



Vlamboogbeveiliging (AFCI) voor PV-systemen White Paper

Geplubliceerd in samenwerking met China General Certification Center
en Huawei Technologies Co. Ltd.
Augustus 2020





Voorwoord

Deze nederlandsestalige versie is een aangepaste versie van de originele engelsestalige whitepaper die was gepubliceerd voor de aziatische markt. De tekst is op enkele plaatsen veranderd om beter aan te sluiten bij de omstandigheden in de Belgische en Nederlandse markt.

Huawei Technologies Co., Ltd. (in het kort: Huawei) heeft in mei 2020 omvormers geïntroduceerd met een intelligente gelijkstroom (DC) vlamboogbeveiliging voor residentiële en commerciële, dakgebonden PV-installaties in 54 landen. Om de prestaties van de vlamboogbeveiliging te evalueren is Huawei een samenwerking aangegaan met het China General Certification Center (CGC) voor een uitgebreide evaluatie. De uitkomst van het onderzoek heeft aangetoond dat Huawei omvormers voldoen aan de eisen van de Amerikaanse UL 1699B: 2018 "Safety Standard for PV DC Arc Fault Circuit Protection". Het detectiebereik, de nauwkeurigheid en snelheid waarmee een omvormer kan afschakelen voldoet aan klasse "L4" van de Chinese testspecificatie CGC/GF 175:2015 "Technical Specifications for Arc Detection and Rapid Shutdown Performance Evaluation".

Huawei en CGC hebben gezamenlijk deze whitepaper over intelligente vlamboogdetectie in PV-systemen uitgebracht om de technologische prestaties te laten zien. Deze whitepaper geeft inzicht in de ontwikkeling van deze techniek, de principes waarop deze is gebaseerd, en resultaten van de testcampagne. Het doel van deze whitepaper is:

- (1) Inzichtelijk te maken aan ontwikkelaars en ontwerpers van PV-systemen wat de Huawei technologie inhoudt.
- (2) Een basis te bieden voor technologische vooruitgang en promotie van de techniek, opdat organisaties hun producten kunnen verbeteren.

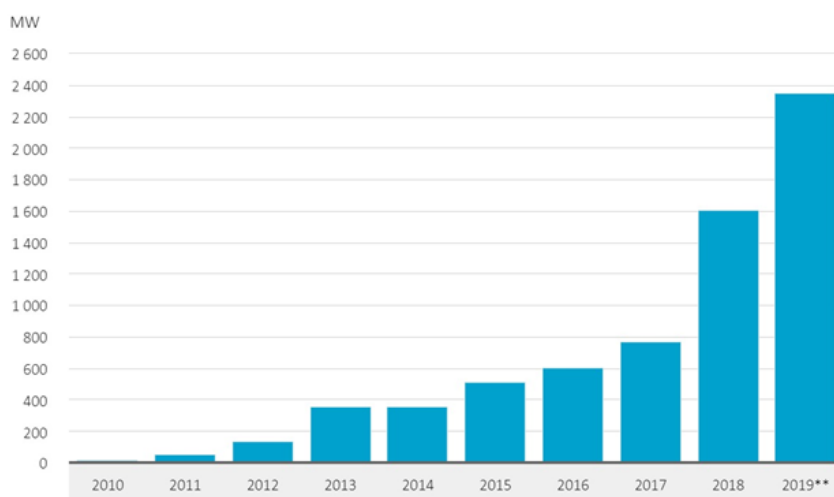


01

Technische achtergrond en ontwikkeling van vlamboogdetectie

Volgens het “International Renewable ENergy Agency” (IRENA) was er aan het eind van 2019 wereldwijd 580,1 GW aan PV-capaciteit geïnstalleerd. In 2019 groeide de Nederlandse zonne-energiemarkt met 53% ten opzichte van een jaar eerder met een geïnstalleerd vermogen van 2,4 GW, waarvan 0.7 GW voor het residentiële- en 1.7 GW voor het commerciële segment. Wereldwijd is Nederland een van de snelst groeiende zonne-

energiemarkten voor wat betreft het jaarlijks geïnstalleerd vermogen. De totale productiecapaciteit uit zonne-energie was eind 2019 bijna 7 GW. Het geïnstalleerd vermogen in de zakelijke markt werd gestimuleerd door de SDE+(+) regeling en het eerste > 100 MW-park werd aangesloten op het net. Wanneer de groei van het geïnstalleerd vermogen van zonne- en windenergie in het huidige tempo doorzet dan produceert Nederland in 2030 100% duurzame elektriciteit.

