

**WYMAGANIA TECHNICZNE**

**Numer kodowy**

**PSE-WT.STATCOM/2025**

**TYTUŁ:**

**Wytyczne techniczne dla statycznego kompensatora  
synchronicznego (STATCOM)**

***OPRACOWANO:***

***DEPARTAMENT STANDARDÓW TECHNICZNYCH***

**ZATWIERDZONO**

**DO STOSOWANIA**

.....

**Data i podpis**

**Konstancin-Jeziorna, maj 2025 r.**

## Spis treści

1.	Wprowadzenie.....	6
2.	Wykaz skrótów i definicje.....	7
2.1.	Wykaz skrótów i oznaczeń.....	7
2.2.	Definicje.....	8
3.	Zakres stosowania niniejszego dokumentu.....	9
4.	Dokumenty powiązane i referencyjne, normy, broszury techniczne.....	9
4.1.	Ogólne.....	9
4.2.	Normy.....	9
4.3.	Dokumenty powiązane i broszury.....	13
5.	Warunki środowiskowe.....	15
6.	Charakterystyka systemu elektroenergetycznego.....	17
6.1.	Ogólne.....	17
6.2.	Częstotliwość systemu.....	18
7.	Charakterystyka systemu STATCOM.....	19
7.1.	Parametry znamionowe.....	19
7.2.	Cele regulacji.....	21
7.2.1.	Funkcje zespołu STATCOM.....	21
7.2.2.	Strategia podnapięciowa.....	23
7.2.3.	Strategia nadnapięciowa.....	24
7.2.4.	Przeciążenie.....	24
7.2.5.	Odpowiedź zespołu STATCOM.....	25
7.3.	Dopuszczalna zawartość harmoniczných.....	25
7.3.1.	Ocena parametrów.....	25
7.3.2.	Wydajność harmoniczna i konstrukcja filtra harmoniczných prądu przemiennego.....	25
7.3.3.	Wydajność filtra.....	25
7.3.4.	Parametry znamionowe elementów filtra.....	26
7.3.5.	Harmoniczne w punkcie przyłączenia.....	26
7.4.	Zakłócenia telefoniczne i radiowe.....	26
7.4.1.	Zakłócenie telefoniczne.....	26

7.4.2.	Zakłócenie radiowe .....	27
7.5.	Hałas.....	27
7.5.1.	Hałas środowiskowy .....	27
7.5.2.	Ocena hałasu .....	28
7.6.	Wymagania dotyczące strat.....	29
7.7.	Poziomy izolacji.....	31
7.7.1.	Ograniczniki .....	31
7.7.2.	Zawory .....	31
7.7.3.	Odstępy powietrzne (izolacyjne).....	31
7.7.4.	Rozdzielnia.....	31
7.7.5.	Droga upływu .....	31
7.8.	Dostępność i niezawodność .....	32
7.8.1.	Terminy przestojów.....	32
7.8.2.	Określenia czasu trwania przestoju .....	32
7.8.3.	Kategorie czasu .....	32
7.8.4.	Niedostępność .....	32
7.8.5.	Wymagana dostępność i niezawodność .....	33
7.8.6.	Gwarantowany wskaźnik awaryjności dla modułu podrzędnego .....	34
7.8.7.	Gwarantowany wskaźnik awaryjności dla kondensatora prądu przemiennego.....	34
8.	Wymagania funkcjonalne.....	35
8.1.	Ogólne .....	35
8.1.1.	Zawory .....	35
8.1.2.	Elementy półprzewodnikowe.....	35
8.1.3.	Moduł podrzędny dla topologii wielomodułowej .....	36
8.1.4.	Moduł podrzędny .....	36
8.1.5.	Chłodzenie zaworów .....	36
8.1.6.	Testy zaworu .....	38
8.2.	Regulacja i sterowanie .....	39
8.2.1.	Urządzenia sterujące .....	39
8.3.	Wymagania dla Grid Forming.....	40
8.4.	Wytyczne dla układów sterowania i monitorowania .....	41
8.4.1.	Ogólne .....	41

8.4.2.	Punkty sterowania (lokalizacje) .....	44
8.4.3.	Wymagania dotyczące interfejsu STATCOM .....	45
8.4.4.	Blokady .....	45
8.5.	Zabezpieczenia .....	45
8.5.1.	Układy automatyki zabezpieczeniowej .....	45
8.5.2.	Priorytety układu EAZ .....	46
8.6.	Cyberbezpieczeństwo .....	51
8.7.	Mechanicznie załączane dławiki (MSR) do współpracy ze STATCOM .....	51
8.8.	Mechanicznie załączane kondensatory (MSC) do współpracy ze STATCOM .....	51
8.9.	Dławiki powietrzne .....	52
8.9.1.	Ogólne .....	52
8.9.2.	Klasa napięciowa i mocowa .....	52
8.9.3.	Ograniczenie wzrostu temperatury .....	52
8.9.4.	Odległości od pola magnetycznego .....	52
8.9.5.	Konstrukcja i wyposażenie .....	53
8.9.6.	Tolerancje .....	53
8.9.7.	Testy i weryfikacja .....	53
8.10.	Kondensatory mocy .....	53
8.10.1.	Ogólne .....	53
8.10.2.	Wymagania konstrukcyjne i projektowe .....	54
8.10.3.	Napięcie w stanie ustalonym .....	55
8.10.4.	Odporność na impulsy piorunowe .....	55
8.10.5.	Znamionowy prąd o częstotliwości zasilania .....	55
8.10.6.	Prądy rozruchowe i rozładowania .....	55
8.10.7.	Wykrywanie awarii kondensatora .....	56
8.10.8.	Testy kondensatorów .....	56
8.11.	Transformator sprzęgający .....	56
8.11.1.	Ogólne .....	56
8.11.2.	Wymagania projektowe .....	56
8.12.	Rozdzielnica SN .....	61
8.12.1.	Wyłącznik SN .....	61
8.12.2.	Izolator SN i przełącznik uziemienia .....	62

8.12.3.	Przekładniki dla zespołu STATCOM .....	62
8.12.4.	Ogranicznik przepięć.....	62
8.12.5.	Zasilanie pomocnicze zespołu STATCOM.....	63
9.	Badania inżynierskie .....	64
9.1.	Badania inżynierskie i weryfikacja projektu przed produkcją oraz modele STATCOM.....	64
9.1.1.	Badania projektowe.....	64
9.1.2.	Podsynchroniczne interakcje układów regulacji .....	64
9.1.3.	Modele STATCOM do analizy systemu elektroenergetycznego.....	65
9.2.	Analizy dynamiczne .....	69
9.2.1.	Badania dynamiczne systemu .....	69
9.3.	Harmoniczne .....	69
9.4.	Elektromagnetyczne stany przejściowe, sterowanie i stany nadnapięciowe.....	69
9.5.	Badanie izolacji .....	70
9.6.	Inne.....	70
9.7.	Badania i testy .....	70
10.	Tabele danych gwarantowanych .....	72
11.	Dodatek A: Analizy i raporty .....	73
11.1.	Etap 1 – Projekt koncepcyjny.....	73
11.2.	Etap 2 – Szczegółowe analizy projektowe.....	73

## 1. Wprowadzenie

Niniejsze wymagania techniczne dotyczą statycznych kompensatorów synchronicznych (STATCOM) i jego elementów składowych przeznaczonych do pracy w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE).

Stacyjny kompensator synchroniczny (STATCOM) jest urządzeniem regulującym moc bierną, opartym na technologii przekształtnika napięcia (VSC), stosowanym do utrzymania napięć w systemie prądu przemiennego (AC) oraz poprawy stabilności systemu. Podstawową funkcją STATCOM jest dynamiczne wsparcie mocy biernej w celu regulowania napięcia systemowego. Jedną z głównych zalet STATCOM jest zdolność do dostarczania znamionowego prądu pojemnościowego mocy biernej nawet przy niskim napięciu.

System STATCOM składa się z szeregu fizycznych komponentów, takich jak dławiki, baterie kondensatorów, transformatory mocy i pomocnicze, szyny zbiorcze średniego napięcia, urządzenia chłodzące oraz przekształtnik napięcia (VSC). Elementy VSC powinny być zlokalizowane w budynku lub w odpowiednich kontenerach metalowych o wymiarach zapewniających odpowiednią przestrzeń do działań eksploatacyjnych i konserwacyjnych.

Budynek sterowni (oraz inne istotne elementy konstrukcyjne i cywilne) powinien być zaprojektowany i wykonany zgodnie z innymi specyfikacjami OSP dotyczącymi stacji elektroenergetycznych.

Kompensatory STATCOM mogą być wykorzystywane w następujących zastosowaniach:

- 1) Zapewnienie następujących funkcji:
  - a) Kontrola/regulacja napięcia w punkcie przyłączenia do sieci (PCC),
  - b) Zdolność do pozostania w pracy podczas zwarcia (Fault-Ride Through),
  - c) Zgodność z wymaganiami dotyczącymi jakości napięcia, w tym harmonicznym, wahań oraz asymetrii.
- 2) Wsparcie stabilności systemu elektroenergetycznego.

