

Betrouwbaarheid van Enphase micro-omvormers

Inhoud

Inleiding	3
Faalcurve	3
Zuigelingensterfte mislukt	3
Slijtage	4
Schatting van slijtage	4
Eerste test	5
Tweede test	5
Gemiddelde tijd tussen storingen (MTBF)	5
Beschikbaarheid van het systeem	6
Enphase micro-omvormers hebben hoge MTBF	6
Onderdelen	6
Thermische voetafdruk	6
Behuizingsclassificatie	6
Potten	7
Conclusie	7
Herzieningsgeschiedenis	8

Inleiding

De huidige generatie Enphase micro-omvormers heeft een gemiddelde tijd tussen storingen (MTBF) van meer dan 600 jaar voor het IQ-platform. Het begrip MTBF wordt vaak verward met de verwachte levensduur van een component. Dit document beschrijft MTBF in relatie tot de levensduur van het product, kindersterfte, slijtage en de normen en technieken die worden gebruikt bij het schatten van deze storingen.

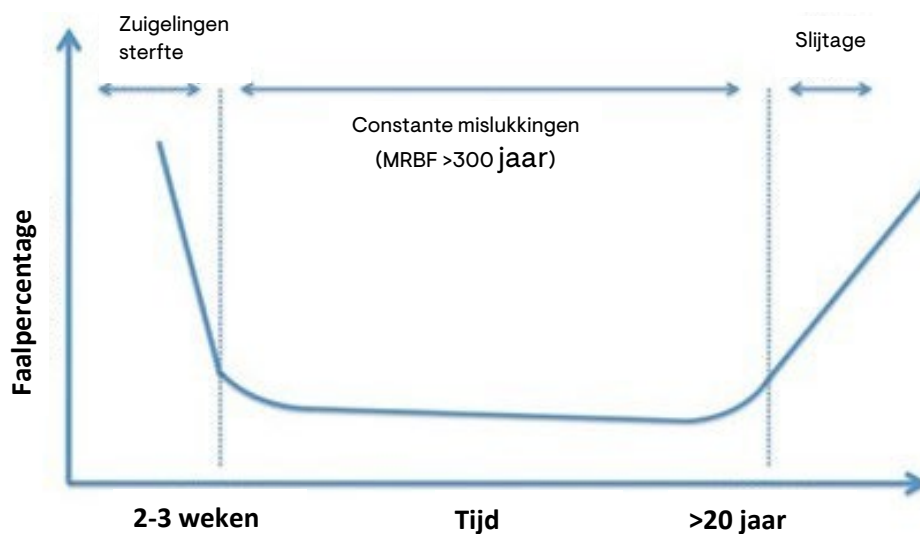
Faalcurve

Wanneer elk product in grote aantallen wordt ingezet, vertoont het tijdens zijn levensduur een karakteristieke faalkromme die lijkt op de kromme in de volgende grafiek. Dit staat bekend als de badkuipcurve vanwege de karakteristieke vorm.

De curve kan worden onderverdeeld in drie verschillende segmenten op basis van de soorten storingen:

- Vroege mislukkingen (in de industrie bekend als mislukkingen door kindersterfte)
- Constante mislukkingen
- Slijtage

De Enphase micro-omvormer vertoont ook deze typische uitvalcurve.



Zuigelingensterfte mislukt

Dit gebied van de curve vertegenwoordigt de kwaliteit van het fabricageproces en deze defecten manifesteren zich meestal zeer snel na installatie. De duur van deze periode waarin kindersterfte optreedt, wordt bepaald door veldgegevens te analyseren. In het geval van de Enphase micro-omvormer treedt kindersterfte doorgaans binnen twee tot drie weken na installatie op.

Om ervoor te zorgen dat de kindersterfte tot een minimum wordt beperkt, ondergaat elke Enphase micro-omvormer uitgebreide tests tijdens de fabricage, waaronder visuele optische inspecties, in-circuit tests, functionele tests en systeemtests. Enphase heeft op maat gemaakte teststations ontwikkeld om elke micro-omvormer aan een strenge productietestnorm te onderwerpen.

