

# Testy zgodności funkcji zdalnego sterowania przekształtnika (TC – Test Case) z wykorzystaniem specyfikacji SunSpec dla modeli serii 700

## 1 Zakres i cel dokumentu

Dokument definiuje minimalny zakres testów, które powinny być przeprowadzone w procesie weryfikacji zgodności funkcji zdalnego sterowania przekształtnika z wymaganiami zdefiniowanymi w Wymogach Ogólnego Stosowania wynikających z Rozporządzenia Komisji (UE) 2016/631 z maja 2025 r. (WOS 2025) przy wykorzystaniu specyfikacji SunSpec oraz komunikacji Modbus.

Zakres badań obejmuje:

- identyfikację i enumerację modeli SunSpec,
- weryfikację poprawności implementacji modeli sterujących,
- weryfikację funkcji zaprzestania wprowadzania mocy czynnej do sieci,
- weryfikację funkcji redukcji mocy czynnej,
- potwierdzenie poprawności adresacji rejestrów Modbus, zgodnie z mechanizmem wyszukiwania modeli SunSpec.

## 2 Podstawa i cel testów

Celem testów jest:

- Potwierdzenie poprawnej implementacji modeli SunSpec w testowanym inwerterze, w zakresie testowanych funkcji,
- Weryfikacja poprawności wyszukiwania modeli SunSpec, obejmująca wyszukanie znacznika „SunS”, enumeracji modeli oraz identyfikację modelu końcowego END (ID = 65535),
- Potwierdzenie poprawnej realizacji funkcji sterowania zdalnego za pomocą komunikacji Modbus,
- Ocena skuteczności realizacji poleceń sterujących dotyczących zaprzestania generacji oraz ograniczenia mocy czynnej.

## 3 Definicje

1	Przekształtnik	Przekształtnik, <i>ang. Inverter</i> (INV) – urządzenie energoelektroniczne posiadające zdolność przekształcania określonych parametrów energii elektrycznej.
2	Przekształtnik testowany	Przekształtnik objęty procesem badań i oceny, w zakresie działania funkcji sterowania zdalnego w warunkach odzwierciedlających warunki rzeczywiste, określanej na podstawie reakcji urządzenia /odpowiedzi na wydawane polecenia sterujące.
3	Moc znamionowa odniesienia	$P_{n\_INV}$ – znamionowa moc czynna przekształtnika stanowiąca wartość odniesienia dla kryteriów oceny.
4	Stan ustalony	Tu_min. – okres czasu, w którym należy sprawdzić/potwierdzić utrzymywanie się mocy w wymaganym przedziale (patrz. Kryterium redukcji mocy czynnej, definicja p 3.7), aby uznać, że parametry wyjściowe dla zadanej pracy (nastawy) są stabilne. Tu_min. $\geq$ 120 min
5	Kryterium zaprzestania generacji	Warunek spełniony, gdy: $P < 1\% P_{n\_INV}$

6	Oczekiwana moc czynna	Wartość mocy czynnej nastawionej $P_{set}$ , która odpowiada wartości mocy oczekiwanej na wyjściu przekształtnika po aktywacji ograniczenia. $P_{set} = (X/100) \cdot P_{n\_INV}$
7	Kryterium redukcji mocy czynnej	Warunek spełniony, gdy: $P_{after} \in < X\%P_{n\_INV} \pm TOL >$ X – zadana wartość ograniczenia mocy, TOL =: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,5% dla mocy <math>&gt; 75\%P_n</math>; (<math>X &gt; 75</math>)</li> <li>• 1% dla mocy <math>\in &lt; 50\%P_n, 75\%P_n &gt;</math>; (<math>X = 50 \div 75</math>)</li> <li>• 1,5% dla mocy <math>&lt; 50\%P_n</math>; (<math>X &lt; 50</math>)</li> </ul>
8	TOL	Maksymalna dopuszczalna tolerancja dla wartości nastawy urządzenia. Wymaga się, aby rzeczywista wartość na wyjściu przekształtnika nie różniła się od wartości nastawionej o wartość większą niż TOL (wartość TOL została podana w definicji 7)
9	Odczyt zwrotny (read-back)	Odczyt wartości rejestru po wykonaniu operacji zapisu, wykorzystywany do potwierdzenia poprawnego przyjęcia komendy sterującej.
10	Wzorcowanie	Proces weryfikacji przyrządu, urządzenia lub maszyny pomiarowej w celu określenia jego rzeczywistej dokładności pomiarowej, realizowany przez GUM lub akredytowane (przez PCA lub równoważną jednostkę akredytującą z terenu UE) laboratorium wzorcujące posiadające w swoim zakresie akredytacji rodzaj urządzenia, które jest wzorcowane. Wzorcowanie odbywa się w oparciu o wymagania normy EN ISO/IEC 17025 i kończy się poświadczeniem dokładności w świadectwie wzorcowania. Wymaga się, aby świadectwo wzorcowania przyrządu, urządzenia lub maszyny pomiarowej było ważne na dzień wykonywania testów i badań.
11	Uchyb pomiarowy	pole tolerancji odzwierciedlające maksymalną wartość niepewności pomiarowej, wynikające z dokładności pomiarowej zastosowanych urządzeń i zastosowanej metodologii pomiaru. Wymaga się, aby uchyb pomiarowy $\leq 1,0\%$ .

