

solar**edge**

Whitepaper



/ De Veiligheidsoplossing van SolarEdge

September 2022 | Versie 2.2

SolarEdge Technologies, Inc.

SolarEdge

In 2006 bracht SolarEdge een revolutie teweeg in de sector voor zonne-energie: we bedachten een slimmere manier om met zonnepanelen energie te verzamelen en het gebruik ervan in goede banen te leiden. Vandaag de dag zijn wij een wereldleider in slimme energietechnologie. Door onze eersteklas technische expertise en met een constante focus op innovatie, creëren wij smart energy oplossingen 'that power our lives' en die onze toekomstige vooruitgang stimuleren.

SolarEdge ontwikkelde een DC-geoptimaliseerde omvormeroplossing, die de manier veranderde waarop we zonne-energie kunnen produceren en beheren. Onze oplossing maximaliseert de energieopbrengst en verlaagt de productiekosten, zodat het systeem sneller winst gaat opleveren. Daar komen nog vele voordelen bij: uitgebreide en geavanceerde veiligheidsfuncties, meer ontwerpflexibiliteit en extra gemak in gebruik en onderhoud. En tot slot: monitoring op afstand, tot op het niveau van ieder zonnepaneel afzonderlijk.

Een SolarEdge-systeem bestaat uit omvormers, Power Optimizers en een communicatiemodule die toegang geeft tot ons monitoring platform. Daaraan kunnen software en hardware voor slim energiebeheer worden gekoppeld, zoals een batterijpakket voor de opslag van zonne-energie, maar ook SolarEdge Home, een slim beheersysteem dat grote besparingen mogelijk maakt voor de systeemeigenaar.

SolarEdge-oplossingen zijn geschikt voor een breed scala aan marktsegmenten, van kleine systemen op woningen tot grote zonneparken.

Dit zijn de belangrijkste voordelen van een SolarEdge-oplossing:

- ▮ Extra veiligheid
- ▮ Hoge betrouwbaarheid
- ▮ Maximaal vermogen uit elk zonnepaneel
- ▮ Architectuur die meegroeit
- ▮ Grote flexibiliteit in systeemontwerp
- ▮ Verlaging van exploitatie- en onderhoudskosten dankzij permanente monitoring
- ▮ Efficiënte energieopslag en back-up

Hoe maak je een zonne-energiesysteem veilig?

Steeds meer bedrijven kiezen voor zonne-energie. Argumenten daarvoor zijn de relatief lage kosten van zonne-energie, zelfs zonder subsidies, regionale en nationale overheidsstimulansen, een groter besef van het belang van zonne-energie als een reëel alternatief voor bestaande stroomvoorzieningen, en ten slotte een stijging van de kosten van fossiele brandstoffen.

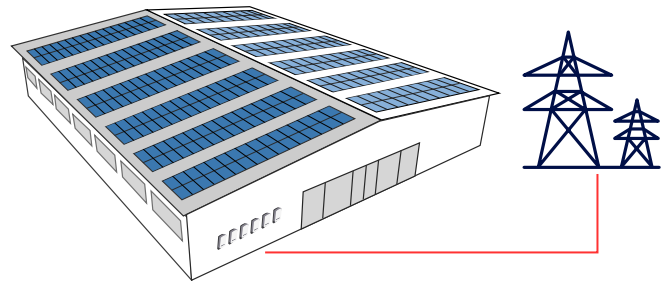
De veiligheid van dergelijke systemen neemt toe als ze beschikken over geïntegreerde veiligheidsvoorzieningen. Bij storingen dragen deze bij aan de veiligheid van werknemers, systeemeigenaren en de eerste mensen die bij een calamiteit ter plaatse zijn, zoals monteurs en brandweerlieden, door hen te beschermen tegen lichamelijk letsel en andere gevaren.

Bovendien zijn bedrijfspanden en hun aanverwante infrastructuur kostbare activa. Brandveiligheidsmechanismen kunnen voorkomen dat bedrijfsactiviteiten moeten worden onderbroken, wat immers met aanzienlijke kosten gepaard kan gaan. Als er toch schade optreedt, keren diverse verzekeringsmaatschappijen pas uit als de gebouwen zijn voorzien van installaties met adequate veiligheids-, detectie- en beschermingsmaatregelen. Sommige verzekeraars willen zelfs geen gebouwen verzekeren met PV-installaties die niet zijn voorzien van de juiste veiligheidsmaatregelen.