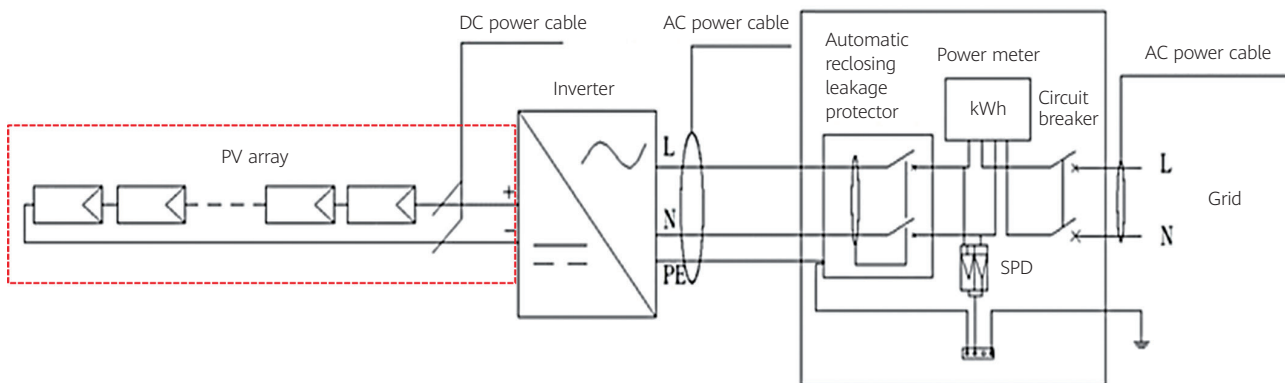


Figuur 1-1 Bijgeplaatst vermogen zonnestroom

Figuur 1-2 laat de elektrische structuur van een typisch PV-systeem zien. De focus aan de wisselstroom (AC) zijde ligt voornamelijk in de elektrische veiligheid van de installatie, terwijl de focus aan de DC zijde vooral ligt op het voorkomen van brand, elektrische schokken en in een enkel geval schade door blikseminslag. De

regelgeving en veiligheidsstandaarden voor AC zijn over het algemeen volwassen en goed bekend bij veel installateurs, maar voor DC is deze kennis nog in ontwikkeling en minder bekend. De Internationale Elektrotechnische Commissie (IEC) werkt momenteel hard aan het verbeteren van veiligheidsstandaarden voor DC systemen.

Vlamboogbeveiliging (AFCI) voor PV systemen



Figuur 1-2 Elektrisch schema van een klein-schalig, gedistribueerd PV systeem

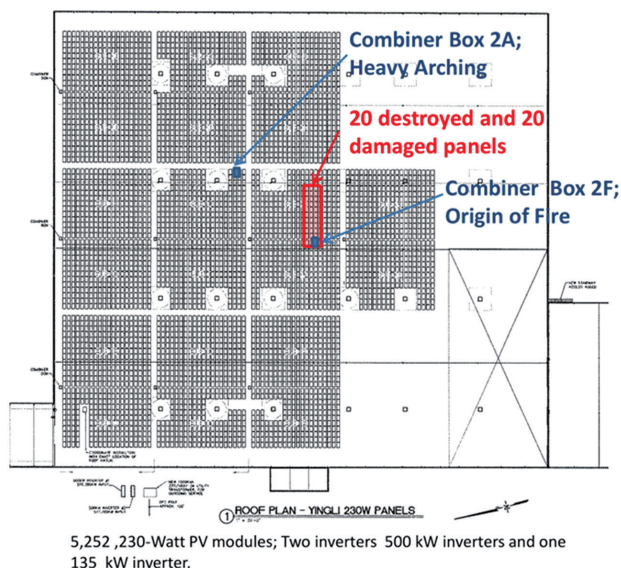
De internationale norm IEC 62548 "Photovoltaic (PV) Arrays - Design Requirements" legt onder meer eisen vast voor de veiligheid. Dit heeft betrekking op de voorkoming van een elektrische schok, overbelasting, aardingsfouten, aardlek en schade door blikseminslag. Ondanks het bestaan van deze norm laat onderzoek van diverse incidenten zien dat de beschikbare standaardisering nog onvoldoende is om veiligheid te garanderen. Zo zijn de belastbaarheid van een kabel te generiek gedefinieerd; geeft de beveiliging tegen overstroom onvoldoende bescherming en bestaan er geen eisen voor wat betreft vlamboogbeveiliging. In het aandeel van incidenten met PV-systemen wereldwijd, zijn elektrische branden het meest voorkomend en het

meest schadelijk. In 2018 zijn in Nederland maar liefst 23 branden gedocumenteerd waarbij de oorzaak lag in de PV-installatie, wat in een ruwe schatting neerkomt op ongeveer 0.14% van alle PV-installaties die in 2018 in bedrijf waren. Enkele voorbeelden hiervan staan afgebeeld in de foto's hieronder. Ook verzekeraars hebben kennis genomen van risico op brand bij PV-systemen. Er zijn een aantal gevallen bekend waarbij de verzekeraar de zonnestroominstallatie niet wenst te verzekeren, de inboedelverzekering van een bedrijfspand plotseling stopzet of het veelvoudige aan premie vraagt na oplevering van een PV-installatie. Uiteraard zijn dit weinig bevorderlijke situaties voor de uitrol van de energietransitie.



De overgrote meerderheid van PV-gerelateerde branden wordt veroorzaakt door vlambogen. De afbeeldingen hieronder komen uit een gedocumenteerd incident uit

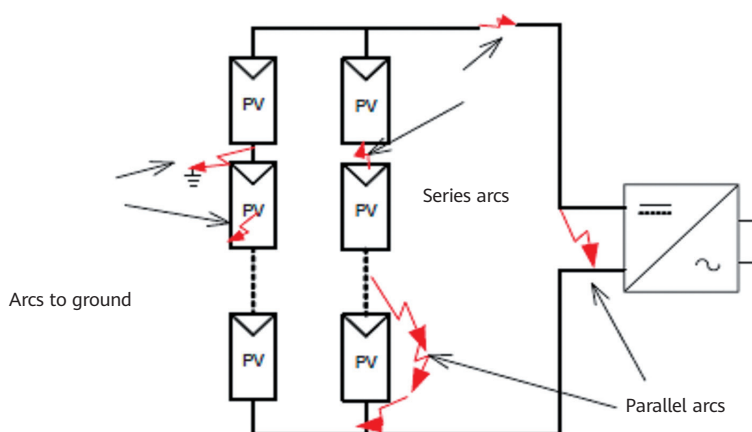
de VS; uit onderzoek bleek dat de string combiner box vlam had gevat nadat een onderdeel oververhit was geraakt door twee interne vlambogen.