## 4 Warunki wstępne

### 4.1 Dokumentacja wymagana od producenta

#### 4.1.1 PICS (Protocol Implementation Conformance Statement) zawierający:

- deklarację implementacji SunSpec serii 700,
- typ interfejsu (RTU),
- adres początkowy SunS,
- listę zaimplementowanych modeli (ID, Length), w szczególności modeli 703, 704, – zgodnie z deklaracją producenta,
- zakres implementacji,
- prawa dostępu RW/RO (odczyt i zapis/ tylko do odczytu),
- opis modeli niestandardowych producenta,
- informację, które punkty modelu 704 są zaimplementowane, w szczególności:
- WMaxLimPct, WMaxLimPctEna, a jeśli występują także: WSet, WSetPct, WSetEna, WSetMod,
- informację, czy zaimplementowany jest model 703 Enter Service z punktem ES,

- parametry transmisji RS485: prędkość transmisji, parzystość, liczba bitów danych, liczba bitów stopu, adres Slave Modbus.

#### 4.1.2 Dokumentacja techniczna urządzenia zawierająca:

- zasady podłączenia,
- konfigurację komunikacji,
- parametry znamionowe urządzenia,
- warunki pracy wymagane podczas testów.

#### 4.2 Wymagania komunikacyjne

Dostęp do komunikacji RS-485, poprawna konfiguracja parametrów komunikacyjnych, stabilna komunikacja z urządzeniem. W przypadku przekształtnika typu mikro-inwerter, gdy nie został on wyposażony w moduł komunikacyjny, wymaga się, aby badanie zostało przeprowadzone w układzie z dedykowaną przystawką rozszerzającą komunikację.

#### 4.3 Warunki pracy inwertera

Przed rozpoczęciem testów inwerter powinien pracować stabilnie, tj. utrzymywać stabilną generację mocy czynnej na poziomie 10%  $P_{n\_INV}$ , przez co najmniej 60 s.

#### 4.4 Minimalne wyposażenie stanowiska testowego obejmujące:

1. Przekształtnik testowany,
2. Źródło DC lub emulator PV,
3. Przyrząd pomiarowy wzorcowany (wzorcowany w zakresie posiadanej akredytacji przez akredytowaną jednostkę pomiarową lub uprawniony podmiot z zachowaniem spójności pomiarowej w wymaganym zakresie), dla weryfikacji kryteriów mocy ( $P < 1\% P_n$ ,  $P \approx X\% P_n$ ),
4. Oprogramowanie testowe komunikujące się z inwerterem poprzez Modbus RS-485 zapewniające:
  - poprawny odczyt i zapis rejestrów Modbus zgodnie z mapą SunSpec,
  - właściwą realizację odczytu zwrotnego po zapisie rejestrów sterujących,
  - rejestrację przebiegów mocy czynnej z wykorzystaniem pomiaru mocy w inwerterze (model SunSpec ID701.W/ID 702.W/ID 703.W),
  - archiwizację logów komunikacyjnych.

### 5 Scenariusze testowe – identyfikacja modeli SunSpec

#### 5.1 TC-COM-01 – Wykrycie znacznika startowego SunSpec („SunS”)

5.1.1 Cel: Potwierdzenie dostępności mapy SunSpec pod standardowym adresem początkowym.

5.1.2 Warunki wstępne: skonfigurowane połączenie Modbus z inwerterem.

5.1.3 Kroki testowe

1. Zweryfikować obecność znacznika ASCII „SunS” pod jednym ze standardowych adresów początkowych (0, 40000 lub 50000).
2. Zidentyfikować adres początkowy, pod którym wykryto znacznik „SunS”.

