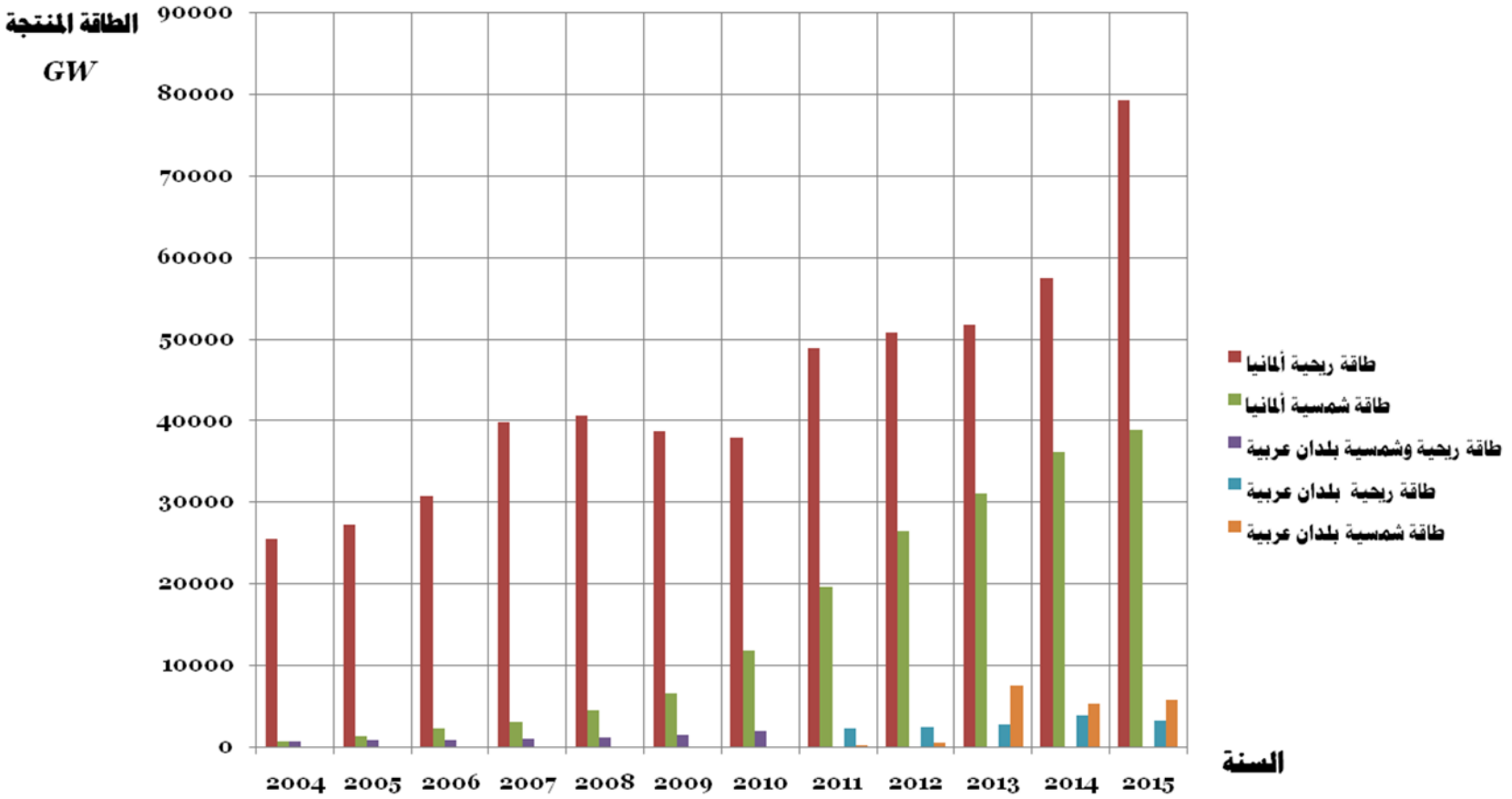
جامعة تشرين
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

حماية محطات الطاقات البديلة (ريحية- شمسية) من الانفراغات البرقية

الدكتور المهندس
محمد رسلان زهيرة
رئيس لجنة الطاقة في اتحاد المهندسين العرب

مقدمة

تساهم الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية والعنفات الريحية حالياً بنسبة تزيد عن **20 %** من الطاقة الكلية في بعض البلدان المتقدمة، (وللأسف هذه النسبة قليلة جداً في الدول العربية) . والمؤسف أكثر أن نسبة الزيادة في مساهمة هذه الطاقة قليلة جداً إذ زادت من **0.3 %** عام **2004** إلى حوالي **1%** فقط عام **2013** وفق احصائيات الاتحاد العربي للكهرباء.



مقارنة بين الطاقة المنتجة من الرياح و الشمس بين ألمانيا (احصائيات وزارة الاقتصاد والطاقة)، والبلدان العربية (احصائيات الاتحاد العربي للكهرباء)

نتيجة قلة الاستثمار في الطاقات البديلة في الوطن العربي لا توجد الكوادر الفنية القادرة على تشغيل وإدارة منظومات هذه الطاقات، وبالتالي لا بد من تأهيل الكوادر الفنية القادرة على إدارة وتشغيل هذه المنظومات.

وباعتبار أن الانفراغات البرقية التي تصيب محطات الطاقة البديلة تسبب مشاكل فنية كبيرة في عملها، لا بد من إقامة نظام حماية من الصواعق فعّال وموثوق، وهذا يتطلب يد عاملة خبيرة ومؤهلة بشكل جيد جداً.

جامعة تشرين
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

1

حماية محطات الطاقة الريحية من الانفراغات البرقية

صدر في السنوات الأخيرة عدد من المواصفات القياسية العالمية والوطنية حول كيفية إقامة نظام حماية من الصواعق لمحطات الطاقة الريحية وتلزم شركات التأمين في الدول الرائدة في مجال الطاقات المتجددة المستثمرين تقديم دراسة الجدوى الاقتصادية لنظام الحماية من الصواعق وفق تحليل عامل الضرر الوارد في المواصفة القياسية العالمية **IEC** لعام **2010** حتى يتم التأمين على هذه المحطات.

سنوضّح في هذا البحث كيفية إقامة نظام حماية من الصواعق لمصادر الطاقة الريحية يأخذ بالحسبان التقاط شحنة الصاعقة دون أي ضرر بالإضافة إلى دراسة أثر الحقول الكهرطيسية المرافقة للصاعقة على كل جزء من أجزاء العنفة وبيان نوع الأعطال، ومكان حدوثها، و كيفية حمايتها وفقاً للمواصفات العالمية **IEC62305** لعام **2006** و **IEC61400-24** لعام **2010**، و **VDE 0127-24**.

2- حماية العنفات الريحية:

احتمال تعرض العنفات الريحية للإصابة بصاعقة بين غيمة والأرض (صاعقة نازلة) هو احتمال كبير نتيجة ارتفاعها ومكان تواجدها. ويُعطى الاحتمال الوسطي لهذه الإصابة بعلاقة ***Eriksson***:

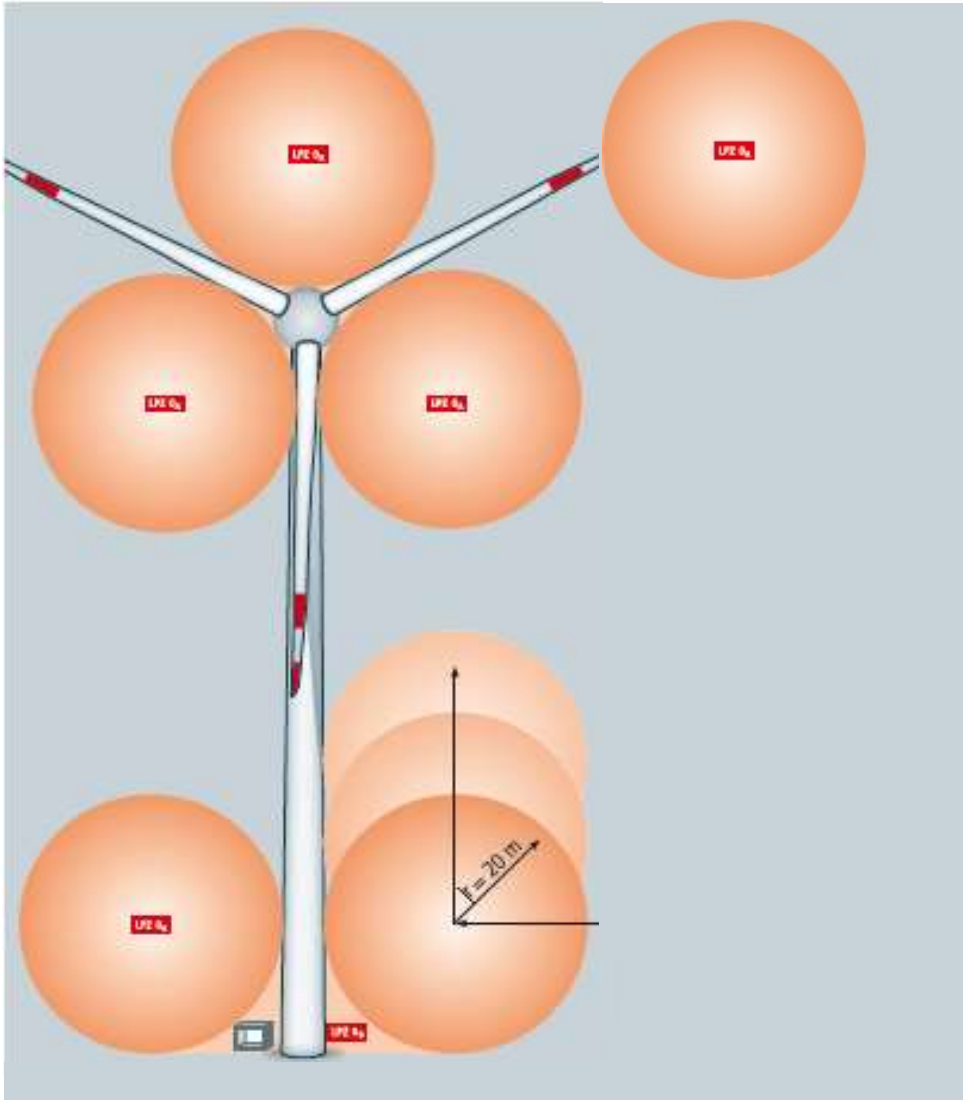
$$n = 2.4 \times 10^{-5} \cdot N_g \cdot H^{2.05} \qquad (1)$$

حيث:

N_g - كثافة الصواعق البرقية السنوية/ كم^2 في منطقة وجود العنفة.

H - أعلى ارتفاع للعنفة، **[*m*]**.

فمثلاً من أجل كثافة عواصف برقية مقداره (2 انفراغ برقي في العام/ كم^2)، وارتفاع للعنفة مقداره 75 m، تحدث إصابة للعنفة بصاعقة مرة واحدة كل ثلاث سنوات. ويمكن الحصول على الاحتمال الأعظمي للإصابة بضرب العلاقة السابقة بـ (3)، وعلى الاحتمال الأصغري للإصابة بتقسيم هذه العلاقة على (3). لذلك تحسب في ألمانيا مثلاً إصابة مباشرة واحدة في العام لكل عنفة ريحية ذات استطاعة تزيد عن 1MW وما فوق.



تحديد مكان إصابة العنفة بصاعقة وفق نظرية الكرة المتدحرجة.

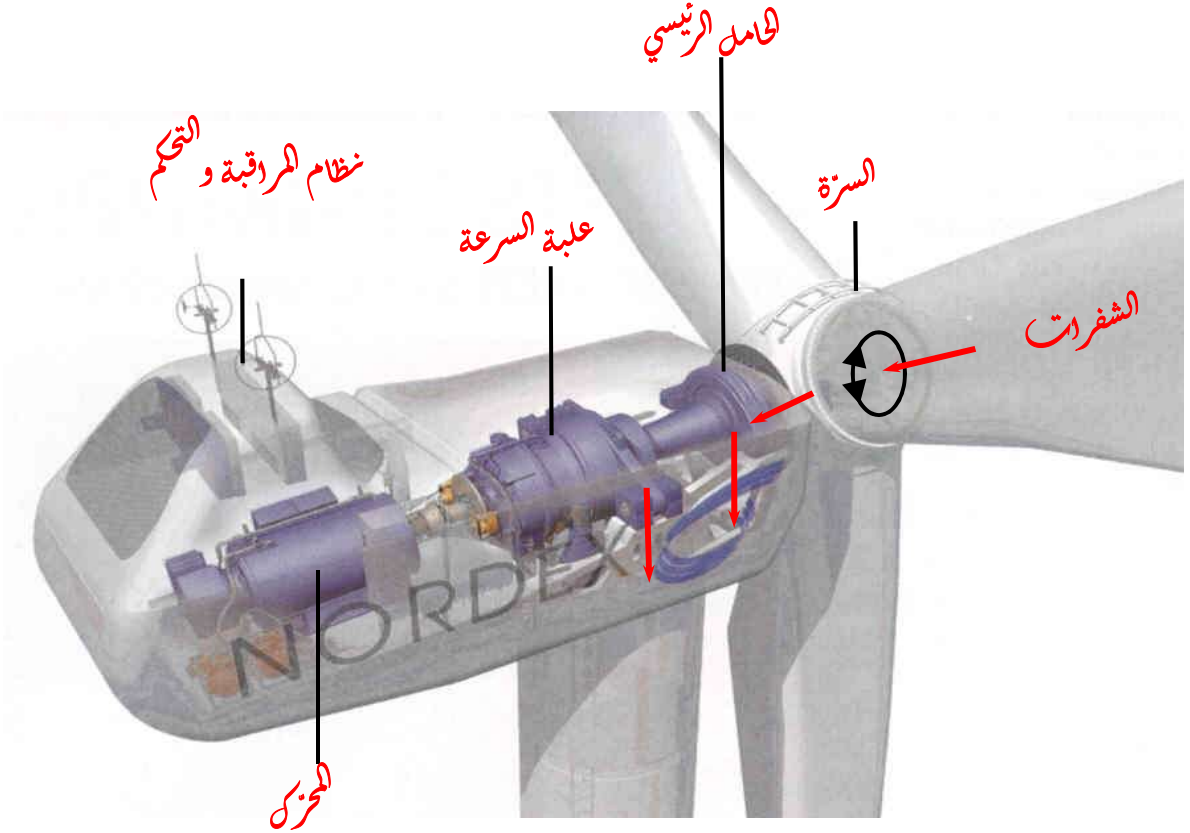
يبيّن الشكل مكان حدوث الإصابة بصاعقة وفق نظرية الكرة المتدحرجة، حيث يمكن أن تحدث الإصابة في الشفرات أو السّرة.

(حماية من الدرجة الأولى **20 m**).

عند زيادة ارتفاع العنفة عن **60 m** يجب الأخذ بالحسبان إمكانية حدوث صاعقة بين العنفة و الغيمة (صاعقة صاعدة)، ويتميز هذا النوع من الصواعق بالشحنة الكبيرة جداً (نبضة تيار طويل)، مما قد يسبب صهر جزء من معدن العنفة (وبالتالي تصبح ضعيفة للإجهادات الميكانيكية)، أو حدوث حريق، بالإضافة إلى أن اختيار وتركيب مفرغات التيار لمثل هذا النوع من الصواعق هو أمر بالغ الصعوبة.

تتوضّع أغلب التجهيزات الحساسة للعنفة الريحية في منطقة السرّة والجندول.

وبسبب صعوبة صيانة هذه التجهيزات عند حدوث عطل تحدد المواصفات القياسية الخاصة بحماية العنفات الريحية من الصواعق (**IEC61400-24** و **VDE 0127-24**) بمتطلبات الحماية من الدرجة الأولى. أي يجب اعتماد القيم التصميمية التالية للصاعقة وفق **IEC62305**.



أي يجب اعتماد القيم التصميمية التالية للصاعقة وفق ***IEC62305***.

القيم المميزة لتيار الصاعقة من أجل انفراغ بين غيمة والأرض لصاعقة موجبة.

I_{max}	I_{min}	di/dt	قطر كرة الصاعقة	W/R	Q	زمن البقاء
200 kA	3 kA	200 kA/µs	20 m	10 Mj/Ω	200 C	T=0.5 s

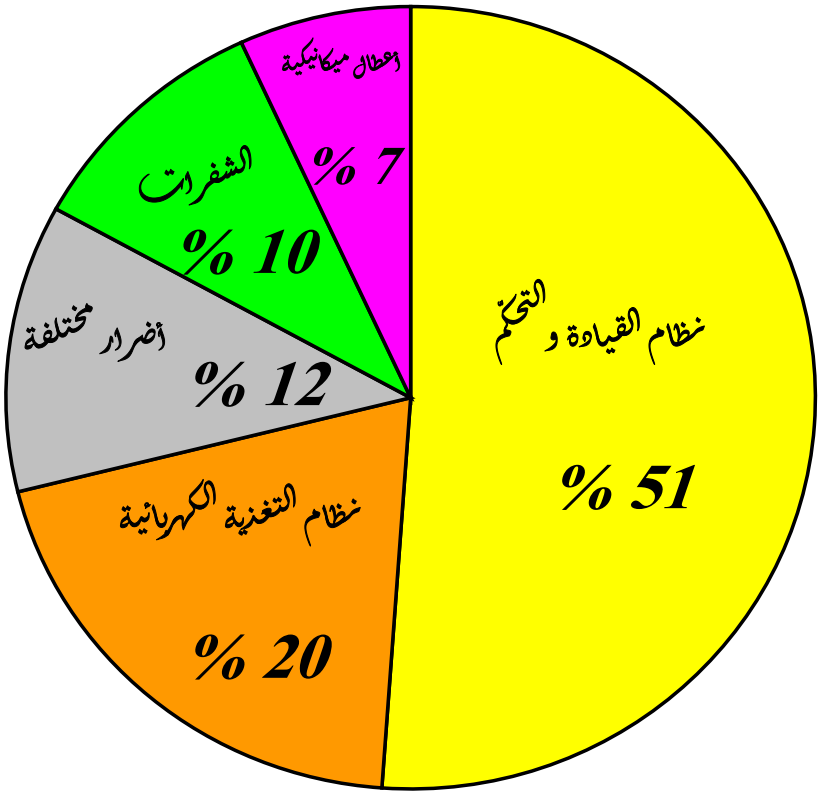
أما القيم المميزة لتيار الصاعقة من أجل انفراغ بين غيمة والأرض لصاعقة سالبة.

I_{max}	di/dt
100 kA	100 kA/µs

ويبيّن الجدول التالي أثر كل قيمة من القيم المميّزة للصاعقة، وجزء العنفة المتضرّر نتيجة هذه القيمة.