Zoals te zien in figuur 1-3 zijn er drie typen DC vlambogen te onderscheiden: Seriële - en parallel vlambogen en vlambogen naar de aarde. De kans op een seriële boog is -met ongeveer 80% van de tot op heden bekende incidenten - het grootst. Door de opzet van de meeste PV- systemen zijn parallelle bogen minder waarschijnlijk, maar ze zijn des te gevaarlijker omdat ze niet te stoppen zijn door een onderbreking in de stroomkring in de

omvormer te creëren. Vlambogen naar de aarde vallen door de elektrische opzet van moderne PV-systemen vroegtijdig op in beveiligingsmechanismen (aardfoutbeveiliging) waardoor ze vrijwel geen risico meer kunnen vormen. Dit geldt echter niet voor oudere PV-systemen die niet beschikken over deze beveiligingen.

In samenvatting: Enkele recente brandincidenten met



Figuur 1-3 Verschillende soorten vlambogen die in een PV systeem kunnen optreden.

PV-installaties veroorzaakt door vlambogen brengen een significant risico aan het licht die met urgentie onze aandacht verdient. De markt vraagt om maatregelen ter voorkoming van brand. Betrouwbare vlamboogdetectie, gevolgd door stroomkring

onderbreking, is een belangrijke technologie om de veiligheid en bedrijfsvoering van PV-installaties te verbeteren, de verzekerbaarheid van (bedrijfs)panden te verbeteren en daarmee de energietransitie succesvol te laten verlopen.



02

Technische beschrijving

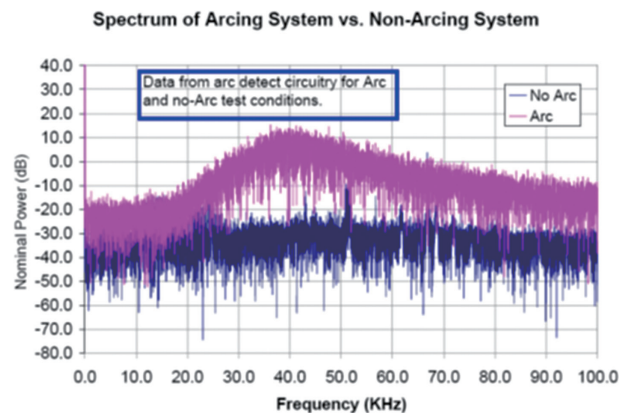
2.1 Technische principes van vlamboogdetectie

Wanneer twee elektrische geleiders in elkaars nabijheid een voldoende hoog spanningsverschil hebben, kan de lucht tussen deze twee geleiders haar isolerende eigenschap verliezen en kan een kanaal van geïoniseerd gas ontstaan dat een elektrische stroom kan geleiden (een plasma). Door het lichtgevende effect dat de ionen in dit plasma hebben wordt dit aangeduid als een vlamboog.

Het plasma in vlambogen kan zeer hoge temperaturen bereiken en kan zich in een enkel geval gedragen als een open vlam. In elektrische installaties hebben de hoge temperaturen tot gevolg dat aanwezige isolatiematerialen verkolen en hun isolerende eigenschappen verliezen, maar ze kunnen ook naburige materialen makkelijk doen ontsteken.

Vlambogen worden in PV-systemen vooral veroorzaakt door losse contacten, kapotte kabels, verouderde en beschadigde isolatiematerialen of door corrosie als gevolg van inwerkend vocht. De kans op vlambogen neemt toe naarmate er meer elektrische verbindingen in een installatie worden gemaakt.

Het elektrische signaal van een vlamboog is een tijdsafhankelijke, niet-lineaire karakteristiek, vergelijkbaar met witte ruis en zichtbaar over een groot deel van het frequentiespectrum. De energie van een vlamboog concentreert zich in het frequentiegebied tussen 10kHz en 100kHz zoals te zien is in figuur 2-1. Hier is het verschil in ruis tussen wel en geen vlamboog goed zichtbaar, wat aantoont

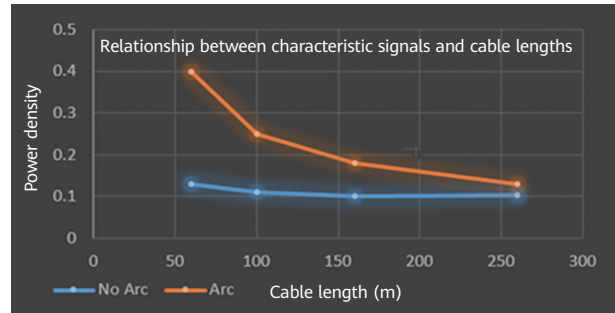
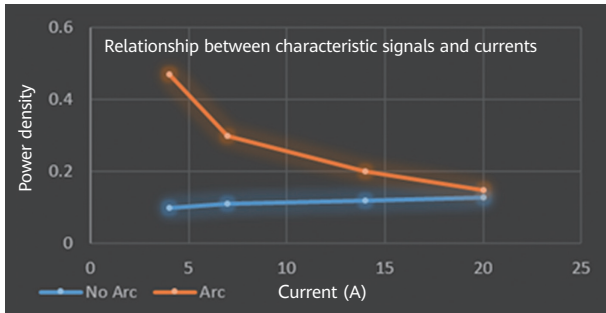


Figuur 2-1 Spectra van een systeem met en zonder vlamboog

dat een vlamboog kan worden gedetecteerd -via de aansluitingen in de omvormer- door middel van veranderingen in de elektrische parameters en het ruisspectrum.

