

solar**edge**

White Paper



/ SolarEdge säkerhetslösning

September 2022 | Revision 2.2

SolarEdge Technologies, Inc.

SolarEdge

2006 revolutionerade SolarEdge solcellsbranschen genom att uppfinna ett bättre sätt att samla in och optimera energi i solcellssystem. Idag är vi en global ledare inom smart energiteknik. Med ett obevekligt fokus på innovation och fortlöpande utveckling med vår ingenjörskapacitet i världsklass fortsätter vi att skapa smarta energiprodukter och lösningar som ger energi åt våra liv och driver utvecklingen framåt.

SolarEdge har utvecklat en DC-optimerad växelriktarlösning som har förändrat sättet att utvinna och hantera energi i solcellssystem. Den både maximerar energiproduktionen och sänker kostnaden för den energi som produceras av solcellssystemet, vilket ger en förbättrad avkastning på investeringen (ROI). Ytterligare fördelar är omfattande och avancerade säkerhetsfunktioner, förbättrad designflexibilitet samt förbättrad drift och underhåll (O&M) med distansövervakning på panelnivå.

Ett typiskt SolarEdge DC-optimerat växelriktarsystem består av växelriktare, SolarEdge effektoptimerare med kommunikation som ger åtkomst till SolarEdge Monitoreringsportal. Programvara och hårdvara för smart energihantering som kan läggas till SolarEdge-lösningen, inkluderar batterier för energilagring och energiekosystemet SolarEdge Home, vilket möjliggör ännu större besparingar för anläggningsägaren.

SolarEdge lösningar riktar sig till ett brett spektrum av olika segment på marknaden för solenergi, från privatbostäder till kommersiella solenergianläggningar.

De viktigaste fördelarna med SolarEdge-lösningen är dessa:

- ▮ Förbättrad säkerhet
- ▮ Hög tillförlitlighet
- ▮ Maximerad energi från varje solpanel
- ▮ Optimerad arkitektur med skalbara fördelar
- ▮ Avancerad flexibilitet i systemdesignen
- ▮ Kontinuerlig övervakning och kontroll för att minska drift- och underhållskostnader
- ▮ Effektiv energilagring och backup

Överväganden och åtgärder för ökad säkerhet i solcellssystem

Fler och fler företag väljer att installera solcellssystem. De främsta skälen till detta är den relativt låga kostnaden för solcellsenergi, även utan subventioner, regionala och nationella statliga incitament, samt ökad medvetenhet om solenergi som ett viktigt alternativ till åldrande elnät, liksom höga av kostnader för fossilbaserade bränslen.

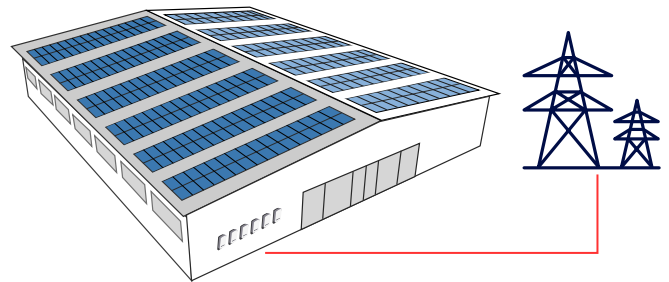
Att ha flera typer av integrerade säkerhetsmekanismer i ett solcellssystem gör det säkrare. När fel upptäcks arbetar dessa mekanismer tillsammans för att bidra till säkerheten för person, systemägare och räddningspersonal, såsom tekniker och brandmän, genom att skydda dem från fysiska skador och faror.

Kommersiella byggnader och infrastrukturer är dessutom värdefulla tillgångar. Mekanismer som skyddar mot brand hjälper till att undvika förlust av egendom och avbrott i verksamheten som kan utgöra betydande kostnader. Om egendomsskador ändå uppstår ger vissa försäkringsbolag ersättning för byggnader där solcellsinstallationerna på taket har adekvata detekterings- och skyddsåtgärder. Dessutom vägrar vissa försäkringsbolag att försäkra fastigheter med solcellsanläggningar som inte har tillräckliga säkerhetslösningar.