## 2. Wykaz skrótów i definicje

### 2.1. Wykaz skrótów i oznaczeń

Skrót	Objaśnienie
AC	Prąd przemienny
DC	Prąd stały
EMC	Kompatybilność elektromagnetyczna
EMTP	Zjawiska elektromagnetyczne
FACTS	Elastyczne systemy przesyłu prądu przemiennego
FAT	Fabryczny Test Odbiorowy
GFL	Przekształtnik Grid Following
GFM	Przekształtnik Grid Forming
HMI	Interfejs człowiek-maszyna
HVAC	Wentylacja, ogrzewanie i klimatyzacja
HVDC	Wysokie napięcie prądu stałego
HVRT	Zdolność przetrwania wysokiego napięcia
IGBT	Tranzystor bipolarny z izolowaną bramką
IP	Stopień ochrony IP
LVRT	Zdolność przetrwania niskiego napięcia
MSC	Mechanicznie załączany kondensator
MSR	Mechanicznie załączany dławik
PCC	punkt wspólnego przyłączenia
PLC	Sterownik programowalny
POC	Punkt przyłączenia
RAM	Analiza uwzględniająca niezawodność, dostępność, podatność na konserwacje
SCADA	System nadzoru i akwizycji danych SCADA
SSiN	System sterowania i nadzoru
STATCOM	Kompensator statyczny (zazwyczaj typu VSC)
SVC	Kompensator statyczny mocy biernej
TOV	Tymczasowe przebiegi
UMD	Uniwersalny napęd silnikowy
UZDA	Układ zdalnego dostępu do urządzeń automatyki stacji
VSC	Przekształtnik współpracujący ze źródłem napięciowym
WTI	Wskaźnik temperatury uzwojenia

## 2.2. Definicje

W niniejszym dokumencie stosuje się następujące terminy i definicje. Dla terminów niezdefiniowanych w tej sekcji należy korzystać z IEEE Standards Dictionary Online.

**rozpoczęcie kontraktu:** Data wejścia w życie kontraktu na dostawę statycznego synchronicznego kompensatora (STATCOM) oraz zgoda użytkownika na rozpoczęcie realizacji.

**zakres regulacji:** Całkowity zakres indukcyjny i pojemnościowy zmienności prądu biernego lub mocy biernej (w Mvar) STATCOM w punkcie przyłączenia.

**hybrydowy STATCOM:** Połączenie STATCOM i urządzeń sterowanych tyrystorowo, których wyjścia są skoordynowane.

**praca o charakterze indukcyjnym:** Praca indukcyjna lub pobór mocy biernej przez STATCOM, podobna do pracy dławika bocznikowego.

**praca o charakterze pojemnościowym:** Praca pojemnościowa lub generacja mocy biernej przez STATCOM, podobna do pracy kondensatora bocznikowego.

**mechanicznie przełączany kondensator (MSC):** Obwód bocznikowy zawierający mechaniczne urządzenie przełączające w szeregu z baterią kondensatorów oraz czasami również dławik ograniczający prąd (MSC).

**mechanicznie przełączany dławik (MSR):** Obwód bocznikowy zawierający mechaniczne urządzenie przełączające w szeregu z dławikiem.

**punkt wspólnego przyłączenia (PCC):** Punkt połączenia między STATCOM a systemem energetycznym, w którym definiowane są wymagania dotyczące wydajności.

**punkt przyłączenia (POC):** Dla STATCOM z przewidzianym do współpracy transformatorem – szyna wysokiego napięcia (WN), do której jest podłączony zespół STATCOM. Dla STATCOM połączonego z istniejącym transformatorem lub bezpośrednio – szyna, do której podłączony jest STATCOM.

**napięcie odniesienia:** Punkt na charakterystyce napięcia/prądu (V/I), w którym STATCOM nie pobiera ani nie dostarcza mocy biernej do systemu przesyłowego, w którym regulowane jest napięcie.

**czas odpowiedzi:** Czas od skokowej zmiany sygnału sterującego do momentu, w którym napięcie osiągnie 90% swojej wartości (bez uwzględnienia oscylacji czy przeregulowania).

**czas ustalania:** Czas od skokowej zmiany sygnału sterującego do momentu, w którym wyjście STATCOM ustabilizuje się w granicach  $\pm 5\%$  wymaganego wyjścia sterującego.

**nachylenie:** Stosunek zmiany napięcia do zmiany prądu w zdefiniowanym zakresie regulacji STATCOM, zazwyczaj w pełnym zakresie (indukcyjnym i pojemnościowym) przy napięciu znamionowym, wyrażony w procentach.

### **3. Zakres stosowania niniejszego dokumentu**

Celem niniejszego dokumentu jest przedstawienie wymagań technicznych, które należy uwzględnić przy projektowaniu i budowie STATCOM, a które należy zastosować w sieci przesyłowej PSE S.A. Niniejszy dokument zawiera podstawowe wytyczne funkcjonalne i techniczne STATCOM, które będą wspomagać zapewnienie stabilności w stanach przejściowych w danym punkcie sieci przesyłowej.

### **4. Dokumenty powiązane i referencyjne, normy, broszury techniczne**

#### **4.1. Ogólne**

O ile w specyfikacji funkcjonalnej nie określono inaczej, materiały muszą być projektowane, produkowane, testowane i instalowane zgodnie z odpowiednimi normami IEC i/lub EN. W przypadku dostępności, należy stosować polską adaptację norm europejskich, uwzględniając wszelkie krajowe aspekty normatywne.

Jeżeli nie została wydana norma IEC lub EN dla danego tematu, należy stosować normę międzynarodową. We wszystkich przypadkach należy stosować najnowsze wydania i poprawki. Urządzenia muszą być zgodne z najnowszymi wydaniem międzynarodowych norm, kodeksów i odniesień normatywnych wskazanych poniżej oraz najnowszymi wydaniem norm, do których się odnoszą.

#### **4.2. Normy**

Normy dotyczące układu STATCOM

- [1] IEC 60060-1: Wysokonapięciowa technika probiercza – Część 1: Ogólne definicje i wymagania probiercze
- [2] IEC 60068-1: Badania środowiskowe – Część 1: Postanowienia ogólne i wytyczne
- [3] IEC 60071-1: Koordynacja izolacji – Część 1: Definicje, zasady i reguły
- [4] IEC 60071-2: Koordynacja izolacji – Część 2: Przewodnik stosowania
- [5] IEC 60076-1: Transformatory mocy – Część 1: Postanowienia ogólne
- [6] IEC 60076-2: Transformatory mocy – Część 2: Wzrost temperatury dla transformatorów zanurzonych w cieczy
- [7] IEC 60076-3: Transformatory mocy – Część 3: Poziomy izolacji, próby dielektryczne i odstępy izolacyjne w powietrzu
- [8] IEC 60076-4: Transformatory mocy – Część 4: Przewodnik badań udarów piorunowych i łączeniowych – Transformatory mocy i dławiki
- [9] IEC 60076-5: Transformatory mocy – Część 5: Odporność na zwarcie
- [10] IEC 60076-6: Transformatory mocy – Część 6: Dławiki
- [11] IEC 60076-8: Transformatory mocy – Część 8: Przewodnik stosowania
- [12] IEC 60076-10: Transformatory mocy – Część 10: Określanie poziomów hałasu
- [13] IEC 60099-1: Ograniczniki przepięć – Część 1: Ograniczniki nieliniowe z przerwami dla systemów AC
- [14] IEC 60099-3: Ograniczniki przepięć – Część 3: Badania sztucznego zanieczyszczenia ograniczników przepięć
- [15] IEC 60099-4: Ograniczniki przepięć – Część 4: Metalowo-tlenkowe ograniczniki

- przepięć bez przerw dla systemów AC
- [16] IEC 60146-1-1: Prostowniki półprzewodnikowe – Część 1-1: Ogólne wymagania i prostowniki z komutacją sieciową – Wymagania podstawowe
  - [17] IEC 60146-1-3: Prostowniki półprzewodnikowe – Część 1-3: Transformatory i dławiki
  - [18] IEC 60146-2: Prostowniki półprzewodnikowe – Część 2: Samokomutujące prostowniki półprzewodnikowe, w tym bezpośrednie prostowniki prądu stałego
  - [19] IEC 60168: Próby izolatorów wsporczych do zastosowań wewnętrznych i zewnętrznych z materiałów ceramicznych i szklanych dla systemów o napięciu znamionowym powyżej 1 kV
  - [20] IEC 60255: Przekazniki pomiarowe i urządzenia zabezpieczeniowe – Seria
  - [21] IEC 60270: Wysokonapięciowa technika probiercza – Pomiar wyładowań niezupełnych
  - [22] IEC 60273: Właściwości izolatorów wsporczych do zastosowań wewnętrznych i zewnętrznych dla systemów o napięciu znamionowym powyżej 1000 V
  - [23] IEC 60437: Próba zakłóceń radiowych izolatorów wysokiego napięcia
  - [24] IEC 60507: Próby sztucznego zanieczyszczenia na izolatorach ceramicznych i szklanych wysokiego napięcia przeznaczonych do pracy w systemach AC
  - [25] IEC 60529: Stopnie ochrony zapewniane przez obudowy (Kod IP)
  - [26] IEC 60551: Określanie poziomów hałasu transformatorów i dławików
  - [27] IEC 60549: Wysokonapięciowe bezpieczniki do ochrony zewnętrznej kondensatorów bocznikowych
  - [28] IEC 60721-2-6: Klasyfikacja warunków środowiskowych – Część 2: Warunki środowiskowe występujące w naturze – Wibracje i wstrząsy sejsmiczne
  - [29] IEC 60747-6: Przyrządy półprzewodnikowe – Część 6: Tyrystory
  - [30] IEC 60747-9: Przyrządy półprzewodnikowe – Część 9: Tranzystory bipolarne izolowane (IGBT)
  - [31] IEC/TS 60815: Wybór i wymiarowanie izolatorów wysokiego napięcia przeznaczonych do warunków zanieczyszczonych – Seria
  - [32] IEC 60865: Prądy zwarciovowe – Obliczanie efektów
  - [33] IEC 60871-1: Kondensatory bocznikowe dla systemów prądu przemiennego o napięciu znamionowym powyżej 1000 V – Część 1: Postanowienia ogólne
  - [34] IEC 60871-2: Kondensatory bocznikowe dla systemów prądu przemiennego o napięciu znamionowym powyżej 1000 V – Część 2: Próby wytrzymałości
  - [35] IEC 60871-3: Kondensatory bocznikowe dla systemów prądu przemiennego o napięciu znamionowym powyżej 1000 V – Część 3: Ochrona kondensatorów bocznikowych i baterii kondensatorów
  - [36] IEC 60871-4: Kondensatory bocznikowe dla systemów prądu przemiennego o napięciu znamionowym powyżej 1000 V – Część 4: Wewnętrzne bezpieczniki
  - [37] IEC 60943: Wytyczne dotyczące dopuszczalnego wzrostu temperatury dla części urządzeń elektrycznych, w szczególności zacisków
  - [38] IEC 61000-4-1: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-1: Techniki badań i pomiarów – Przegląd serii IEC 61000-4
  - [39] IEC 61071: Kondensatory dla elektroniki mocy
  - [40] IEC 61462: Izolatory kompozytowe rurowe – Izolatory ciśnieniowe i bezcisnieniowe