5.1.4 Kryterium zaliczenia: znacznik „SunS” został wykryty pod jednym ze standardowych adresów początkowych.

5.1.5 W przypadku niewykrycia znacznika ‘SunS’ pod żadnym z adresów standardowych (0, 40000, 50000), test TC-COM-01 kończy się wynikiem negatywnym i dalsza procedura badawcza nie jest kontynuowana. Wynik jest rejestrowany w protokole, jako negatywny z opisem obserwowanego zachowania urządzenia.

## 5.2 TC-COM-02 – Enumeracja modeli SunSpec do modelu END (ID = 65535)

5.2.1 Cel: Weryfikacja poprawności organizacji modeli SunSpec oraz obecności modelu końcowego END.

5.2.2 Warunki wstępne: wykonano test TC-COM-01, znany adres początkowy SunSpec.

5.2.3 Kroki testowe

1. Odczytać wartości Model ID oraz Length pierwszego modelu.
2. Wyznaczyć adres kolejnego modelu zgodnie z regułą enumeracji modeli SunSpec.
3. Powtarzać procedurę do momentu wykrycia modelu END (ID = 65535).
4. Zarejestrować listę modeli zawierającą: Model ID, Length, adres bazowy modelu.

5.2.4 Kryterium zaliczenia: model END (ID = 65535) jest obecny, długość modelu END wynosi 0, lista modeli została poprawnie zarejestrowana, zgodność listy modeli i adresów bazowych z dokumentacją dostarczoną przez producenta.

## 5.3 TC-COM-03 – Weryfikacja modelu SunSpec ID = 703 „Enter Service”

5.3.1 Cel: weryfikacja obecności oraz zgodności implementacji modelu SunSpec ID = 703 z deklaracją producenta zawartą w dokumencie PICS. Model 703 obejmuje funkcję Permit Enter Service (ES) i powiązane progi/timery wejścia do pracy.

5.3.2 Warunki wstępne: wykonano test TC-COM-02, dostępny dokument PICS.

5.3.3 Kroki testowe:

1. Zlokalizować model ID = 703.
2. Zanotować: adres bazowy modelu, długość modelu, wersję modelu (jeżeli dostępna).
3. Zweryfikować poprawność parametrów modelu z deklaracją producenta.
4. Potwierdzić dostępność punktów sterowania: ES, ESDlyTms, ESRndTms, ESRmpTms.

5.3.4 Kryterium zaliczenia: model ID = 703 jest obecny, parametry modelu zgodne z deklaracją PICS.

## 5.4 TC-COM-04 – Weryfikacja modelu SunSpec ID = 704 „DER AC Controls”

5.4.1 Cel: weryfikacja obecności oraz zgodności implementacji modelu SunSpec ID = 704 z deklaracją producenta zawartą w dokumencie PICS. Model 704 zawiera funkcje sterowania mocą czynną i bierną, w tym punkty WMaxLimPct, WMaxLimPctEna oraz opcjonalnie WSet/WSetPct/WSetEna/WSetMod.

5.4.2 Warunki wstępne: wykonano test TC-COM-02, dostępny dokument PICS.

5.4.3 Kroki testowe:

1. Zlokalizować model ID = 704.
2. Zanotować: adres bazowy modelu, długość modelu, wersję modelu (jeżeli dostępna).
3. Zweryfikować poprawność parametrów modelu z deklaracją producenta.
4. Potwierdzić dostępność punktów sterowania: WMaxLimPct, WMaxLimPctEna oraz – jeśli zadeklarowane w PICS – WSet, WSetPct, WSetEna, WSetMod.

- 5.4.4 Kryterium zaliczenia: Model ID = 704 jest obecny, parametry modelu są zgodne z deklaracją PICS.

