

Niezawodność mikroinwerterów Enphase

Zawartość

Wprowadzenie.....	3
Krzywa awarii.....	3
Niepowodzenia w zakresie awarii wieku dziecięcego	3
Zużycie	4
Szacowanie zużycia	4
Pierwszy test	5
Drugi test.....	5
Średni czas między awariami (MTBF).....	5
Dostępność systemu	6
Mikroinwertery Enphase charakteryzują się wysokim MTBF	7
Komponenty	7
Ślad termiczny.....	7
Klasyfikacja obudowy.....	7
Budowa mikroinwertera	7
Wnioski	8
Historia zmian	9

Wprowadzenie

Obecna generacja mikroinwerterów Enphase charakteryzuje się średnim czasem międzyawaryjnym (MTBF) wynoszącym ponad 600 lat dla platformy IQ. Pojęcie MTBF jest często mylone z oczekiwanym okresem użytkowania komponentu. Niniejszy dokument opisuje MTBF w odniesieniu do okresu użytkowania produktu, okresu chorób dziecięcych, zużycia oraz standardów i technik stosowanych do szacowania tych awarii.

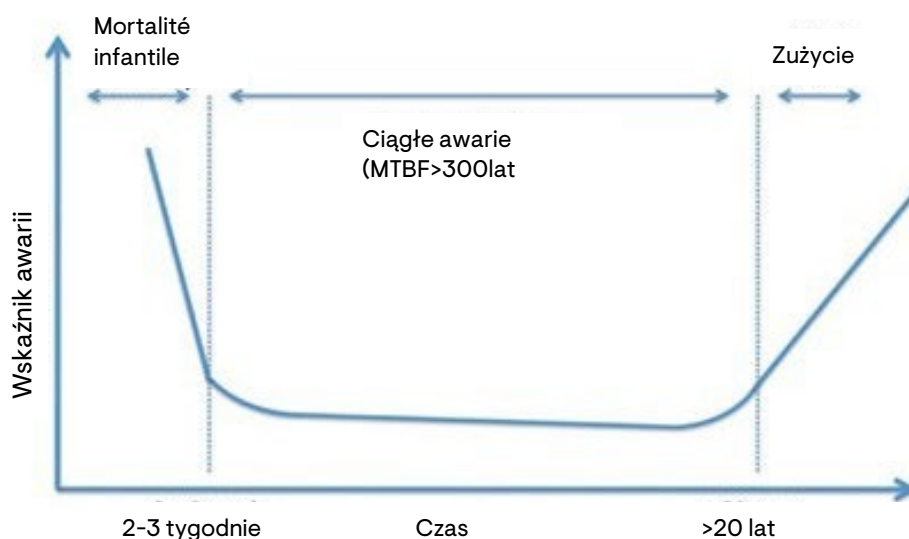
Krzywa awarii

W przypadku wdrożenia dużej liczby produktów, każdy produkt wykazuje charakterystyczną krzywą awarii w całym okresie użytkowania, podobną do tej przedstawionej na poniższym wykresie. Jest ona znana jako krzywa wannowa ze względu na jej charakterystyczny kształt.

Krzywą można podzielić na trzy różne segmenty w zależności od rodzaju awarii:

- Wczesne awarie (znane w branży jako awarie wieku dziecięcego)
- Ciągłe awarie
- Zużycie

Mikroinwerter Enphase również wykazuje tę typową krzywą awarii.



Niepowodzenia w zakresie awarii wieku dziecięcego

Ten obszar krzywej reprezentuje jakość procesu produkcyjnego, a te awarie zwykle objawiają się bardzo szybko po instalacji. Czas trwania tego okresu, w którym występuje awaria wieku dziecięcego, jest ustalany na podstawie analizy danych terenowych. W przypadku mikroinwerterów Enphase awaria wieku dziecięcego występuje zazwyczaj w ciągu dwóch do trzech tygodni od instalacji.