الجزء المتضرّر من العنفة	الأثر	القيمة المميّزة
نظام القيادة و التحكّم في العنفة	– ارتفاع كمون الأرض مكان تفريغ التيار. – تحريض توترات زائدة طولانية وعرضانية في كابلات القيادة والتحكّم.	القيمة الاسمية لتيار الصاعقة $\hat{I} = 200\ kA$
نظام القيادة و التحكّم	طاقة كبيرة محوّلة في أجهزة الحماية من التوترات الزائدة (المفرغات).	شحنة التيار النبضي
الشفرات	– صَهر جزء من المعدن – حدوث حريق	شحنة التيار الطويل
الشفرات	إجهادات ديناميكية	القدرة النوعية لتيار الصاعقة
نظام القيادة و التحكّم	تحريض توترات زائدة	الميل الأعظمي لتيار الصاعقة di/dt

تحدث أغلب الأعطال في نظام القيادة و التحكم الحساس جداً والمتواجد في سرة العنفة نتيجة إصابة بصاعقة كما هو مبين في الشكل وفق دراسة إحصائية ونماركية.



نسب توزيع الأعطال على أجزاء العنفة (دراسة إحصائية).

يقسم نظام الحماية من الصواعق للعنفات الريحية إلى نظام حماية خارجي ونظام حماية داخلي لحماية للتجهيزات الكهربائية والإلكترونية في العنفة من أثر الحقول الكهرطيسية المرافقة لقناة البرق.

1-2 نظام الحماية الخارجي:

الغاية منه التقاط شحنة الصاعقة وتفريغ التيار في الأرض دون حدوث حريق أو تخريب في تجهيزات العنفة، ويتكون من لواقط، ونوازل، وتأريض، بالإضافة إلى تجهيزات الحماية من الاهتزازات الميكانيكية، ومن الحريق.

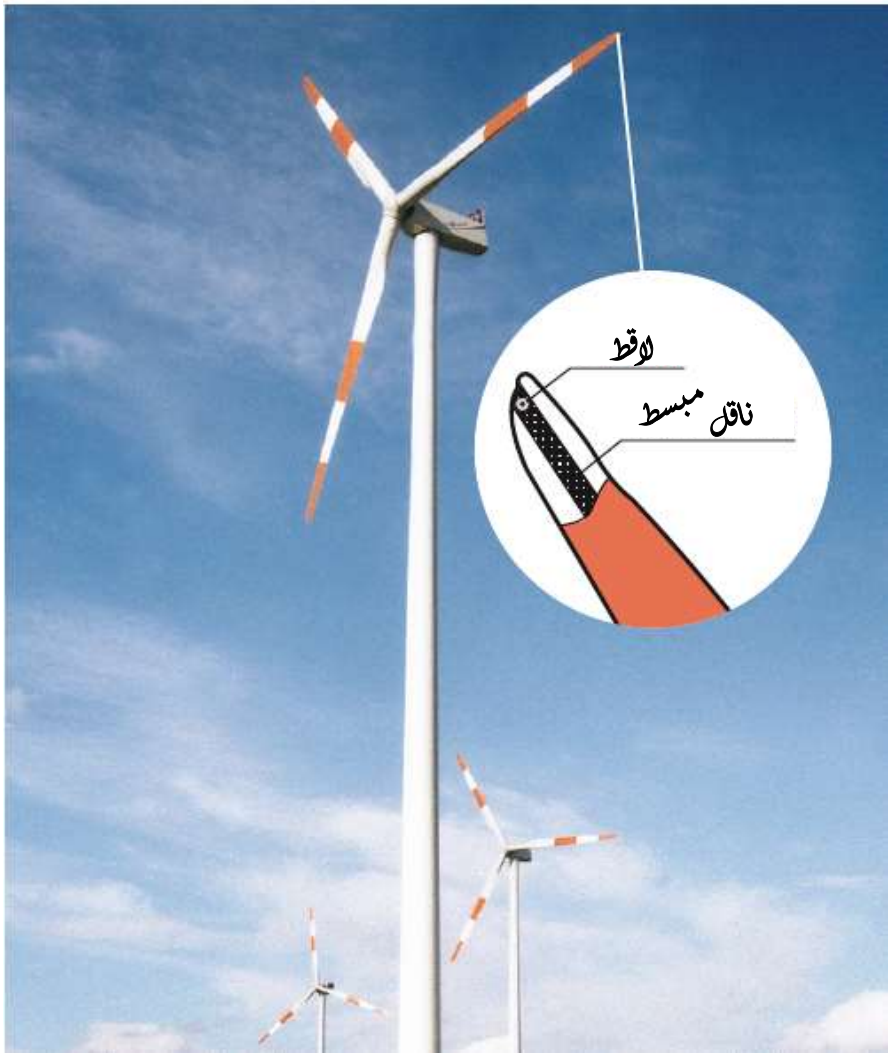
ويُعد الاعتماد على معدن العنفة (الشفرات والبرج) من الأخطاء الشائعة في الحماية الخارجية، كونه يسبب سريان جزء من تيار الصاعقة في علبة السرعة، وبالتالي تلف التجهيزات الحساسة المتواجدة فيها.

احتراق التجهيزات الحساسة في علبة السرعة نتيجة مرور تيار الصاعقة فيها.

إصابة مباشرة لصاعقة تيارها **45 kA**
لعنفة ريحية

نتيجة الضربة المباشرة لصاعقة تأثرت شفرات العنفة الريحية مما سبب عطلاً في التجهيزات الإلكترونية بين السرة والجندول وأضرار كبيرة في الموقع.

بينت الاحصائيات العالمية أن **56%** من الإصابات تحدث في الشفرات، لذلك لا بد من تركيب نواقل لسريان تيار الصاعقة من مكان الإصابة (الشفرات) إلى جسم البرج دون عبور علبة السرعة التي تحوي على الأجزاء الحساسة.وتركّب هذه النواقل داخل الشفرة.



سيحدث في الناقل بين اللاقط والسرة هبوط جهد كبير بسبب تحريضية الناقل:

$$\Delta u = L \cdot \frac{di}{dt}$$

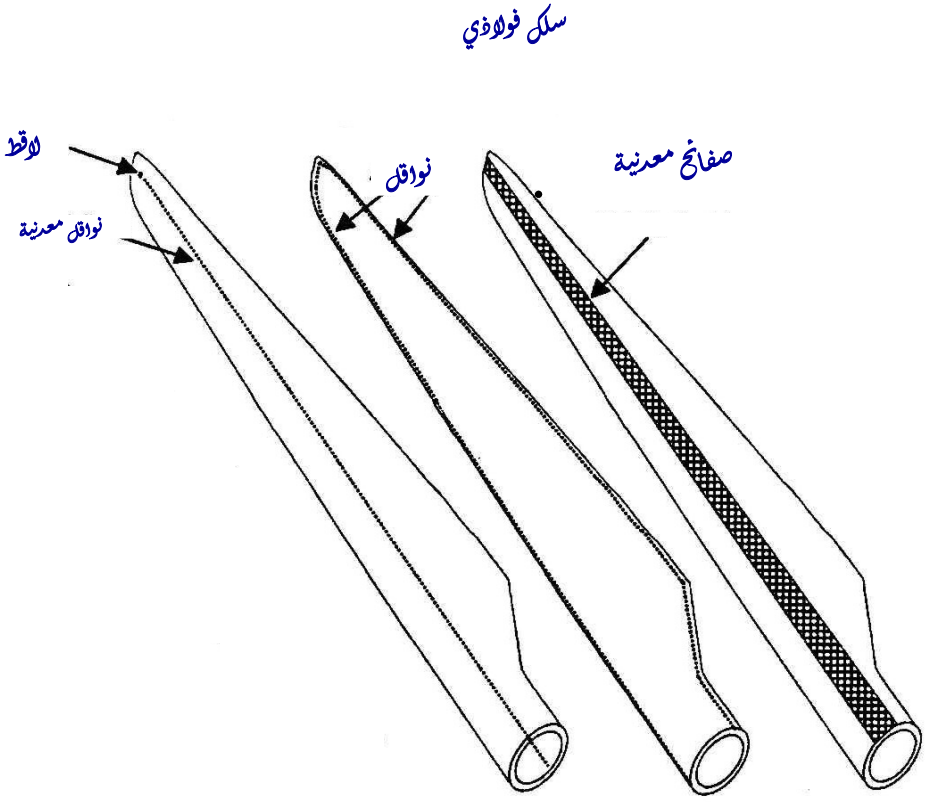
$$= 0.1[\frac{V \cdot s}{A}] \times 200[\frac{kA}{\mu s}]$$

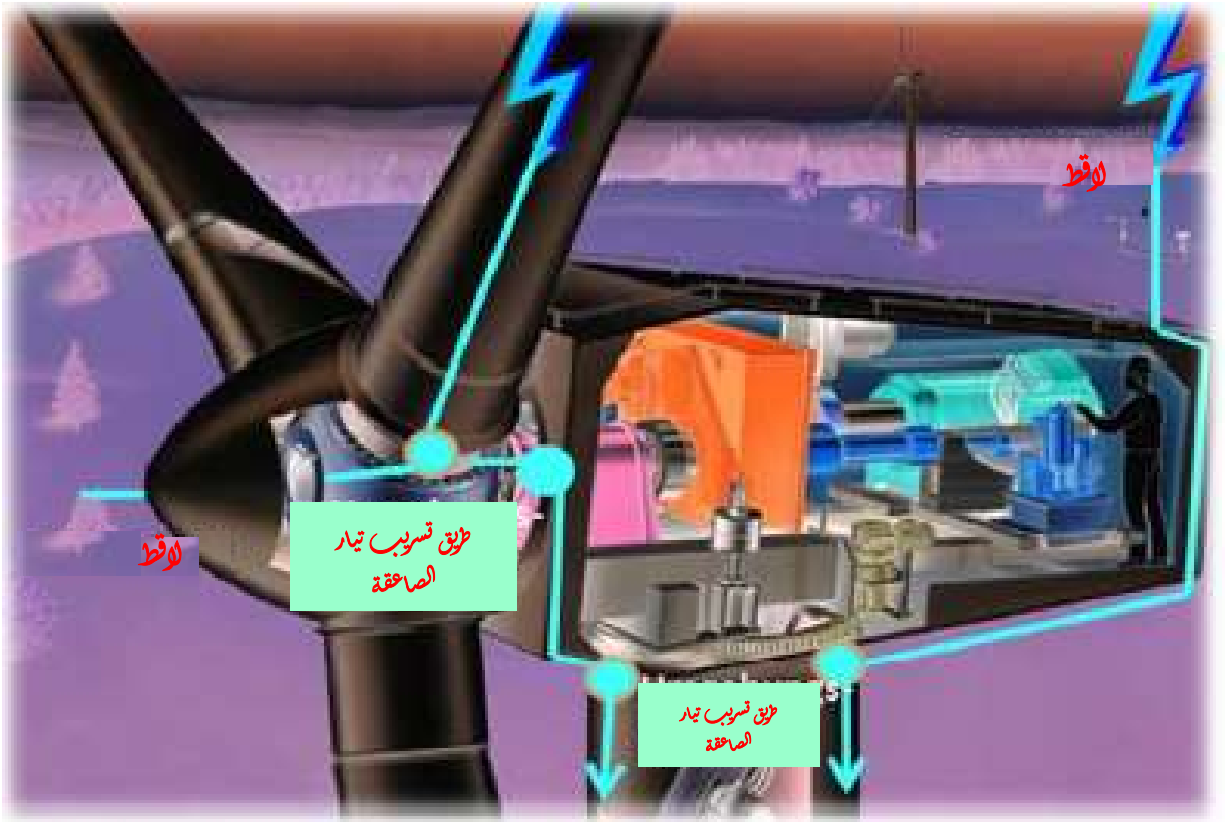
$$= 20[\frac{kV}{m}]$$

سيحرض هبوط الجهد توترات طولانية وعرضانية في الأغلفة المعدنية لجميع النواقل الاخرى الممدودة في الشفرة.

1-1-2 اللواقط:

ويمكن تركيب الناقل المبسط على الشفرة (شكل*a*)، أو على حواف الشفرة (شكل*b*)، و تكون النواقل عبارة عن صفائح نحاس ***3×30 mm***، أو نواقل دائرية من النحاس بقطر ***10 mm*** (شكل*c*،).





لتفريغ تيار الصاعقة بالأرض دون المرور بمنطقة السرّة يربط الناقل الممدّد في الشفرات ببرج العنفة إذا كان البرج معدنياً وبنواقل التأريض ضمن البرج (عبارة عن نواقل من الحديد المغلفن بقطر **10 mm** تمدد ضمن البرج) إذا كان البرج بيتونياً.

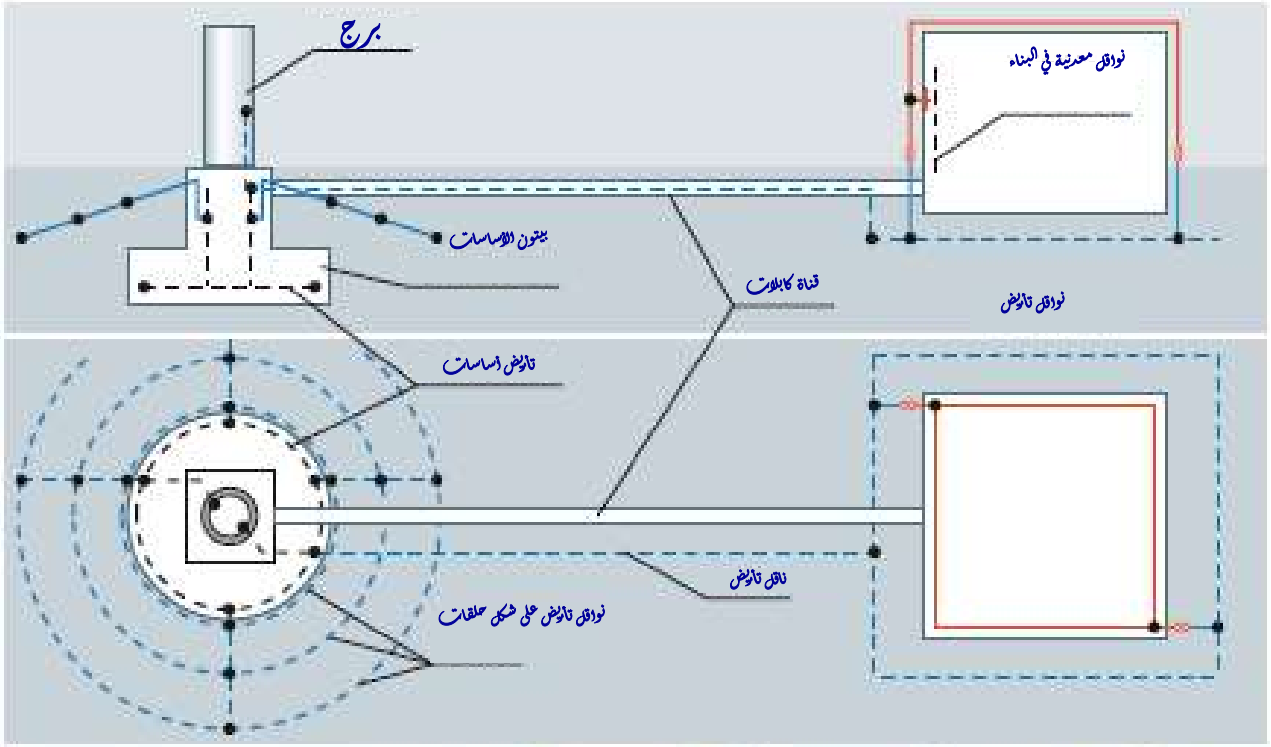
كذلك يمكن ان تصيب الصاعقة في الجندول أو منطقة السرة، لذلك يجب أن يصمم الجندول على شكل صندوق معدني مغلق ليكون جزءاً من نظام الحماية. في حال كان جسم العنفة من معدن غير ناقل يجب تصفيح الجسم بمعدن أو وضع لواقط في هذه المنطقة. أما الانفراغات البرقية التي تصيب جسم برج العنفة فيمكن اعتبار جسم البرج المعدني كلاقط، في الأبراج البيتونية يجب تمديد حلقات معدنية دائرية تحيط بجسم البرج. المسافة بين هذه الحلقات أقل من قطر كرة الصاعقة (**20 m**). تربط هذه الحلقات مع النوازل إلى نظام التأريض للعنفة.
عند تركيب لواقط على المباني و التجهيزات الملحقة بالعنفات الريحية يجب الأخذ بالحسبان تعرّض هذه اللواقط لقوى انحناء كبيرة نتيجة الرياح، لذلك يجب تثبيتها بشكل جيد.

2-1-2 النوازل:

يستخدم جسم البرج المعدني كنوازل تربط بين اللواقط وآبار التأريض، في العنفات ذات الأبراج البيتونية يمكن تمديد نواقل معدنية تحقق المتطلبات الواردة في **IEC 62305-3** ضمن بيتون البرج تستخدم كنوازل.

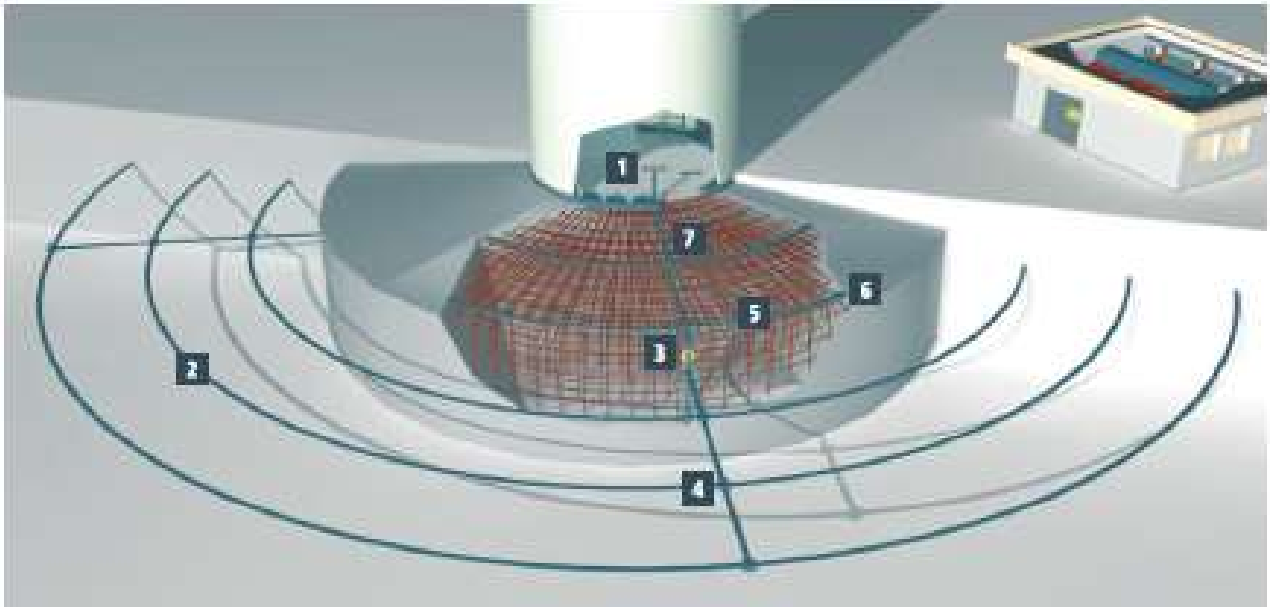
3-1-2 التأريض:

الغاية من التأريض تشتيت تيار الصاعقة بالأرض دون حدوث اجهادات ديناميكية وحرارية خطيرة على تجهيزات العنفة والحماية من توتر الخطوة وتوتر التماس للأشخاص المتواجدين بالقرب من برج العنفة.
ويتم تأريض العنفة وفق النموذج (**B**) الوارد في **IEC 62305-3**، حيث يربط حديد التسليح لقاعدة البرج مع نواقل تأريض مبسطة (**30 mm×3.5 mm**) أو نواقل دائرية بقطر **10 mm** ممددة على حلقات مربوطة مع بعضها البعض.