/ Werking van een typisch PV-systeem

Systemen voor zonne-energie bestaan grotendeels uit zonnepanelen en omvormers.

- / Zonnepanelen wekken schone stroom op door zonlicht om te zetten in DC-stroom.
- / Omvormers zetten deze DC-stroom vervolgens om in de AC-stroom die woningen en bedrijfspanden nodig hebben.
- / Indien nodig levert het systeem stroom terug aan het elektriciteitsnet.



Figuur 1. De componenten van een typisch PV-systeem

/ De noodzaak van veiligheidsmaatregelen

Een gebruikelijke installatie voor zonne-energie kan spanningen bereiken tot 1500 V DC. Kortom, om de veiligheid van mensen en goederen te waarborgen, zijn er voldoende voorzorgsmaatregelen nodig. De SolarEdge-architectuur zorgt voor een veilige energieproductie tot op het niveau van de omvormer en maakt uitschakeling/afschakeling mogelijk van alleen de panelen of de strings die een storing vertonen. Wanneer afschakeling nodig is, schakelen SolarEdge omvormers automatisch uit, naar aanleiding van een reeks gebeurtenissen, of ze kunnen handmatig worden uitgeschakeld.

Meer veiligheid vraagt om een holistische aanpak

Het SolarEdge-systeem is gebaseerd op een holistische aanpak ter vermindering van de risico's op elektrocutie en brand door het combineren van beschermings- en detectievoorzieningen in een geïntegreerde veiligheidsoplossing.

Deze voorzieningen voldoen aan strenge veiligheidseisen:

- ✓ Verlaging DC-spanning tot een veilig niveau zodra het systeem wordt uitgeschakeld.
- ✓ Vroegtijdige foutdetectie.
- ✓ Voortdurend actieve beschermingsvoorzieningen.
- ✓ Monitoring op paneelniveau via actiegerichte waarschuwingen.
- ✓ Snelle ontlading van geleiders tot een veilig spanningsniveau.

✓ Circuitonderbreking bij vlamboog (AFCI)

In overeenstemming met de UL 1699B vlamboogdetectienorm hebben SolarEdge omvormers ingebouwde beveiliging die ontworpen is om te beschermen tegen de gevolgen van vlambogen die brandgevaar opleveren. Bovendien is SolarEdge lid van de IEC 63027 werkgroep, waarin wordt samengewerkt met andere leveranciers van PV-systemen, netbeheerders en belanghebbenden. Hoewel de IEC 63027 norm nog in de ontwerpfase is, is het SolarEdge-systeem klaar om aan de laatste ontwerp teksten te voldoen.

✓ Risicomanagement – SafeDC™

SafeDC™ is een ingebouwde veiligheidsvoorziening op paneelniveau die het risico van elektrocutie door hoogspanning tot een minimum beperkt. Van elke Power Optimizer die met SafeDC is uitgerust, wordt bij een calamiteit meteen de uitgangsspanning verlaagd tot een veilige 1 volt DC. Intussen blijft de stringspanning onder de 30 of 50 volt DC, afhankelijk van de geldende normen. Pas als de omvormer in productiemodus is en alle parameters gecontroleerd zijn, wordt de spanning van de Power Optimizer verhoogd tot het optimale werkingsniveau.

Power Optimizers schakelen automatisch naar dit aanraakveilige voltage van 1Vdc bij uitschakeling van AC of eventuele calamiteiten. In deze gevallen wordt de veiligheidsmodus automatisch geactiveerd:

- ✓ Tijdens installatie, als strings worden losgekoppeld van de omvormer of als de omvormer wordt uitgeschakeld
- ✓ Wanneer de omvormer is vergrendeld of uitgeschakeld
- ✓ Wanneer de omvormer of de netstroomaansluiting wordt losgekoppeld.

SafeDC™ van SolarEdge is in Europa gecertificeerd als een DC-ontkoppeling volgens de normen IEC/EN 60947-1 en IEC/EN 60947-3 en volgens de veiligheidsnormen VDE AR 2100-712 en OVE R-11-1.