## 6 Scenariusze testowe - funkcje sterowania

### 6.1 TC-13-6-01 – Zaprzestanie wprowadzania mocy czynnej do sieci przez inwerter (ID704.WMaxLimPct = 0, ID704.WMaxLimPctEna = 1)

- 6.1.1 Cel: Potwierdzenie skutecznej realizacji funkcji zaprzestania generacji z wykorzystaniem punktów sterowania WMaxLimPct oraz WMaxLimPctEna w modelu 704. WMaxLimPct służy do ograniczenia maksymalnej mocy czynnej DER.
- 6.1.2 Warunki wstępne:
1. Przekształtnik pracuje stabilnie generując moc  $P > 10\% P_{n\_PPM}$  przez minimum 60s,
  2. Model 704 został poprawnie zidentyfikowany.
- 6.1.3 Kroki testowe
1. Zanotować wartość  $P\_before$ .
  2. Wyznaczyć adres rejestrów WMaxLimPct oraz WMaxLimPctEna.
  3. Wykonać sekwencję: zapis WMaxLimPct = 0, odczyt zwrotny rejestru, zapis WMaxLimPctEna = 1, odczyt zwrotny rejestru.
  4. Monitorować moc czynną do osiągnięcia stanu ustalonego.
  5. Zweryfikować i zanotować:  $P\_after$ , czas wysłania komendy, czas osiągnięcia progu, wynik odczytu zwrotnego.
- 6.1.4 Kryterium zaliczenia
1. poprawne wyznaczenie adresu rejestru i poprawny odczyt zwrotny,
  2. spełnienie warunku:  $P\_after < 1\% P_{n\_INV}$ ,
  3. zaprzestanie generacji mocy czynnej w czasie  $\leq 5$  sekund od wysłania polecenia do przekształtnika.

### 6.2 TC-13-6-02 – Przywrócenie generacji (dezaktywacja ograniczenia: ID704.WMaxLimPctEna = 0)

- 6.2.1 Cel: Potwierdzenie możliwości wznowienia generacji po wcześniejszym zatrzymaniu pracy przekształtnika poprzez dezaktywację ograniczenia mocy czynnej w modelu 704.
- 6.2.2 Warunki wstępne: wykonano test TC-13-6-01, spełniony warunek:  $P < 1\% P_{n\_INV}$
- 6.2.3 Kroki testowe
1. Wyznaczyć adres rejestru WMaxLimPctEna.
  2. Wykonać zapis WMaxLimPctEna = 0.
  3. Wykonać odczyt zwrotny.
  4. Monitorować wzrost mocy czynnej, oczekiwany jest statyzm 10% (wzrost 10%/min.).
- 6.2.4 Kryterium zaliczenia:
1. odczyt zwrotny potwierdza WMaxLimPctEna = 0,
  2. moc czynna wzrasta do progu  $P\_before$  ustalonego w teście TC-13-6-01-700 i nie może przekroczyć wartości  $P\_before$ .

*Uwaga: jeśli producent w PICS deklaruje inną logikę powrotu do pracy (np. pozostawienie funkcji aktywnej i zapis WMaxLimPct = 100%), dopuszcza się przeprowadzenie wariantu alternatywnego zgodnego z dokumentacją producenta.*

### 6.3 TC-14-2b-01 – Redukcja mocy czynnej do X% P<sub>n</sub> INV

- 6.3.1 Cel: Potwierdzenie skutecznej realizacji funkcji ograniczenia mocy czynnej z wykorzystaniem punktów ID704.WMaxLimPct oraz ID704.WMaxLimPctEna. Punkt WMaxLimPct ogranicza maksymalną generację mocy czynnej DER.
- 6.3.2 Warunki wstępne: inwerter pracuje stabilnie, wartość P<sub>before</sub> jest większa od zadanej wartości ograniczenia.
- 6.3.3 Kroki testowe
1. Przyjąć zestaw wartości ograniczenia X: 80%, 50%, 10%.
  2. Dla każdej wartości sprawdzić i zanotować P<sub>before</sub>.
  3. Wyznaczyć adresy rejestrów: WMaxLimPct, WMaxLimPct\_Ena.
  4. Wykonać sekwencję: zapis WMaxLimPct = X, odczyt zwrotny, zapis WMaxLimPct\_Ena = 1, odczyt zwrotny.
  5. Monitorować moc czynną do osiągnięcia stanu ustalonego.
  6. Zweryfikować i zanotować: P<sub>after</sub>, czas reakcji, wyniki odczytu zwrotnego.
- 6.3.4 Kryterium zaliczenia:
1. poprawna realizacja komunikacji Modbus,
  2. poprawne wyznaczenie adresów rejestrów,
  3. spełnienie warunku:  $P_{after} \in <X\%P_{n\_INV} \pm TOL>$ ,
  4. nastawione nowe wartości, wynikające ze zmiany mocy czynnej generowanej, muszą być osiągnięte w ciągu 10 s.