- do urządzeń elektrycznych o napięciu znamionowym powyżej 1000 V – Definicje, metody badania, kryteria akceptacji i zalecenia projektowe
- [41] IEC 61642: Przemysłowe sieci prądu przemiennego narażone na harmoniczne – Zastosowanie filtrów i kondensatorów bocznikowych
  - [42] IEC 61869: Przekładniki pomiarowe – Seria
  - [43] IEC 61936-1: Instalacje elektroenergetyczne o napięciu powyżej 1 kV AC – Część 1: Postanowienia wspólne
  - [44] IEC 61954: Kompensatory mocy biernej typu SVC – Badania zaworów tyrystorowych
  - [45] IEC 62199: Przepusty izolacyjne dla zastosowań prądu stałego
  - [46] IEC 62927: Zawory konwerterów źródła napięciowego (VSC) dla kompensatorów synchronicznych (STATCOM) – Próby elektryczne
  - [47] IEC 17A/1085/CD: Aparatura rozdzielcza i sterownicza wysokiego napięcia – Część 1: Wspólne specyfikacje dla aparatury prądu przemiennego
  - [48] IEC 62474: Deklaracja materiałowa dla produktów elektrotechnicznych i elektronicznych
  - [49] IEC 62751-1: Straty mocy w zaworach konwerterów źródła napięciowego (VSC) dla systemów prądu stałego wysokiego napięcia (HVDC) – Część 1: Wymagania ogólne
  - [50] IEC 62751-2: Straty mocy w zaworach konwerterów źródła napięciowego (VSC) dla systemów prądu stałego wysokiego napięcia (HVDC) – Część 2: Konwertery modułowe wielopoziomowe
  - [51] IEC TR 62757: Środki zapobiegające pożarom w konwerterach systemów prądu stałego wysokiego napięcia (HVDC), kompensatorach mocy biernej (SVC) oraz elastycznych systemach przesyłu prądu przemiennego (FACTS) i ich halach zaworowych
  - [52] IEC 22F/380/CD: Zawory konwerterów źródła napięciowego (VSC) dla kompensatorów synchronicznych (STATCOM) – Próby elektryczne
  - [53] IEC TS 60815-1: Wybór i wymiarowanie izolatorów wysokiego napięcia przeznaczonych do warunków zanieczyszczonych – Definicje, informacje i zasady ogólne
  - [54] IEC TS 60815-2: Wybór i wymiarowanie izolatorów wysokiego napięcia przeznaczonych do warunków zanieczyszczonych – Izolatory ceramiczne i szklane
  - [55] IEC/TS 60815-3: Wybór i wymiarowanie izolatorów wysokiego napięcia przeznaczonych do warunków zanieczyszczonych – Izolatory polimerowe dla systemów prądu przemiennego
  - [56] IEC/TR 61000-3-6: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Limity – Ocena limitów emisji dla przyłączenia instalacji generujących zakłócenia do systemów MV, HV i EHV
  - [57] IEEE 519: Zalecane praktyki i wymagania dotyczące kontroli harmonicznych w systemach elektroenergetycznych
  - [58] IEEE Standard 18: Standard dotyczący kondensatorów mocy bocznikowej

- [59] IEEE Standard 1531: Przewodnik dotyczący stosowania i specyfikacji filtrów harmoniczych
- [60] IEEE Standard 1052: Przewodnik dotyczący specyfikacji systemów kompensatorów synchronicznych (STATCOM) dla przesyłu energii
- [61] EN ISO 3746: Akustyka – Określanie poziomów mocy akustycznej i poziomów energii akustycznej źródeł hałasu na podstawie ciśnienia akustycznego – Metoda orientacyjna z użyciem otaczającej powierzchni pomiarowej nad płaszczyzną odbijającą
- [62] EN ISO 9614: Akustyka – Określanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu przy użyciu intensywności akustycznej – Seria
- [63] P1052-2018 - Przewodnik IEEE dotyczący specyfikacji systemów statycznych synchronicznych kompensatorów przesyłowych (STATCOM)
- [64] IEEE 2800-2022: Standard dla przyłączania i interoperacyjności zasobów opartych na przekształtnikach (IBR) przyłączających się do powiązanych systemów elektroenergetycznych przesyłowych"
- [65] IEEE 1547-2018: Standard dla przyłączania i interoperacyjności rozproszonych zasobów energetycznych z powiązanymi systemami elektroenergetycznymi
- [66] IEC 27001: Technika informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Systemy zarządzania bezpieczeństwem informacji – Wymagania.
- [67] IEC 27002: Technika informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Praktyczne zasady zabezpieczania informacji.
- [68] IEC 62443: Bezpieczeństwo sieci i systemów automatyki przemysłowej. Obejmuje ustanawianie programu bezpieczeństwa, ocenę ryzyka, technologie bezpieczeństwa i wymagania dla poziomów bezpieczeństwa.
- [69] IEC 62351: Ochrona danych i bezpieczeństwo komunikacji w systemach elektroenergetycznych. Definiuje profile TCP/IP, MMS oraz mechanizmy uwierzytelniania i szyfrowania dla SCADA i SSiN
- [70] IEC 61850: Standard opisujący modele oraz komunikację w automatyce systemów elektroenergetycznych.
- [71] IEC 60870-5 i IEC 60870-6: Protokoły transmisji danych dla telemechaniki i systemów nadzoru.
- [72] DNP3 (IEEE 1815): Protokół dla rozproszonych systemów telemechaniki, rozwinięty w zgodzie z wymogami bezpieczeństwa IEC 62351.
- [73] ISO 31000: Zarządzanie ryzykiem – Zasady i wytyczne, szczególnie w kontekście cyberbezpieczeństwa w krytycznej infrastrukturze.
- [74] NIST Cybersecurity Framework: Ramy bezpieczeństwa cybernetycznego opracowane przez NIST, uwzględniające identyfikację, ochronę, detekcję, reakcję i przywracanie.
- [75] IEEE 519-2014: Zalecana praktyka i wymagania dotyczące kontroli harmoniczych w systemach elektroenergetycznych

- [76] IEC 61000-6-4: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 6-4: Normy ogólne – Norma emisji w środowiskach przemysłowych
- [77] IEC 61000-6-5: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 6-5: Normy ogólne – Odporność urządzeń wykorzystywanych w środowiskach elektrowni i stacji elektroenergetycznych
- [78] IEEE Standard 1031-2011: Przewodnik IEEE dotyczący specyfikacji funkcjonalnej statycznego kompensatora mocy bierniej (SVC) dla systemów przesyłowych

#### **4.3. Dokumenty powiązane i broszury**

- [1] DRAGOS INC.: Analiza zagrożenia dla pracy sieci elektrycznej.
- [2] E – ISAC – SANS: Analiza cyberataku na ukraińską sieć energetyczną.
- [3] Wytyczne dotyczące bezpieczeństwa cybernetycznego PRS dla armatorów: Zawierają wytyczne implementacyjne dla armatorów w zakresie zarządzania cyberbezpieczeństwem na statkach.
- [4] BIMCO, CLIA, ICS: Wytyczne dotyczące bezpieczeństwa cybernetycznego na statkach, w tym zarządzania ryzykiem w środowisku morskim.
- [5] Normy komunikacyjne IEC 61850 i IEC 62351: Zapewnienie bezpieczeństwa wymiany danych w systemach elektroenergetycznych poprzez wdrożenie szyfrowania i autoryzacji.
- [6] Deloitte: Analiza podatności i podsłuchu danych z kabli światłowodowych oraz rekomendacje zabezpieczeń.
- [7] DNVGL-RP-0496: Wytyczne zarządzania cyberbezpieczeństwem statków oraz platform morskich podczas eksploatacji.
- [8] IT-Grundschutz: Niemieckie wytyczne dotyczące podstawowych zabezpieczeń IT, katalogi implementacji i oceny ryzyka.
- [9] EN ISO 9001: Systemy zarządzania jakością – Wymagania
- [10] CIGRE Broszura techniczna 144: Statyczny synchroniczny kompensator
- [11] CIGRE Broszura techniczna 074: Przesył energii elektrycznej a środowisko: Pola, hałas i zakłócenia
- [12] CIGRE Broszura techniczna 663: Wytyczne dotyczące zamawiania i testowania STATCOM-ów
- [13] CIGRE Broszura techniczna 717: Protokół raportowania wydajności operacyjnej FACTS
- [14] PSE–WT.WTDUSMFW/2021 Wymagania techniczne dla urządzeń stacyjnych wprowadzenia mocy z morskich farm wiatrowych
- [15] PSE–WT.WTMST/2021 Wytyczne techniczne dla morskiej stacji transformatorowej
- [16] VDE-AR-N 4131:2019-03 Wymagania techniczne dotyczące przyłączenia do sieci systemów DC wysokiego napięcia oraz PPM podłączonych do prądu stałego (TCR HVDC)
- [17] Wytyczne FNN: Praca Grid Forming systemów HVDC i PPM podłączonych do układów DC – Supplement do VDE-AR-N 4134 dotyczące dynamicznego zachowania częstotliwości/mocy czynnej oraz dynamicznej regulacji napięcia bez wymagań dla prądu biernego.