Figuur 2. Aanraakveilige spanningsniveaus dankzij SafeDC

/ Vroegtijdige detectie en preventie

SolarEdge rust zijn nieuwe generatie Power Optimizers in de S-serie uit met de nieuwe technologie SolarEdge Sense Connect*. Deze is ontworpen om proactief afwijkend gedrag van connectoren te detecteren. Zo kan deze technologie gebeurtenissen voorkomen die het gevolg kunnen zijn van slechte montage bekabeling of connectoren. Temperatuurdetectie in de SolarEdge-omvormers maakt het mogelijk om de installatiekwaliteit van de verbinding tussen de AC- en DC-zijde te monitoren en zorgt er zo voor dat slechte aansluitingen worden opgespoord voordat ze een vlamboog kunnen veroorzaken. Zodra er afwijkende temperaturen worden gedetecteerd, zal het systeem zelfs de omvormer uitschakelen.

/ Snelle uitschakeling (RSD)

Rapid Shutdown (RSD) is een veiligheidsvoorziening die zorgt voor een snelle ontlading van geleiders tot een veilig spanningsniveau. In Noord-Amerika stelt sectie 690.12 van de National Electrical Code (NEC) strenge eisen aan installaties op daken, met name voor geleiders die zich buiten bevinden of op meer dan 1 meter van het punt waarop zij het gebouw binnengaan. Daarop mag de spanning niet meer dan 30 volt bedragen binnen 30 seconden na snelle uitschakeling. Voor geleiders binnen de afscheiding of dichterbij dan 1 meter op het gebouw geldt een maximum van 80 volt binnen 30 seconden na het begin van de snelle uitschakelingprocedure. SolarEdge biedt als een van de weinige fabrikanten een geïntegreerde functionaliteit voor snelle uitschakeling die voldoet aan de NEC-voorschriften. Andere fabrikanten bieden deze mogelijkheid alleen via externe componenten zoals schakelaars, shunt trip breakers of andere op afstand bedienbare schakelaars. Deze brengen meer complexiteit en hogere kosten met zich mee.

/ Systeemmonitoring en -beheer

SolarEdge biedt real-time monitoring op afstand op drie niveaus: paneel, string en systeem. Dat geeft een beter overzicht van de systeemprestaties.

/ Het monitoring platform van SolarEdge voert gedetailleerde analyses uit en brengt vervolgens verslag uit over energieopbrengst, de relatieve prestaties en de financiële prestaties van het systeem.

/ Automatische waarschuwingen voor nauwkeurige en onmiddellijke foutdetectie. Bovendien maakt het onderhoud op afstand en snelle respons mogelijk. Zo worden bezoeken ter plaatse korter en blijven ze tot een minimum beperkt.

/ Communicatie van de SolarEdge-omvormers met het monitoring platform is mogelijk via Ethernet, WiFi of het mobiele netwerk. Het monitoring platform is toegankelijk via computer, tablet en mobiele telefoon, altijd en overal.



Figuur 3. Paneelontwerp en het monitoring platform

/ Houd uw systeem actueel

Uit onze meer dan twee miljoen installaties over de hele wereld halen we voortdurend gegevens op. Dankzij deze data kunnen we ervoor zorgen dat onze systemen de beste prestaties blijven leveren. Ook de klant profiteert van die inzichten. Ze leiden immers tot verbeteringen die we door middel van software-updates aan onze systemen ter beschikking stellen. Zo blijft uw installatie uitgerust met de nieuwste veiligheidsvoorzieningen en functionaliteiten.

* In afwachting van firmware update, verwacht in 2022

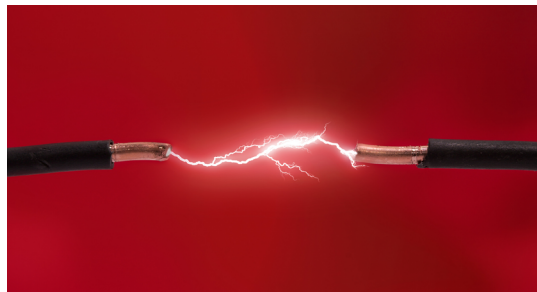
Meer over vlambogen

/ Wat is een vlamboog?

Een vlamboog is een onbedoelde plasmaontlading die zichzelf in stand houdt. Deze ontleding ontstaat boven een kleine lichtspleet. Dit natuurkundige fenomeen wordt gekenmerkt door warmteontwikkeling, lichtemissie (zichtbaar licht, UV-licht en infrarood), RF-straling, een magnetisch veld en akoestische en chemische reacties, waaronder ionisatie en recombinitie.

