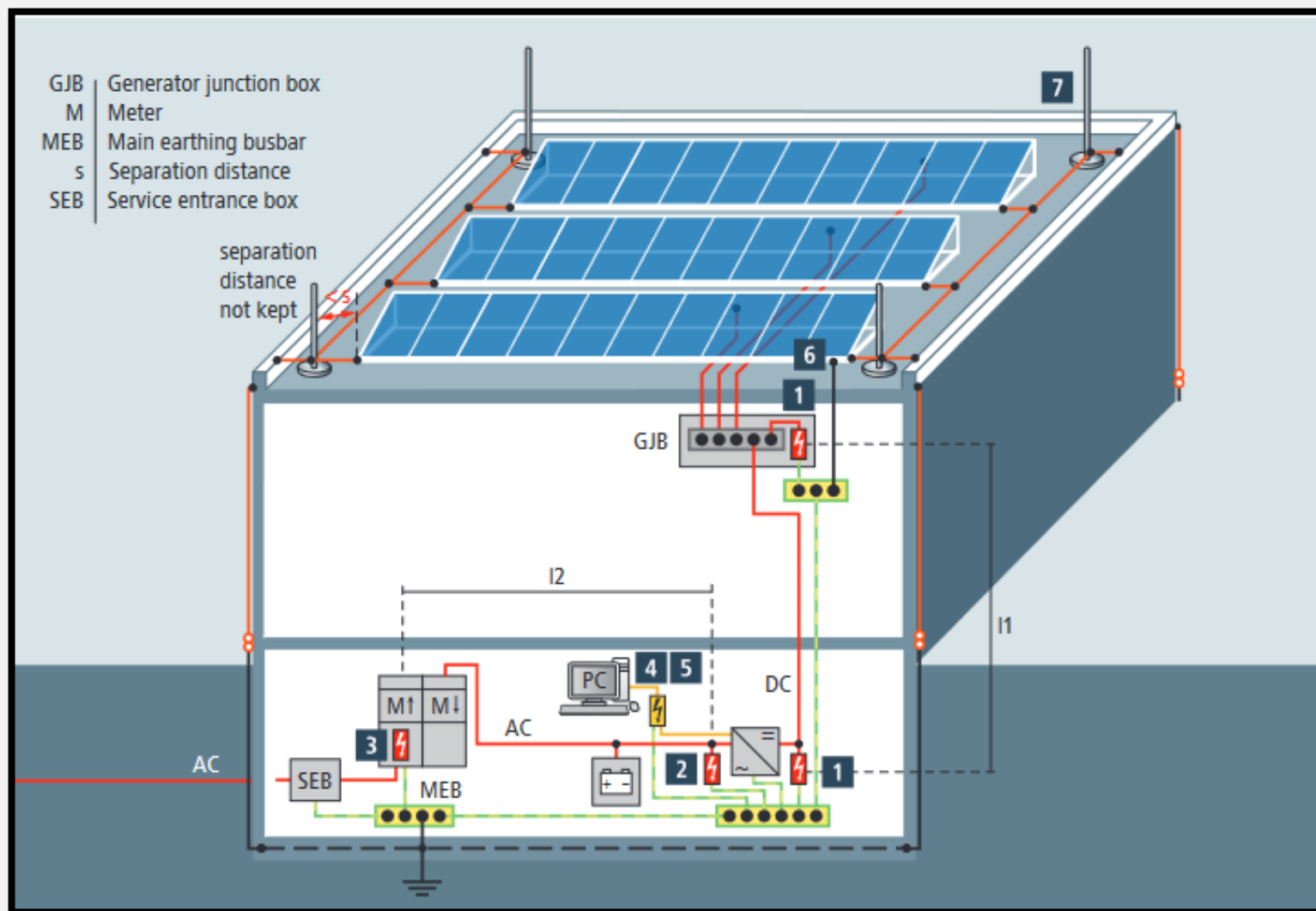


ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน



Solar Rooftop system

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกภายใน



Solar Rooftop system



ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน

การป้องกันฟ้าผ่า	อุปกรณ์ป้องกันสายดินอินพุต และเอาต์พุตของอุปกรณ์แปลงผัน กำลังไฟฟ้า	อุปกรณ์ป้องกันสายรับ ไฟฟ้ากระแสสลับจากภายนอก
ไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก	อุปกรณ์ป้องกันสาย class II ที่ถูกทดสอบ	อุปกรณ์ป้องกันสาย class II ที่ถูกทดสอบ