/ Drift av ett typiskt solcellssystem

Solcellssystem består huvudsakligen av solcellspaneler och växelriktare.

- / Solpaneler genererar ren elektricitet genom att omvandla solljus till likström.
- / Växelriktarna omvandlar sedan likström till elnätkompatibel växelström som används för att driva bostäder, byggnader och företag.
- / Energi kan exporteras till elnätet vid behov.



Figur 1: Typiska komponenter i ett solcellssystem

/ Behovet av säkerhetsåtgärder

Med tanke på att traditionella solcellsinstallationer kan uppnå spänningar så höga som 1 500 volt måste försiktighetsåtgärder vidtas för att garantera säkerheten för människor och egendom. SolarEdge arkitektur upprätthåller säker energiproduktion på växelriktarnivå och tillåter avstängning/bypass av de relevanta modulerna/strängarna. När avstängning är nödvändig stängs SolarEdge-växelriktare antingen av automatiskt, enligt definierade villkor, eller så kan avstängningen initieras manuellt.

Förbättrad säkerhet - helhetssyn

SolarEdge solenergisystem tar ett helhetsgrepp för att minska riskerna för strömgenomgång och brand genom att tillhandahålla en integrerad säkerhetslösning som kombinerar förbättrade skydds- och detekteringsmekanismer.

Dessa mekanismer uppfyller stränga säkerhetskrav genom att:

- ✓ Säkerställa att ett solcellssystemets DC-spänning reduceras till en säker nivå när systemet stängs av.
- ✓ Tillhandahålla tidig detektering av fel.
- ✓ Tillämpa aktiva och kontinuerliga skyddsmekanismer.
- ✓ Stöd för övervakning på panelnivå med användbara varningar om fel.
- ✓ Gör det möjligt för komponenter att snabbt ladda ur sin spänning till säkra nivåer.

✓ Ljusbågsdetektering (Arc Fault Circuit Interruptor=AFCI)

I enlighet med standarden UL 1699B för ljusbågsdetektering har SolarEdge växelriktare inbyggda skydd som är utformade för att skydda mot effekterna av ljusbåge som utgör en risk för brand. SolarEdge är dessutom medlem i IEC 63027's arbetsgrupp och samarbetar med andra leverantörer av solcellssystem, elnätbolag och andra intressenter. Även om IEC 63027-standarderna fortfarande är under utarbetning är SolarEdge system redo att uppfylla dess specifikationer och krav.

✓ Riskhantering - SafeDC™

SafeDC™ är en inbyggd säkerhetsfunktion på panelnivå som minimerar risken för elektriska stötar från hög likspänning. Utgående standardspänning för effektoptimerare är 1Vdc. Detta säkerställer beröringssäkra spänningsnivåer och håller strängens spänning under 30 Vdc, eller 50 Vdc, beroende på de olika branschstandarderna. Först när växelriktaren är i produktionsläge och alla parametrar är verifierade kommer effektoptimerarnas spänning att ökas till sin optimala driftnivå.

Effektoptimerare kommer automatiskt återgå till standardspänningen på endast 1Vdc när AC är avstängd eller under händelser som aktiverat säkerhetsfunktionen. SafeDC™ kommer att aktiveras i dessa fall:

- ✓ Under installationen, när strängarna kopplas bort från växelriktaren eller växelriktaren stängs av.
- ✓ När växelriktaren är låst eller inaktiverad.
- ✓ När växelriktaren eller AC-anslutningen stängs av.

SolarEdge SafeDC™ är certifierad i Europa som DC-frånkopplare enligt IEC/EN 60947-1 och IEC/ EN 60947-3 samt enligt säkerhetsstandarderna VDE AR 2100-712 och OVE R-11-1.



Figure 2: Touch-safe voltage levels with SafeDC™

/ Tidig upptäckt och förebyggande

SolarEdge utrustar sin nästa generations effektoptimerare i S-serien med den senaste SolarEdge Sense Connect-tekniken, som är utformad för att proaktivt upptäcka onormalt beteende hos solpanelkontakter och eventuellt förhindra händelser som beror på dåligt arbete, kabeldragning eller kontakter. Temperaturavkänning i SolarEdge växelriktare möjliggör övervakning av AC- och DC-sidans anslutningsterminaler samt hjälper till att upptäcka dåliga anslutningar innan en ljusbåge uppstår. När onormala temperaturer upptäcks kan systemet till och med stänga av växelriktaren.