- [18] CIGRE Broszura techniczna 766: Modelowanie sieci na potrzeby analiz harmonicznych
- [19] CIGRE B4-307: Rozwój funkcji aktywnego filtrowania STATCOM
- [20] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 22 marca 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego
- [21] Wymogi ogólnego stosowania wynikające z Rozporządzenia Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci (NC RfG)
- [22] IEEE Std 1686™-2022 IEEE Standard for Intelligent Electronic Devices Cybersecurity Capabilities
- [23] Standard budowy systemu sterowania i nadzoru (SSIN) w stacjach elektroenergetycznych, PSE-ST.SSIN.PL/2022v1
- [24] Systemy telekomunikacyjne obiektów stacyjnych PSE S.A., PSE-SF.TELE\_2022
- [25] Standard architektury sieci IP na stacjach elektroenergetycznych PSE SA, PSE-SF.TELE\_LAN\_IP\_SE / 2020
- [26] Urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i układy z nią współpracujące, stosowane na stacjach elektroenergetycznych WN i NN, PSE-ST.EAZ.NN.WN/2021
- [27] CIGRE Broszura techniczna 391: Przewodnik dotyczący pomiaru zakłóceń o częstotliwości radiowej pochodzących ze stacji elektroenergetycznych WN i SN

Ponadto należy zapewnić zgodność z postanowieniami wszystkich odpowiednich dyrektyw Wspólnot Europejskich dotyczących wyposażenia, tj. w zakresie:

- bezpieczeństwa personelu obsługującego i konserwującego urządzenia,
- kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) urządzeń (dyrektywa 2004/108/WE),
- minimalnych wymagań w zakresie zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia wynikające z czynników fizycznych (pola elektromagnetyczne) (dyrektywa 2004/40/WE).
- w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej (dyrektywa 2014/30/UE).

## 5. Warunki środowiskowe

STATOM łącznie ze wszystkimi urządzeniami i wyposażeniem pomocniczymi powinien być przystosowany do pracy w warunkach klimatycznych i środowiskowych przewidywanych w miejscu zainstalowania. Należy uwzględnić normy wyrobu urządzeń.

Wszystkie urządzenia będą wytrzymywać warunki pracy panujące w danym miejscu montażu przez okres co najmniej 40 lat.

Warunki pracy są określone parametrami wskazanymi w Tabeli 5.1.

Tabela 5.1. Warunki środowiskowe

Opis	Warunki środowiskowe napowietrzne klasy -30÷40°C	Warunki środowiskowe wewnętrzne klasy -25°C	Warunki środowiskowe wewnętrzne klasy -5°C
1. Maksymalna temperatura otoczenia	+40°C	+40°C	+40°C
2. Średnia temperatura otoczenia mierzona w okresie 24 h nie przekracza	+35°C	+35°C	+35°C
3. Minimalna temperatura otoczenia*	-30°C / -40°C	-25°C	-5°C
4. Wysokość nad poziomem morza	≤ 1000 m	≤ 1000 m	≤ 1000 m
5. Ciśnienie atmosferyczne	860 – 1060 hPa	860 – 1060 hPa	860 – 1060 hPa
6. Poziom zabrudzenia	d (III) – silny; **e (IV) – bardzo silny	nd.	nd.
7. Grubość warstwy lodu	10 mm ***20 mm	nd.	nd.
8. Prędkość wiatru nie przekracza	34 m/s	nd.	nd.
9. Parcie wiatru na powierzchniach cylindrycznych	700 Pa	nd.	nd.
10. Poziom izokeraamiczny	27 dni/rok	nd.	nd.
11. Zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki	32 µg/m <sup>3</sup>	nd.	nd.
12. Aktywność sejsmiczna	≤ 0,2 g	≤ 0,2 g	≤ 0,2 g

13. Wysokość nad poziomem morza	$\leq 1000$ m	$\leq 1000$ m	$\leq 1000$ m
14. Średnia wartość wilgotności względnej mierzona w ciągu 24 h nie przekracza	nd.	$\leq 95\%$	$\leq 95\%$
15. Średnia wartość wilgotności względnej mierzona w ciągu miesiąca	nd.	$\leq 90\%$	$\leq 90\%$
16. Średnia wartość ciśnienia pary wodnej mierzona w ciągu 24 h	nd.	$\leq 2,2$ kPa	$\leq 2,2$ kPa
17. Średnia wartość ciśnienia pary wodnej mierzona w ciągu miesiąca	nd.	$\leq 1,8$ kPa	$\leq 1,8$ kPa

Uwagi:

\* Dopuszcza się niższą temperaturę otoczenia ( $-40^{\circ}\text{C}$  ) na terenach kraju gdzie takie temperatury mogą występować (np. w Polsce północno-wschodniej)

\*\* Dopuszcza się wyższy poziom zanieczyszczenia (e odpowiada IV strefie zanieczyszczeniowej) na stacjach gdzie takie warunki występują

\*\*\* Dopuszcza się grubszą warstwę lodu (20 mm) na terenach kraju, gdzie takie narażenia mogą występować (np. duża wilgotność, częste mgły, itp.)

## 6. Charakterystyka systemu elektroenergetycznego

### 6.1. Ogólne

Wymagania dla lokalizacji, takie jak napięcie, moc zwarciova, współczynniki X/R oraz wymagania dotyczące harmonicznych, powinny być określone w oparciu o specyfikę każdego projektu i uwzględnione w harmonogramach technicznych opracowanych dla danego projektu.

Należy przygotować konfigurację zespołu STATCOM, która spełnia zarówno wymagania dotyczące wydajności przedstawione w niniejszej specyfikacji, jak i te zawarte w harmonogramach technicznych specyficznych dla projektu.

Poniższa charakterystyka systemu ma zastosowanie w punkcie połączenia (PCC). Praca zespołu STATCOM jest wymagana w zakresie wartości parametrów podanych w Tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Wymagane parametry dla zespołu STATCOM po stronie PCC

Nr	Parametr	Wartość	Jednostka
1	Znamionowe napięcie AC, międzyfazowe	1	pu
2	Maksymalne ciągłe napięcie AC, międzyfazowe	1,1	pu
3	Minimalne ciągłe napięcie AC, międzyfazowe	0,9	pu
4	Maksymalne napięcie AC, międzyfazowe w stanie przejściowym	Zgodnie z charakterystyką na Rys 7.2	
5	Minimalne napięcie AC, międzyfazowe w stanie przejściowym	Zgodnie z charakterystykami na Rys 7.3 oraz Rys 7.4	
6	Ciągła składowa przeciwna napięcia (dla obliczeń wydajności)	1	%
7	Ciągła składowa przeciwna napięcia (dla obliczeń znamionowych)	1,5	%
8	Ciągła składowa napięcia składowej zerowej	1	%
9	Znamionowa częstotliwość systemu AC	50	Hz
10	Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymałowe udarowe piorunowe (wartość szczytowa) (400 kV)	1425	kV
	Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymałowe udarowe piorunowe (wartość szczytowa) (220 kV)	1050	kV
	Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymałowe udarowe piorunowe (wartość szczytowa) (110 kV)	550	kV
11	Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymałowe łączeniowe (wartość szczytowa) (400 kV)	1050	kV

12	Wytrzymywane krótkotrwałe napięcie o częstotliwości sieciowej (400 kV)	610	kV
	Wytrzymywane krótkotrwałe napięcie o częstotliwości sieciowej (220 kV)	520	kV
	Wytrzymywane krótkotrwałe napięcie o częstotliwości sieciowej (220 kV)	265	kV
13	1) Prąd zwarcia trójfazowy:		
	a) dla wymagań wydajności	63 (WN)	kA
	b) dla STATCOM	63(WN)	kA
	2) X/R	31,87	-
	3) Czas wyłączenia – normalny	0,10	s
	4) Czas wyłączenia – rezerwowy	0,75	s
14	Impedancje harmoniczne do 50 harmonicznej	Zgodnie z CIGRE 766	
15	Wynikowe napięcie harmoniczne (lub prąd)	Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 22 marca 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, w odniesieniu do wymagań w zakresie modułów parku energii	
16	Kolejność faz systemu elektroenergetycznego	CCW	-

## 6.2. Częstotliwość systemu

Układ STATCOM musi zachować stabilność i zgodność ze znamionowymi, maksymalnymi ciągłymi oraz minimalnymi ciągłymi zakresami częstotliwości, jak również z wartościami odchyień określonych w Tabeli 3. STATCOM powinien pozostać podłączony podczas zmiany częstotliwości w systemie przesyłowym z szybkością do 2,5 Hz/s, mierzonych w uśrednionym okresie 500 ms.

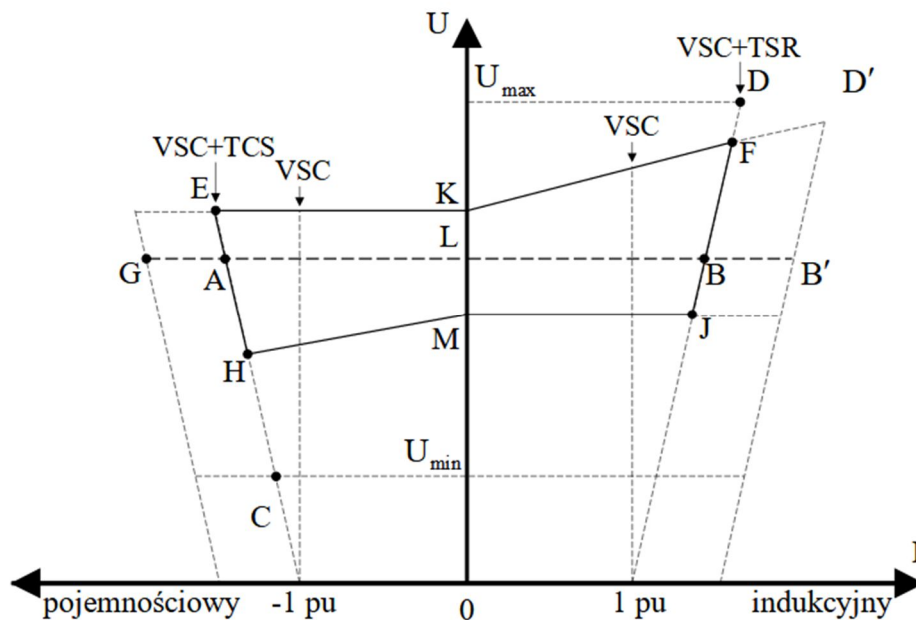
Po odchyleniu częstotliwości systemowej poza zakres 49 – 50 Hz, określony w Tabeli 6.2, częstotliwość systemowa powinna się ustabilizować na poziomie pomiędzy 49 a 50 Hz. Wahania i czas trwania odchyień częstotliwości systemowej muszą być zgodne z wartościami przedstawionymi w Tabeli 6.2.