Aby zminimalizować powyższe awarie, każdy mikroinwerter Enphase przechodzi szeroko zakrojone testy podczas produkcji, w tym wizualne kontrole optyczne, testy w obwodzie,

testy funkcjonalne i testy systemowe. Firma Enphase opracowała niestandardowe stacje testowe, aby poddać każdy mikroinwerter rygorystycznym standardom testów produkcyjnych.

Enphase analizuje każdą awarię w terenie i stosuje szybkie działania naprawcze w już ściśle kontrolowanym procesie jakości produkcji. W ten sposób stale poprawiają się awarie wieku dziecięcego.



FT-D (konfiguracja ręczna)



FT-D (konfiguracja ręczna)



GT-C i tester

Zużycie

Mechanizm zużycia określa okres użytkowania każdego produktu. Zużycie powoduje wzrost wskaźnika awaryjności pod koniec okresu użytkowania produktu. W związku z tym żywotność produktu jest określana przez poziom awarii w terenie, które stają się niepożądane dla użytkownika i operatora produktu.

Szacowanie zużycia

Mikroinwerter Enphase został zaprojektowany na okres eksploatacji wynoszący ponad 25 lat. Segment krzywej zużycia reprezentuje trwałość konstrukcji i wybranych komponentów produktu dla zaprojektowanego środowiska pracy. Istnieją różne metody określania początku zużycia produktu.

- Najpopularniejszą metodą jest obserwacja awarii w okresie zainteresowania poprzednich generacji podobnych produktów i wykorzystanie danych dotyczących awarii do modelowania mechanizmów awarii nowego produktu.

Jest to niepraktyczne w przypadku całkowicie nowych produktów o długiej żywotności, takich jak mikroinwerter Enphase, którego żywotność ma wynosić ponad 25 lat.

- Drugą metodą jest poddanie nowego projektu badaniu teoretycznemu poprzez ocenę zużycia każdego komponentu w oparciu o dane dostarczone przez dostawców komponentów.

- Trzecią i najbardziej praktyczną metodą jest poddanie nowego produktu przyspieszonemu testowi cyklu życia (ALT), który symuluje cały okres użytkowania produktu w niezwykle krótkim czasie.

Enphase wykorzystuje metodę ALT do szacowania zużycia. Jedną z zastosowanych technik jest poddanie mikroinwerterów Enphase grupie ekstremalnie obciążających testów środowiskowych zgodnie z normą testową znaną jako IEC61215. Ten standard testowy jest wykorzystywany przez sprzedawców modułów słonecznych do określania okresu zużycia modułów. Jak wspomniano, dwa kluczowe testy przeprowadzono w ciągu 110 dni.

Podczas tych testów mikroinwertery pracują z mocą znamionową. Urządzenia są poddawane cyklowi zasilania AC/DC w warunkach stresu środowiskowego. Należy pamiętać, że testy ALT nie symulują wpływu promieniowania UV na urządzenie. Wpływ promieniowania UV na mikroinwerter nie jest znaczący, ponieważ produkt jest zainstalowany pod modułem, a zastosowane okablowanie jest odporne na promieniowanie UV. Wszystkie nowe konstrukcje Enphase są poddawane testom IEC61215 w celu oszacowania ich zużycia.

Pierwszy test

Pierwszy test, test wilgotnego ciepła, jest przeprowadzany przez 1500 godzin (około 62 dni), gdzie mikroinwertery są poddawane działaniu temperatury 85°C (185°F) i wilgotności względnej 85%. Mikroinwertery pracują w takich warunkach środowiskowych, a ich wydajność jest monitorowana na miejscu podczas tego testu.

Drugi test

Drugi test, zwany testem cyklu termicznego, jest przeprowadzany przez 600 cykli, w których mikroinwertery są poddawane cyklowi środowiska termicznego od 85°C (185°F)/85% RH do -40°C (-40°F). Mikroinwertery pracują w takich warunkach środowiskowych, a ich wydajność jest monitorowana na miejscu podczas testu. Test ten trwa około 75 dni.