/ Snabbavstängning (Rapid Shutdown=RSD)

Rapid Shutdown (RSD) är en säkerhetsmekanism som innebär snabb spänningsurladdning av anläggningen till en säker nivå. I Nordamerika kräver National Electrical Code (NEC), avsnitt 690.12, att i solcellssystem på tak ska kablage som är förlagda utanför avgränsningen eller mer än 1 m (3 ft) från ingången till en byggnad begränsas till högst 30 volt inom 30 sekunder efter initiering av snabb avstängning. Övervakat ledningssystem som är placerade innanför avgränsningen eller inte mer än 1 m (3 ft) från punkten för penetration av byggnadens skal skall begränsas till inte mer än 80 volt inom 30 sekunder efter initiering av RSD.

SolarEdge är en av mycket få tillverkare av solcellsutrustning som erbjuder integrerad snabbavstängningsfunktion i enlighet med NEC-föreskrifterna. Andra tillverkare erbjuder denna funktion via externa komponenter som kontaktorer, shunt-brytare eller andra fjärrstyrda brytare, vilket kan öka komplexiteten, underhållet och kostnaderna.

/ Systemmonitorering och -hantering

SolarEdge tillhandahåller distansövervakning i realtid på panel-, sträng- och systemnivå, vilket ger bättre insyn i systemets prestanda.

/ SolarEdge Monitoreringsportal utför detaljerad analytisk uppföljning och tillhandahåller rapporter om energiutbyte, prestandaförhållande och ekonomiskt resultat.

/ Automatiska varningar stöder korrekt och omedelbar feldetektering, underhåll på distans och snabb respons som bidrar till att minimera och snabba upp besök på plats.

/ Trådbundet Ethernet, Wi-Fi eller mobilnätanslutning är de kommunikationsalternativ som stöds för att ansluta SolarEdge växelriktare till monitoreringsportalen. Monitoreringsportalen är lätt att nå från din dator och mobila enhet, när som helst och var som helst.



Figur 3: Layout av solpaneler samt monitoreringssystemet

/ Håll ditt system uppdaterat med de senaste funktionerna

Vi samlar ständigt in data från våra över två miljoner installationer över hela världen i syfte att hålla våra system på prestandanivåer i världsklass. Kunder kan dra nytta av våra insikter och förbättringar genom att använda enkla programuppdateringar som säkerställer att deras installationer är uppdaterade och utrustade med både de senaste säkerhetsfunktionerna, liksom övriga viktiga funktioner.

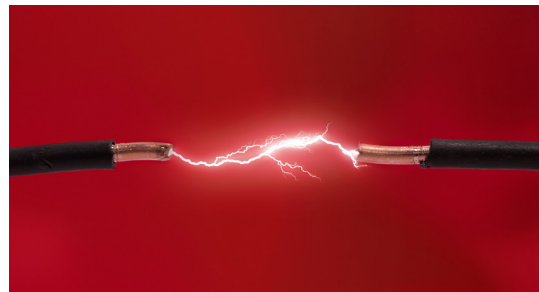
Översikt - Ljusbågar

/ Vad är en ljusbåge?

En ljusbåge är en oavsiktlig, självförsörjande plasmaurladdning som initieras över ett litet luftgap. Ljusbågar är fysiska fenomen som kan karakteriseras av olika egenskaper såsom: värmeutveckling, ljusemission (synligt, UV, IR), RF-strålning, magnetfält, akustiska och kemiska reaktioner (jonisering, rekombination).

En ljusbåge är tillräckligt het för att smälta glas, koppar och aluminium, och den kan initiera förbränning av omgivande material. Eftersom solcellssystem har många anslutningspunkter kan ljusbågar uppstå.

De skador som uppstår till följd av sådana fel kan leda till verklig fara för de solcellssystem, villor och byggnader där de är installerade. Ännu värre är att de kan leda till livsfara för de människor som befinner sig i dessa fastigheter.