Tabela 6.2. Wahania i czas trwania odchyień częstotliwości systemowej

Częstotliwość [Hz]	Czas trwania
51,5 – 52	STATCOM powinien pracować i pozostać podłączony do systemu przez 60 min
51,0 – 51,5	STATCOM powinien pracować i pozostać podłączony do systemu przez 90 min
49,0 – 51,0	Praca ciągła
47,5 – 49,0	STATCOM powinien pracować i pozostać podłączony do systemu przez 90 min
47,0 – 47,5	STATCOM powinien pozostać podłączony przez 30 s za każdym razem gdy częstotliwość spada poniżej 47,5 Hz

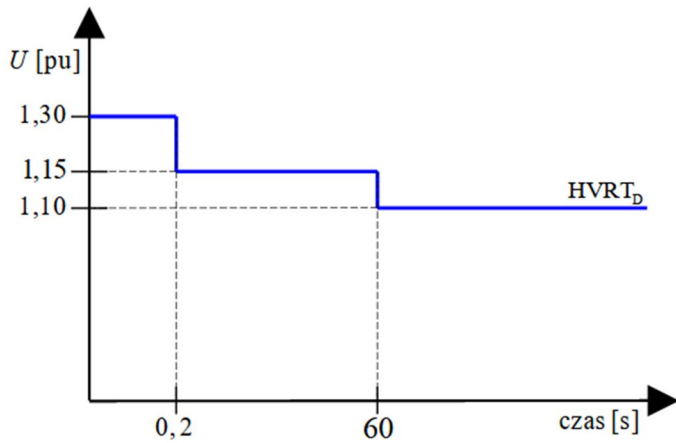
## 7. Charakterystyka systemu STATCOM

### 7.1. Parametry znamionowe

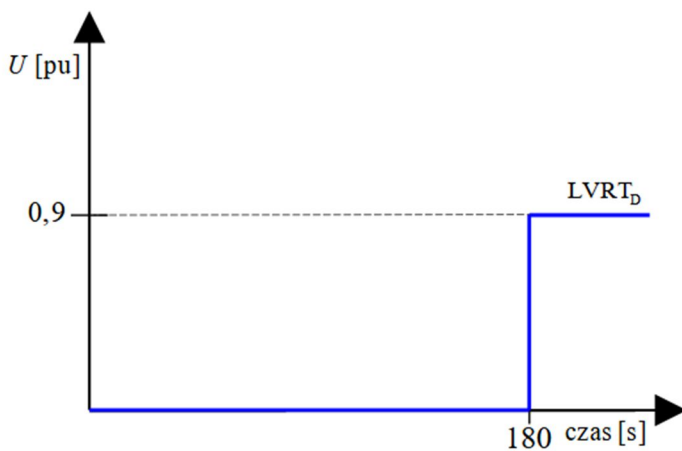


Rys. 7.1. Charakterystyka U/I STATCOM

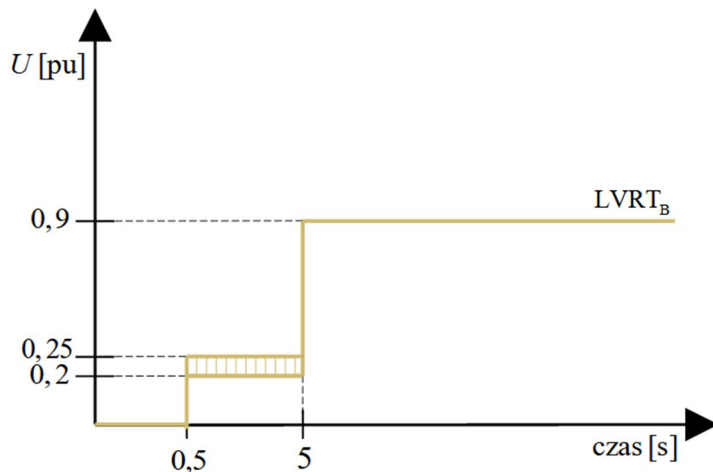
Na Rys. 7.2 – 7.4 przedstawione zostały charakterystyki  $HVRT_D$ ,  $LVRT_D$  oraz  $LVRT_B$ . Gdzie D w indeksie dolnym oznacza odłączenie (*disconnection*) zespołu STATCOM i B w indeksie dolnym oznacza blokadę (*blocking*).



Rys. 7.2. Charakterystyka HVRT<sub>D</sub> zespołu STATCOM



Rys. 7.3. Charakterystyka LVRT<sub>D</sub> zespołu STATCOM



Rys. 7.4. Charakterystyka LVRT<sub>B</sub> zespołu STATCOM

Moc wyjściowa zespołu STATCOM może być regulowana w sposób ciągły w zakresie przedstawionym na Rys. 7.1. Poniżej określono wartości znamionowe urządzeń zespołu STATCOM:

- a) Zespół STATCOM powinien regulować napięcie w punkcie przyłączenia do napięcia odniesienia 1,0 pu (punkt L, Rys. 7.1), z możliwością ciągłej regulacji w zakresie od 0,9 pu do 1,1 pu.

- b) Znamionowa moc bierna pojemnościowa i indukcyjna zespołu STATCOM powinna być zgodna z zakresem zdefiniowanym w specyfikacji, przy napięciu szyny AC równym 1,0 pu, znamionowej częstotliwości systemu oraz temperaturze otoczenia 20°C (punkt A i punkt B na Rys. 7.1).
- c) Nachylenie charakterystyki zespołu STATCOM powinno być regulowane w krokach nie większych niż 0,5% w zakresie od 1% do 8%, na podstawie mocy MVA zespołu STATCOM (obszar A+B na Rys. 7.1).
- d) Zespół STATCOM powinien kontynuować generowanie mocy biernej podczas tymczasowego zapadu napięcia i może zostać zablokowany zgodnie z charakterystyką  $LVRT_B$  na Rys 7.4.
- e) Zespół STATCOM może zostać odłączony, jeżeli zapad napięcia utrzymuje się przez ponad 180 s, zgodnie z charakterystyką  $LVRT_D$  na Rys 7.3.
- f) Zespół STATCOM powinien kontynuować pobieranie mocy biernej podczas tymczasowego przepięcia zgodnie z charakterystyką  $HVRT_D$  na Rys 7.2.
- g) Zespół STATCOM może zostać odłączony jeżeli przepięcie utrzymuje przez ponad 60 s zgodnie z charakterystyką  $HVRT_D$  na Rys 7.2.
- h) Transformator sprzęgający oraz wszystkie urządzenia na szynach zbiorczych, takie jak gałęzie filtrów (jeśli dotyczy), gałęzie MSC i MSR itp., a także szyna średniego napięcia (SN) powinny być zaprojektowane do pracy w określonych warunkach zarówno ciągłych, jak i krótkoterminowych, oraz wytrzymywać lub być chronione przed przeciążeniami napięciowymi i prądowymi przekraczającymi te warunki.
- i) Wszystkie urządzenia w zespole STATCOM powinny być zdolne do wytrzymania, bez uszkodzeń, każdego zwarcia ograniczonego przez maksymalny projektowany poziom zwarciovowy systemu i impedancję transformatora sprzęgającego.

## 7.2. Cele regulacji

System sterowania powinien umożliwiać regulację STATCOM, elementów MSC i MSR, a także wszystkich dławików na szynie WN podstacji zgodnie z niniejszą specyfikacją. Logika działania wyłączników, odłączników i uziemników w stacji również powinna być uwzględniona w systemie sterowania. Sterowanie powinno być programowalne i mieć wystarczający margines programowania (co najmniej 20%), aby umożliwić przeprogramowanie zgodnie z przyszłymi zmianami w systemie elektroenergetycznym.

### 7.2.1. Funkcje zespołu STATCOM

#### Tryb sterowania napięciem (automatyczny i ręczny)

Zespół STATCOM powinien zapewniać niezbędne wsparcie mocy biernej dla szyny PCC w celu kompensacji wahań napięcia w stanie ustalonym.

Regulacja składowej zgodnej napięcia częstotliwości podstawowej w stanie ustalonym i nieustalonym, z nachyleniem w zakresie określonym w punkcie 7.1c.

#### Tryb aktywnego filtrowania harmoniczych

Wymagania dotyczące filtrowania harmoniczych mogą być realizowane za pomocą filtrów aktywnych lub pasywnych. Aby aktywne filtrowanie było skuteczne, konieczny jest pomiar napięcia w punkcie PCC. Na podstawie tych pomiarów generowany jest odpowiedni prąd, który

redukuje lub kompensuje napięcia harmoniczne w punkcie PCC. Istotne jest, aby aktywny filtr był instalowany możliwie blisko źródła harmoniczných.

Aktywne filtrowanie będzie skuteczne do 9 harmonicznej włącznie, a maksymalnie dwa rzędy harmoniczných będą tłumione jednocześnie.

#### Tryb pracy przy zadanej mocy biernej

Tryb stałej mocy biernej polega na utrzymywaniu przez zespół STATCOM stałej wartości mocy biernej, niezależnie od zmian napięcia w sieci elektroenergetycznej. W tym trybie STATCOM działa jako źródło lub odbiornik mocy biernej, generując lub pobierając zadaną moc bierną w celu stabilizacji napięcia i poprawy jakości energii elektrycznej.