Średni czas między awariami (MTBF)

MTBF nie jest wskaźnikiem rzeczywistej żywotności produktu, ale jest wskaźnikiem statystycznego prawdopodobieństwa, że urządzenie ulegnie awarii w określonych warunkach operacyjnych i środowiskowych w okresie określonym przez MTBF.

Współczynnik MTBF jest powiązany ze wskaźnikiem awaryjności w segmencie stałej awaryjności części krzywej wanny pomiędzy segmentami awarii wieku dziecięcego i zużycia. Ten segment krzywej reprezentuje niezawodność projektu dla wybranego środowiska pracy. Ocena MTBF dla mikroinwerterów Enphase została przeprowadzona zgodnie z wytycznymi standardu *Telcordia SR332*. Norma ta jest stosowana do określania MTBF dla sprzętu telekomunikacyjnego wdrażanego w środowiskach zewnętrznych podobnych do tych, w których zainstalowany jest falownik Enphase.

Jak wskazuje krzywa wannowa, jeśli wdrożona jednostka przetrwała okres awarii wieku dziecięcego nie gwarantuje, że wszystkie jednostki będą działać do momentu zużycia. Jak wskazuje krzywa, do momentu zużycia będzie utrzymywał się niski wskaźnik awarii.

Są to losowe awarie statystyczne. Im większy współczynnik MTBF, tym mniej awarii spowodowanych zdarzeniami losowymi. Firma Enphase Energy zminimalizowała te przypadkowe awarie dzięki konstrukcji opakowania, zarządzaniu temperaturą i znacznemu zintegrowaniu technologii półprzewodnikowej z konstrukcją mikroinwertera.

Pojęcie MTBF jest często mylone z oczekiwanym okresem użytkowania komponentu, ale pojęcia te nie są tożsame. Na przykład, żywotność baterii może wynosić cztery godziny, a MTBF 100 000 godzin. Liczby te wskazują, że w populacji 100 000 baterii co godzinę będzie występować około jedna awaria baterii w ciągu jej czterogodzinnego okresu eksploatacji.¹

Aby spojrzeć na współczynnik MTBF mikroinwertera Enphase wynoszący ponad 600 lat, należy porównać go w kontekście współczynników MTBF dla innych popularnych urządzeń i sprzętu solarnego:

Urządzenie	MTBF
Tradycyjny falownik centralny lub stringowy	10–15 lat
Dysk twardy w komputerze osobistym	57 lat
Mikroinwerter Enphase	600 lat
Moduł fotowoltaiczny	>600 lat
Pamięć półprzewodnikowa (używana w komputerach)	800–1000 lat

Współczynnik MTBF mikroinwerterów Enphase jest podobny do modułów fotowoltaicznych. Szanowana firma zajmująca się inżynierią niezawodności, która testuje niezawodność dla organizacji takich jak Boeing i wojsko USA, ustaliła, że MTBF mikroinwertera Enphase wynosi ponad 300 lat.

Dostępność systemu

System mikroinwerterów Enphase eliminuje pojedynczy punkt awarii wynikający z zastosowania falownika centralnego lub łańcuchowego. Ponieważ wszystkie moduły fotowoltaiczne i powiązane z nimi mikroinwertery są połączone równolegle, a każda z tych par działa jako niezależny producent energii, awaria pojedynczego modułu lub mikroinwertera nie wpływa na wydajność pozostałych modułów. Chociaż w każdej instalacji znajduje się więcej falowników niż w przypadku pojedynczego falownika centralnego lub łańcuchowego, wysoki współczynnik MTBF każdego z mikroinwerterów w połączeniu z połączeniem równoległym zapewnia bardzo wysoki poziom dostępności systemu. W dużych systemach komercyjnych wykazano za pomocą symulacji, że można osiągnąć dostępność systemu większą niż 99,8% w porównaniu do 95–97% w przypadku falownika centralnego lub łańcuchowego.