Figur 4: Elektrisk ljusbåge



Figur 5: Brandmän rycker ut till en brand i en solcellsanläggning

Solenergiindustrin har vuxit snabbt de senaste åren, och antalet bränder orsakade av ljusbågar har ökat i motsvarande grad. Detta motiverar behovet av smarta system som kan skydda villaägare och fastighetsägare från dessa möjliga faror.

/ Ljusbågar av likström i solcellssystem

Ljusbågar kan uppstå i små mellanrum mellan två anslutningsterminaler, t.ex. panelanslutningar i solpaneler och anslutningar i kopplingsboxar. Detta beror vanligtvis på användning av dåliga kontakter eller på installationsfel som felaktig kabeldragning eller krimpning som kan orsaka dåligt utförda anslutningar. Andra förhållanden som kan leda till ljusbågar är åldrande av material, väderpåverkan, mekaniska skador och fysiska skador orsakade av djur. Dåliga skarvar minskar tvärsnittsarean, vilket effektivt ökar anslutningsmotståndet och avsevärt ökar värmen. Detta ökar den termiska materialspänningen på grund av de högre drifttemperaturerna, vilket i slutändan ger lösa anslutningar. Då kan ett litet luftgap utvecklas som i sin tur kan göra att en ljusbåge uppstår.



Figur 6: MC4-kontakt efter ljusbågsfel

När det elektriska fältet över luftgapet överstiger ca $3\text{V}/\mu\text{m}$ (den faktiska nivån beror på den omgivande miljön), börjar luften i gapet att joniseras och ljusbågsplasma utvecklas. En ljusbåge bildas om detta inte upptäcks i tid.

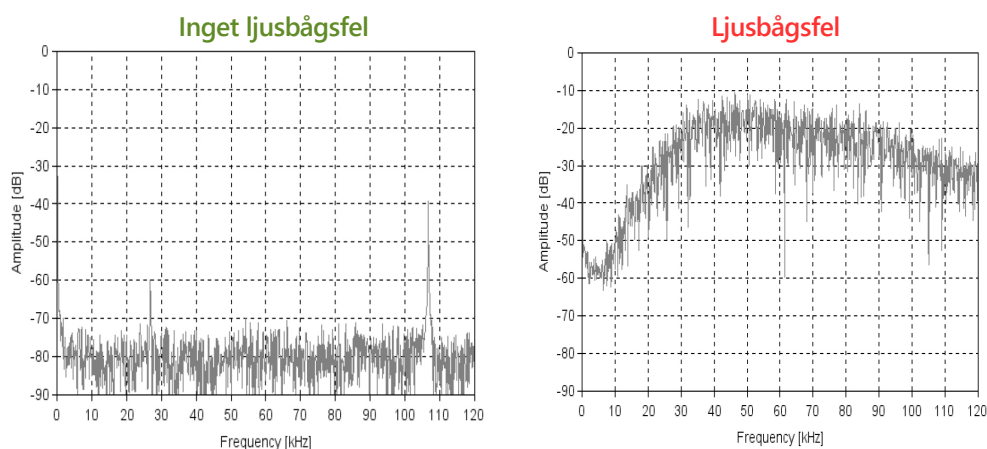
/ Utmaningar vid detektering av ljusbågar

Det finns två huvudsakliga svårigheter när det gäller att upptäcka ljusbågar:

- / Varje ljusbåge ser olika ut - som beskrivits ovan kan ljusbåge uppstå på olika platser i solcellssystemet med olika elektriska egenskaper som ström, spänning, energinivåer och varaktighet.
- / Bullernivåer - solcellssystemets miljö utsätts för flera typer av bakgrundsljud.