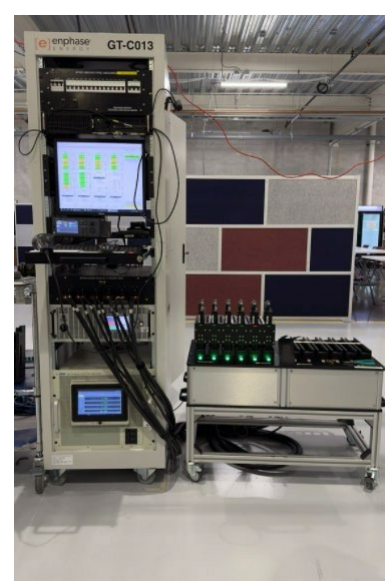
Enphase analyseert elke storing in het veld en past snelle corrigerende maatregelen toe op het al streng gecontroleerde kwaliteitsproces van de productie. Op deze manier wordt de kindersterfte continu verbeterd.



FT-D (handmatige instelling)



FT-D (handmatige instelling)



GT-C en broodrooster

Slijtage

Het slijtagemechanisme bepaalt de nuttige levensduur van een product. Slijtage veroorzaakt een toenemend aantal defecten aan het einde van de nuttige levensduur van een product. Daarom wordt de levensduur van een product bepaald door het niveau van defecten in het veld die bezwaarlijk worden voor de gebruiker en operator van het product.

Inschatting van slijtage

De Enphase micro-omvormer is ontworpen voor een levensduur van meer dan 25 jaar. Het slijtagesegment van de curve vertegenwoordigt de levensduur van de constructie en de componentkeuzes van het product voor de ontworpen gebruiksomgeving. Er zijn verschillende methoden om het begin van slijtage van een product te bepalen.

- De meest gebruikelijke methode is het observeren van mislukkingen tijdens de duur van de interesse van vorige generaties van vergelijkbare producten en de misluktingsgegevens gebruiken om de misluktingsmechanismen van het nieuwe product te modelleren.

Dit is onpraktisch voor geheel nieuwe producten met een lange levensduur, zoals de Enphase micro-omvormer met een levensduur van meer dan 25 jaar.

- De tweede methode is om het nieuwe ontwerp aan een theoretische studie te onderwerpen door de slijtage van elk onderdeel te evalueren op basis van gegevens die door onderdelenverkopers worden verstrekt.
- De derde en meest praktische methode is om het nieuwe product te onderwerpen aan een versnelde levenscyclustest (ALT), waarbij de volledige levensduur van het product in een extreem korte periode wordt nagebootst.

Enphase gebruikt de ALT-methode om slijtage te schatten. Een van de gebruikte technieken is het onderwerpen van de Enphase-micro-omvormers aan een groep extreem belastende omgevingstests zoals voorgeschreven door de testnorm IEC61215. Deze teststandaard wordt door verkopers van zonnepanelen gebruikt om de slijtageperiode van de modules te bepalen. Er werden twee belangrijke tests uitgevoerd gedurende 110 dagen, zoals aangegeven.

Tijdens deze tests werken de micro-omvormers op nominaal vermogen. De apparaten worden onderworpen aan wisselstroomwisselingen onder omgevingsbelastende omstandigheden. Een waarschuwing is dat dergelijke ALT-tests de effecten van UV-stralen op het apparaat niet simuleren. De effecten van UV op de micro-omvormer zijn niet significant, aangezien het product onder de module is geïnstalleerd en de gebruikte bedrading UV-geschikt is. Alle nieuwe Enphase-ontwerpen worden onderworpen aan deze IEC61215-tests om hun slijtage te schatten.

Eerste test

De eerste test, een vochtige warmtetest, wordt uitgevoerd gedurende 1500 uur (ongeveer 62 dagen), waarbij de micro-omvormers worden blootgesteld aan 85°C (185°F) en 85% relatieve vochtigheid. De micro-omvormers worden in werking gesteld terwijl ze aan deze omgevingsomstandigheden worden blootgesteld en hun prestaties worden tijdens deze test ter plaatse gecontroleerd.