Een elektrische vlamboog is heet genoeg om glas, koper en aluminium te doen smelten. Bovendien kan het de verbranding van omringende materialen in gang zetten. Aangezien zonnenergiesystemen veel aansluitpunten hebben, kunnen daarin vlamboogfouten optreden.

De schade die daaruit voortvloeit, kan een reëel gevaar vormen voor de systemen zelf, maar ook voor de huizen of gebouwen waarop ze geïnstalleerd zijn. Sterker nog, ze kunnen het leven in gevaar brengen van de mensen die zich er bevinden.



Figuur 4. Een vlamboog



Figuur 5. Brandweerlieden komen in actie na brand in een zonne-energiesysteem

De PV-sector is de laatste jaren snel gegroeid. Het aantal branden dat is veroorzaakt door vlamboogfouten, is meegegroeid. Juist daarom zijn er slimmere systemen nodig die eigenaren van woningen en gebouwen beschermen tegen alle mogelijke gevaren.

/ DC-vlambogen in zonne-energiesystemen

Vlambogen kunnen ontstaan in kleine openingen tussen twee aansluitingen, zoals de connectoren bij zonnepanelen of in de combinerbox. De oorzaak is meestal het gebruik van slechte connectoren, of installatiefouten zoals onjuiste of krimpde bedrading die kan leiden tot slechte aansluitingen. Andere omstandigheden die tot vlambogen kunnen leiden, zijn veroudering, verwerking, mechanische schade en fysieke beschadiging door dieren. Slechte aansluitingen verkleinen de doorsnede, waardoor de weerstand groeit en de warmte aanzienlijk toeneemt. Het gevolg van deze hogere temperaturen is een verhoogde thermische spanning, die uiteindelijk leidt tot een breuk in de aansluiting. Dan kan er een kleine spleet ontstaan tussen twee aansluitklemmen, zodat de stroom wordt onderbroken.



Figuur 6. MC4 na vlamboogfout

Als het elektrische veld over de spleet ongeveer $3 \text{ volt}/\mu\text{m}$ overschrijdt (de werkelijke waarde van de doorslagsterkte hangt af van de omgeving), begint de lucht in de spleet te ioniseren. Dan ontstaat er boogplasma. Als deze onopgemerkt blijft, vormt er zich een vlamboog.

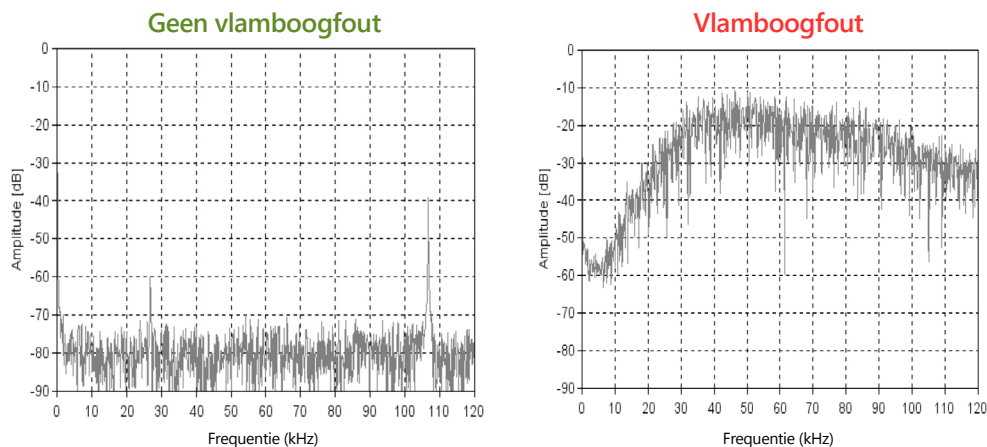
/ De uitdagingen bij het detecteren van vlamboogfouten

Bij het detecteren van vlambogen zijn er twee grote uitdagingen:

- Elke vlamboog heeft andere karakteristieken – zoals hierboven beschreven kunnen vlamboogfouten zich op verschillende plaatsen in het systeem voordoen, met daarbij steeds andere elektrische eigenschappen op het gebied van stroom, spanning, energieniveau en duur
- Geluidsniveau – de omgeving van zonne-energiesystemen wordt blootgesteld aan diverse soorten achtergrondgeluid.