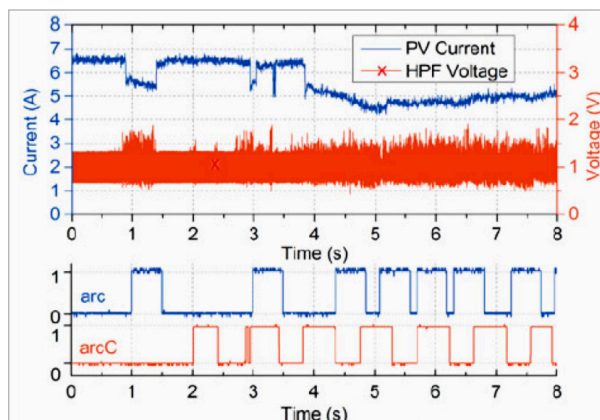
/ Allmänna metoder för identifiering av ljusbågar

Ljusbågar uppträder i olika frekvensband och amplituder. Som visas i figur 7 finns det en spektrumskillnad mellan ett system med och utan ljusbåge, vilket visar att en ljusbågmodell har en tidsvarierande icke-linjär karaktäristik, som då kan upptäckas genom övervakning av spektrumförändringarna.



Figur 7: Amplitud för frekvenser med och utan ljusbågsfel

Som visas i figur 8 kan ljusbågar övervakas i strömspektrumet där ljusbågarnas toppar kan nå upp till 1A.



Figur 8: Strömmen som funktion av tiden i ett bågsscenario

Metoder baserade på artificiell intelligens (AI)

Vissa system använder en "black box"-metod för detektering av DC-ljusbågsfel. Detta tillvägagångssätt använder AI-baserade metoder som Deep Neural Network (DNN) och Support Vector Machine (SVM) för att dra slutsatser om ett potentiellt ljusbågsförhållande utan att specifikt upptäcka ett underliggande elektriskt tillstånd. Med denna metod varierar dock antalet falska positiva resultat beroende på miljöförhållandena.

Till skillnad från andra leverantörer implementerar SolarEdge "white box"-algoritmer som baseras på data från miljontals installerade system. Se avsnittet nedan för mer information.

SolarEdge

Ljusbågsdetekteringsfunktion (AFCI)

/ En Big-Data-driven algoritmhybridlösning för AFD

SolarEdge har investerat i omfattande forskning för att bättre förstå och karakterisera ljusbågar i solcellssystem. Baserat på data från vår installationsbas med över två miljoner anläggningar har SolarEdge utvecklat toppmoderna algoritmer för detektering av ljusbågsfel och AFD-mekanismer. Dessa algoritmer har implementerats på över 2,5 miljoner växelriktare och testats av certifieringsorganisationer och tredjepartsföretag för att säkerställa att de uppfyller de fastställda kraven och ger den förväntade prestandan.

SolarEdges AFD-lösning återspeglar företagets erfarenhet, omfattande installationsbas och insamling av stora mängder data från alla anläggningar. Som ett resultat av detta är AFD-mekanismen potentiellt effektiv under en rad olika elektriska förhållanden och typer av installationer.

SolarEdge algoritm för detektering av ljusbågar ger ett omfattande och holistiskt tillvägagångssätt för detektering och förebyggande av ljusbågar som hanterar alla aspekter av en händelse med ljusbåge:

- / Arc Fault Detection (AFD) - förmågan att detektera en ljusbåge.
- / Arc Fault Prevention (AFP) - tillhandahåller en mekanism för förebyggande av ljusbåge på panelnivå.

/ Detektering av ljusbåge (AFD)

SolarEdge växelriktare inkluderar DSP:er som kör AFD-algoritmerna lokalt. För exakt och effektiv detektering av ljusbågar baseras SolarEdge-lösningen på datainsamling och analys som utförs på panelnivå (effektoptimerare) och på strängnivå (växelriktare).

Den aktiva mekanismen för upptäckt av ljusbåge (AFP) baseras på insikter från SolarEdge effektoptimerare. Nuvarande generation effektoptimerare i S-serien har utökat denna AFP-mekanism med SolarEdge Sense Connect, som upptäcker onormala händelser och proaktivt förhindrar ljusbågar.

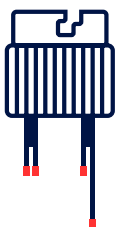
Hur fungerar detta (se figur 9)?