1- حلقة تساوي الكمون، 2- نواقل تأريض غير قابلة للصدأ للتخلص من توتر الخطوة وتوتر التماس، 3- نقطة تأريض ظاهرة في قاعدة العنفة تستخدم لربط تأريض عدة عنفات مع بعض، أو ربط تأريض العنفة مع تأريض الأبنية الملحقة، 4- وصلات تصالب، 5- نواقل مبسطة **30** ***mm×3.5 mm***، 6- مثبتات.

تأريض عنفة ريحية.



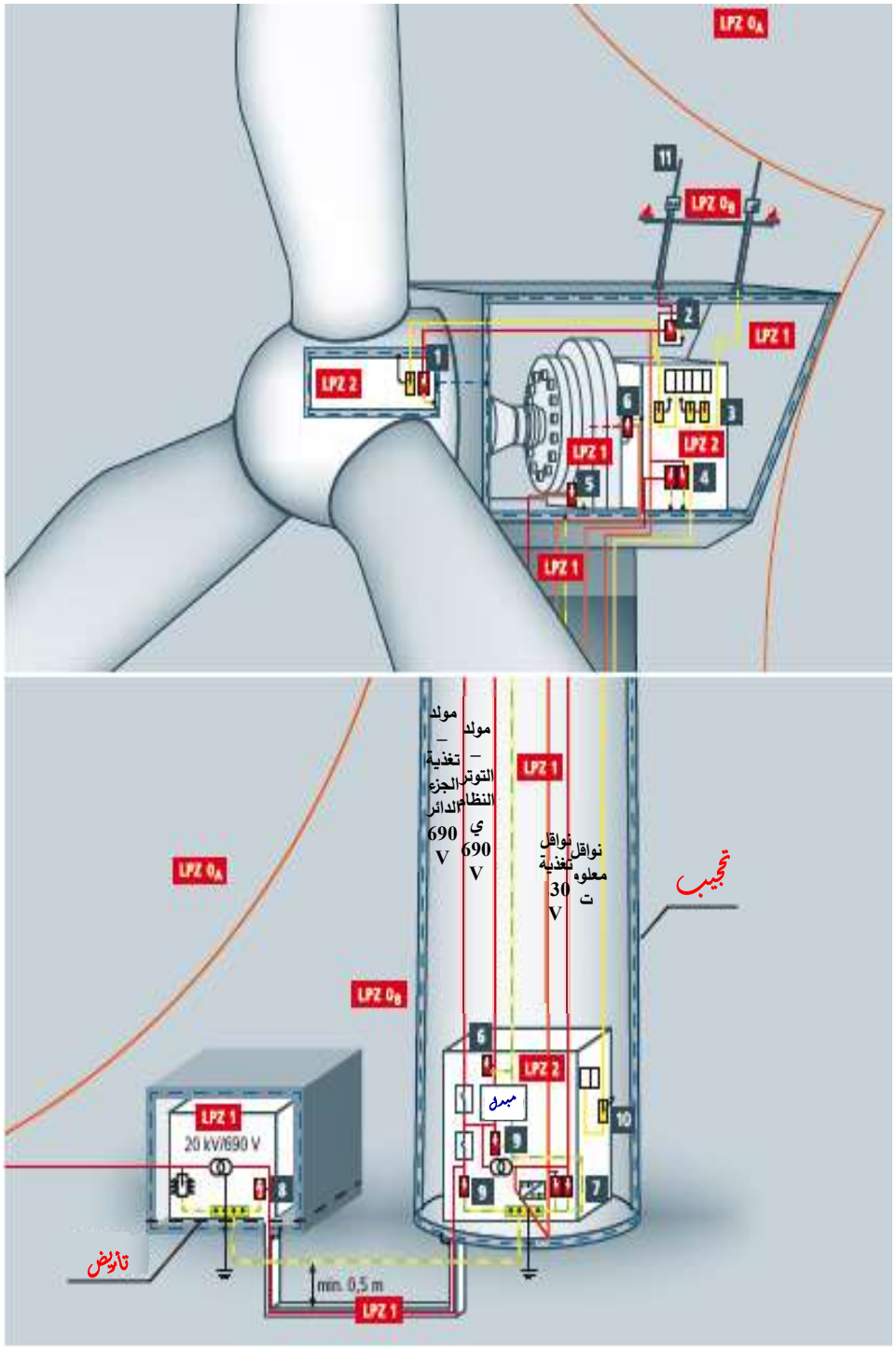
تغطى نواقل التأريض بطبقة من البيتون لا تقل سماكتها عن ***5 cm***، في الأبنية الملحقة بالمحطة الريحية يمكن استخدام التأريض وفق النموذج ***A*** (***IEC 62305-3***) الذي يتكون من قطب تأريض لكل نازل أو تأريض من النموذج ***B*** حسب قيمة المقاومة النوعية للتربة بالقرب من هذه المباني.

2-2 نظام الحماية الداخلي (حماية نظام التشغيل للعنفة من التوترات الزائدة):

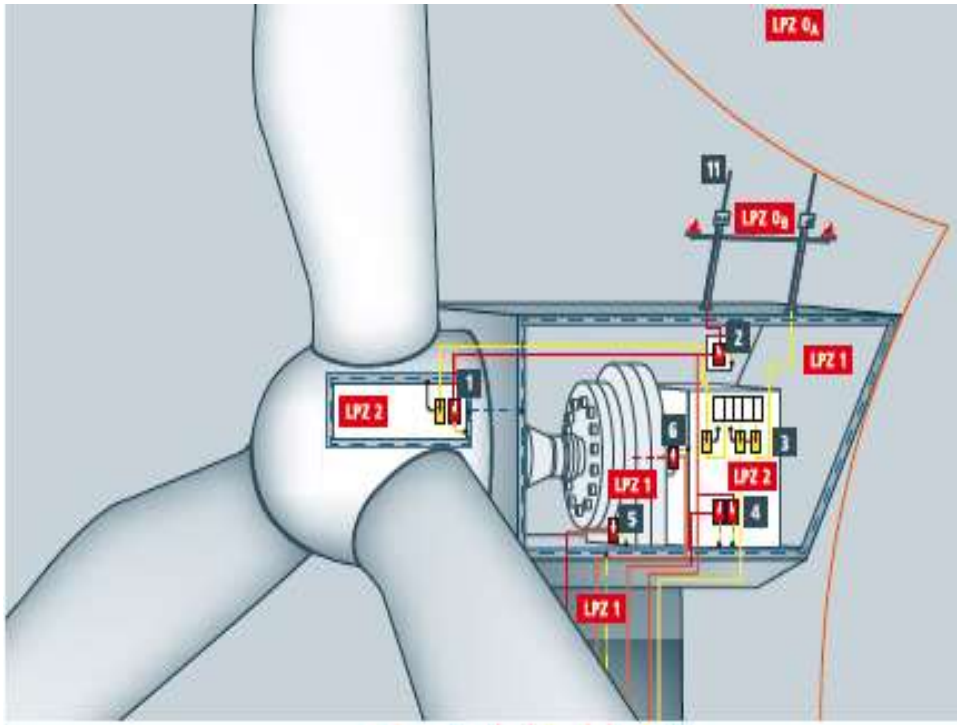
- ويشمل الاجراءات التالية:
- تمديد نواقل تساوي الكمون.
- التحجيب ومسافات الأمان.
- تمديد النواقل ضمن المزرعة الريحية بشكل صحيح.
- تركيب مفرغات التوتر والتيار المناسبة على حدود مناطق الحماية للتخلص من التوترات الزائدة والتيارات التي تسري في النواقل.

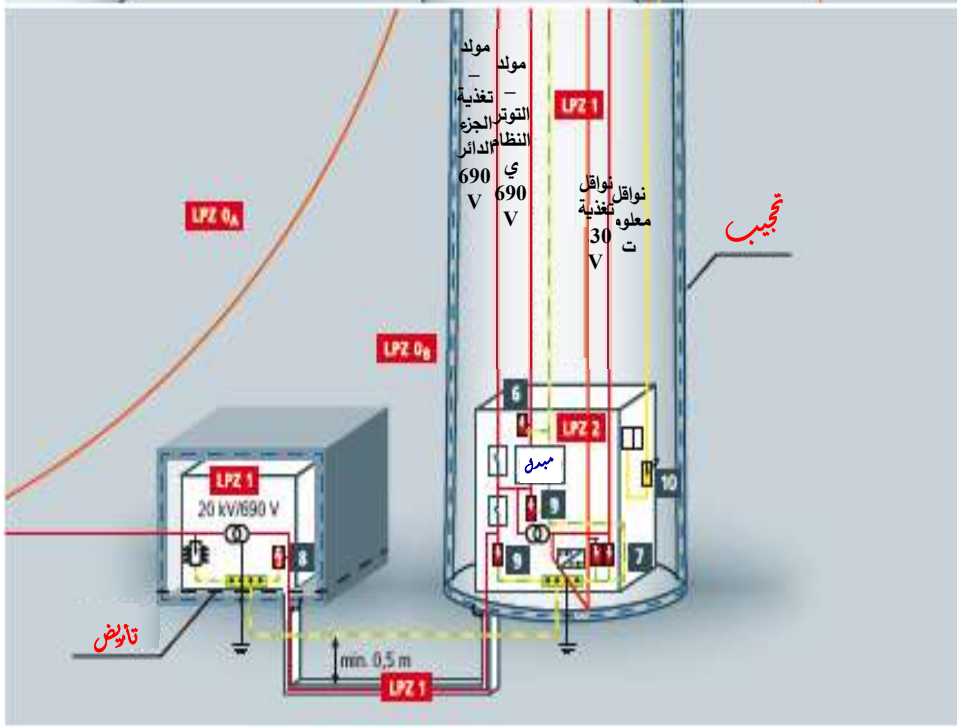
1-2-2 مناطق الحماية للعنفات الريحية:

لتنفيذ نظام حماية داخلي فعّال، ولحماية الأجزاء الحساسة الموجودة في علبة السرعة يجب تقسيم مجال الحماية للعنفة الريحية إلى عدة مناطق حماية حسب خواص الحقل الكهرطيسي المرافق لقناة البرق.

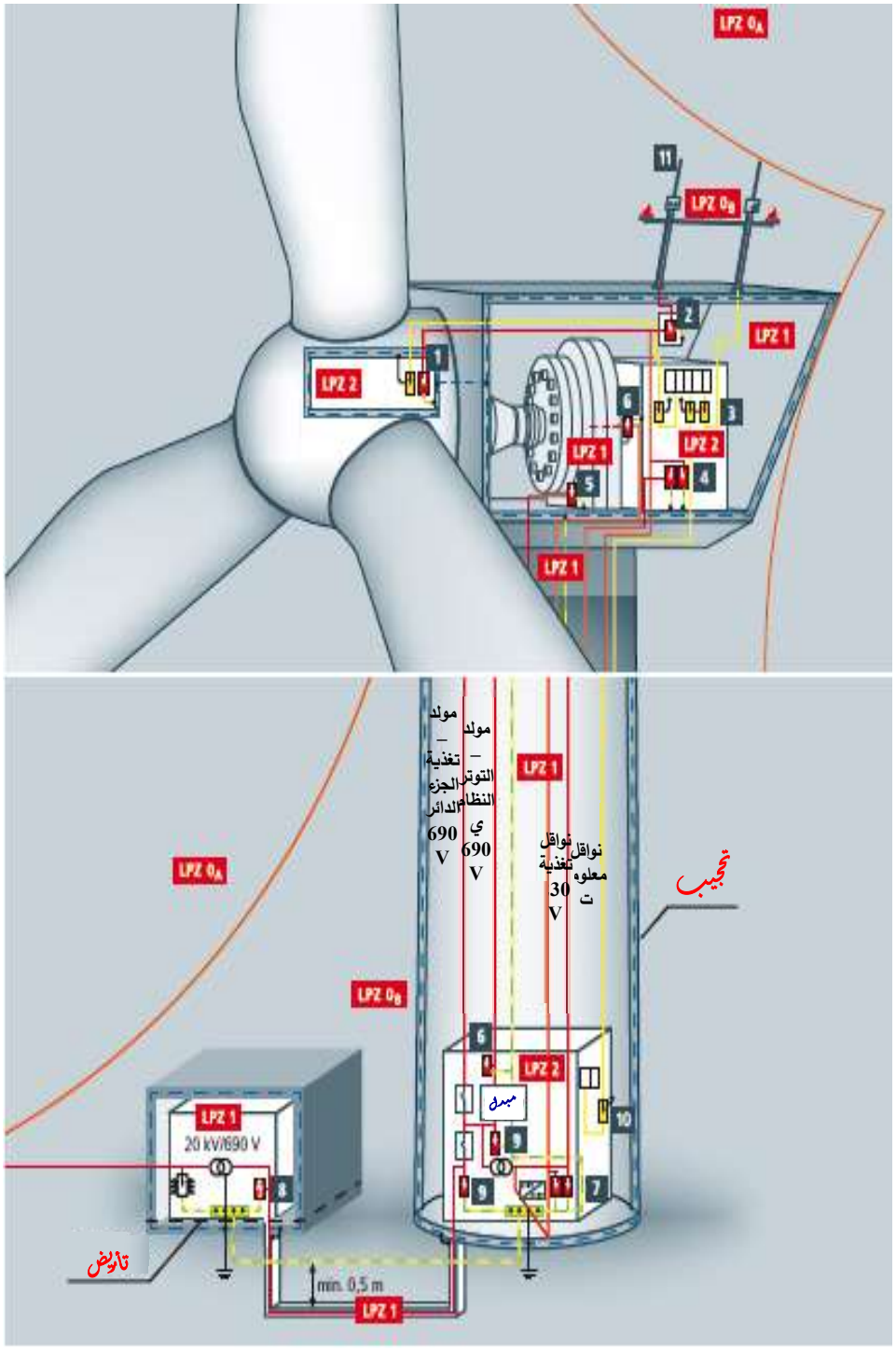


في منطقة الحماية O_A تصيب الصاعقة بشكل مباشر، وبالتالي يسري جزء من تيار الصاعقة في النواقل الواردة من هذه المنطقة إلى مناطق الحماية الأخرى. في منطقة الحماية O_B لا تصيب الصاعقة بشكل مباشر (الإصابة تحدث في الشفرات أو جسم البرج)، ولكن شدة الحقل تبقى كما في المنطقة O_A بدون تخفيض في مناطق الحماية LPZ_1 و LPZ_2 لا تصيب الصاعقة بشكل مباشر، ولكن شدة الحقل الكهرطيسي تقل بشكل كبير جداً بسبب نواقل التجويب. وكلما زاد رقم منطقة الحماية كلما زاد تخفيض شدة الحقل الكهرطيسي.





جميع النواقل الواردة من منطقة الحماية $LPZO_A$ الى منطقة الحماية LPZ_1 يركب عليها مفرغات تيار في نقطة الدخول بين المنطقتين. لهذه المفرغات القدرة على تخفيض قيمة جزء تيار الصاعقة الذي يسري فيها بدون أعطال، لذلك يجب اختيار هذه المفرغات على نبضة تيار من الشكل $10/350\ \mu s$ للتأكد من سلامتها قبل تركيبها.



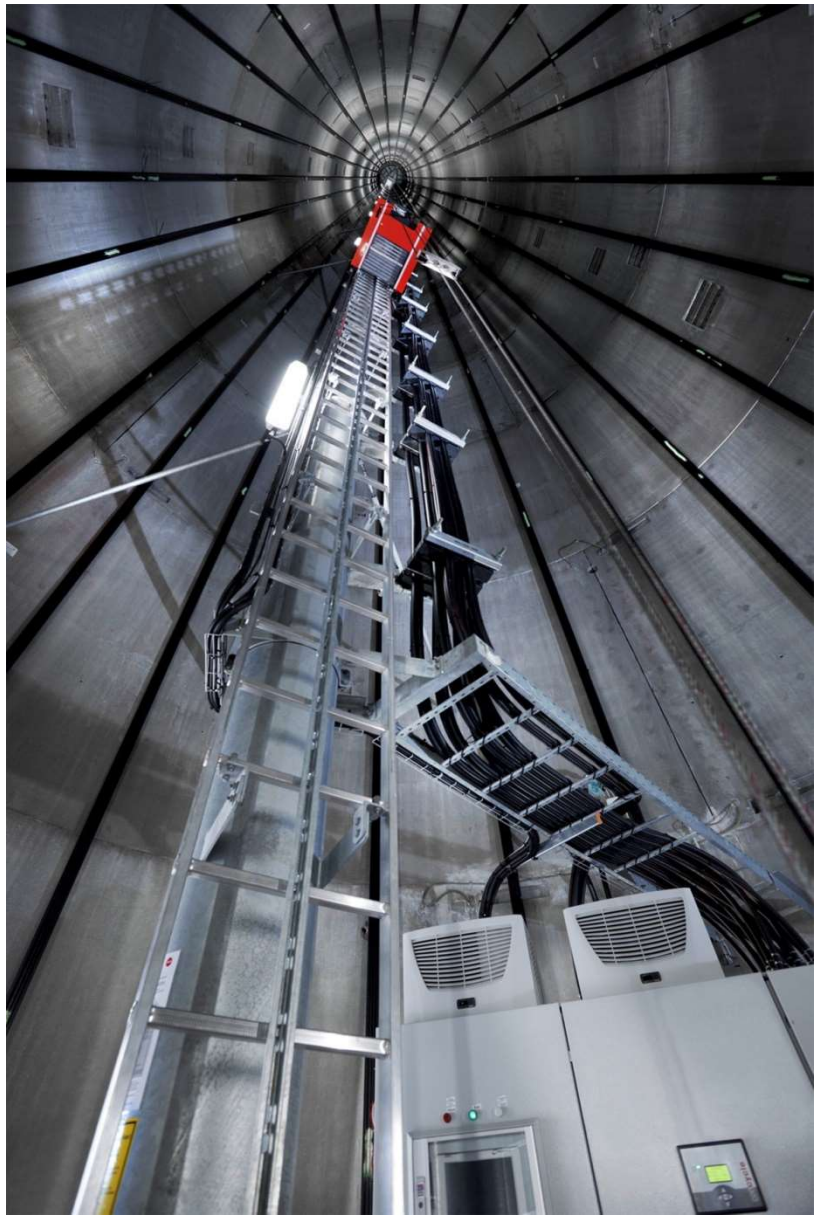
1- مفرغ توتر على نواقل الطاقة الواصلة للسرّة، ومفرغ توتر على نواقل الإشارة بين السرّة والجندول، 2- مفرغ توتر لحماية لمبات الإشارة المستخدمة لتنبيه الطائرات المروحية والشراعية، 3- مفرغ توتر على نواقل الإشارة المستخدمة لقياس حالة الطقس، 4- مفرغات توتر لنواقل الطاقة ***230/400 V*** الواصلة إلى صندوق القيادة في الجندول، 5- مفرغ توتر لحماية جهة الثابت، 6- مفرغات توتر لحماية جهة الدائر، 7- مفرغات توتر على نواقل الطاقة الواصلة لصندوق القيادة أسفل البرج ***[V] 230/400***، 8- مفرغ تيار على نقطة الربط الرئيسية على التوتر ***400/690 V***، 9- مفرغات توتر لحماية المبدل، 10- مفرغ توتر لحماية نواقل الإشارة في صندوق القيادة أسفل البرج، 11- لواقط لحماية لمبات الإشارة من الإصابة المباشرة.