#### Regulacja w stanach przepięć dynamicznych

Wymagane jest, aby zespół STATCOM zapewniał niezbędne wsparcie mocy biernej z szybkimi i płynnymi zmianami w celu regulacji dynamicznych przepięć. STATCOM powinien wygładzać skok spowodowany przełączaniem MSC i MSR. Działanie każdego zespołu STATCOM powinno być płynne w pełnym zakresie regulacji mocy biernej.

#### Stabilność w stanach przejściowych

Stacja STATCOM powinna zapewniać niezbędną moc bierną w celu zwiększenia stabilności przejściowej systemu.

#### Tryb tłumienia oscylacji mocy

STATCOM powinien zapewniać niezbędne tłumienie oscylacji poprzez modulację mocy biernej w całym zakresie w oparciu o zmierzoną szybkość zmian mocy/częstotliwości na szynie WN. Regulator tłumienia powinien śledzić oscylacje o różnych wartościach częstotliwości, w zależności od wymagań projektowych.

#### Ograniczenie asymetrii napięć

Zespół STATCOM powinien zapewniać regulację składowej przeciwnej napięć fazowych w celu zminimalizowania obecności składowej przeciwnej po stronie sieci przesyłowej.

#### Rozruch i przełączenie początkowe

Działanie zespołu STATCOM podczas rozruchu nie powinno inicjować stanów nieustalonych powodujących odchylenie napięcia, zniekształcenie napięcia i wahania kąta napięcia na szynie PCC o więcej niż  $\pm 5\%$  w warunkach normalnych.

#### Kontrola wartości wzmocnienia

W celu zapobiegania oscylacjom oraz nadmiernemu przeregulowaniu odpowiedzi układu, możliwe jest wdrożenie funkcji kontroli wzmocnienia regulatora. Funkcja ta jest kluczowa dla nadzorowania regulacji napięcia w pętli zamkniętej.

Jej działanie polega na stopniowym zmniejszaniu wzmocnienia w przypadku wykrycia oscylacji na wyjściu regulatora napięcia, aż do momentu przywrócenia stabilności. Niestabilność systemu najczęściej wynika ze zmieniających się warunków w układzie, które wpływają na wzmocnienie pętli zamkniętej. Redukcja wzmocnienia regulatora napięcia powinna jedynie kompensować zewnętrzne zakłócenia, zapewniając stabilną pracę układu.

Sterowanie powinno być adaptacyjne. Zmiany wzmocnienia powinny być sygnalizowane i powinna być możliwość przywrócenia wartości znamionowej za pomocą poleceń z interfejsu operatora lub w sposób automatyczny. Względny współczynnik wzmocnienia powinien być również modyfikowany za pomocą optymalizatora wzmocnienia.

#### Skoordynowane sterowanie mocą bierną urządzeń zewnętrznych

Aby zoptymalizować wykorzystanie mocy biernej w stanie nieustalonym należy wdrożyć sterowanie zewnętrznymi bateriami kondensatorów lub dławików. Urządzenia te powinny być lokalnie podłączone do szyny WN i/lub SN. Koordynacja ich działania z dodatkowym regulatorem prądu VSC jest niezbędna, aby zapewnić jednocześnie i efektywne sterowanie obiema funkcjami. Zewnętrzne urządzenia, takie jak MSC/MSR, mogą być włączane lub wyłączane w celu ustawienia punktu pracy VSC w stanie ustalonym, co pozwala poszerzyć jego zakres działania w stanie dynamicznym

#### Dodatkowy regulator prądu VSC

Aby zoptymalizować wykorzystanie mocy biernej w stanie nieustalonym należy wdrożyć funkcję sterowania, która stopniowo zmniejsza lub kompensuje punkt pracy układu. Poprzez celową zmianę napięcia odniesienia następuje zmiana mocy wyjściowej STATCOM. Funkcja ta umożliwi działanie wolniejszych sterowników oraz reagowanie na długookresowe wahania napięcia spowodowane zmianami obciążenia w cyklach dziennych lub tygodniowych. Jednocześnie, gwałtowne zmiany napięcia w systemie, wymagające dynamicznej kompensacji, mają priorytet nad tym typem sterowania

#### Optymalizacja wzmocnienia

W celu zapewnienia pracy regulatora przy optymalnym wzmocnieniu należy wdrożyć w pełni automatyczną funkcję optymalizacji. Funkcja ta działa poprzez wprowadzenie niewielkich zmian na wyjściu STATCOM, a wzmocnienie jest dostosowywane na podstawie sygnałów pochodzących z sieci.

#### Kontrola prądu stałego

Podczas pracy STATCOM przepływ prądu stałego do strony SN transformatora nie może przekraczać 25% prądu magnesującego. Minimalizowanie przepływu prądu stałego w transformatorze powinno być realizowane przez niezależną funkcję sterowania. W przypadku wystąpienia do 0,2% drugiej harmonicznej, sterowanie zespołu STATCOM powinno ograniczyć przepływ prądu stałego w transformatorze.

Przewidywany prąd składowej stałej powinien zostać uwzględniony w projekcie transformatora, w celu uniknięcia jego nasycenia.

#### 7.2.2. Strategia podnapięciowa

Zespół STATCOM musi działać niezawodnie w warunkach niskiego napięcia w systemie elektroenergetycznym. Przy napięciach dochodzących nawet do 0,2 pu, jednostki STATCOM powinny pracować bez ograniczeń, generując znamionowy prąd pojemnościowy zgodnie z charakterystykami LVRT. Projekt zespołu STATCOM musi uwzględniać możliwość pracy w warunkach znaczących asymetrii napięcia, bez wpływu krótkotrwałych napięć składowej przeciwnej do 1,5%.

Wartości napięć poniżej 0,2 pu zwykle występują podczas awarii w systemie przesyłowym. W takich przypadkach STATCOM musi kontynuować pracę zarówno w trakcie awarii, jak i po jej zakończeniu, zgodnie z charakterystykami LVRT. W przypadku problemów z zasilaniem pomocniczym AC, krytyczne obciążenia muszą być zasilane z akumulatorów DC lub systemów UPS, aby zapobiec wyłączeniu stacji. Akumulatory DC oraz systemy UPS muszą dysponować wystarczającą pojemnością, aby zapewnić ciągłą pracę stacji, a redundantne systemy baterii muszą być zdolne do obsługi 100% obciążenia.

W warunkach niskiego napięcia aktywowane są specjalne strategie sterowania, które zastępują standardowe tryby pracy. Gdy napięcie spadnie poniżej 0,2 pu, STATCOM może przejść w tryb podnapięciowy, redukując swoje wyjście do 0 Mvar. Po wzroście napięcia powyżej 0,25 pu system automatycznie powraca do podstawowego trybu sterowania, a strategia podnapięciowa zostaje dezaktywowana.

### 7.2.3. Strategia nadnapięciowa

W celu oceny wymagań dotyczących przebiegów należy przeprowadzić badania stabilności przejściowej. Badania te powinny uwzględniać warunki maksymalnych i minimalnych mocy zwarciovych, zwarcia jednofazowe i trójfazowe, sytuacje z zablokowanym wyłącznikiem, awarie pobliskiego generatora oraz awarie części zespołu STATCOM. Kluczowe jest, aby zespół STATCOM był odporny na chwilowe przebiegi i pozostawał w pracy w najbardziej krytycznych momentach. Zespół STATCOM musi być dostosowany do wytrzymania takich przebiegów zgodnie z charakterystyką HVRT.

- a) W przypadku przebiegów przekraczających 1,1 pu pod względem wielkości i czasu trwania, wynikających z sytuacji awaryjnych w systemie, stacja STATCOM powinna wdrożyć odpowiednie działania regulacyjne.
- b) Po przeprowadzeniu badań mających na celu określenie profilu przebiegu z układem STATCOM podłączonym do systemu, należy opracować koordynację izolacji elementów zespołu STATCOM.
- c) Należy zapewnić, że stacja STATCOM nie będzie powodować ferorezonansu ani oscylacji podsynchronicznych w systemie AC.
- d) Strategia ochrony przed przebiegami powinna być skoordynowana z ustawieniami wyłączania linii, tak aby stacja STATCOM pracowała w określonych zakresach napięcia.

### 7.2.4. Przebiegi

Cykle przebiegowe opisane w punkcie 7.2.3 powodują przebiegi prądowe. W związku z tym zespół STATCOM oraz jego podzespoły muszą być zaprojektowane tak, aby wytrzymywały tego rodzaju obciążenia, a także były odporne na następujące zdarzenia:

- a) Zwarcia międzyfazowe i zwarcia doziemne w systemie WN, szczególnie te występujące w pobliżu zespołu STATCOM i szyny SN.
- b) Przejściowe przebiegi spowodowane operacjami łączeniowymi i czynnikami atmosferycznymi.
- c) Przebiegi okresowe.
- d) Chwilowe przebiegi.

- e) Zwarcia w obwodzie wtórnym transformatora, takie jak
  - a. usterka przepustu,
  - b. łuk elektryczny;
- f) Usterki systemu zabezpieczeń.

#### 7.2.5. Odpowiedź zespołu STATCOM

Odpowiedź zespołu STATCOM powinna zapewniać, że zmiana napięcia systemu na małe, skokowe zakłócenie o wartości 5% napięcia zadanego osiągnie 90% wartości ustalonej w ciągu 30 ms. Maksymalne przeregulowanie nie może przekroczyć 120% wartości ustalonej, a czas ustalania nie powinien być dłuższy niż 100 ms. Czas ten należy liczyć od momentu, gdy napięcie mieści się w zakresie  $\pm 5\%$  wartości ustalonej.

Charakterystyka odpowiedzi musi być zachowana w całym zakresie mocy zwarciowej trójfazowej systemu (MVA), od wartości minimalnej do maksymalnej. Reakcja napięcia systemowego powinna zostać zweryfikowana za pomocą rzeczywistego regulatora na symulatorze czasu rzeczywistego podczas fabrycznych testów odbiorczych (FAT). Do tego celu wystarczające jest zastosowanie równoważnego obwodu Thevenina.