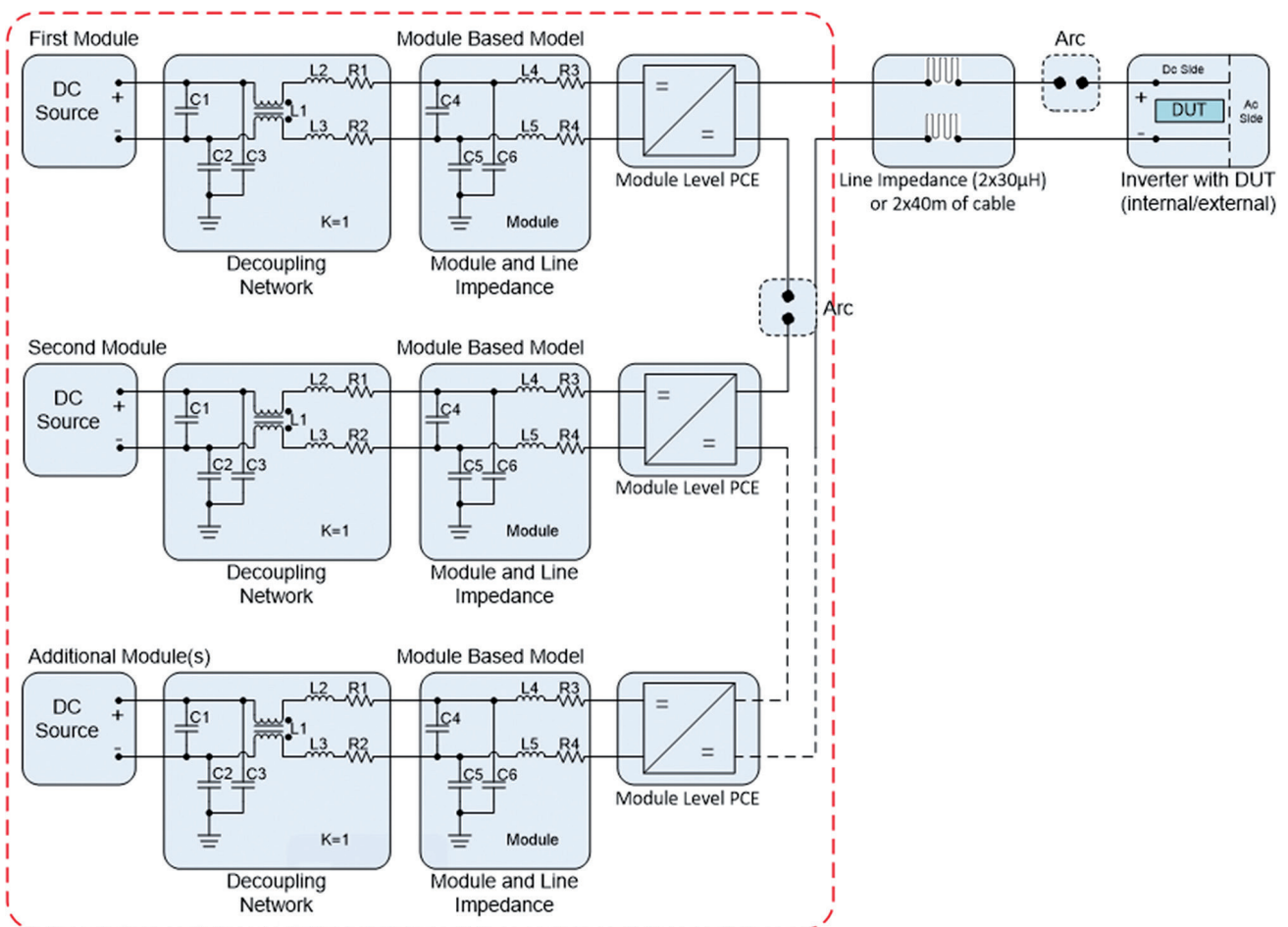
Figuur 2-2 laat zien dat de vermogensdichtheid van de vlamboog afneemt bij zowel toenemende stroom als toenemende kabellengte. Dit kan worden toegeschreven aan de parasitaire capaciteiten en inducties die horen bij de panelen en kabels in een PV-installatie. Bij grote systemen wordt het dus lastiger om het vlamboogsignaal in het frequentiedomein te onderscheiden van de achtergrondruis. Een hoge-kwaliteit vlamboogdetectiesysteem is in staat om ook bij lastige signaal-ruis verhoudingen zoals bij grote kabellengtes en hoge stromen, de vlambogen te onderscheiden.

Een optimale vlamboogdetectiesysteem toont daarbij een minimaal aantal vals-negatieve meldingen en uiteraard een maximaal aantal terecht positieve meldingen.