Tweede test

De tweede test, de thermische cyclustest, wordt uitgevoerd gedurende 600 cycli waarbij micro-omvormers worden blootgesteld aan thermische omgevingscycli van 85°C (185°F)/85% RH tot -40°C (-40°F). De micro-omvormers werken terwijl ze aan deze omgevingsomstandigheden worden blootgesteld en hun prestaties worden tijdens deze test ter plaatse gecontroleerd. Deze test duurt ongeveer 75 dagen.

Gemiddelde tijd tussen storingen (MTBF)

MTBF is geen indicatie van de werkelijke levensduur van een product, maar wel van de statistische waarschijnlijkheid dat een eenheid defect raakt onder specifieke bedrijfs- en omgevingsomstandigheden tijdens de periode die door de MTBF wordt gedefinieerd.

De MTBF is gerelateerd aan het aantal defecten in het constante defectsegment van de badkuipcurve tussen het kindersterfte- en het slijtagesegment. Dit segment van de curve vertegenwoordigt de betrouwbaarheid van het ontwerp voor de gekozen bedrijfsomgeving. De MTBF-evaluatie voor Enphase micro-omvormers is theoretisch uitgevoerd volgens de richtlijnen van de *Telcordia* SR332-standaard. Deze norm wordt toegepast om de MTBF te bepalen voor telecomcommunicatieapparatuur die wordt ingezet in buitenomgevingen die vergelijkbaar zijn met de omgevingen waarin de Enphase-omvormer is geïnstalleerd.

Zoals de badkuipcurve aangeeft, als een ingezette eenheid het heeft overleefd, garandeert kindersterfte niet dat alle ingezette eenheden het zullen uithouden tot het begin van slijtage. Zoals de curve aangeeft, zal er een laag uitvalpercentage blijven tot het begin van slijtage.

Dit zijn willekeurige statistische storingen. Hoe groter het MTBF-getal, hoe minder storingen door willekeurige gebeurtenissen. Enphase Energy heeft deze willekeurige storingen geminimaliseerd door het ontwerp van de verpakking, het thermisch beheer en door de halfgeleidertechnologie sterk te integreren in het ontwerp van de micro-omvormer.

Het concept MTBF wordt vaak verward met de verwachte levensduur van een component, maar deze concepten zijn niet hetzelfde. Een batterij kan bijvoorbeeld een nuttige levensduur hebben van vier uur en een MTBF van 100.000 uur. Deze cijfers geven aan dat in een populatie van 100.000 batterijen er ongeveer elk uur een batterij kapot gaat gedurende de levensduur van vier uur.¹

¹Grondbeginselen van hoge beschikbaarheid - Sun Microsystems, Inc.

De MTBF-waarde van de Enphase micro-omvormer van meer dan 600 jaar moet worden vergeleken met de MTBF-waarden van andere gangbare apparaten en zonne-energieapparatuur:

Apparaat	MTBF
Traditionele centrale of stringomvormer	10–15 jaar
Schijfstation in een personal computer	57 jaar
Enphase micro-omvormer	600 jaar
Zonnepaneel/module	>600 jaar
Solid-state geheugen (gebruikt in computers)	800–1000 jaar

De MTBF van de Enphase micro-omvormer is vergelijkbaar met die van zonnepanelen. Een gerespecteerd bedrijf dat betrouwbaarheidstests uitvoert voor organisaties als Boeing en het Amerikaanse leger heeft vastgesteld dat de MTBF van de Enphase micro-omvormer meer dan 300 jaar is.

Beschikbaarheid van het systeem

Het Enphase micro-omvormersysteem elimineert het enkelvoudige storingspunt dat het gevolg is van het gebruik van een centrale of string-omvormer. Aangezien alle PV-modules en bijbehorende micro-omvormers parallel zijn aangesloten en elk van deze paren als onafhankelijke energieproducent werkt, heeft het uitvallen van één module of micro-omvormer geen invloed op de prestaties van de rest van de modules. Hoewel er in elke installatie meer omvormers zijn dan bij één centrale of stringomvormer, zorgt de hoge MTBF van elk van de micro-omvormers, in combinatie met de parallelle aansluiting, voor een zeer hoge systeembeschikbaarheid. In grote commerciële systemen is door middel van simulatie aangetoond dat een systeembeschikbaarheid van meer dan 99,8 procent haalbaar is, vergeleken met 95 tot 97 procent voor een centrale of stringomvormer.