Układ powinien charakteryzować się czasem odpowiedzi nieprzekraczającym 10 ms. Wydłużenie tego czasu jest dopuszczalne, pod warunkiem że spełnione zostaną wymagania dotyczące czasu odpowiedzi systemu STATCOM.

### 7.3. **Dopuszczalna zawartość harmonicznyc**

#### 7.3.1. Ocena parametrów

Projekt zespołu STATCOM musi uwzględniać wpływ harmonicznyc, zgodnie z wymaganiami określonymi w niniejszej specyfikacji. Przy doborze parametrów wszystkich komponentów należy uwzględnić zawartość harmonicznyc w systemie, a także ocenić następujące aspekty:

- a) Harmoniczne generowane przez urządzenie STATCOM.
- b) Przewidywane tło harmonicznyc.
- c) Impedancję harmoniczną systemu zasilania („warunki oceny”) dla systemu WN.
- d) Maksymalne ciągłe napięcie o częstotliwości podstawowej w systemie WN.
- e) Limity określone przez OSP.

#### 7.3.2. Wydajność harmoniczna i konstrukcja filtra harmonicznyc prądu przemiennego

Zastosowanie technologii opartej na przekształtnikach napięcia (VSC) może wyeliminować konieczność stosowania filtrów lub ograniczyć ich użycie do niewielkiego filtra górnoprzepustowego. Zespół STATCOM powinien być zdolny do pracy bez filtrów AC. Projekt musi uwzględniać eliminację skutków rezonansu harmonicznego pomiędzy MSR, MSC, filtrami a systemem. Należy przeprowadzić analizy projektowe określające potrzebę stosowania filtra.

#### 7.3.3. Wydajność filtra

Określone poziomy zniekształceń harmonicznyc muszą być zachowane w następujących warunkach:

- a) Ciągłego zakresu wszystkich warunków systemowych i środowiskowych, w jakich pracuje stacja.
- b) Zmienności całkowitej pojemności filtra, wynikająca z tolerancji produkcyjnych, wpływu temperatury otoczenia, procesów starzenia oraz zmian pojemności do poziomu alarmowego.
- c) Zmienności tolerancji parametrów STATCOM, takich jak niesymetryczne uzwojenia transformatora, wahania zapłonu zaworu MSC i MSR, nierówna reaktancja dławika i kondensatora między fazami
- d) Zmienności częstotliwości systemu. Obliczenia powinny uwzględniać wszystkie możliwe kombinacje STATCOM, MSC i MSR.

#### 7.3.4. Parametry znamionowe elementów filtra

Komponenty filtrów harmonicznycch oraz inne elementy zespołu STATCOM muszą być przystosowane do ciągłego przenoszenia prądów harmonicznycch generowanycch zarówno przez system elektroenergetyczny, jak i sam STATCOM. Jeśli nie określono inaczej, prądy harmoniczne tego samego rzędu należy sumować arytmetycznie, natomiast prądy harmoniczne różnych rzędów powinny być sumowane jako pierwiastek sumy kwadratów.

Napięcie znamionowe kondensatorów należy określić na podstawie największej arytmetycznej sumy napięcia o częstotliwości podstawowej oraz poziomów harmonicznycch. Należy pamiętać, że maksymalne napięcie podstawowe i maksymalne poziomy harmonicznycch mogą nie występować jednocześnie w konfiguracjach STATCOM obejmującycch MSR lub MSC.

Przy doborze napięcia znamionowego kondensatorów filtrującycch należy również uwzględnić możliwość awarii poszczególnycch jednostek kondensatorów lub ich elementów. W przypadku kondensatorów niskonapięciowycch napięcie znamionowe powinno być dobrane tak, aby wytrzymały przejściowe obciążenia spowodowane awariami, włączeniami lub innymi operacjami łączeniowymi.

#### 7.3.5. Harmoniczne w punkcie przyłączenia

Z uwzględnieniem wymagań określonych w Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 22 marca 2023 r. w sprawie szczegółowycch warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, udział zespołu STATCOM w poziomach zniekształceń harmonicznycch w punkcie przyłączenia (PCC) nie może przekraczać wartości granicznycch. Poniżej podano maksymalne wartości graniczne przy użyciu oznaczeń zgodnycch z normą IEEE 519-2019.

Należy uwzględnić harmoniczne od 2 do 50:

- Zniekształcenia napięcia dla poszczególnycch harmonicznycch ( $D_n \leq 1\%$ ).
- Współczynnik zawartości harmonicznycch napięcia (THD)  $\leq 1,5\%$ .

### 7.4. **Zakłócenia telefoniczne i radiowe**

#### 7.4.1. Zakłócenie telefoniczne

STATCOM musi być zaprojektowany tak, aby zapobiegać występowaniu niepożądanych zakłóceń radiowycch, telewizyjnycch lub komunikacyjnycch w swoim otoczeniu. Dotyczy to zarówno zakłóceń powodowanycch przez bezpośrednie promieniowanie, jak i tych

przenoszonych za pośrednictwem kabli lub przewodów, do których STATCOM jest podłączony. Ocena potencjalnych zakłóceń powinna uwzględniać warunki pracy, w których STATCOM działa przy pełnym napięciu znamionowym i dostarcza obciążenie o dowolnej wartości aż do maksymalnej ciągłej mocy znamionowej.

#### 7.4.2. Zakłócenie radiowe

W celu ograniczenia emisji promieniowania, pomieszczenie przekształtnika VSC powinno zostać zaprojektowane jako klatka Faradaya. Należy zwrócić szczególną uwagę na sposób połączenia z urządzeniami znajdującymi się poza pomieszczeniem VSC, takimi jak układy sterowania i zabezpieczeń, aby zminimalizować ryzyko propagacji zakłóceń elektromagnetycznych. Projekt w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) powinien uwzględniać środki zaradcze, takie jak zachowanie odpowiednich odległości między kablami, ekranowanie kabli oraz ekranowanie urządzeń w celu zapewnienia odporności elektromagnetycznej.

W odniesieniu do urządzeń, należy uwzględnić normy IEC/EN 61000-6-4 oraz IEC/EN 61000-6-5. Wymagania te dotyczą głównie urządzeń systemów sterowania i zabezpieczeń, pomocniczych systemów zasilania AC, prostowników/ladowarek akumulatorów, układów sterowania chłodzeniem oraz wszelkich innych mających zastosowanie urządzeń.

Na poziomie systemowym, należy zastosować podział stref zgodnie z normą IEC/EN 61000-6-4, a STATCOM powinien spełniać zasadnicze wymagania dyrektywy EMC 2014/30/UE. Limity emisji elektromagnetycznej oraz odległość oceny emisji promieniowanej powinny być zgodne z tabelą D2 zawartą w Biuletynie Technicznym CIGRE nr 391, z uwzględnieniem indywidualnych cech układu STATCOM.

### **7.5. Hałas**

#### 7.5.1. Hałas środowiskowy

Maksymalny dopuszczalny poziom hałasu powinien być określony w punkcie wrażliwym na zakłócenia akustyczne, np. w budynku mieszkalnym. Projekt zespołu STATCOM musi uwzględniać wszelkie dostępne środki redukcji hałasu, aby zminimalizować emisję akustyczną generowaną przez urządzenie i jego osprzęt, zgodnie z wymaganiami określonymi w dokumentacji projektowej. Podczas projektowania należy uwzględnić następujące rozwiązania:

- a) Obudowy dźwiękochłonne dla transformatorów sprzęgających;
- b) Ekran akustyczny dla dławików z rdzeniem powietrznym;
- c) Systemy chłodzenia zaworów energoelektronicznych, obejmujące wentylatory dla zewnętrznych chłodnic powietrznych oraz bariery akustyczne rozmieszczone w sposób optymalny, z wykorzystaniem naturalnych elementów tłumiących, takich jak budynki;
- d) Pomieszczenia chłodzenia zaworów energoelektronicznych, wyposażone w dźwiękoszczelne drzwi, ściany oraz tłumione otwory wentylacyjne;
- e) Wloty i wyloty systemów wentylacji i klimatyzacji w budynkach, wyposażone w tłumiki akustyczne. Przykładowo, wentylatory wyciągowe aktywowane jako pierwsze przy wzroście temperatury powinny być umieszczone w lokalizacji z dala od odbiorcy.

Poziomy hałas transformatorów należy mierzyć zgodnie z wymaganiami normy IEC 60076-10. Pomiary powinny obejmować poziom ciśnienia akustycznego w odległości 2 m od głównej powierzchni promieniującej, przy jednoczesnej pracy wszystkich urządzeń chłodzenia wymuszonego powietrzem.

Lokalizacja	Poziom ciśnienia akustycznego dB(A)
Ogrodzenie stacji	50 w dzień, 45 w nocy lub zgodnie z warunkami środowiskowymi określonymi w pozwoleniu na budowę

#### 7.5.2. Ocena hałasu

W przypadku przekroczenia dopuszczalnych limitów hałasu środowiskowego należy opracować model akustyczny planowanego zespołu STATCOM, korzystając z oprogramowania do modelowania akustycznego. Analizy akustyczne powinny obejmować:

- a) Tabele danych mocy akustycznej umożliwiające niezależne modelowanie hałasu.
- b) Tabele trybów pracy urządzeń oraz odpowiadających im poziomów mocy akustycznej.
- c) Szczegóły dotyczące proponowanych środków akustycznej redukcji hałasu oraz ich tłumienia.
- d) Uwzględnienie układu terenu oraz urządzeń, w tym wysokości i wymiarów głównych źródeł hałasu.
- e) Szczegóły dotyczące danych wejściowych dla źródeł hałasu.
- f) Tabele przedstawiające wkład poszczególnych źródeł w poziom hałasu w miejscach zamieszkania.
- g) Szczegóły kluczowych założeń przyjętych podczas modelowania akustycznego.
- h) Wyraźne mapy hałasu (izofoniczne) obejmujące poziomy poniżej tła akustycznego.