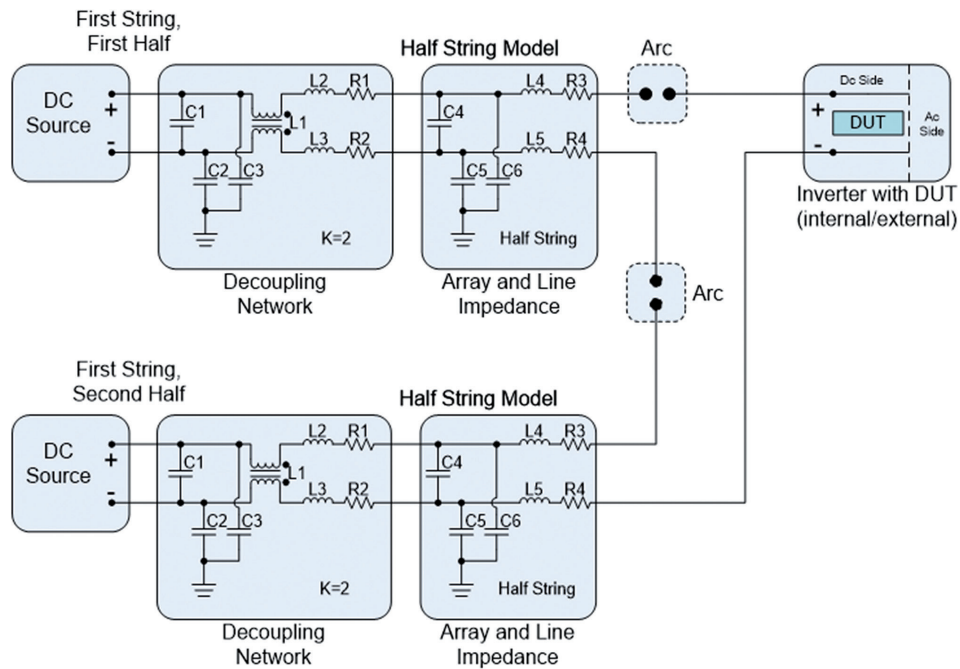


Figuur 2-2 Vlamboog vermogensdichtheid als functie van de system stroom (links) en als functie van de kabellengte (rechts)

De figuren 2-4 en 2-5 laten een equivalent netwerk zien waarmee een vlamboogdetectie kan worden getest.



Figuur 2-3 Impedantie netwerk dat een PV-systeem met vlamboog simuleert (met optimizers)



Figuur 2-4 Impedantie netwerk dat een PV-systeem met vlamboog simuleert (zonder optimizers)

2.2 Problematiek in vlamboogdetectie

Veelgebruikte vlamboogdetectie producten die vandaag in de markt beschikbaar zijn, gebruiken vooral parameters zoals spanning en stroom in het frequentiedomein, om onderscheid te kunnen maken tussen wel of geen vlamboog. Veel bestaande producten kunnen niet worden aangepast aan de condities die van toepassing zijn op de installatie ter plekke, en werken slechts met threshold settings die van toepassing waren in het R&D lab van de fabrikant. De volgende problematiek speelt hierbij een rol:

(1) Aanpasbaarheid op achtergrondruis

De achtergrondruis is locatie- en systeemspecifiek. Bij veel traditionele ingebruiknames van vlamboogdetectiesystemen wordt hier geen rekening meegehouden. Men gebruikt threshold parameters die af-fabriek zijn ingesteld of die op grond van 'ervaring' bekend zijn. Dit kan leiden tot situaties waarbij de electronica of het algoritme ten onrechte achtergrondruis aanmerkt als een vlamboog.

(2) Aanpasbaarheid op toepassing

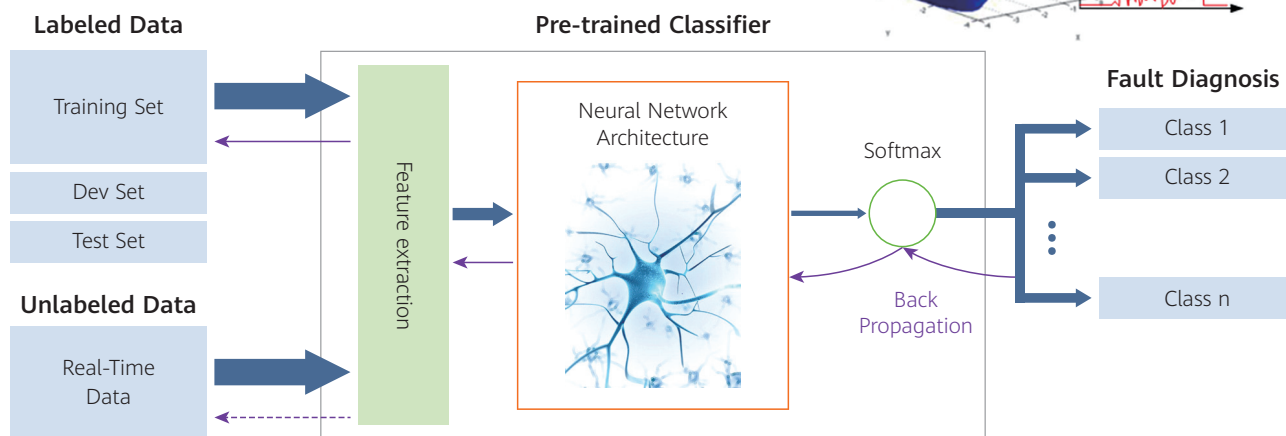
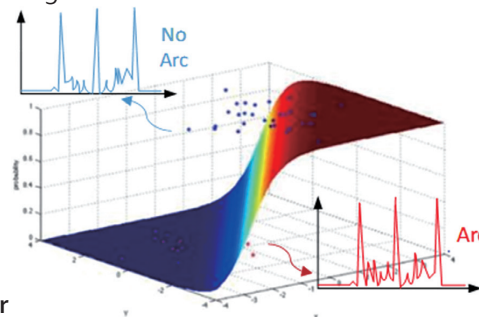
Geen PV-systeem is hetzelfde. De configuratie hangt af van het dak, het aantal zonnepanelen, het type zonnepaneel, de zonnepaneel orientatie, het aantal strings, het legplan, de kabelafstand tussen zonnepanelen-(sub)velden, de kabelafstand tot de omvormers, het type omvormer en zo meer. Daar komt bij dat ook door de tijd heen systemen in zijn algemeenheid zijn veranderd. Zonnecellen zijn in grootte toegenomen wat aan de ene kant leidt tot hogere stromen en aan de andere kant leidt tot grotere zonnepanelen. Eveneens is de systeemspanning inmiddels opgelopen tot 1500 volt. Zowel de grotere zonnepanelen als de hogere systeemspanning leiden tot grotere systemen met toegenomen kabellengte. De kabellengtes overschrijden daarbij soms de testcondities die worden voorgeschreven in normatieve documenten. Als voorbeeld: Bij een omvormer van 100kW zijn kabellengtes van meer dan 200m niet ongebruikelijk, en kan de stroom op een enkele MPPT hoger zijn dan 26A. Zowel de grote kabellengte als de hoge stroom veroorzaken een afgenomen vlamboogsignaal-achtergrondruis verhouding wat zwaardere eisen stelt aan de gevoeligheid van de detector.