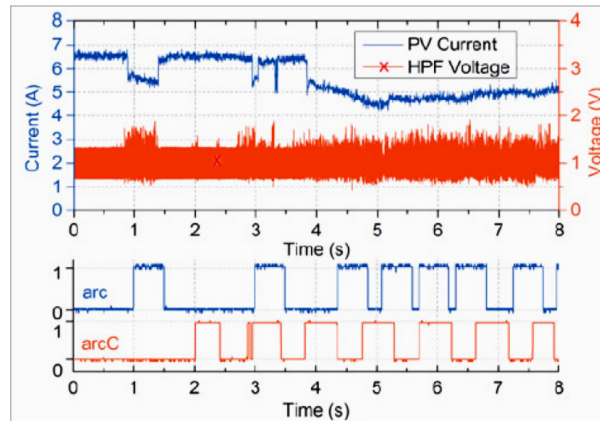
/ De algemene aanpak voor het detecteren van vlambogen

Vlamboogfouten komen in verschillende frequentiebanden en amplitudes voor. Zoals in figuur 7 is te zien, bestaat er een spectrumverschil tussen systemen met en zonder vlambogen. Daaruit blijkt dat een systeem met vlambogen een in tijd variërend, niet-lineair patroon volgt. Dit patroon kan worden gedetecteerd door de veranderingen in het spectrum te volgen.



Figuur 7. Amplitude van frequenties met en zonder boogfouten

Zoals figuur 8 laat zien, kunnen vlambogen worden gevolgd in het stroomspectrum, waarin de pieken van de bogen kunnen oplopen tot 1 ampère.



Figuur 8. Stroom als functie van tijd in een vlamboogscenario

Op kunstmatige intelligentie gebaseerde methoden

Sommige systemen gebruiken een 'black box'-benadering voor het opsporen van DC-vlamboogfouten. Deze aanpak maakt gebruik van op kunstmatige intelligentie gebaseerde methoden zoals Deep Neural Network (DNN) en Support Vector Machine (SVM). Deze kunnen een potentiële vlamboogsituatie afleiden zonder specifiek de onderliggende elektrische toestand te detecteren. Van deze methoden variëren echter de fout-positieve percentages al naar gelang de omgevingsomstandigheden.

Daarnaast bestaan er 'white box'-algoritmen die hun werk doen op basis van gegevens van miljoenen geïnstalleerde systemen. Lees hieronder verder als u meer daarover wilt weten.

SolarEdge Arc Fault Circuit Interruptor (AFCI)

/ Een hybride algoritmeoplossing voor vlamboogdetectie gedreven door big data

SolarEdge heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar de manier waarop vlambogen kunnen ontstaan in PV-systemen. Daarbij hebben we ons gebaseerd op de gegevens van meer dan twee miljoen installaties over de wereld. Het resultaat: een reeks geavanceerde algoritmen voor de detectie van vlamboogfouten, compleet met de veiligheidsvoorzieningen die daarna in werking treden. Deze algoritmen zijn geïmplementeerd op meer dan 2,5 miljoen omvormers en getest door diverse certificeringsinstanties en externe partijen om ervoor te zorgen dat ze aan alle eisen voldoen en de prestaties leveren die van ze worden verwacht.

In de SolarEdge Arc Fault Circuit Interruptor (AFCI) is al onze kennis en ervaring gebundeld. Daardoor is onze AFCI-oplossing effectief in een breed aantal elektrische omstandigheden en typen installaties.

Het SolarEdge-algoritme voor vlamboogdetectie staat voor een intensieve en holistische benadering die alle aspecten van een vlamboogfout aanpakt:

- / Vlamboogdetectie (Arc Fault Detection, AFD), ofwel het vermogen om een vlamboog te detecteren zodra die ontstaat.
- / Vlamboogpreventie (Arc Fault Prevention, AFP), ofwel het mechanisme dat tot op paneelniveau vlamboogfouten voorkomt.

/ Detectie van vlamboogfouten

De omvormers van SolarEdge bevatten DSP's die lokaal de AFCI-algoritmen uitvoeren. Dit levert een nauwkeurige en effectieve vlamboogdetectie op. De basis daarvan ligt in gegevensverzameling en -analyse op paneelniveau (de Power Optimizer) en stringniveau (de omvormer).

Het actieve vlamboogpreventiemechanisme werkt op basis van de gegevens die de Power Optimizer aanlevert. De S-serie, de nieuwe generatie Power Optimizers van SolarEdge, breidt dit AFP-mechanisme uit met SolarEdge Sense Connect. Deze functionaliteit detecteert afwijkende patronen en voorkomt daarmee proactief vlamboogfouten.