Varje Power Optimizer i SolarEdge S-serien "känner" kontinuerligt av kontaktdonets temperatur, vilket proaktivt upptäcker onormalt beteende hos kontaktdonet och ger kontinuerlig hälsokontroll av kontaktdon och kablar. När temperaturen passerar ett visst tröskelvärde utlöser Power Optimizer en händelse. Parallellt kommer SolarEdge växelriktare att stoppa produktionen och sedan återuppta produktionen i enlighet med standardiserade säkerhetsriktlinjer. Växelriktaren skickar en systemhändelse till SolarEdge monitoreringsplattform, som bearbetar händelsen och varnar installatören inklusive platsidentifiering. Informationen kan även visas under installationen via mobilappen SetApp för att identifiera eventuella problem medan man fortfarande är på plats och för att minska antalet besök.

Slutligen är vissa SolarEdge-växelriktare utrustade med inbyggda sensorer på DC/AC-plintarna, som upptäcker felaktiga anslutningar genom att identifiera onormala temperaturer. När onormala temperaturer upptäcks varnar systemet automatiskt installatören och stänger av växelriktaren vid behov.

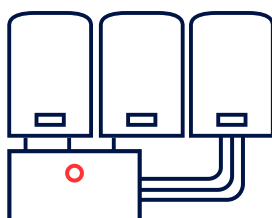
Upptäcka

Identifierar ljusbåge som överhängande hot



Reagera

Växelriktaren kopplar om systemet till ett säkert läge och säker spänning



Meddela*

Monitoreringsportal

Felaktig kontakt, position är synlig i vyn för fysiska layouten



SetApp

Meddelar installatören, inklusive identifiering av platsen



Figur 9: SolarEdge Sense Connect

* Pending firmware version update

/ Testning och verifiering - Krav på standarder

Det finns två huvudstandarder som måste beaktas vid upptäckt och hantering av ljusbågar:

- / UL 1699B: antas av USA och Kanada, skrevs 2011 och uppgraderades sedan 2018 efter erfarenhet från fältet.
- / IEC 63027:2023: den europeiska standarden. SolarEdge har varit en aktiv medlem och medförfattare till denna standard.

Tabell 1: Sammanfattning av de viktigaste skillnaderna mellan hanteringsstrategierna för ljusbågsupptäckt

Ämne	UL 1699B (2018)	IEC 63027
Typ av ljusbågsfel	Serie	Serie
Läge för ljusbågsfel	Ingångs- och strängkablar	Ingångs- och strängkablar
Impedansen för hela strängen	50 μ H + 0,7 μ H/meter bortom 80 meter	50 μ H
Ljusbågens varaktighet och energitrösklar	Avbryta ljusbågen på mindre än 2,5 sekunder, och begränsa energin till att inte överstiga 750 J	Avbryta ljusbågen på mindre än 2,5 sekunder, och begränsa energin till att inte överstiga 750 J
Återuppta drift	När varje ljusbåge har släckts ska systemet vänta minst fem minuter innan det återgår till drift. Fördröjningen på fem minuter krävs inte efter en manuell återställning. Efter fem ljusbågsincidenter under en 24-timmarsperiod ska systemet öppna kretsen och kräva en manuell återställning innan det återgår till drift.	Ingen manuell procedur krävs, om en minsta avbrottstid på fem minuter säkerställs innan driften av anläggningen fortsätter. Vid avbrott för femte gången inom en 24-timmarsperiod måste återställningen utföras manuellt.

Kraven för AFCI-funktionsdetektering finns i standarddokumentet UL 1699B (2018), figur 29.15.

Förutom att SolarEdge uppfyller de ovan nämnda standarderna, överträffar våra tester och vår kapacitet marknadens minimikrav. Detta garanterar maximal säkerhet, enligt följande:

Frekvens för falsklarm

SolarEdge-växelriktaren kan låsas som svar på varje larmhändelse och stoppa produktionen. Med tanke på detta är det viktigt att mäta systemets förmåga att hantera falsklarm.

Med tanke på detta behov säkerställer SolarEdge lösning att antalet falska larm hålls till ett minimum.

Elektrodseparation

En av metoderna för att simulera likströmsbågar baseras på simulering av elektrodseparation. En ljusbåge uppstår när elektroder separeras under belastning.

Standarden för separationsnivå enligt definitionen i UL 1699B är 2,5-5 mm/s.