2.3 Technische eigenschappen van Vlamboogdetectie in een Huawei omvormer

Door gebruik te maken van haar kennis en ervaring op het gebied van software en relevante digitale technologieën, heeft Huawei haar eigen "AI BOOST AFCI" intelligente vlamboogdetectie ontwikkeld. Deze technologie is gebaseerd op Artificiële Intelligentie (AI) en die de functionaliteit Arc Fault Current Interruption (AFCI) levert. De oplossing heeft de volgende kenmerken:

(1) De toepassing van deep-learning technieken op vlamboogdetectie, gebaseerd op de Huawei's eigen kennis en ervaring op het gebied van Artificiële Intelligentie en informatietechnologie. In tegenstelling tot gebruikelijke elektrotechnische detectiemethoden, is kunstmatige intelligentie gebaseerd op een uiterst niet-lineair rekenmodel, waarbij veel iteraties en grote hoeveelheden data tegen elkaar worden afgewogen. Door de intrinsieke verbondenheid van de vele parameters is het algoritme in staat de karakteristieken van een vlamboog te herkennen. Figuur 2.5 geeft de opbouw van het algoritme schematisch weer.

(2) Door het zelflerende karakter van de gebruikte technologie kunnen continue nieuwe en onbekende scenario's worden toegevoegd, waardoor het rekenmodel in staat is om mee te groeien met de verschillende applicaties van de producten waarin het gebruikt wordt. Dit staat in tegenstelling tot conventionele technieken, waarbij de karakterisering van de detector is vastgelegd in hardware of enkelvoudige parameters en deze dus niet in staat zijn zich aan te passen aan een nieuwe omgeving. Tabel 2-1 geeft een vergelijking van conventionele vlamboogdetectie versus Huawei's intelligente vlamboogdetectie.



Figuur 2-6 Blok-diagram van de Artificial Intelligence (AI) oplossing

Tafel 2-1 Traditionele vlamboogdetectie oplossing vs Huawei's AI BOOST vlamboogdetectie