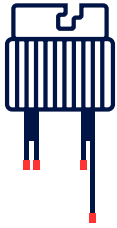
Hoe werkt dit?

Elke S-serie Power Optimizer van SolarEdge 'voelt' voortdurende de temperatuur van de connector, zodat proactief afwijkend gedrag in de connector wordt opgespoord en een doorlopende kwaliteitscontrole plaatsvindt van connectoren en bekabeling. Als de temperatuur een bepaalde drempel overschrijdt, zet de Power Optimizer een actie in gang. Parallel daaraan stopt de SolarEdge-omvormer met productie, waarna die vervolgens wordt hervat volgens de standaardveiligheidsvoorschriften. De omvormer stuurt deze gebeurtenis bovendien naar het SolarEdge monitoring platform, dat de gebeurtenis verwerkt en de installateur op de server waarschuwt inclusief locatie. De informatie kan worden ingezien gedurende de installatie via de mobiele SetApp om mogelijke problemen te identificeren wanneer u nog op locatie bent om locatiebezoeken te verminderen.

Bovendien zijn diverse SolarEdge-omvormers uitgerust met een ingebouwde sensor op de klemmenblokken die de stroom omvormen van DC naar AC. Deze sensor detecteert slechte aansluitingen aan de hand van afwijkende temperaturen. In het geval van een fout waarschuwt het systeem automatisch de installateur en schakelt het indien nodig de omvormer uit.

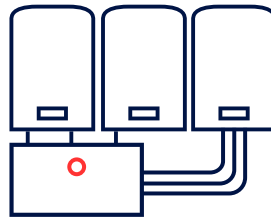
Detecteer

Signaleert een dreigende vlamboog



Reageer

De omvormer schakelt het systeem naar een veilige modus en spanning



Informeer

Monitoring Platform

De locatie van de defecte connector is zichtbaar in de fysieke lay-out



SetApp

Waarschuwt de installateur, inclusief de locatie



Figuur 9: SolarEdge Sense Connect werking

/ Tests en verificatie – standaardvereisten

De twee belangrijkste normen die een rol spelen bij het ontdekken en aanpakken van vlamboog zijn:

- UL-1699B: gevolgd door de VS en Canada, geschreven in 2011 en opgewaardeerd in 2018 na ervaringen in het veld
- IEC 63027: deze Europese norm bevindt zich nog in de ontwerpfase, SolarEdge is actief lid en co-auteur van deze norm.

Tabel 1. Belangrijkste verschillen in vlamboogdetectiestrategieën

Onderwerp	UL 1699B (2018)	IEC 63027
Type vlamboog	Seriële vlamboog	Seriële vlamboog
Locatie vlamboog	Input & string kabels	Input & string kabels
Volledige string impedantie	50 μ H + 0,7 μ H/meter, langer dan 80 meter	50 μ H
Vlamboogduur en energie drempels	Onderbreek vlambooggebeurtenissen in minder dan 2,5 seconden, en beperk de energie tot niet meer dan meer dan 750 J	Onderbreek vlambooggebeurtenissen in minder dan 2,5 seconden, en beperk de energie tot niet meer dan meer dan 750 J
Werking hervatten	Nadat elke vlamboog gedoofd is, moet het systeem ten minste vijf minuten wachten voordat het weer gaat werken. De vertraging van vijf minuten is niet vereist na een manuele reset. Na vijf vlambooggebeurtenissen in een periode van 24 uur opent het systeem het circuit en is een handmatige reset nodig voordat het weer in werking treedt.	Er is geen handmatige procedure nodig, als een minimale onderbrekingstijd van vijf minuten verzekerd is vóór het verder gebruik van de opstelling. Bij de vijfde onderbreking binnen een periode van 24 uur, moet de reset handmatig worden uitgevoerd.

De netwerkeisen voor AFCI Functie Detectie staan in het normdocument UL 1699B (2018), figuur 29.15.

Behalve dat SolarEdge aan de bovengenoemde normen voldoet, overtreffen onze tests en mogelijkheden de minimale minimum marktvereisten. Dit garandeert maximale veiligheid, zoals hieronder:

Vals alarm percentage

De SolarEdge omvormer kan in reactie op elk alarmgebeuren vergrendeld worden en de productie stoppen. Gegeven dit is het belangrijk om het vermogen van het systeem te meten om met valse alarmen om te gaan.