تحديد مناطق الحماية للعنفة الريحية، وتركيب مفرغات الحماية.

عند عبور كابلات الطاقة من منطقة الحماية $LPZO_B$ إلى LPZ_1 وأعلى يجب تركيب مفرغات توتر (SPDType2)، حيث تُختبر هذه المفرغات على نبضة تيار من الشكل $8/20\ \mu s$.

جميع نواقل القيادة و التحكم الواردة من منطقة الحماية LPZOB إلى منطقة الحماية LPZ1 ومن LPZ1 إلى LPZ2 يركب عليها مفرغات توتر للتخلص من التوترات المتحرّضة فيها نتيجة الحقول الكهرطيسية المرافقة لقناة البرق أو نتيجة التوترات الزائدة الناتجة عن عمليات الفصل والوصل في الشبكة وجميع هذه المفرغات يجب أن تختبر قبل تركيبها على نبضة تيار من الشكل ($8/20\ \mu s$). لذلك لاحظنا مما سبق أن المفرغات المركّبة على النواقل الممدّدة في العنفة هي مفرغات توتر بنماذج مختلفة، ومفرغ تيار يركّب فقط في نقطة الربط الأساسية بين التوتر 400 V و 690 V للتخلص من جزء تيار الصاعقة الذي يسري في الشبكة الهوائية. بالإضافة إلى تركيب المفرغات يجب أن تربط الأغلفة المعدنية لهذه النواقل مع نواقل تساوي الكمون.

وتُمدّد الكابلات المستخدمة في العنفة داخل البرج، كما في الشكل



في منطقة الحماية **LPz1** (داخل البرج) تكون شدة الحقل قليلة بسبب التجيب، ويجب أن تكون جميع الكابلات من النوع المجّب، كما يجب ربط الغلاف المعدني لها من الجهتين مع وصلة تساوي الكمون، أما الكابلات المستخدمة بين العنفة ومبنى القيادة و التحكّم فتمدّد ضمن ناقل مغلق.

2-2-2 تحديد مستوى الحماية لمفرغات التوتر:

عند تحديد مستوى توتر الحماية لمفرغات التوتر المستخدمة في حماية العنفات الريحية يجب تحديد قيمة توتر التشويش للتجهيزات المراد حمايتها، ويحدد توتر التشويش لنواقل الطاقة و التجهيزات التي تغذيها وفق **IEC61000-4-5** و **IEC60664-1**، أما توتر التشويش لنواقل المعلومات فتحدد وفق **IEC61000-4-5**، أما قيمة توتر التشويش لبقية النواقل و التجهيزات فتحدد من المعلومات التي يقدمها المصنع، ويجب التأكيد على المصنع لتقديم هذه المعلومات.

3-2-2 حماية تجهيزات الطاقة:

في العنفات الريحية الكبيرة يمكن وضع المحولة في أماكن مختلفة (أسفل برج العنفة، أعلى برج العنفة، بالقرب من مجموعة التوصيل..الخ)، وتغذي المحولة الموضوعة في أعلى العنفة عدة أجزاء بالطاقة الكهربائية مثل لوحة القيادة في أسفل البرج، نظام التحكم بالشفرات الموجود في السرّة، لوحة التحكم بالجندول..الخ.

تحدد المواصفة القياسية العالمية **IEC 60364-44** قيمة التوتر البرقي المسموح للتجهيزات الكهربائية المستخدمة في العنفة الريحية، وبالتالي توتر الانهيار للمفرغات المستخدمة في حماية هذه التجهيزات. فتوتر الانهيار للمفرغات المستخدمة في حماية التجهيزات ذات التوتر **400/690 V** يجب أن يكون أقل من **2.5 kV**، وتوتر الانهيار للمفرغات المستخدمة في حماية التجهيزات **230/400 V** يجب أن يكون أقل من **1.5 kV**. أما لمبات الإشارة المستخدمة في تنبيه الطيران والمركّبة في أعلى العنفة (منطقة الحماية O_B) فتمدد الكابلات بين هذه المنطقة ومنطقة الحماية LPZ_1 أو LPZ_2، لذلك نستخدم مفرغ توتر من النوع الذي يركّب على نواقل المعلومات للتخلص من التوترات الزائدة المتحرّضة في هذه الكابلات.

4-2-2 حماية مولد الإستطاعة:

يتم حماية ملفات الدائر لمولد الاستطاعة ونواقل الطاقة للمبدلة بواسطة مفرغ توتر ثلاثي (فارستور) توتر الانهيار له أقل من **1000 V** بالإضافة إلى مفرغ أخر عبارة عن ثغرة حماية توتر الفصل المتناوب لها **2.2 kV** لحماية المفرغ الثلاثي (الفارستور) من اضطرابات التوتر، أما من جهة الثابت للمولد فتحمى بواسطة فارستور توتر الانهيار له **690 V**.

4-2-2 حماية تجهيزات المعلومات:

يتم حماية التجهيزات وفق **IEC 61643-21** وفق مناطق الحماية من الصواعق، وغالباً تستخدم كابلات معلومات من ألياف زجاجية (مجبة) (الكابلات المستخدمة لدراسة حالة الطقس، الكابلات بين الجندول ونظام التحكم بالشفرات المارة بالسرّة، كابلات التحكم بالشفرات..الخ)، وهذا النوع من الكابلات لا يحتاج إلى مفرغات توتر حيث لا يمكن للحقول الكهرطيسية المرافقة لقناة البرق أن تؤثر على مثل هذه الكابلات. ويجب ربط غلاف التجيب للكابلات الزجاجية مع وصلات تساوي الكمون.

ملاحظة هامة:

يتم اختبار جميع المفرغات المستخدمة في الحماية من التوترات الزائدة للتجهيزات في العنفة الريحية وفق المواصفة **IEC 61400-24** والتي تحدد نوعين أساسيين من الاختبارات للتأكد من جودة المفرغات المستخدمة:

الاختبار الأول: تطبيق تيارات (برقية) على نواقل التحكم المطبق عليها توتر العمل، وبالتالي تبين المفرغات المستخدمة لحماية هذه النواقل قدرتها على تحمّل جزء من تيار الصاعقة.

الاختبار الثاني: يوصف تأثير الحقول الكهرطيسية (تتعلق شدتها بالميل الأعظمي لتيار الصاعقة على التجهيزات المختبرة).

الخلاصة

تسبب الإنفراغات البرقية التي تصيب العنفات الريحية مشاكل فنية كبيرة في عملها، ونتيجة الاستثمارات الكبيرة التي تنفق عند تركيب العنفات الريحية وكلفة وصعوبة صيانتها عند تعرضها للأضرار نتيجة الانفراغات البرقية، بالإضافة إلى قيمة الطاقة المفقودة نتيجة خروج العنفات من الخدمة أثناء العطل فإنه من الضروري جداً حمايتها من الصواعق بموثوقية عالية.

ولا يمكن الاعتماد في هذه العنفات على معدن الشفرات لالتقاط شحنة الصاعقة، بل يجب تركيب نظام حماية خارجي بحيث نتجنب مرور تيار الصاعقة في التجهيزات الحساسة الموجودة في السرة، بالإضافة إلى تركيب مفرغات تيار ومفرغات توتر (حماية داخلية) للحد من أثر الحقول الكهرطيسية المرافقة لقناة البرق، وهذا يتطلب يد عاملة خبيرة غير متوفرة حالياً للأسف في وطننا العربي، مما يتطلب منا كمهندسين وضع برامج تدريب وتأهيل للفنيين.

جامعة تشرين
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

2

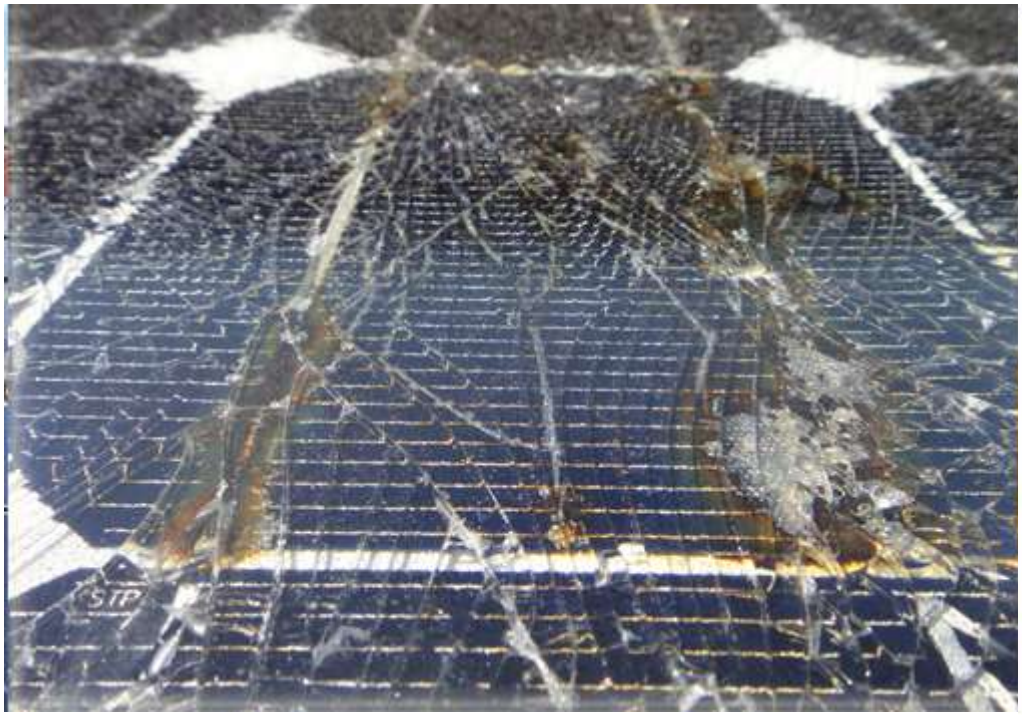
حماية محطات الطاقة الشمسية من الانفراغات البرقية

مقدمة

بيّنت الدراسات المرجعية زيادة كثافة العواصف البرقية بالقرب من محطات الطاقة الشمسية نتيجة سقوط اشعة الشمس على كتلة من الهواء الرطب، مما يؤدي إلى تسخينها وصعودها للأعلى وتأينها في طبقات الجو العليا، وبالتالي زيادة عدد حوامل الشحن في الغيمة الضرورية لبدء الإنفراغ.
وكما هو الحال في المحطات الريحية، فإن الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية قليلة جداً في الوطن العربي (تم إنتاج **5740** مليار كيلووات ساعي عام **2015**) في حين أن كمية الطاقة المنتجة في ألمانيا مثلاً، بلغت **79206** مليار كيلووات ساعي.

تحدث الأضرار في المحطات الكهروشمسية نتيجة الانفراغات البرقية :

❖ بسبب الإصابة المباشرة، والتي تسبب تكسير الألواح أو احتراقها.



تحدث الأضرار في المحطات الكهروشمسية نتيجة الانفراغات البرقية :

❖ بسبب التوترات الزائدة الناتجة عن الحقول الكهرطيسية المرافقة لقناة البرق، حيث تتحرض توترات زائدة في الحلقات التي تشكلها النواقل المعدنية المختلفة في المحطة (ترابط تحريضي)، او تحريض توترات زائدة في النواقل (ترابط سعوي).

لذلك يجب ان يشمل نظام الحماية من الصواعق لهذه المحطات نظام حماية خارجي (التقاط شحنة الصاعقة وتفريغها بالأرض)، ونظام حماية داخلي (تركيب مفرغات توتر وتيار، وتمديد النواقل بشكل صحيح)، بالإضافة الى إجراءات تساوي الكمون.

عند إقامة نظام حماية من الصواعق للخلايا الشمسية يجب التفريق بين كيفية إقامة نظام حماية للمحطات الشمسية ذات المساحات الكبيرة، ونظام الحماية للخلايا الشمسية المركبة على المباني الخاصة أو العامة.

حماية محطات الطاقة الشمسية ذات المساحة الكبيرة

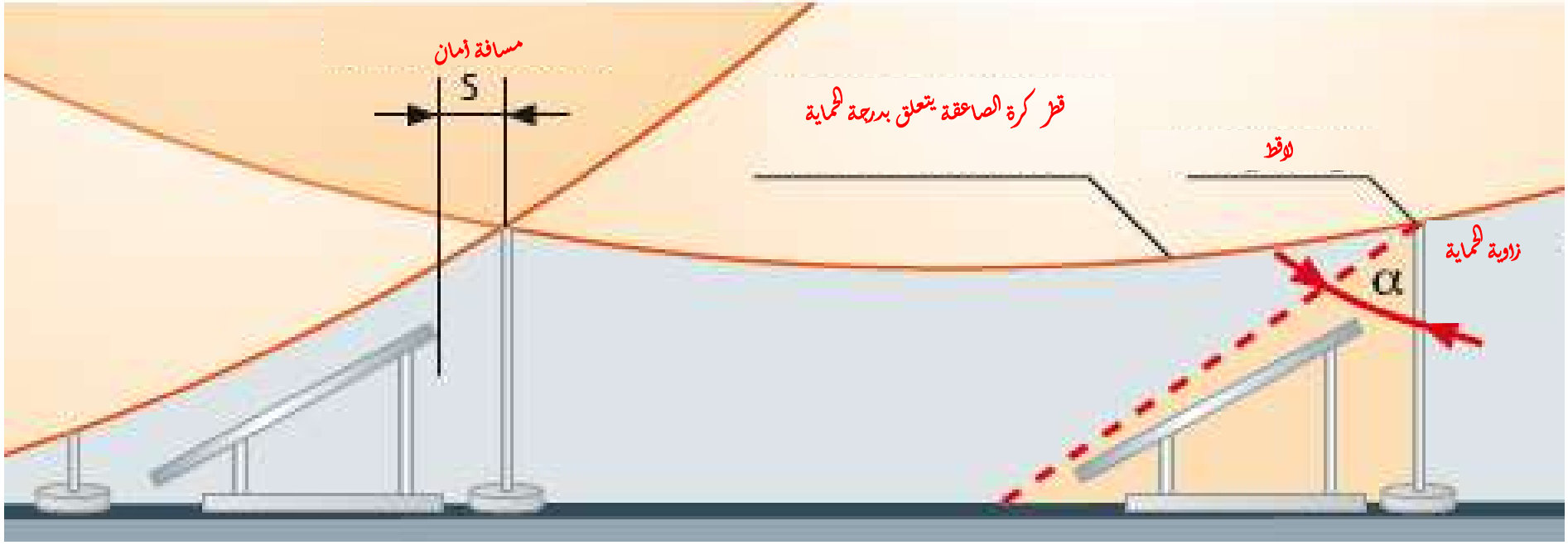
تحدد المواصفة القياسية **IEC62305-3** لعام **2011** و **VDE0185-305-3-5** لعام **2014** درجة حماية من الدرجة الثالثة لمحطات الطاقة الشمسية ذات الاستطاعة التي تزيد عن **10 MW**، وبالتالي القيم المميزة للصاعقة عند تصميم نظام الحماية تكون كالتالي:

$di/dt\ [kA/\mu s]$	$I_{min}\ [kA]$	$I_{max}\ [kA]$	قطر كرة الصاعقة $[m]$
100	10.1	100	45

ولا تلعب الصواعق الصاعدة (بين الأرض و الغيمة) أي دور في هذه المحطات.