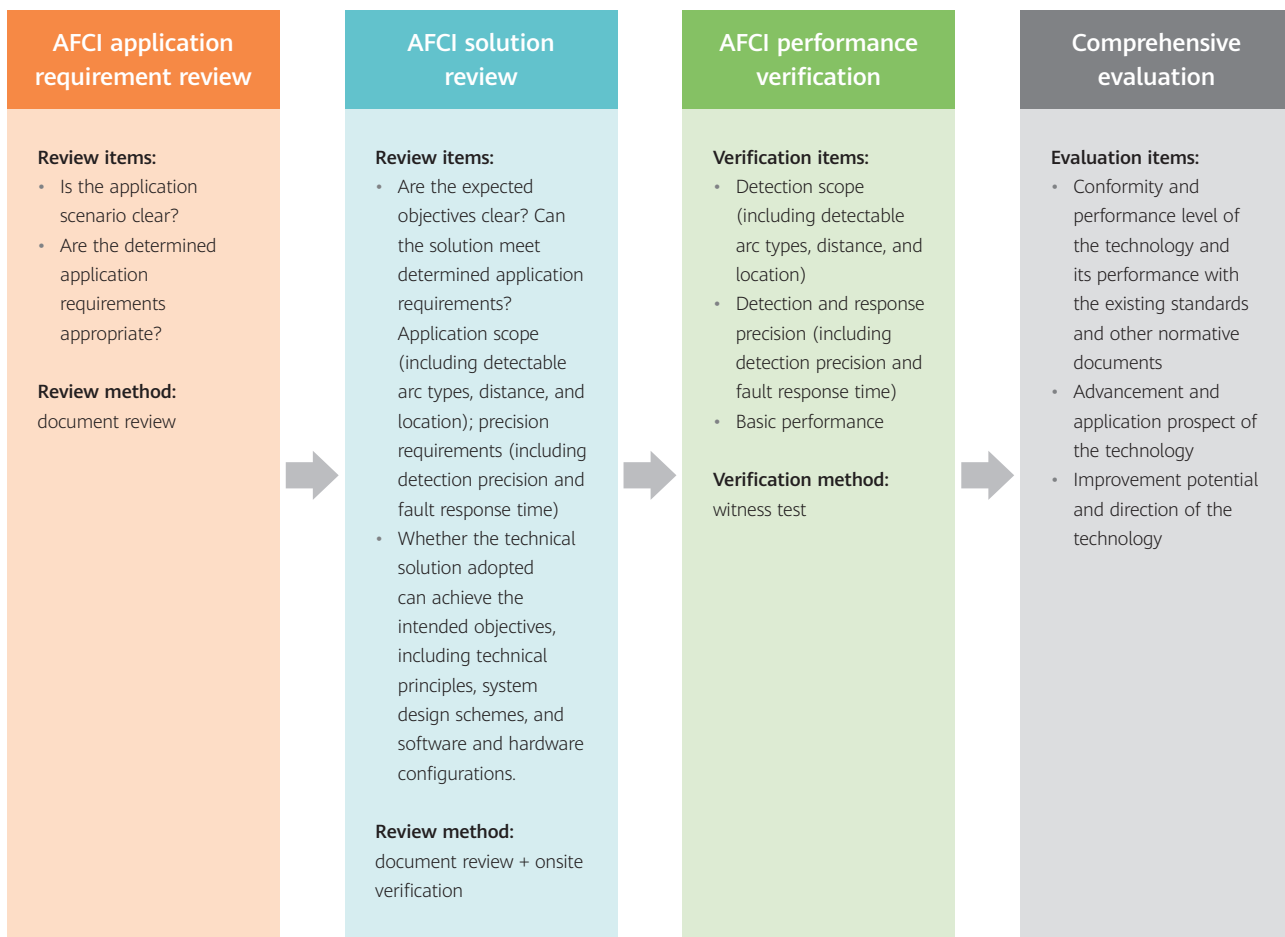
Item	Traditional Solution	Huawei's Solution
Noise adaptability	<ul style="list-style-type: none"> Likely to raise false alarms for signals with similar characteristics 	<ul style="list-style-type: none"> Can effectively distinguish between noise and arc characteristics Can avoid false alarm and missed alarm completely
Scenario adaptability	<ul style="list-style-type: none"> Supports only the input cable length (61 m) required by the certification Supports only the input current (14 A) required by the certification 	<ul style="list-style-type: none"> Supports the maximum input cable length of 200 m Supports the maximum input current of 26 A supports module-level arc fault locating when system is fully-equipped with optimizers



03

Verificatie en evaluatie

Om beter zicht te krijgen op de status en prestatie van Huawei omvormers met vlamboogdetectie heeft CGC als partner van Huawei een verificatieteam samengesteld om de vlamboogdetectie nauwkeurig te evalueren, wat heeft plaatgevonden in de periode van februari 2020 tot en met mei 2020. Figuur 3-1 geeft het verificatie- en evaluatieproces weer.



Figuur 3-1 Technisch verificatie en evaluatie proces

3.1 Verificatie van Huawei's AFCI technologie

De scope van de verificatie-studie van de vlamboogtechnologie omvatte die van commerciële en residentiële PV-systemen, omdat daar het risico van brand hoger is dan bij de grotere zon-op-land systemen.

Aangezien de kans op seriële vlambogen vele malen hoger is dan die van parallelle vlambogen en vlambogen naar de aarde was de focus van het CGC verificatieteam op de detectie van het eerst genoemde type gelegd.

Het CGC verificatieteam heeft beoordeeld dat de technische oplossing van Huawei voldoet aan de te verwachte vereisten in de omstandigheden waarin het product wordt toegepast.

De gebruikte ontwerpprincipes en de "AI BOOST AFCI" technologie hebben het vermogen om in variërende omstandigheden op een betrouwbare wijze een vlamboogsignaal van de achtergrondruis te onderscheiden en daarop te acteren.

3.2 Beoordeling van Prestaties

Momenteel bestaan enkele standaarden die kwaliteitseisen stellen aan de prestaties van vlamboogdetectie. De meeste bekende zijn de UL 1699B zoals van toepassing in de Verenigde Staten, en de IEC63027 die momenteel in drafstatus ter beoordeling ligt in Europa. De belangrijkste verschillen worden uiteengezet in tabel 3-1.

Tafel 3-1 Prestatie vereisten om te voldoen aan de UL 1699B en de IEC 63027-draft normen

Item	UL 1699B - 2011	UL 1699B - 2018	IEC 63027
Arc type	Series arc or series/parallel arc (no mandatory requirements)	Series arc	Series arc
Cable length	61 m	50 μH + 0.7 μH per meter above 80 meters	50 μH
Capacitance to ground	-	±1 nF	±1 nF
Protection threshold	Arc duration < 2s; arc energy < 750 J	Arc duration < 2.5s; arc energy < 750 J	Arc duration < 2.5s; arc energy < 750 J
Fault clearing	Manually cleared	<ol style="list-style-type: none"> Automatically cleared after a delay of 5 minutes; Manually cleared; Manual clearing required if more than five arc faults occur within 24 hours 	<ol style="list-style-type: none"> The protection device should reset automatically 3 minutes after action. When the protection device needs to reset for the second time, the automatic reset waiting time should be at least 10 minutes. If the protection device automatically has reset five times in a day, the next reset must be performed manually.