¹Podstawy wysokiej dostępności – Sun Microsystems, Inc

Mikroinwertery Enphase charakteryzują się wysokim MTBF

Rozproszona architektura systemu mikroinwerterów Enphase stanowi podstawę dla różnych cech konstrukcyjnych, które zapewniają wysoką niezawodność:

Komponenty

W przeciwieństwie do tradycyjnych falowników, które przetwarzają wiele kilowatów mocy przy bardzo wysokim napięciu wejściowym DC, mikroinwertery Enphase przetwarzają niewielkie ilości mocy przy niskim napięciu wejściowym DC, zmniejszając w ten sposób obciążenie podzespołów. Ponadto, przetwarzanie niewielkich ilości energii umożliwia wysoki stopień integracji półprzewodników, co znacznie zmniejsza liczbę komponentów. Komponenty półprzewodnikowe charakteryzują się niezwykle wysoką niezawodnością.

Ślad termiczny

Mikroinwertery Enphase przetwarzają tylko niewielką część mocy całego systemu fotowoltaicznego. Wzrost temperatury wewnętrznej pojedynczego mikroinwertera jest stosunkowo niewielki. To ograniczenie cykli termicznych i pasywne chłodzenie zamiast wentylatora chłodzącego znacznie zmniejsza obciążenie podzespołów.

Klasyfikacja obudowy

Mikroinwerter Enphase jest zgodny z normą NEMA 6. Test NEMA 6 polega na zanurzeniu urządzenia pod wodą na głębokość jednego metra i zapewnieniu jego działania przez 24 godziny. Tradycyjne falowniki są zazwyczaj zgodne z normą NEMA 3R, która pozwala na wnikanie kurzu, powietrza zewnętrznego, wody i ewentualnie owadów (tj. montaż na podkładce). Transformatory mają klasę NEMA 3R. Klasyfikacja NEMA 6 zapewnia hermetyczne uszczelnienie urządzenia przed ingerencją środowiska.

Budowa mikroinwertera

Enphase M190 Microinverter ma konstrukcję doniczkową. Oznacza to, że wewnętrzna komora obudowy jest wypełniona związkami hermetyzującym. Wydłuża to żywotność urządzenia dzięki lepszemu rozpraszaniu ciepła i ochronie podzespołów.

Ważną miarą jest weryfikacja przewidywań teoretycznych ze wskaźnikami awarii w terenie. Mikroinwerter Enphase może przysyłać swoje dane dotyczące wydajności do serwerów Enphase. Enphase stale monitoruje tę wydajność i wykorzystuje ją do potwierdzenia wskaźników awaryjności w terenie z przewidywaniami teoretycznymi.

Wnioski

Biorąc pod uwagę negatywny wpływ historycznie wysokich wskaźników awaryjności falowników na instalatorów i klientów w branży PV, firma Enphase opracowała nową technologię mikroinwerterów, która charakteryzuje się niezrównaną niezawodnością. Firma Enphase uznała MTBF za jeden z kluczowych wskaźników służących do przewidywania niezawodności. Firma Enphase wdrożyła metodologie testowe stosowane w branży telekomunikacyjnej (która ma jedno z najwyższych standardów dostępności na świecie) i zainwestowała znaczne środki w opracowanie specjalistycznego sprzętu testowego do obsługi tych wyjątkowo rygorystycznych standardów.

Rezultatem tej koncentracji na niezawodności jest technologia falowników, która wykazuje o rząd wielkości lepszy MTBF w porównaniu z istniejącą technologią falowników. Poprawa ta była możliwa dzięki integracji technologii półprzewodnikowej, kontrolowaniu ekspozycji komponentów na warunki środowiskowe oraz precyzyjnemu zarządzaniu elementami termicznymi. Enphase nadal koncentruje się na poprawie niezawodności z każdą kolejną generacją falowników, aby osiągnąć MTBF na poziomie 600 lat, porównywalny z modułami fotowoltaicznymi.

Historia zmian

Rewizja	Data	Opis
TEB-00103-1.0	Marsz 2024	Pierwsze wydanie.