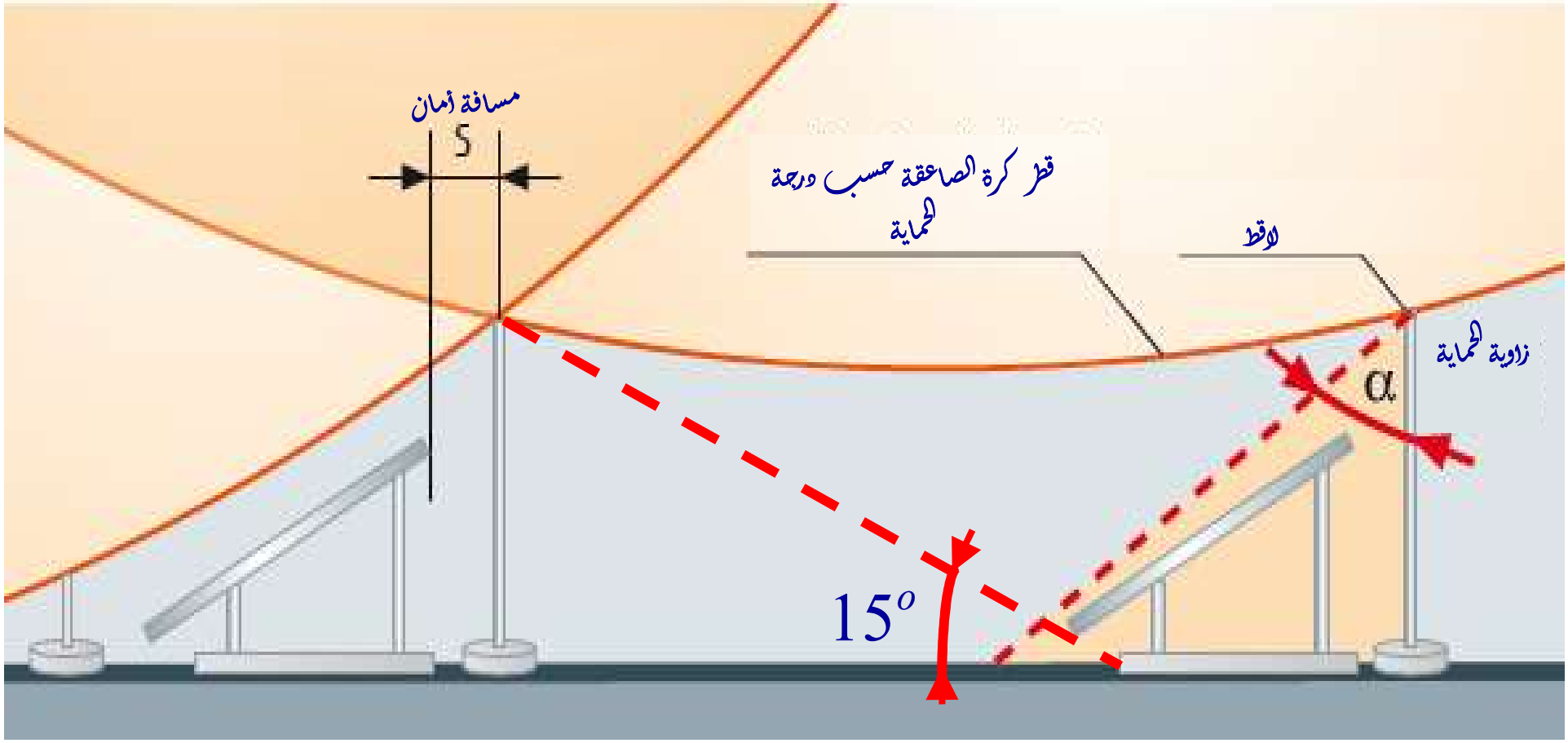
1. اللواقط:

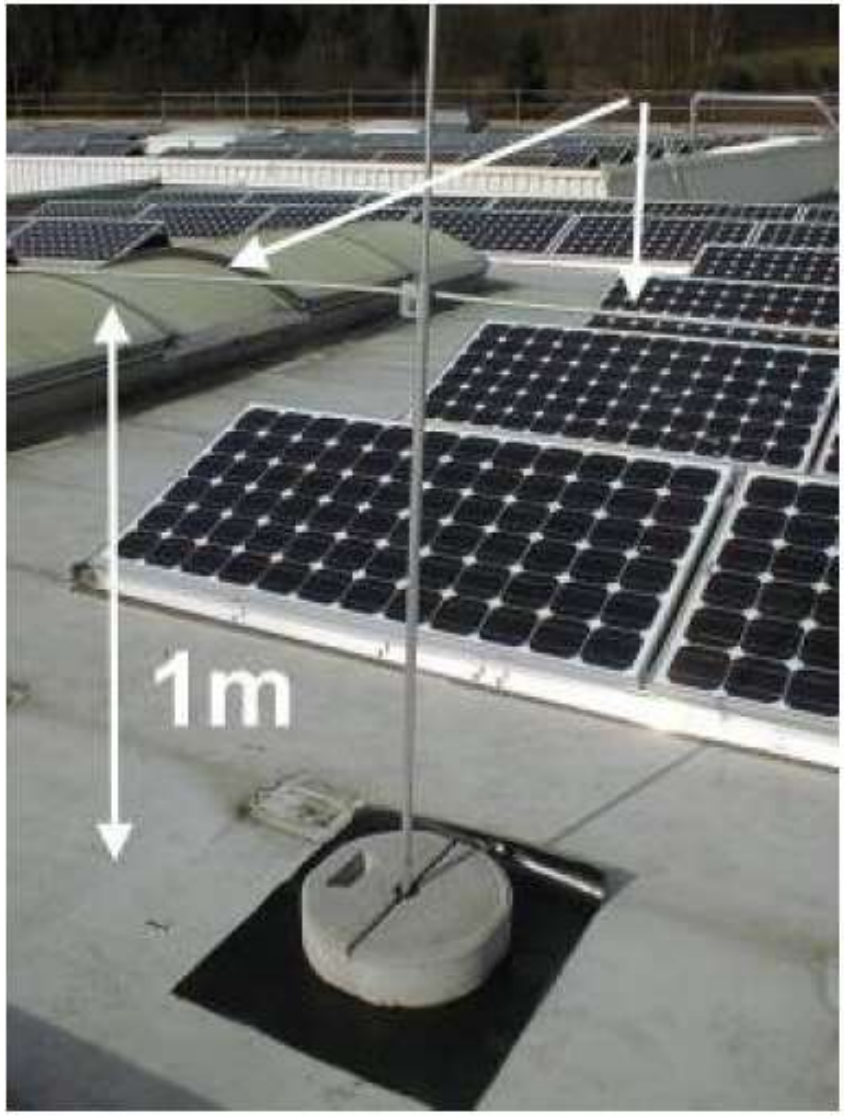
لحماية المحطات الشمسية من خطر الإصابة المباشرة يتم تركيب لواقط مفردة يُحدّد ارتفاعها وتوزيعها بحيث تقع كامل تجهيزات المحطة ضمن مجال الحماية لها. ويمكن التأكد من ذلك باستخدام نظرية الكرة المتدحرجة، كما في الشكل التالي.

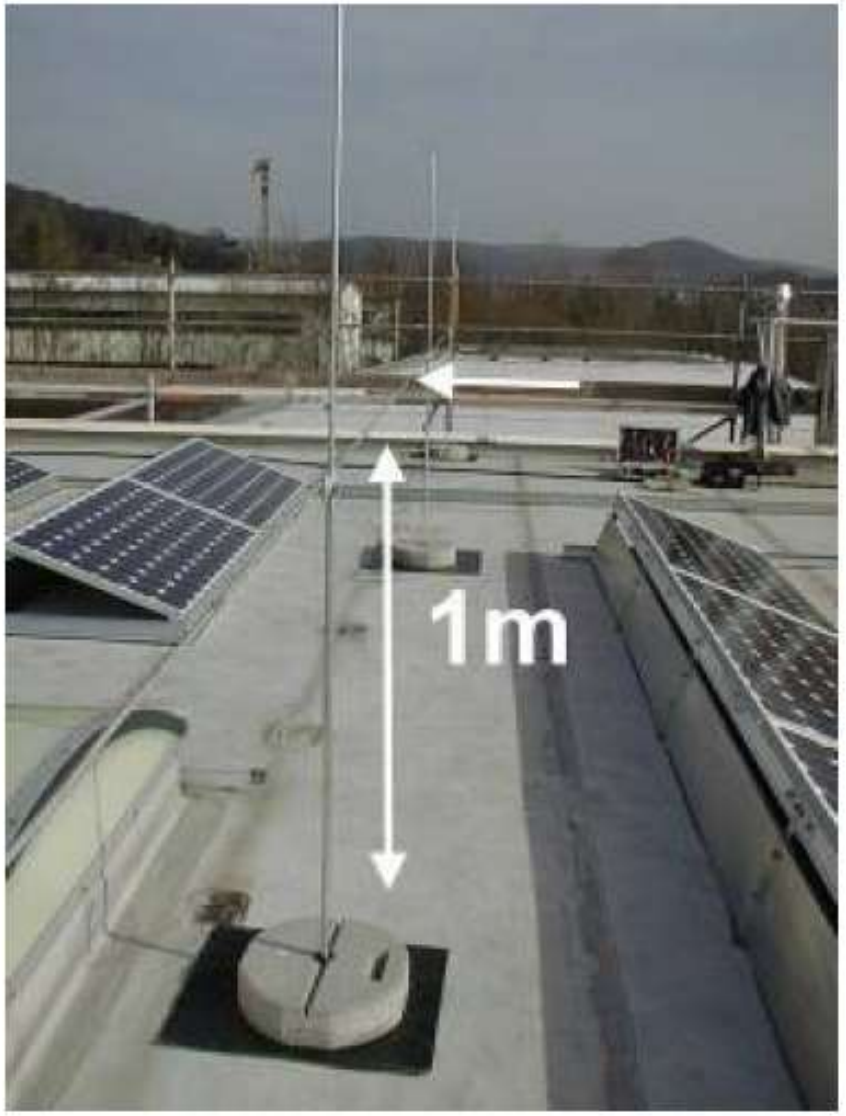


تحديد فعالية اللواقط باستخدام نظرية الكرة المتدحرجة وزاوية الحماية.

ويتم تركيب اللواقط بحيث لا تعكس ظل على الخلايا لشمسية. ويجب كذلك المحافظة على مسافة الأمان **S** بين هذه اللواقط والخلايا لمنع حدوث انفراغات جانبية عند سريان تيار الصاعقة باللواقط، كما يجب أن يحقق نظام الحماية المركّب على مباني المحطة متطلبات درجة الحماية الثالثة الواردة في **IEC62305-3**.







لواقط حماية عبارة عن نواقل أفقية مع المحافظة على مسافة الأمان المطلوبة

تثبيت اللواقط مع قواعد الألواح الشمسية.

لتثبيت اللواقط ميكانيكياً بشكل جيد يمكن أن تربط مع قواعد الألواح الشمسية، كما هو مبين في الشكل.

وتستخدم جميع الأعمدة العالية الموجودة في المحطة كلواقط مثل الأعمدة المركّب عليها كاميرات مراقبة.

2. التأريض:

يبين الشكل كيفية تمديد نواقل التأريض في محطة شمسية.

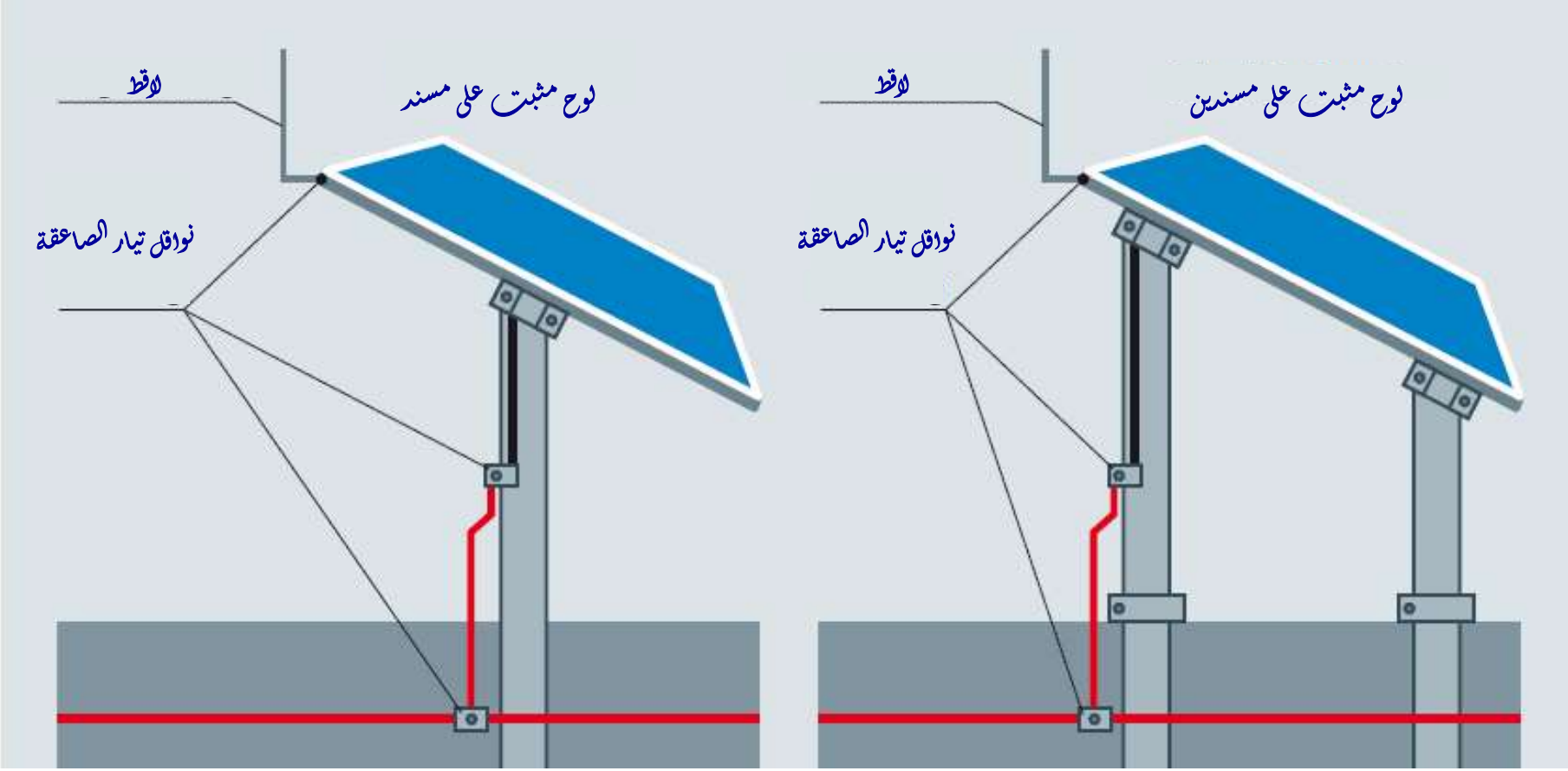
تكون هذه النواقل عبارة عن نواقل دائرية قطرها 10 mm، أو نواقل مبسطة 30 mm× 3.5 mm تشكل فيما بينها حلقات 40 m×40 m أو 20 m×20 m. ويجب أن تحقق النواقل المستخدمة في التأريض المتطلبات الواردة في IEC 62305-3.

تمديد نواقل التأريض وفق IEC 62305-3.

تطمر نواقل التأريض على عمق مناسب (حوالي **1m**) بحيث لا تستطيع الظروف الجوية الخارجية التأثير على قيمة المقاومة النوعية للتربة (انكماش التربة نتيجة الصقيع أو جفاف التربة نتيجة أشعة الشمس..الخ)، وقيمة مقاومة التأريض يجب أن تكون أقل من **10** **Ω**.

يجب تمديد نواقل التأريض بالقرب من مجاري الكابلات الأرضية لتقليل مساحة الحلقات التي تشكلها النواقل المعدنية المختلفة في المحطة، وبالتالي تخفيض قيمة التوترات المتحرّضة في هذه الحلقات.

عند تركيب اللواقط على الألواح مباشرة، يتم ربط تأريض الألواح مع بعضها البعض.



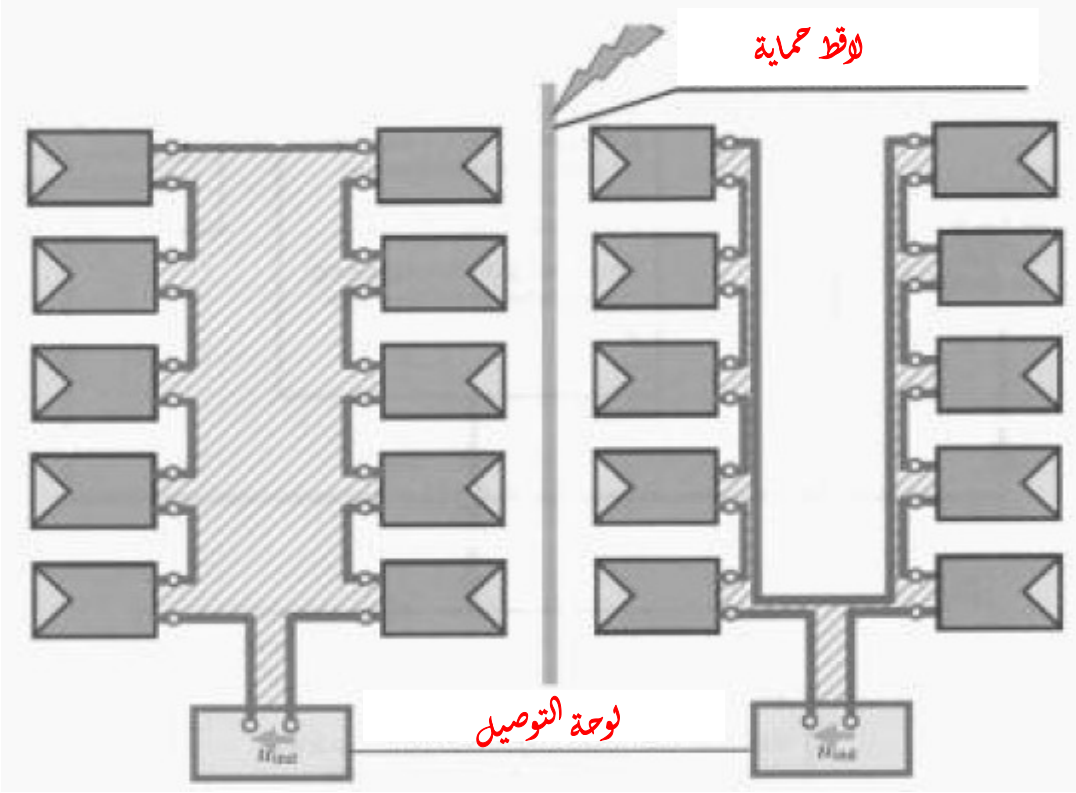
تأريض اللواقط المركّبة على الألواح مباشرة.

نظام الحماية الداخلي:

أغلب الأضرار الناتجة عن التوترات الزائدة في محطات الطاقة الشمسية تحدث في المبدلات والبطاريات وأجهزة المراقبة و التحكم ونواقل المعلومات. كما تسبب هذه التوترات زيادة التقادم للديودات وأنصاف النواقل وتجهيزات الدخل والخرج لنظام المعلومات. وبيّنت الدراسات الإحصائية أن **56 %** من الأعطال التي تسببها الانفراغات البرقية على الخلايا الشمسية تحدث في المبدلات.

للحد من الأضرار الناتجة عن الحقول الكهرطيسية المرافقة لقناة البرق يجب وضع التجهيزات الكهربائية والإلكترونية الموجودة في المحطة بعيداً عن مكان الإصابة للصاعقة (اللواقط). كذلك يجب ربط جميع الأجزاء المعدنية الموجودة في المحطة مع بعضها البعض بواسطة نواقل تساوي الكمون

للتخلص من التوترات الزائدة المتعرضة في الحلقات التي تشكلها النواقل المختلفة مع بعضها البعض تمدد جميع النواقل ضمن المحطة (نواقل تساوي الكمون، نواقل التأريض، نواقل الطاقة AC وDC، نواقل المعلومات) جانب بعضها البعض، بحيث نتجنب تشكيل حلقات كبيرة فيما بينها.



للتخفيض قيمة التوترات المتعرضة في الحلقات التي تشكلها النواقل المختلفة نتيجة الترابط التحريضي نقوم بتصغير مساحة هذه الحلقات.

تمديد خاطئ

حلقة ذات مساحة كبيرة، وبالتالي تحريضية كبيرة

تمديد صحيح

حلقة ذات مساحة صغيرة، وبالتالي تحريضية صغيرة

و للتخلص من التوترات الزائدة الناتجة عن الترابط السعوي بين الصاعقة والنواقل المختلفة تمدد جميع النواقل ضمن أقنية معدنية مغلقة.