/ SolarEdge AFCI - Verifieringsresultat från prestandatest

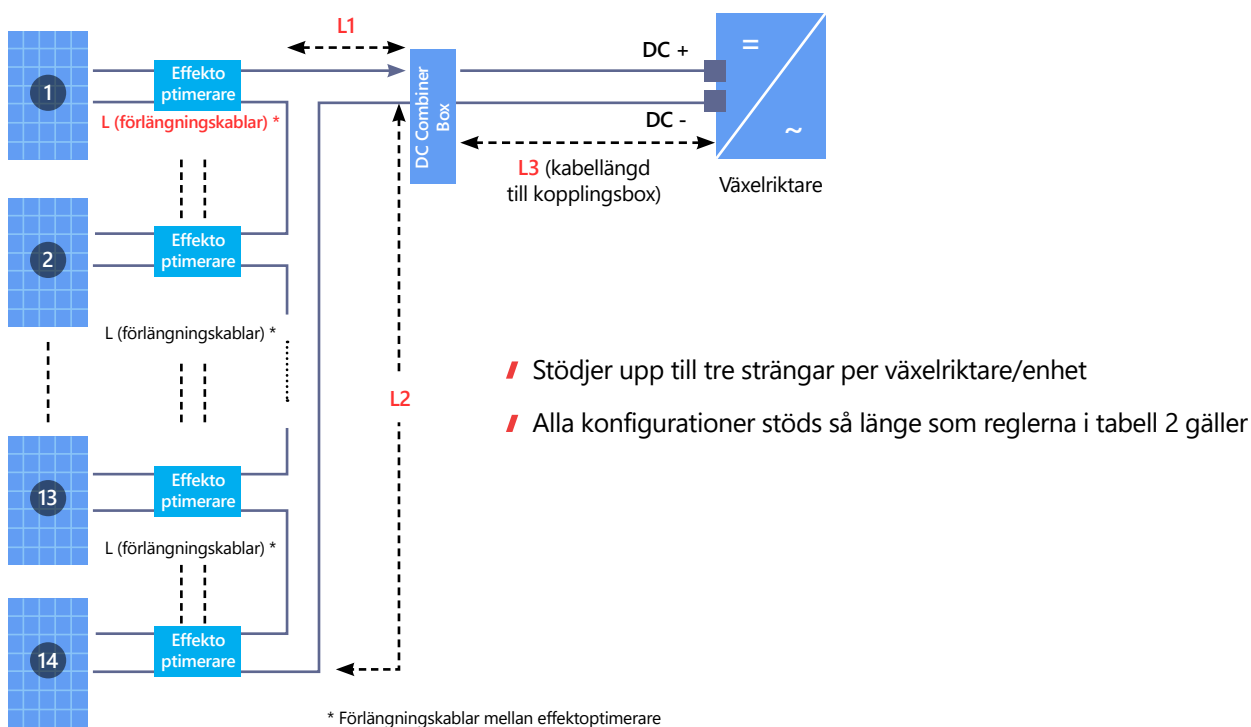
SolarEdge säkerhetslösning använder en mängd olika aktiva säkerhetsmekanismer som är utformade för att säkerställa kontinuerligt skydd av SolarEdge solcellssystem.

Detta inkluderar snabb minskning av likspänningen till beröringssäkra nivåer vid systemavstängning, tidig feldetektering och förebyggande av eventuella fel samt realtidsvarningar på panelnivå som kan åtgärdas.

Därmed uppfyller SolarEdge säkerhetslösning de amerikanska säkerhetsstandarderna UL 1699B 2018 och europeiska IEC 63027, vilket framgår av tabell 2 och figur 10 nedan.

Tabell 2: SolarEdge prestandaöverensstämmelse med standarder (se figur 10)

Typer av bågar som kan detekteras	Definierad av UL 1699B 2018
Maximal längd (L1 + L2 + L-ext-kabel + L3), för enkel sträng (tur och retur)	Upp till 400 m
Total stränglängd (L1 + L2 + L-ext-kabel + L3), totalt för alla anslutna strängar till inv/enhet (tur och retur)	Upp till 700 m
Noggrannhet vid detektering av ljusbågar	99%
Ytterligare tekniska krav	Inga



Figur 10: Kabelstandarder för SolarEdge