Met deze noodzaak rekening houdend, zorgt de oplossing van SolarEdge ervoor dat het aantal valse alarmen tot een minimum beperkt blijft.

Snelheid van elektrodescheiding

Een van de methoden om gelijkstroombogen te simuleren is gebaseerd op het simuleren van elektrodescheiding. Een vlamboog ontstaat wanneer elektroden gescheiden worden tijdens het vloeien van de belastingsstroom.

De norm voor scheidingsnelheid zoals gedefinieerd in UL 1699B is 2,5-5 mm/s.

/ SolarEdge AFCI – verificatie van onze prestatietests

De veiligheidsoplossing van SolarEdge maakt gebruik van diverse veiligheidsvoorzieningen die zijn ontworpen om het SolarEdge-systeem continu te beschermen.

Deze omvatten een snelle reductie van de DC-spanning tot een aanraakveilig niveau bij uitschakeling van het systeem, vroegtijdige foutdetectie en mogelijke preventie van fouten, en waarschuwingen op paneelniveau die tot acties leiden en real-time beschikbaar worden gesteld.

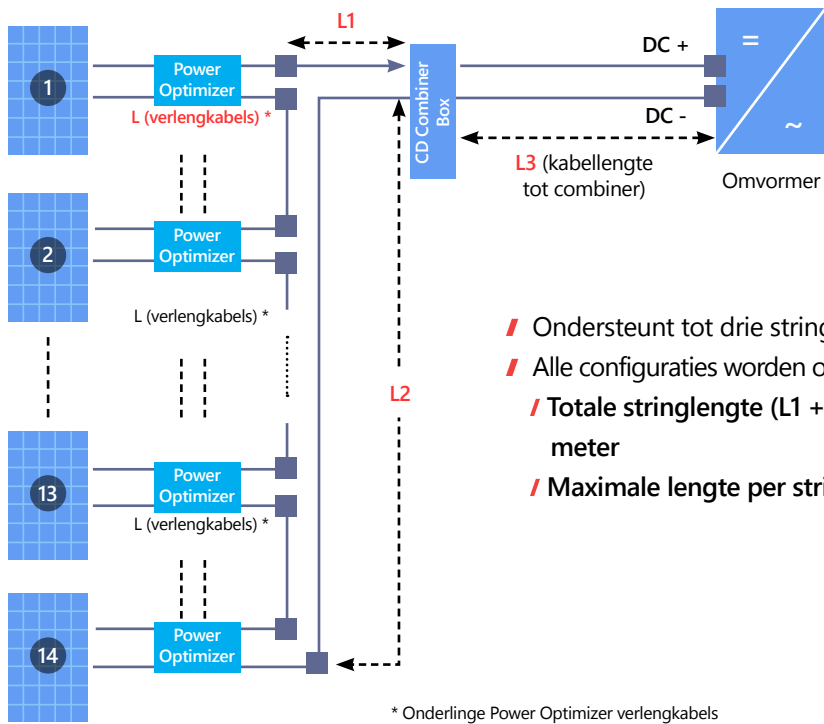
Daardoor voldoet de veiligheidsoplossing van SolarEdge aan de Amerikaanse norm UL1699B-2018 en de Europese veiligheidsnorm IEC 63027, zoals weergegeven in tabel 2 en figuur 9 hieronder.

Tabel 2. SolarEdge voldoet aan de volgende normen

Soorten vlambogen die kunnen worden gedetecteerd	Gedefinieerd door UL-1699B-2018
Maximale totale kabellengte per string*	Tot 400 meter
Maximale totale kabellengte van alle strings**	Tot 700 meter
Nauwkeurigheid vlamboogdetectie	99%
Aanvullende technische vereisten	Geen

* Kabellengte = L1+L2+L3+L (verlengsnoeren, indien aanwezig)

** Totale kabellengte van alle strings = som van alle kabellengtes van alle strings



- / Ondersteunt tot drie strings per omvormer
- / Alle configuraties worden ondersteund zolang deze regels van toepassing zijn:
- / **Totale stringlengte ($L1 + L2 + L\text{-verlengsnoer} + L\text{-combiner-box}$) ≤ 700 meter**
- / **Maximale lengte per string ($L1 + L2 + L\text{-combiner-box}$) ≤ 400 meter**

Figuur 10. SolarEdge-bekabelingsnormen