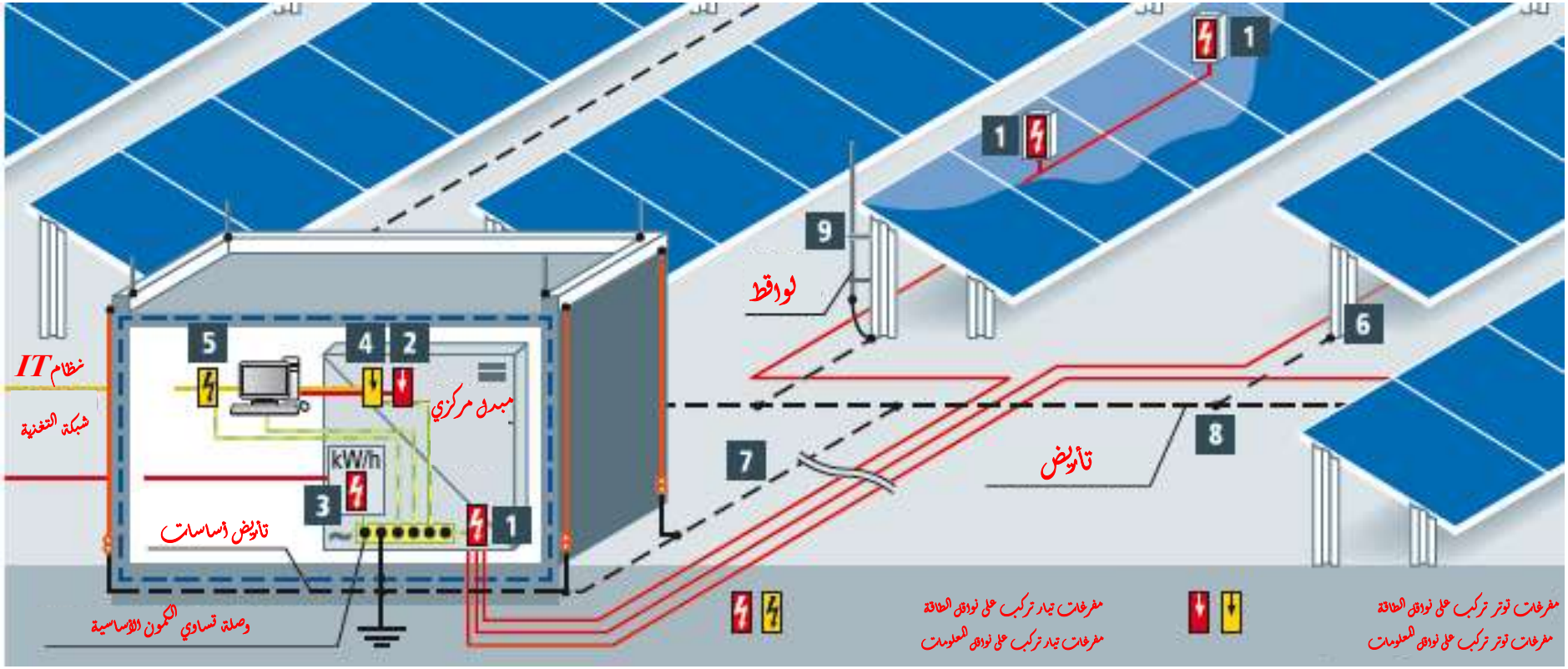
تمديد النواقل ضمن أقنية معدنية للتخلص من الترابط السعوي

تركيب مفرغات توتر على النواقل الممددة في المحطة.

نتيجة الإصابة المباشرة وغير المباشرة بصاعقة تتحرّض في نواقل الطاقة (**AC** و **DC**) ونواقل المعلومات، ...الخ) توترات زائدة، كذلك يمكن أن يسري في هذه النواقل جزء من تيار الصاعقة تتعلق قيمة هذا الجزء بعدة عوامل (نظام التأريض، المقاومة النوعية للتربة، عدد الكابلات، عدد النواقل في الكابل...الخ)، ومفرغات التيار المستخدمة للحماية يجب أن تكون قادرة على تفريغ هذا الجزء بدون مشاكل. غالباً ما تستخدم مفرغات تيار لها القدرة على تفريغ تيار **10 kA** من الشكل **10/350 μs**،

تختلف تجهيزات الحماية الداخلية (المفرغات) للمحطات في حالة وجود مبدل مركزي عنها في حال وجود مبدل لامركزي.

2. الحماية من التوترات الزائدة للمحطات ذات المبدل المركزي:

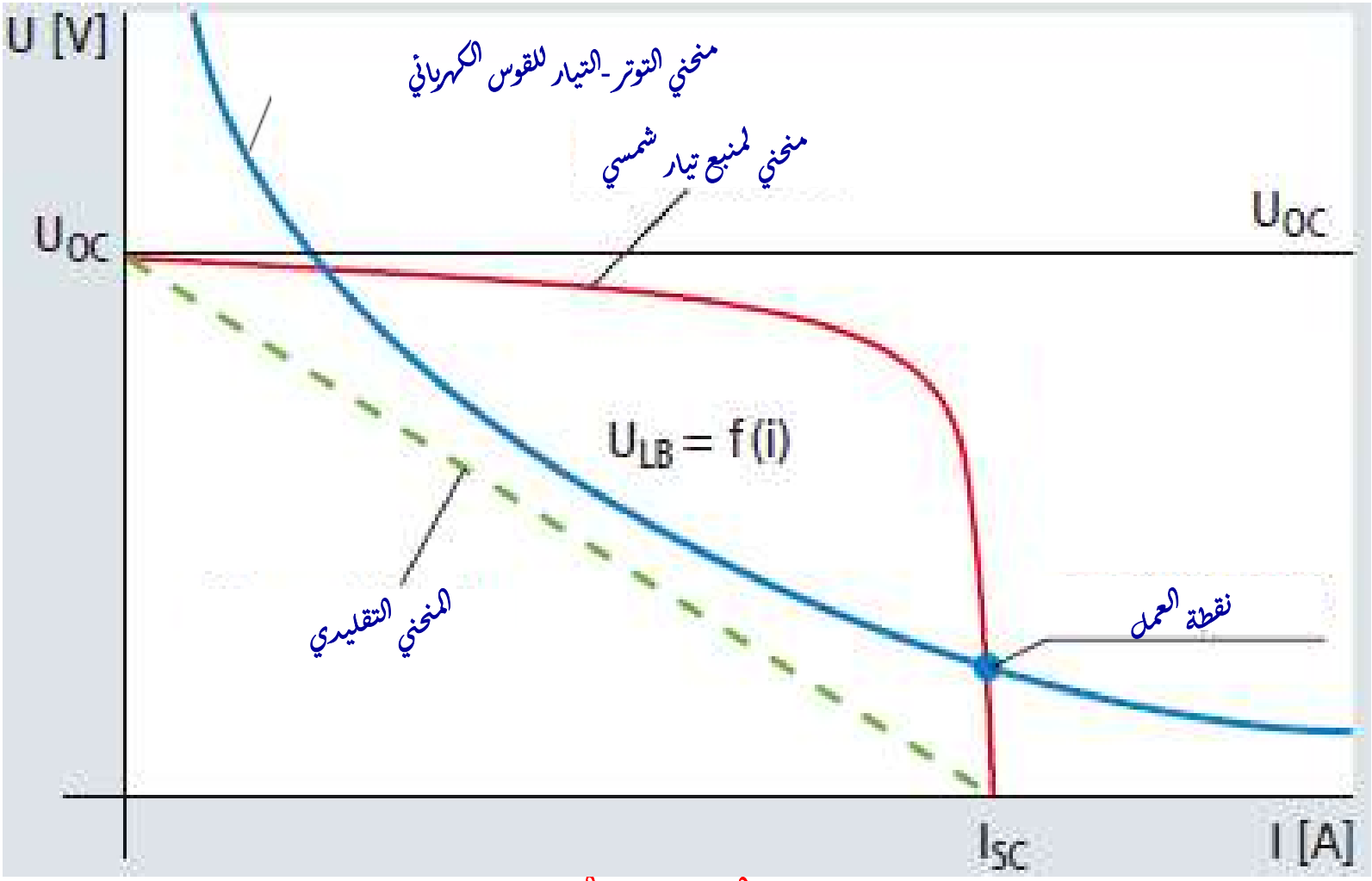


1- مفرغ تيار على دخل ***DC*** المبدل المركزي، 2- مفرغ توتر على نواقل تغذية المبدل بالتوتر المتناوب (يتعلق نوع المفرغ بنوع الشبكة ***TT, TN-S, TN-C-S***)، 3- مفرغ تيار على خرج المبدل المركزي (خرج الاستطاعة) (توتر متناوب)، يتعلق نوع المفرغ بنوع الشبكة، 4- مفرغ توتر على نظام المعلومات (نواقل معلومات محجبة ذات توترات عمل مختلفة حتى ***180 V***)، 5- مفرغ تيار على نواقل شبكة المعلومات الرقمية، 6- نواقل تساوي الكمون، 7- نواقل تأريض، 8- مثبتات، 9- لواقط.

نلاحظ من الشكل أن جميع الكابلات الممددة في المحطة هي من جهة التوتر المستمر

3. تجهيزات الحماية لجهة التوتر المستمر في المحطة ذات المبدل المركزي:

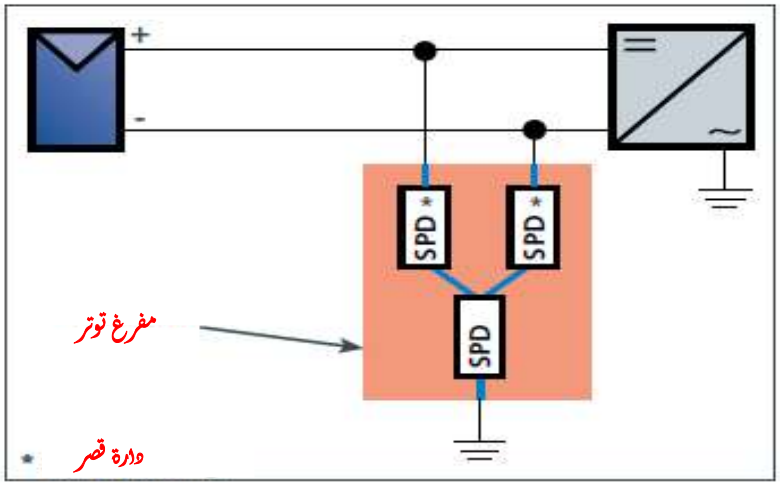
يختلف منحني (التوتر—التيار) لمنبع تيار شمسي بشكل كبير عن منحني التوتر— التيار التقليدي وعن منحني التوتر — التيار للقوس الكهربائي.

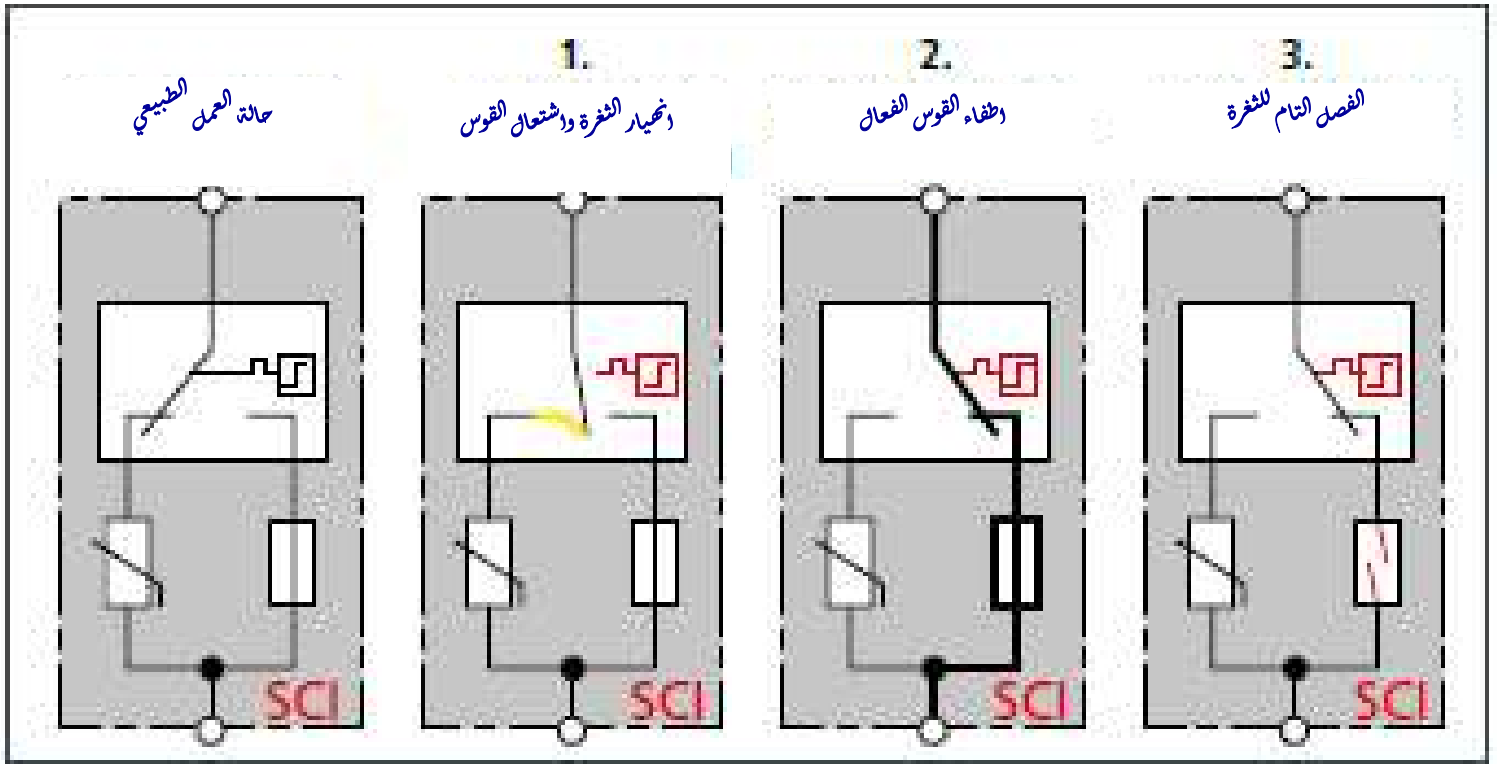


منحني التوتر — التيار لمنبع التوتر المستمر التقليدي و الشمسي وحالة القوس الكهربائي.

وهذا الإختلاف يؤثر بشكل كبير على قواطع وحمايات التوتر المستمر في محطات الطاقة الشمسية بالإضافة إلى أثره الكبير على نوع مفرغات التوتر المستخدمة للحماية من التوترات الزائدة، إذ يجب أن تكون هذه المفرغات قادرة على تفريغ التيارات ذات النبضة الطويلة. ولا تتعلق قيمة نبضة التيار الذي يسري في نواقل التوتر **DC** بعدد النواقل في الكابلات فقط، وإنما بممانعة المفرغات التي تتعلق بدورها بمستوى الحماية للمفرغ. وعند اختيار مفرغات التيار يجب الأخذ بالحسبان نبضة الشحنة بالإضافة إلى نبضة التيار. لذلك عند اختيار مفرغات التيار هذه يجب اختبار هذه المفرغات على نبضة تيار من الشكل **8/20 µs** للتأكد من قدرة المفرغ على تمرير تيار الصاعقة بالإضافة إلى اختبار هذه المفرغات على نبضة تيار من الشكل **10/350 µs** للتأكد من عدم وجود أضرار نتيجة الشحنة.

تتم حماية المبدل المركزي بواسطة الدارة التالية:

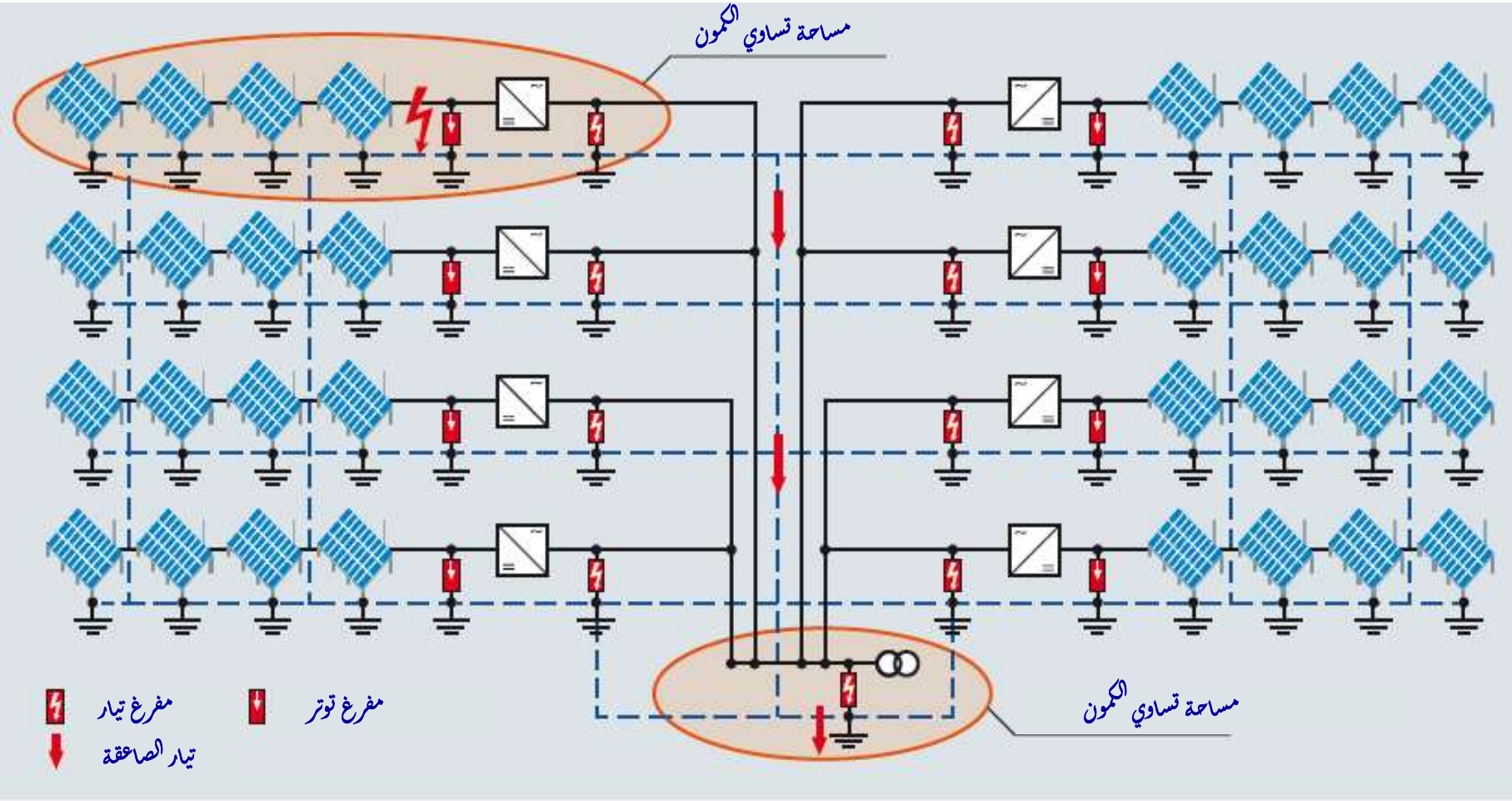




4. حماية المحطات ذات المبدل اللامركزي:

في هذه المحطات توضع المبدلات بالقرب من الألواح، وبالتالي ينتقل الجزء الأكبر من التوصيلات من جهة التوتر المستمر إلى جهة التوتر المتناوب. والخلاف بين هذه المحطات و المحطات ذات المبدل المركزي أن الجزء الأكبر من تيار الصاعقة الذي يسري في النواقل يسري في نواقل التوتر المتناوب نظراً لقرب جهة التوتر المستمر من الألواح لذلك يختلف تركيب المفرغات في هذه المحطات عن المحطات ذات المبدل المركزي كما هو مبين بالشكل.