Item	UL 1699B - 2011	UL 1699B - 2018	IEC 63027
Fault location	Input side	Both input side and between PV modules	Both input side and between PV modules

Op basis van deze twee standaarden heeft CGC, in samenwerking met Huawei en andere betrokken partijen, de CGC/CF 175:2020 testspecificatie ontwikkeld. Deze specificatie omvat de eisen zoals bekend in UL 1699B:2018, maar stelt op sommige

punten zwaardere eisen. Daarnaast zijn classificaties voorgesteld om de capaciteiten van verschillende vlamboogdetectie-mechanismen in te delen. Tabel 3-2 omschrijft de belangrijkste eisen per classificatie uit CGC/CF 175:2020.

Tafel 3-2 Vlamboogdetectie prestatie-niveaus gedefinieerd in CGC/CF 175:2020

Requirements / Item	Level	L1	L2	L3	L4	L5
Types of arcs that can be detected		Series arc	Series arc	Series arc	Series arc	
Supported fault detection scope		Input side	Input side, between PV modules, and output side	Input side, between PV modules, and output side	Input side, between PV modules, and output side	
Supported system types		With or without optimizers	With or without optimizers	With or without optimizers	With or without optimizers	
Arc fault location		Cannot be located	Cannot be located	Cannot be located	Can be located	
Supported cable length		61 m	80 m	80 m (single-phase) 200 m (three-phase)	80 m (single-phase) 200 m (three-phase)	Reserved for detection scope extension
Supported maximum arc current		0.9 x I _{max}	0.9 x I _{max}	0.9 x I _{max}	I _{max}	
Arc-generated energy		750 J	650 J	600 J	500 J	
Shutdown time		2.5s	2.0s	1.5s	0.5s	
Arc detection accuracy		100%	100%	100%	100%	
Technical requirements		PV string detection	Optimizer system + 1% independent CT	>200 DMIPS (Dhrystone 2.1) high-performance CPU + 0.5% independent CT	>200 DMIPS (Dhrystone 2.1) high-performance CPU + 0.5% independent CT	

Het evaluatieteam heeft de omvormers van Huawei op lokatie getest volgens de ontwikkelde testspecificatie CGC/CF 175:2020. Tabel 3-3 geeft een overzicht van de testresultaten.

Tafle 3-3 Huawei vlamboogdetectie test-resultaten

Item	Result
Types of arcs that can be detected	Series arc
Supported fault detection scope	Input side, between PV modules, and output side
Supported system types	Applicable with optimizers
Arc fault location	Can be located
Supported cable length	80 m (single-phase) 200 m (three-phase)
Supported maximum arc current	I _{max}
Arc detection accuracy	100%
Arc-generated energy	< 500 J
Shutdown time	0.5s
Technical requirements	>200 DMIPS (Dhrystone 2.1) high-performance CPU + 0.5% independent CT + module-level arc fault locating

Op basis van de testresultaten concludeert het evaluatieteam dat:

- (1) De omvormer presteert conform de UL 1699B:2018 standaard
- (2) De omvormer behaalt klasse L4 volgens CGC/CF 175:2020

3.3 Conclusie

Sinds mei 2020 zijn over de hele wereld Huawei omvormers met vlamboogbeveiliging, Arc Fault Current Interruption (AFCI) gebaseerd op Artificieel Intelligentie (AI) technologie, geïnstalleerd. Huawei heeft deze technologie laten testen door het China General Certification Center (CGC).

Gebaseerd op de technische beoordeling en de testresultaten kan worden geconcludeerd dat Huawei omvormers



(1) presteren conform de technische eisen in UL1699B:2018 en CGC/CF 175:2020;

(2) over een volledig ontwikkelde vlamboogdetectie en DC onderbrekingstechniek beschikken die effectief kan worden ingezet om brandgevaar op complexe, dakgebonden PV-installaties te voorkomen;

(3) effectief kunnen aangeven waar een vlamboog zich heeft voorgedaan, indien optimizers worden toegepast;

(4) en de klasse L4 volgens CGC/CF 175:2020 behalen en daarmee de vereisten van de Amerikaanse norm UL1699B:2018 ruimschoots overstijgen.

Trademark Notice

 HUAWEI , HUAWEI ,  are trademarks or registered trademarks of Huawei Technologies Co., Ltd.

Other Trademarks, product, service and company names mentioned are the property of their respective owners.

General Disclaimer

The information in this document may contain predictive statement including, without limitation, statements regarding the future financial and operating results, future product portfolios, new technologies, etc. There are a number of factors that could cause actual results and developments to differ materially from those expressed or implied in the predictive statements. Therefore, such information is provided for reference purpose only and constitutes neither an offer nor an acceptance. Huawei may change the information at any time without notice.

Copyright © 2020 HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. All Rights Reserved.

No part of this document may be reproduced or transmitted in any form or by any means without prior written consent of Huawei Technologies Co., Ltd.

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.

Huawei Industrial Base

Bantian Longgang

Shenzhen 518129, P. R. China

Tel: +86-755-28780808

www.huawei.com