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ที่รักษาระยะการแยก “S” ไว้ได้	อุปกรณ์ป้องกันสาย class II ที่ถูกทดสอบ	อุปกรณ์ป้องกันสาย class I ที่ถูกทดสอบ
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ที่รักษาระยะการแยก “S” ไว้ไม่ได้	อุปกรณ์ป้องกันสาย class I ที่ถูกทดสอบ	อุปกรณ์ป้องกันสาย class I ที่ถูกทดสอบ



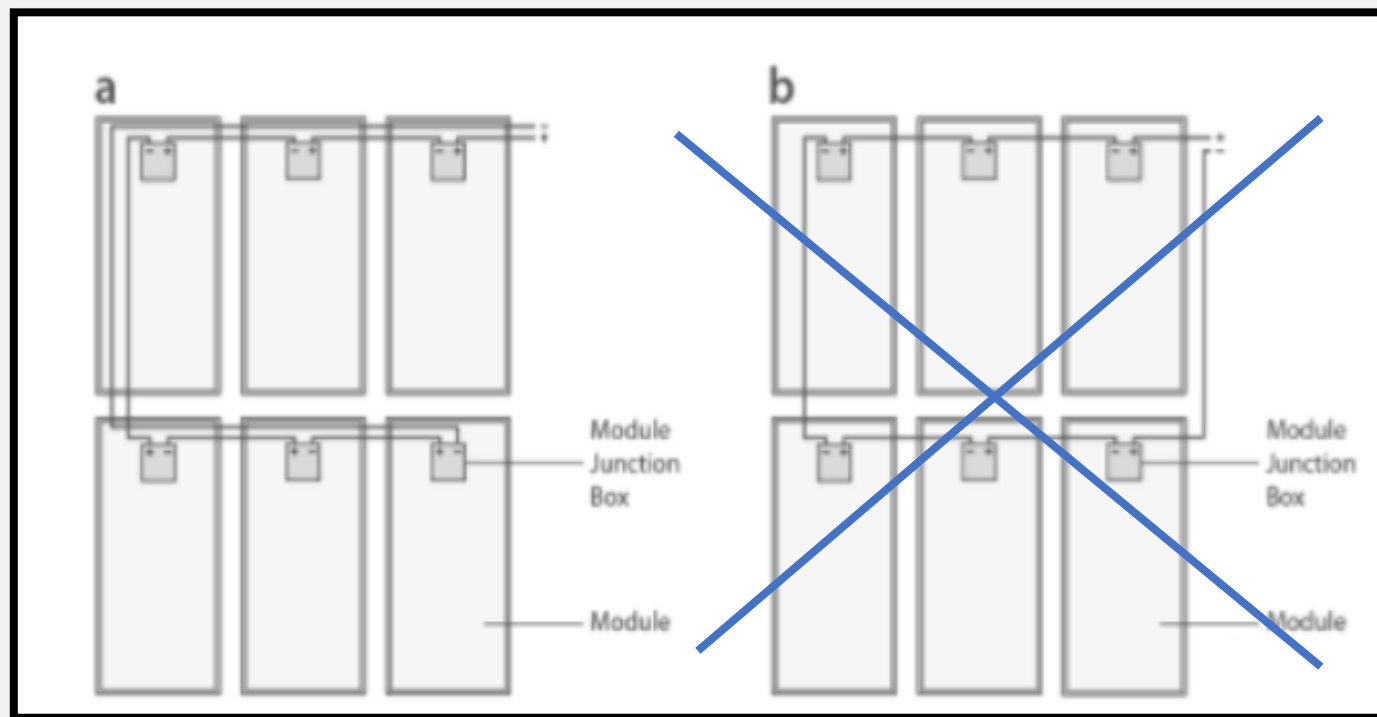
Solar Rooftop system

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