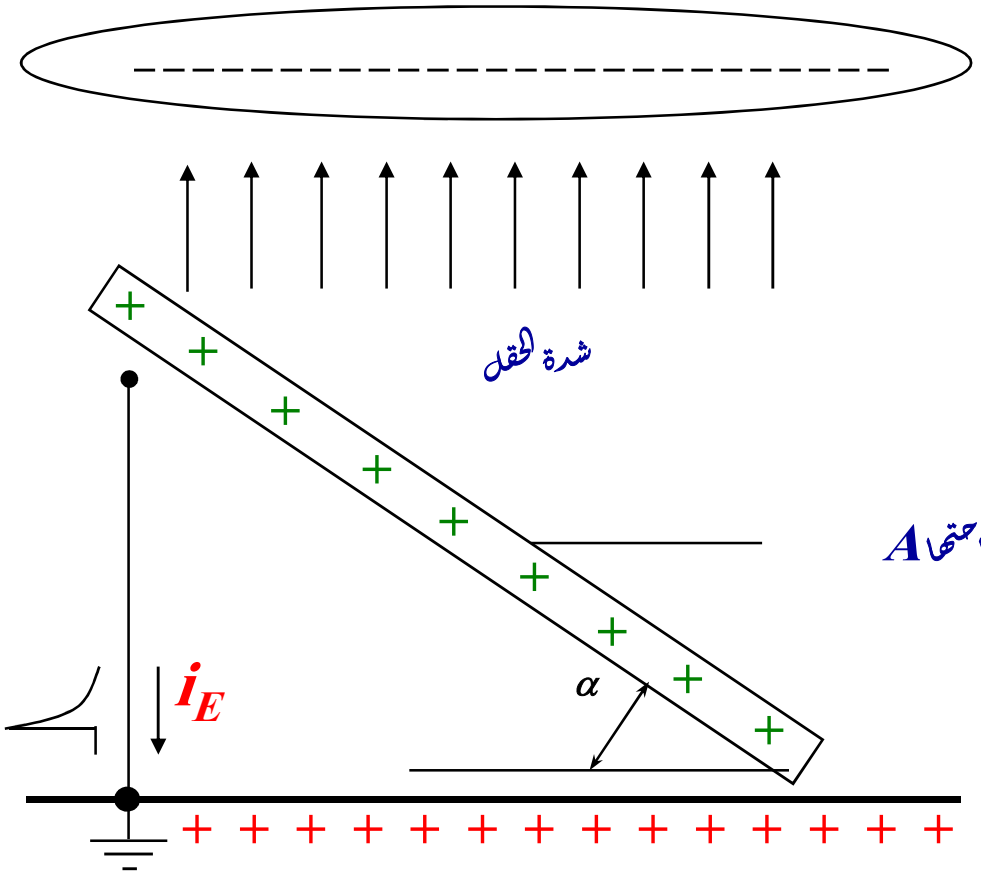
نلاحظ من الشكل أن مفرغات التوتر تركب من جهة التوتر المستمر للمبدل، وبالتالي نتخلص من التشويش الناتج عن التوترات المتحرضة نتيجة التغيير الزمني للتيار **di/dt** في مفرغات التيار. أما من جهة التوتر المتناوب فتتوضّع مفرغات تيار لأن جزء من تيار الصاعقة يمر في هذه النواقل.



تركيب مفرغات التوتر والتيار في محطات الطاقة الشمسية ذات المبدل اللامركزي.

حماية المجمعات الشمسية المركّبة على أسطح المباني:

يزداد تركيب المجمعات الشمسية المستخدمة في إنتاج الطاقة الكهربائية على أسطح المباني (وخاصة أسطح المباني العامة مدارس، مشافي، مسارح..الخ).
ميزة الطاقة المولدة بواسطة هذه المجمعات هي إمكانية استخدامها فوراً على التوتر ***0.4 kV***، وبالتالي نتخلص من مشاكل شبكات النقل والتوزيع وخصوصاً الضياعات.
يُعد تنفيذ نظام حماية من الصواعق ضرورياً جداً لحماية المباني المركّب عليها ألواح طاقة شمسية لتجنّب حدوث حريق في المبنى، حيث تُعد الانفراغات البرقية أهم أسباب حدوث الحريق في هذه المباني نتيجة التوترات الزائدة التي تتعرض في النواقل بين الألواح والشبكة العامة (مسافة طويلة نسبياً)، بالإضافة إلى التوترات التي تتعرض في الحلقات التي تشكلها هذه النواقل فيما بينها، وبينها وبين النواقل الأخرى. وكلما كانت مساحة هذه الحلقات كبيرة كلما كانت قيمة التوترات المتعرضة فيها كبيرة، لذلك تلزم القوانين في العديد من الدول إقامة نظام حماية من الصواعق على الأبنية العامة المركّب عليها مجمعات شمسية (مدارس، مسارح، مستشفيات..الخ)، ويشمل نظام الحماية من الصواعق نظام الحماية الخارجي، ونظام الحماية الداخلي (تركيب مفرغات توتر وتيار على نواقل الطاقة ونواقل المعلومات للتخلص من التوترات الزائدة المتعرضة في هذه النواقل). وتحدد المواصفة ***IEC62305-3*** لعام ***2011*** درجة حماية من الدرجة الثالثة للمباني المركّب عليها مجمعات شمسية.



الشكل (8) شحن الخلايا الشمسية بالحقل الكهربائي للغيمة المسببة للبرق.

وعند تنفيذ نظام حماية من الصواعق لهذه المباني يجب الأخذ بالحسبان إمكانية شحن الخلايا الشمسية بحقل الغيمة حتى في حال عدم وجود انفراغ برقي.

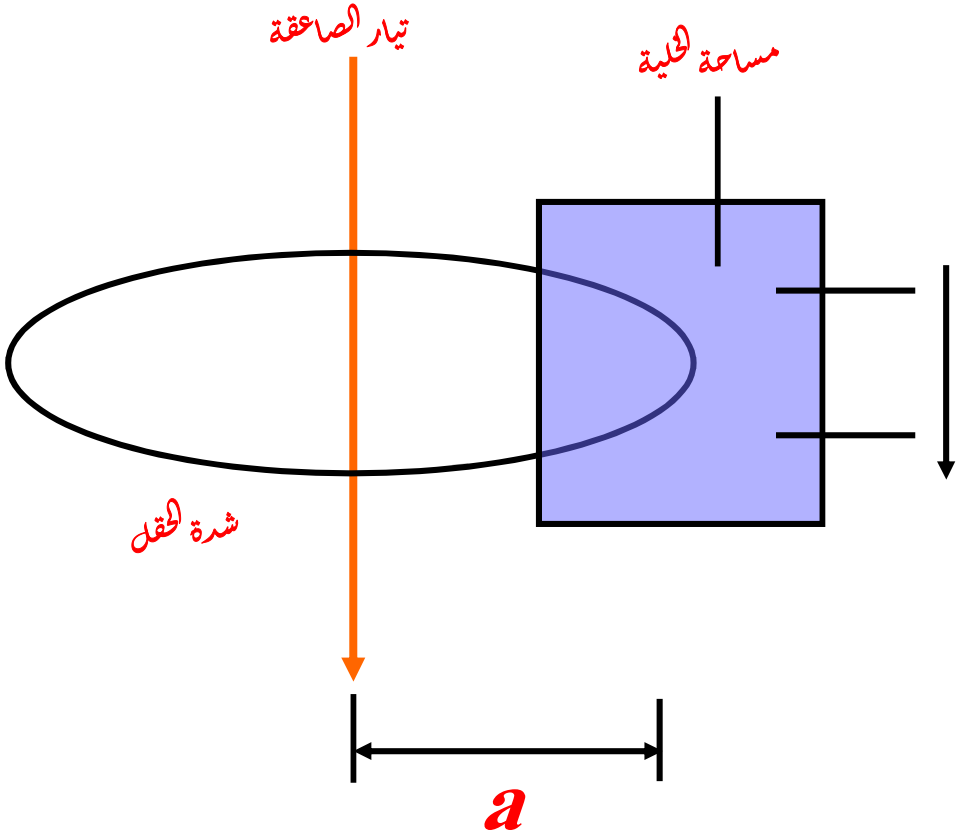
تُعطى الشحنة المتراكمة في الخلية في هذه الحالة بالعلاقة:

$$Q = A \cdot Cos\ \alpha \cdot \varepsilon_0 \cdot E$$

وتبلغ قيمة التيار النبضي المتحرض في الخلية نتيجة هذه الشحن المتراكمة:

$$i_E = \frac{dQ}{dt} = A \cdot Cos\ \alpha \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{dE}{dt}$$

كذلك يسبب سقوط الصاعقة بالقرب من الخلية تحريض توترات زائدة فيها.



التوتر العرضاني المتحرض
نتيجة الحقول الكهرطيسية الناتجة عن التغيير الزمني لتيار الصاعقة.

تحريض توتر في الخلايا الشمسية نتيجة مرور التيار في نواقل الحماية.

وتعطى قيمة هذه التوترات بالعلاقة:

$$u = \frac{\varepsilon_0}{2\pi} \cdot \frac{A}{a} \cdot \frac{di}{dt}$$

حيث:

ε_0 - النفوذية المغناطيسية,

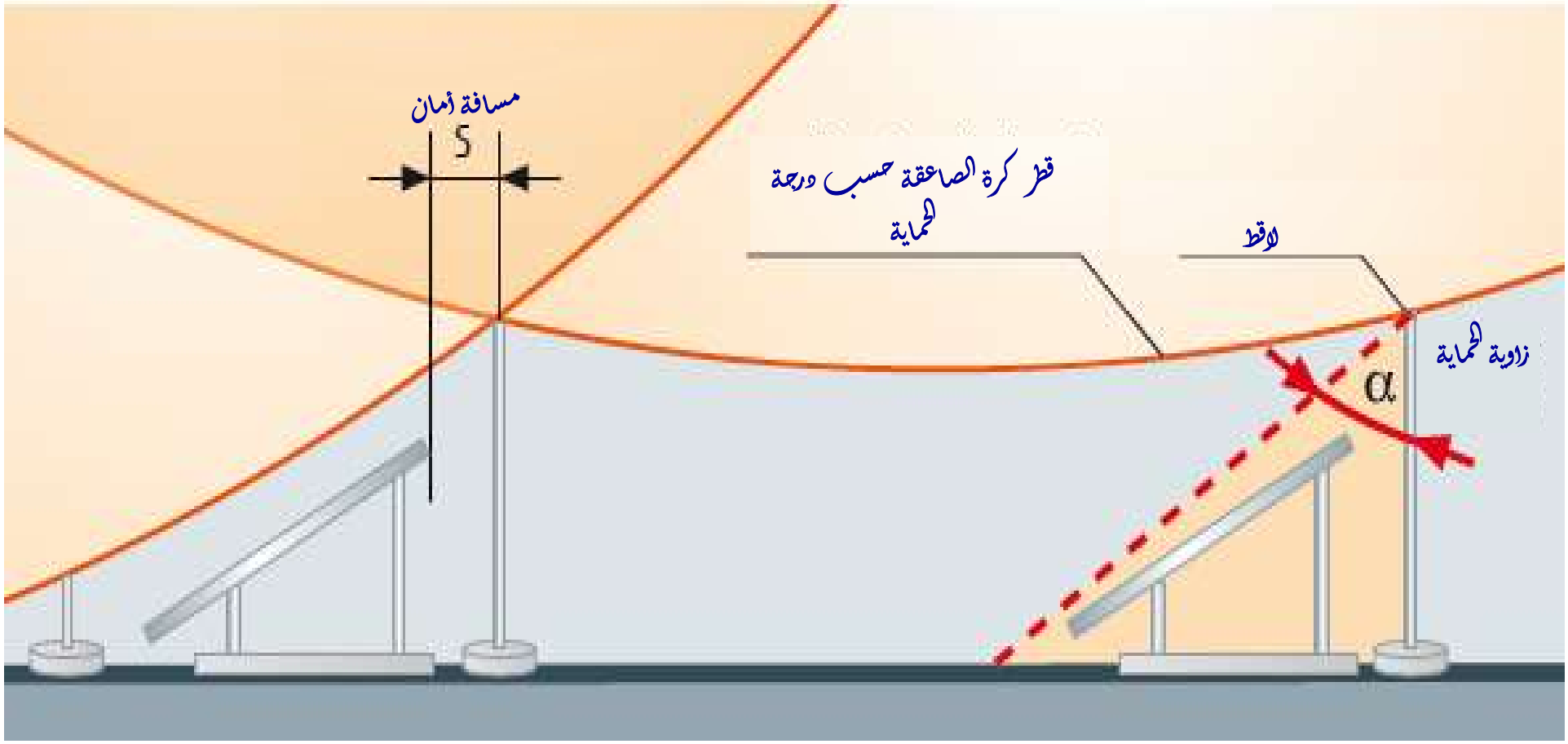
A - مساحة الخلية، $[m^2]$.

a - المسافة بين مكان سريان تيار الصاعقة والخلية، $[m]$.

di/dt - التغير الزمني للتيار.

1. الحماية الخارجية:

يتم التأكد من وقوع جميع الألواح الشمسية ضمن مجال الحماية باستخدام نظرية الكرة المتدحرجة، كما هو الحال في المحطات الشمسية.



تحديد فعالية لواقط الحماية باستخدام نظرية الكرة المتدحرجة.

أو باستخدام نظرية زاوية الحماية.

تحديد فعالية لواقط الحماية باستخدام نظرية زاوية الحماية.

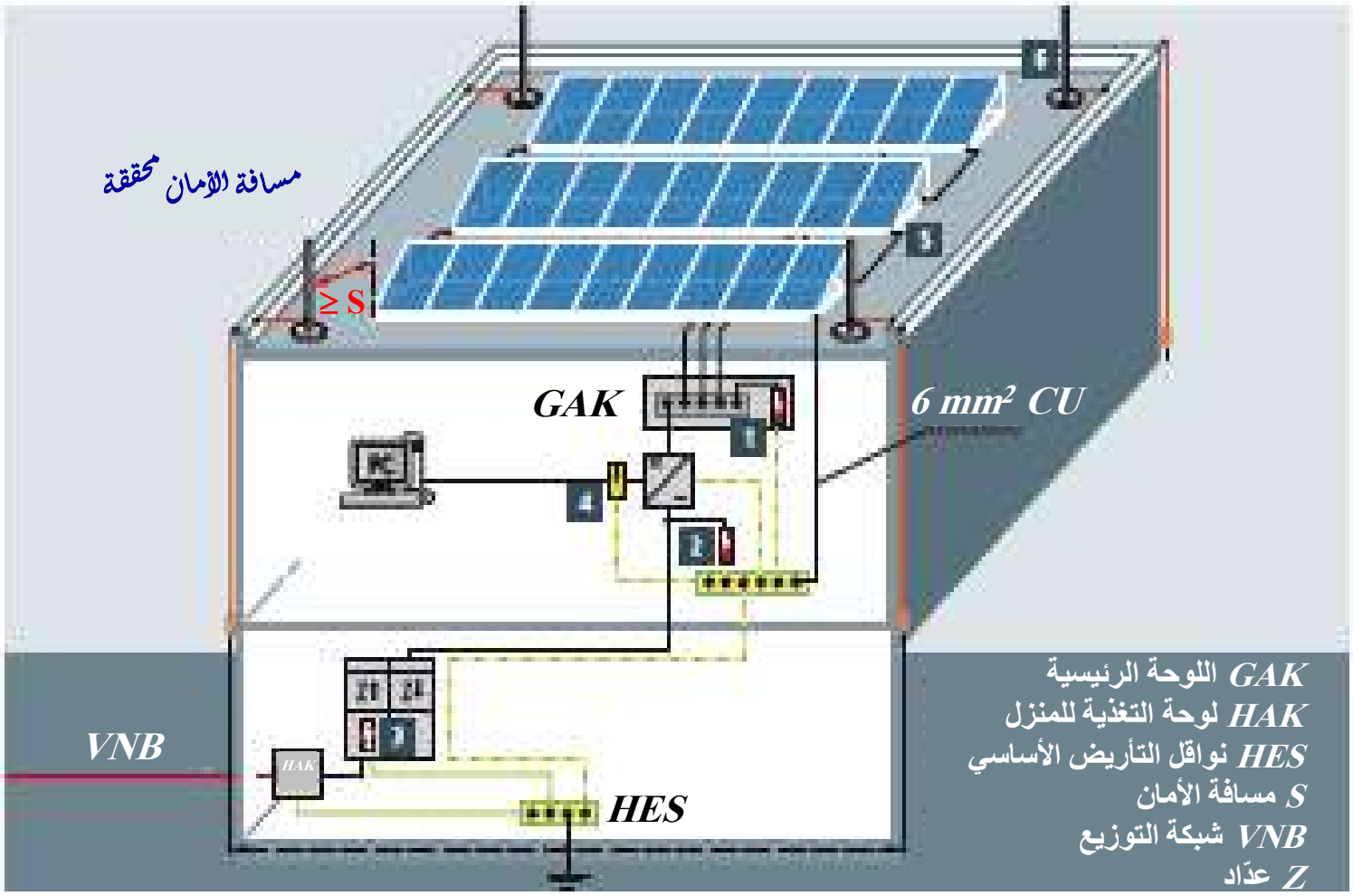
كذلك يجب أن نتخلص من أثر ظل هذه اللواقط على الخلايا الشمسية