### 6.4 TC-14-2b-02 – Redukcja mocy do 0% (skutek jak zaprzestanie generacji)

- 6.4.1 Cel: Weryfikacja zachowania przekształtnika dla granicznej wartości ograniczenia mocy czynnej.
- 6.4.2 Warunki wstępne: wykonano co najmniej jeden przebieg TC-14-2b-01.
- 6.4.3 Kroki testowe
1. Wyznaczyć i zanotować P<sub>before</sub>.
  2. Wykonać zapis: WMaxLimPct = 0, WMaxLimPct\_Ena = 1.
  3. Wykonać odczyt zwrotny.
  4. Monitorować moc czynną po stabilizacji.
- 6.4.4 Kryterium zaliczenia: poprawny odczyt zwrotny, spełnienie warunku:  $P_{after} < 1\% P_{n\_INV}$

### 6.5 TC-14-2b-03 – Dezaktywacja ograniczenia mocy

- 6.5.1 Cel: Potwierdzenie poprawnego usunięcia ograniczenia mocy czynnej inwerter po dezaktywacji funkcji ograniczenia.
- 6.5.2 Warunki wstępne: aktywna funkcja ograniczenia mocy.
- 6.5.3 Kroki testowe
1. Wykonać zapis: ID704.WMaxLimPctEna = 0.
  2. Wykonać odczyt zwrotny.
  3. Monitorować wzrost mocy czynnej do wartości sprzed testu, P<sub>before</sub> wyznaczone w TC-14-2b-01 lub TC-14-2b-02.
- 6.5.4 Kryterium zaliczenia: poprawny odczyt zwrotny, wzrost mocy czynnej po dezaktywacji ograniczenia do wartości P<sub>before</sub> w czasie, przewidzianym dla przypadku mocy czynnej zredukowanej do:
1. 80 %, ≤ 2 minut,
  2. 50 %, ≤ 5 minut,
  3. 10 %, ≤ 9 minut.

## **7 Kryteria wyniku pozytywnego testów**

Za wynik pozytywny uznaje się spełnienie wszystkich poniższych warunków:

1. poprawne wykrycie i enumeracja modeli SunSpec oraz wyznaczenie adresów rejestrów sterujących,
2. skuteczna realizacja funkcji zaprzestania generacji, tj. spełnienie warunku  $P_{\text{after}} < 1\% P_{n\_INV}$ , i przywrócenia generacji do wartości początkowej,
3. skuteczna realizacja ograniczenia mocy czynnej, tj. spełnienie:  $P_{\text{after}} \in <X\%P_{n\_INV} \pm \text{TOL}>$  dla wartości X wynoszących 80%, 50%, 10% oraz dla  $X=0$ , oraz realizacja dezaktywacji ograniczenia.

## **8 Wymagane zapisy w sprawozdaniu z badań**

Protokół badań powinien zawierać co najmniej:

1. adres początkowy SunSpec oraz potwierdzenie znacznika „SunS”,
2. listę wykrytych modeli SunSpec (ModelID, Length, adres bazowy), w tym model 703 i model 704.
3. adresy bazowe modeli i adresy rejestrów sterujących,
4. wartości zapisane i odczytane podczas przeprowadzonych testów,
5. przebiegi mocy czynnej - wartości:  $P_{\text{before}}$ ,  $P_{\text{after}}$ ,  $P_{n\_INV}$ ,
6. potwierdzenie spełnienia zaliczeń kryteriów z poszczególnych testów,
7. metodologia pomiaru mocy czynnej wraz z uwzględnieniem informacji o przyrządach pomiarowych (rodzaj urządzenia, typ, producent, dokładność pomiarowa, informacja o wzorcowaniu) oraz wartość uchybu pomiarowego TOL,
8. warunki rzeczywiste, w jakich przeprowadzane były testy,
9. logi komunikacyjne i ewentualne uwagi.

## **9 Uwagi końcowe**

1. W przypadku wystąpienia ograniczeń wynikających z warunków pracy stanowiska testowego lub specyfiki badanego przekształtnika, ograniczenia te powinny być identyfikowalne i zostać jednoznacznie opisane w sprawozdaniu z badań wraz z oceną ich wpływu na wynik testu.
2. Jeżeli producent deklaruje w PICS pola napięciowe i częstotliwościowe dla modelu ID=703, należy je uwzględnić w TC-COM-03.
3. Jeżeli producent deklaruje w PICS tryb „setpoint control” a nie „limit control”, dla modelu ID=704, to w TC-COM-04 należy przetestować WSet / WSetPct / WSetEna / WSetMod.