Enphase micro-omvormers hebben een hoge MTBF

De gedistribueerde architectuur van het Enphase micro-omvormersysteem vormt de basis voor verschillende ontwerpkenmerken die een hoge betrouwbaarheid mogelijk maken:

Onderdelen

In tegenstelling tot traditionele omvormers die vele kilowatts vermogen verwerken bij zeer hoge DC-ingangsspanningen, verwerken Enphase micro-omvormers lage vermogenshoeveelheden bij lage DC-ingangsspanningen, waardoor de componenten minder worden belast. Bovendien maakt het verwerken van lage stroomhoeveelheden een hoge mate van halfgeleiderintegratie mogelijk, waardoor het aantal componenten drastisch wordt verminderd. Halfgeleidercomponenten hebben een extreem hoge betrouwbaarheid.

Thermische voetafdruk

Enphase micro-omvormers verwerken slechts een klein deel van het vermogen van de volledige PV-generator. De interne temperatuurstijging voor een enkele micro-omvormer is relatief klein. Deze vermindering van thermische cycli en passieve koeling in plaats van een koelventilator zorgen voor een aanzienlijke vermindering van de belasting van de componenten.

Behuizingsclassificatie

De Enphase micro-omvormer is geclassificeerd volgens NEMA 6. De test voor NEMA 6 houdt in dat de eenheid wordt ondergedompeld onder een meter water en 24 uur moet werken. Traditionele omvormers zijn doorgaans geclassificeerd volgens NEMA 3R, waarin stof, buitenlucht, water en mogelijk insecten kunnen binnendringen. Transformatoren hebben een NEMA 3R classificatie). Een NEMA 6-classificatie garandeert dat het apparaat hermetisch afgesloten is tegen binnendringing van buitenaf.

Oppotten

De Enphase M190 Microinverter is een ingegoten ontwerp. Dit betekent dat de interne kamer van de behuizing is gevuld met een inkapselende samenstelling. Dit verlengt de levensduur van het apparaat door verbeterde warmteafvoer en bescherming van de onderdelen.

De belangrijke metriek is om theoretische voorspellingen te verifiëren met uitvalpercentages in de praktijk. De Enphase micro-omvormer kan zijn prestatiegegevens doorsturen naar de Enphase-servers. Enphase bewaakt deze prestaties voortdurend en gebruikt ze om de uitvalpercentages in de praktijk te bevestigen met theoretische voorspellingen.

Conclusie

Gezien de negatieve gevolgen van de historisch hoge uitvalpercentages van omvormers voor installateurs en klanten in de zonne-energiesector, ontwikkelde Enphase een nieuwe micro-omvormertechnologie met een ongeëvenaarde betrouwbaarheid. Enphase beschouwde MTBF als een van de belangrijkste maatstaven om de betrouwbaarheid te voorspellen. Enphase implementeerde testmethodologieën die worden gebruikt in de telecommunicatie-industrie (die enkele van de hoogste beschikbaarheidsnormen ter wereld heeft) en investeerde zwaar in de ontwikkeling van gespecialiseerde testapparatuur om deze extra strenge normen te ondersteunen.

Het resultaat van deze focus op betrouwbaarheid is een omvormertechnologie die een grootte verbetering in MTBF laat zien ten opzichte van bestaande omvormertechnologie. Deze verbetering is mogelijk gemaakt door de integratie van halfgeleidertechnologie, door de milieublootstelling van de componenten te beheersen en door de thermische elementen nauwkeurig te beheren. Enphase blijft zich richten op het verbeteren van de betrouwbaarheid met elke opeenvolgende generatie omvormers om een MTBF van 600 jaar te bereiken, vergelijkbaar met PV-module.

Herzieningsgeschiedenis

Herziening	Datum	Beschrijving
TEB-00102-1.0	December 2023	Eerste uitgave.