نظام الحماية الداخلي

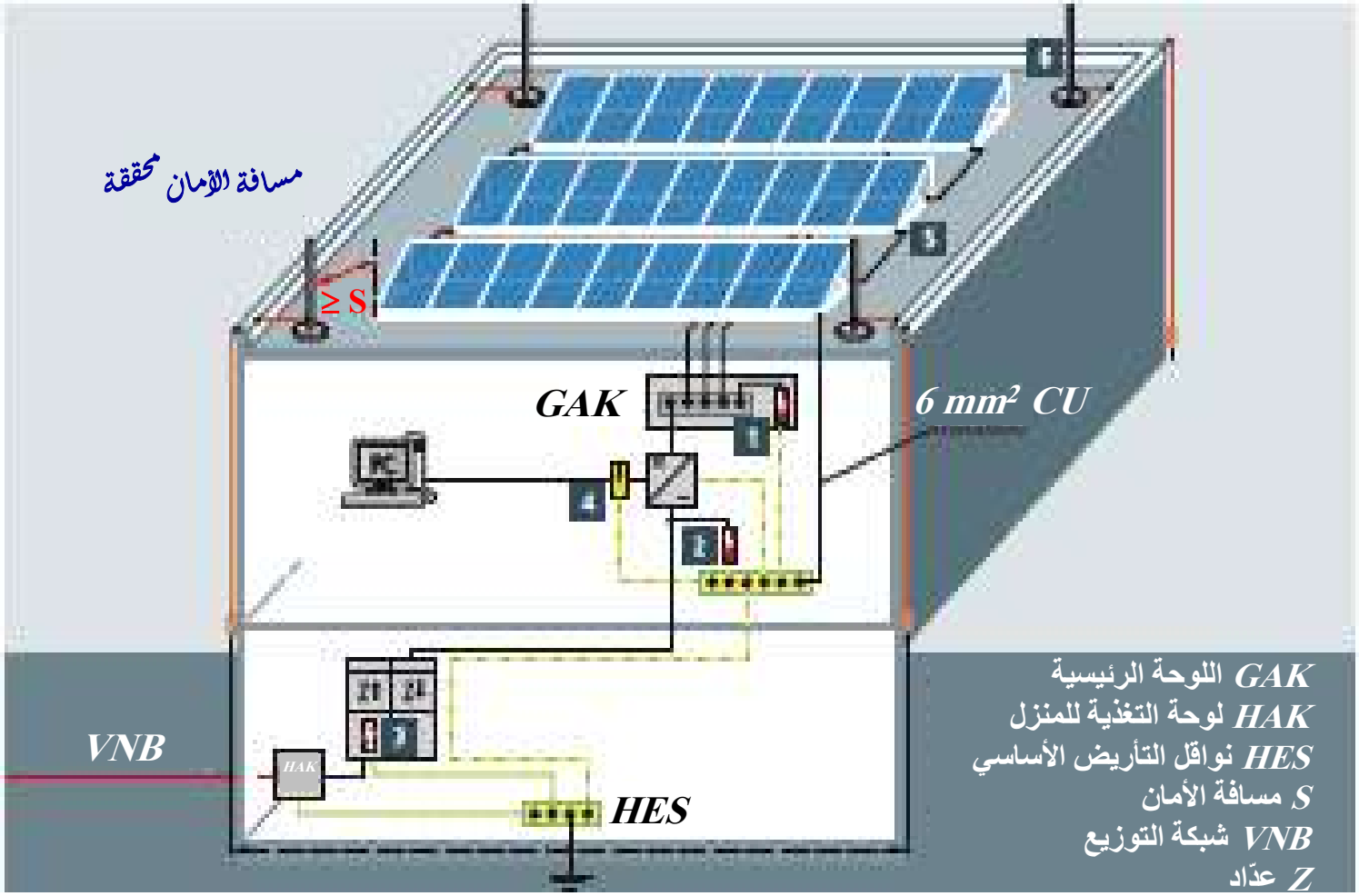
تركيب مفرغات التوتر:

باعتبار أن أكثر تجهيزات الخلايا الشمسية تأثّراً بالصواعق هي مبدلات التيار، لذلك لا بد من تركيب مفرغات توتر لحماية هذه المبدلات. وتختلف طريقة تركيب المفرّغ حسب نوع الشبكة (**TN**، **TT**، ...)، وحسب وجود أو عدم وجود نظام حماية خارجي من الصواعق، في حال وجود هذا النظام هل تمت المحافظة على مسافة الأمان المطلوبة بين الخلايا الشمسية ونواقل الحماية الخارجية أم لا؟ وتبلغ هذه المسافة **50 cm** حسب **IEC62305-3**.

❖ تركيب مفرغات توتر بوجود نظام حماية خارجي مع المحافظة على مسافة الأمان ***S***:

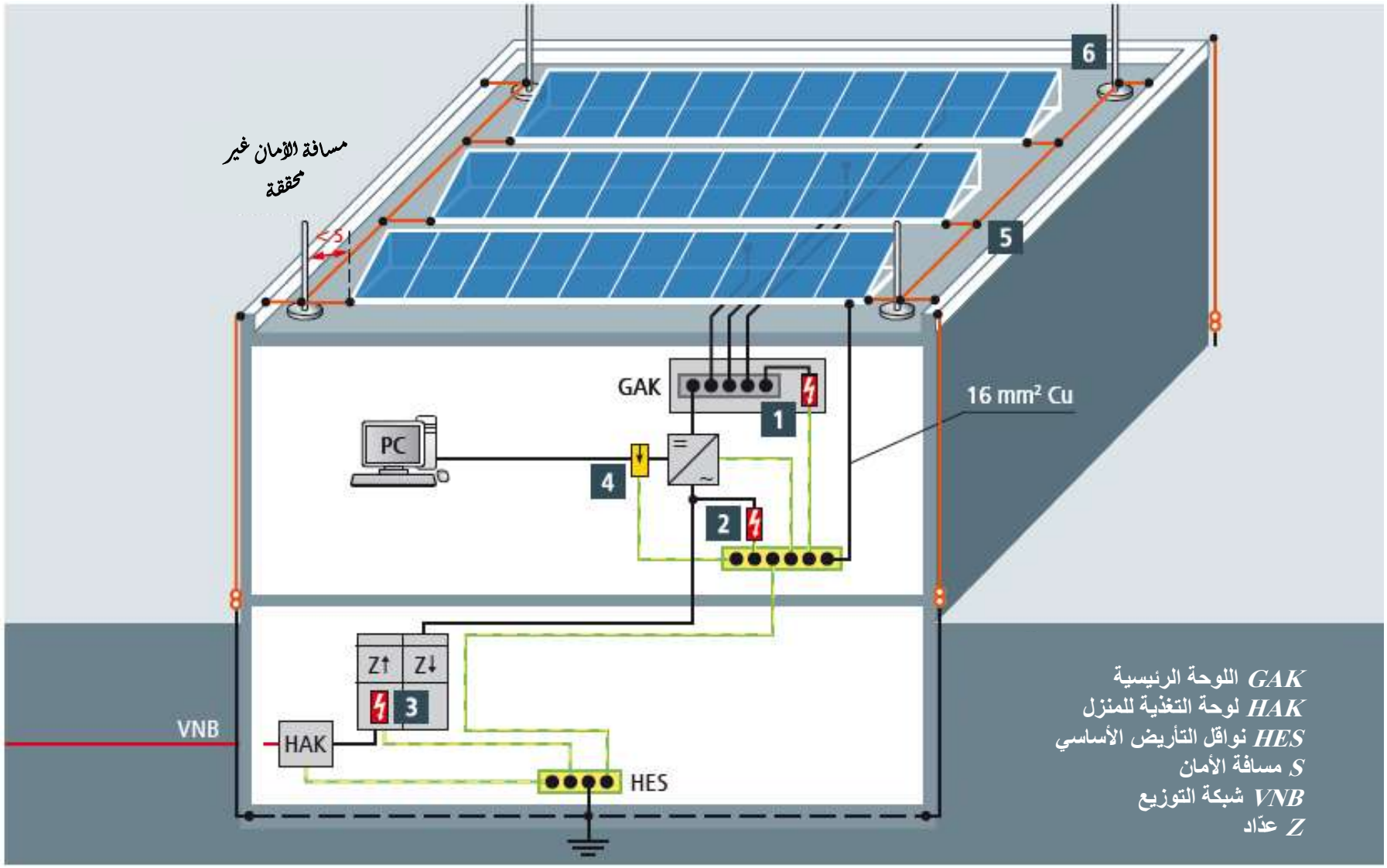


1- مفرغ توتر على مدخل اللوحة الأساسية قبل المبدل توتر الانهيار له يجب أن يكون أقل من **20%** من التوتر المسموح به للتجهيزات المستخدمة، 2- مفرغ توتر على مدخل المبدل من جهة التوتر المتناوب (يتعلق نوع المفرغ بنوع الشبكة)، 3- مفرغ تيار على دخل التوتر المنخفض الداخل إلى المبنى (يتعلق نوع المفرغ بنوع الشبكة)، 4- مفرغ توتر على نواقل المعلومات (نواقل محجبة ذات توترات عمل مختلفة)، 5- نواقل تساوي الكمون، 6- لواقط.



نلاحظ من الشكل أيضاً أنه قد تم ربط المساند المعدنية التي تثبت عليها الألواح بواسطة نواقل تساوي كمون من النحاس بمقطع **6 mm²**. ويجب أن تمدد هذه النواقل بالقرب من نواقل الطاقة **DC** و **AC** لتجنب حدوث حلقات ذات مساحات كبيرة.

إقامة نظام حماية خارجي لمبنى مركّب عليه مجمعات شمسية دون المحافظة على مسافة الأمان المطلوبة.



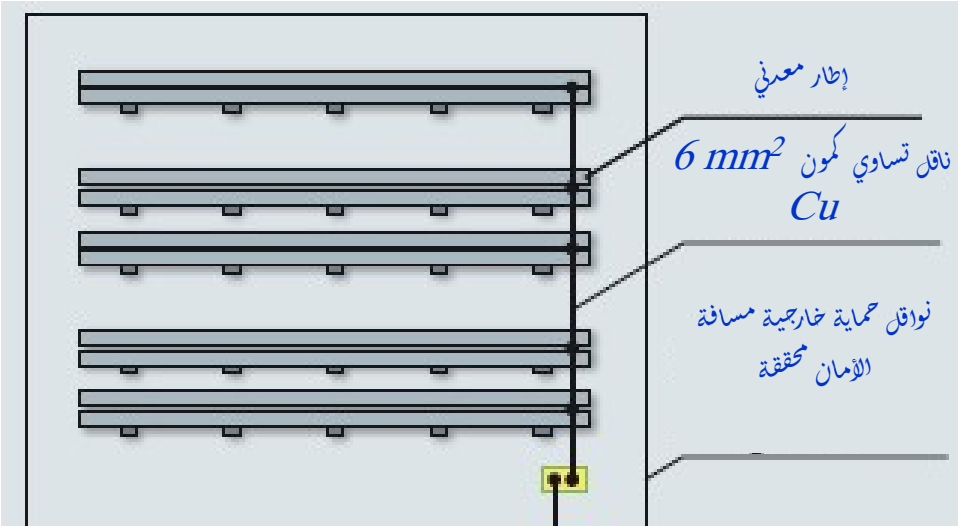
نلاحظ من الشكل أنه تم استخدام مفرغات تيار في الحماية بدلاً من مفرغات التوتر المستخدمة للمحافظة على مسافة الأمان المطلوبة للتخلص من أجزاء التيار التي تسري في النواقل نتيجة الانفراغات الجانبية، ومقطع نواقل تساوي الكمون يساوي **16 mm²** بسبب احتمال سريان جزء من تيار الصاعقة بها.

التأريض:

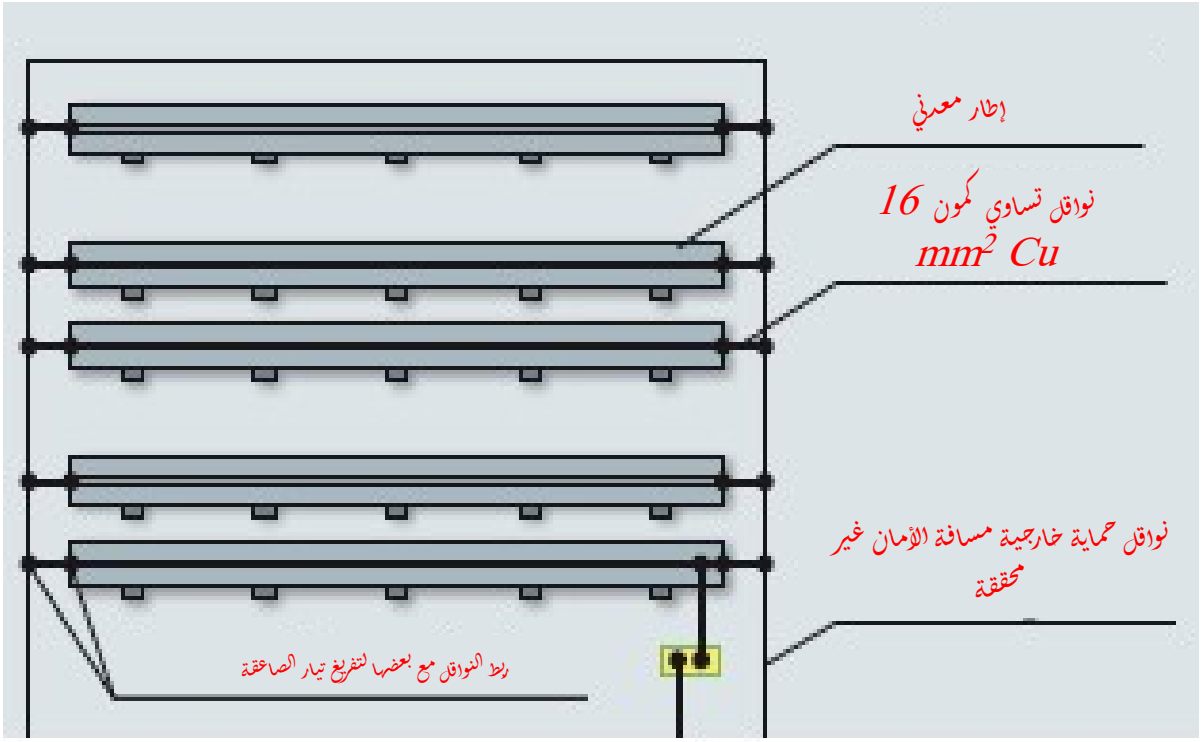
تتعلق طريقة تأريض الألواح الشمسية أيضاً بالمحافظة على مسافة الأمان المطلوبة بين نواقل الحماية من الصواعق وهذه الألواح (عدم حدوث قفزة) أم لا. وعلى الغالب تركب هذه الألواح على إطارات معدنية.

تأريض الألواح الشمسية في حال المحافظة على مسافة الأمان.

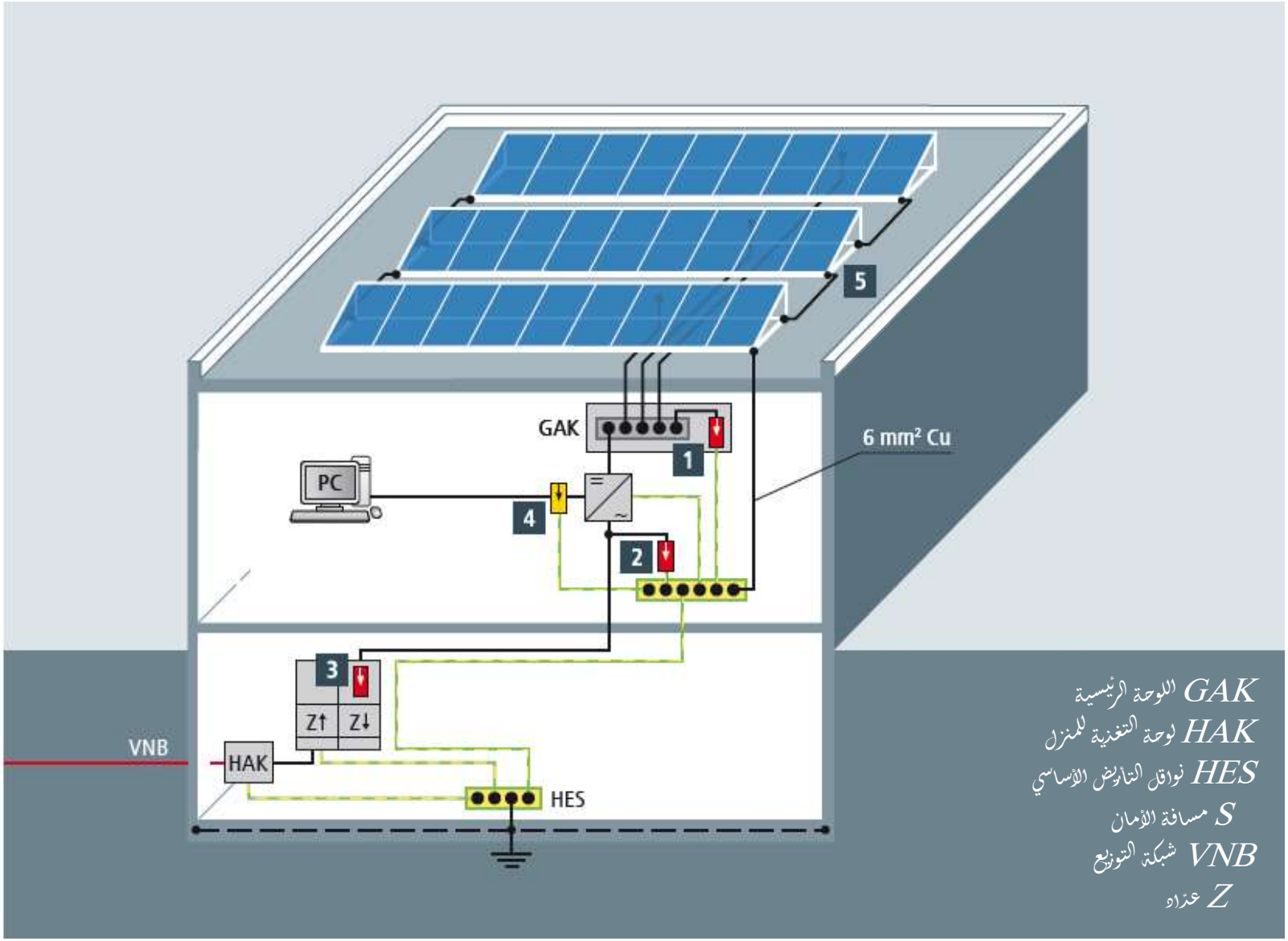
في حال المحافظة على مسافة الأمان تربط الإطارات المعدنية للألواح بواسطة سلك من النحاس مقطعه **6** mm^2 (ناقل تساوي الكمون) إلى وصلة تساوي الكمون، ومن ثم تربط مع التأريض الأساسي للمبنى.



تأريض الألواح الشمسية في حال عدم المحافظة على مسافة الأمان.



تركيب المفرغات في حال عدم وجود نظام حماية خارجي:



تركيب مفرغات توتر في حال عدم وجود نظام حماية خارجي
على المباني المركب عليها مجمعات شمسية.

الخلاصة:

1. تختلف آلية حماية تجهيزات محطات الطاقة الشمسية عن الحماية التقليدية للمباني، ومن المهم هنا التدقيق على الاختبار الصحيح للمفرغات وتحديد أماكن تركيبها.
2. تتطلّب حماية تجهيزات الطاقة الشمسية معرفة كبيرة في آلية عملها، وحماية التجهيزات الحسّاسة فيها، وخاصّةً المبدلات، وهذا يتطلب مواكبة آخر المواصفات القياسية العالمية في هذا المجال.
3. تختلف آلية حماية المحطات والخلايا الشمسية حسب حالة تحقيق مسافة أمان بين نواقل الحماية من الصواعق والخلايا أو عدم تحقيق هذه المسافة، كما تختلف إجراءات الحماية للخلايا الشمسية المركبة على الأسطح مقارنةً مع حماية المحطات الكهروشمسية.

شكرا لحُسن استماعكم