Model akustyczny powinien uwzględniać:

- Tryb pracy jałowej,
- Pełne obciążenie,
- Każdy profil obciążenia w cyklu życia,
- Punkty pracy wymagające pod względem emisji hałasu środowiskowego.

Projekt zespołu STATCOM powinien zostać opracowany tak, aby zapewniał akceptowalny poziom emisji hałasu, utrzymując go poniżej poziomu tła akustycznego w najbardziej wrażliwych punktach odbioru. Akustyczne parametry dławików z rdzeniem powietrznym należy określać zgodnie z normą EN ISO 3746.

Jeśli analiza akustyczna wykaże, że niektóre lub wszystkie metody redukcji hałasu nie są konieczne w początkowej fazie, projekt zespołu STATCOM powinien uwzględniać możliwość ich późniejszej instalacji. Szczególną uwagę należy zwrócić na możliwość montażu ekranów akustycznych dla dławików z rdzeniem powietrznym. Dodatkowo projekt oraz rozmieszczenie środków redukcji hałasu muszą być zgodne z wymaganiami dotyczącymi bezpiecznej eksploatacji i konserwacji.

## 7.6. Wymagania dotyczące strat

Projekt zespołu STATCOM powinien być zoptymalizowany w celu minimalizacji strat na każdym etapie cyklu życia urządzenia. W celu wykazania zgodności z wymaganiami należy dostarczyć raport strat zgodny z wytycznymi przedstawionymi w Dodatku A – Faza 1.

Straty należy obliczać zgodnie z normami EN 62751-1 i EN 62751-2. W raporcie należy osobno podać wartości strat jałowych oraz strat obciążeniowych. Straty powinny być szczegółowo określone dla każdej grupy urządzeń, obejmując wszystkie komponenty zespołu STATCOM aż do głównego połączenia szyn WN

Raport powinien zawierać wykres przedstawiający zależność strat (w kW) od wyjścia mocy biernej (Mvar) dla całego zakresu pracy STATCOM, obejmujący wszystkie transformatory. Wykres powinien być sporządzony na podstawie następujących założeń:

- Napięcie docelowe: 1 p.u.,
- Ustawienie nachylenia: 5 %,
- Częstotliwość znamionowa: 50 Hz,
- Temperatura otoczenia: 20°C,
- Tolerancje komponentów powodujące maksymalne straty.

Raport powinien uwzględniać efekty histerezy, zwiększone straty wynikające z przełączania elementów energoelektronicznych oraz wszystkie obciążenia urządzeń pomocniczych. Straty wszystkich komponentów przekraczających 1 kW muszą zostać uwzględnione. Kondensatory będące częścią STATCOM należy traktować jako pojedyncze, skumulowane elementy, natomiast straty w zewnętrznych bezpiecznikach kondensatorów powinny zostać określone osobno. Deklarowane straty muszą być podzielone na dwie kategorie:

- Straty mierzone: straty, które mogą być zweryfikowane za pomocą pomiarów, zarówno w zakładzie produkcyjnym, jak i na miejscu instalacji zespołu STATCOM.
- Straty obliczeniowe: straty, które mogą być wykazane wyłącznie poprzez obliczenia i nie mogą zostać zweryfikowane za pomocą pomiarów.

Ponowna ocena strat obliczeniowych po zawarciu umowy nie będzie możliwa, chyba że zostanie odpowiednio uzasadniona i zaakceptowana przez OSP.

Szczegóły dotyczące metod obliczeniowych użytych do wyznaczenia strat „mierzonych” i „obliczeniowych”, a także proponowane sposoby weryfikacji, muszą zostać dostarczone zgodnie z wytycznymi zawartymi w Dodatku A – Faza 1.

Koszty strat w całym cyklu życia zespołu STATCOM powinny zostać uwzględnione w analizie ekonomicznej proponowanego rozwiązania. Wartość skapitalizowaną strat rocznych dla zespołu STATCOM należy oszacować i zaprezentować w formie wykresu cyklu pracy oraz tabeli, uwzględniając prognozowaną eksploatację urządzenia oraz wartość pieniężną strat.

Podczas testów fabrycznych należy zmierzyć lub ocenić straty dla poniżej wymienionych urządzeń.

### Transformator sprzęgający

Straty należy mierzyć w fabryce lub laboratorium przy maksymalnej wartości znamionowej, zgodnie z odpowiednią normą IEC/EN i przy częstotliwości zasilania. Pomiary powinny obejmować następujące warunki:

- i. Straty jałowe (straty w żelazie) przy napięciu znamionowym i częstotliwości podstawowej.
- ii. Straty obciążenia (straty w miedzi) przy wartości znamionowej odpowiadającej maksymalnemu prądowi ciągłemu i w temperaturze 75°C.
- iii. Straty urządzenia chłodzącego transformator (straty pomocnicze) przy napięciu znamionowym i częstotliwości podstawowej.

### Dławiki

Straty należy mierzyć w fabryce lub laboratorium przy maksymalnej wartości znamionowej oraz częstotliwości zasilania, zgodnie z odpowiednią normą IEC/EN.

### Zawory VSC

Straty przekształtnikowe obejmują straty w elementach energoelektronicznych, takich jak tranzystory bipolarne z izolowaną bramką (IGBT lub równoważne), na które składają się straty przewodzenia i przełączania, a także straty w kondensatorach DC, rezystorach i cewkach indukcyjnych stosowanych w układzie przekształtnika. Straty VSC należy obliczać zgodnie z wytycznymi normy IEEE-1052.

### Kondensatory

Straty kondensatorów należy zmierzyć w zakładzie producenta przy częstotliwości zasilania. Na podstawie wyników pomiarów fabrycznych należy obliczyć straty dla całego zespołu kondensatorów.

### System pomocniczy

Straty mocy układu pomocniczego należy obliczać na podstawie mocy i sprawności wszystkich silników, takich jak silniki układów chłodzenia, klimatyzacji czy wentylacji, korzystając z danych znamionowych podanych na tabliczkach znamionowych. Przy obliczaniu całkowitych strat należy uwzględnić wyższą z wartości całkowitych strat dla wszystkich systemów pomocniczych, występującą podczas pracy układu przy pełnej mocy biernej – pojemnościowej lub indukcyjnej.

### Filtry harmonicznych (jeśli występują)

Straty należy obliczyć przy maksymalnym obciążeniu zespołu STATCOM, przy napięciu 1 pu i częstotliwości 50 Hz. Obliczenia powinny być oparte na wynikach testów poszczególnych komponentów.

## 7.7. Poziomy izolacji

### 7.7.1. Ograniczniki

Poziomy ochrony ograniczników podłączonych do szyn zbiorczych zespołu STATCOM powinny być skoordynowane z parametrami izolacji oraz charakterystyką ograniczników przepięć.

Wyposażenie zespołu STATCOM, w tym transformatory sprzęgające oraz inne komponenty, powinny być odpowiednio skoordynowane z podanymi w specyfikacji poziomami izolacji.

Tabela 7.1 Poziomy izolacji dla urządzeń zespołu STATCOM

Napięcie znamionowe sieci	110 kV	220 kV	400 kV
Znormalizowane wytrzymałwane napięcie udarowe piorunowe [kV]	550	1050	1425
Znormalizowane wytrzymałwane napięcie udarowe łączeniowe [kV]	-	-	1050

Uwaga: Jeżeli wartości podane w nawiasach są niewystarczające do wykazania, że międzyfazowe napięcia wytrzymałwane mają odpowiedni poziom to jest konieczne przeprowadzenie dodatkowych prób wytrzymałości izolacji międzyfazowej.

### 7.7.2. Zawory

Wymagania dotyczące poziomów izolacji zaworów powinny być zgodne z wymaganiami projektowymi.

### 7.7.3. Odstępy powietrzne (izolacyjne)

Odstępy powietrzne powinny być określone na podstawie wymaganych poziomów wytrzymałości, aby ograniczyć prawdopodobieństwo wystąpienia przeskoku iskrowego do docelowej wartości wynoszącej jeden przeskok na 15 lat.

### 7.7.4. Rozdzielnia

Odstępy powietrzne dla urządzeń rozdzielni powinny być równe lub większe od wartości minimalnych określonych w normie IEC-60071. Należy również uwzględnić współczynnik korekcji wysokości (jeśli występuje) zgodnie z IEC.

### 7.7.5. Droga upływu

Droga upływu oraz droga przeskoku przez izolację powinny być określone w taki sposób, aby w warunkach dużego zanieczyszczenia prawdopodobieństwo przebicia izolatora nie przekraczało jednego przypadku na 15 lat.

Droga upływu dla wszystkich izolatorów AC przeznaczonych do instalacji zewnętrznych nie może być mniejsza niż 25 mm/kV maksymalnego skutecznego napięcia fazowego względem ziemi. Dla urządzeń podłączonych do systemów WN minimalna droga upływu powinna wynosić 10 500 mm.

W przypadku zewnętrznych przepustów izolacyjnych, łańcuchów izolatorów oraz długich izolatorów prętowych minimalna droga upływu musi wynosić 31 mm/kV

## 7.8. Dostępność i niezawodność

Zastosowanie mają niżej podane definicje.

### 7.8.1. Terminy przestoju

- a) **Awaria:** Okres, w którym urządzenie jest niedostępne do normalnej pracy z powodu zdarzenia bezpośrednio związanego z urządzeniem, co skutkuje zmniejszeniem wydajności zespołu STATCOM.
- b) **Zaplanowane wyłączenie:** Wyłączenie, które można zaplanować z co najmniej tygodniowym wyprzedzeniem.
- c) **Wyłączenie wymuszone:** Okres, w którym urządzenie jest niedostępne do normalnej pracy, ale nie znajduje się w zaplanowanym wyłączeniu i skutkuje zmniejszeniem mocy zespołu STATCOM, tj. wyłączenie, które nie jest wyłączeniem planowym.

### 7.8.2. Określenia czasu trwania przestoju

- a) **Rzeczywisty czas trwania awarii (AOD):** Czas w godzinach, jaki upłynął między początkiem, a końcem przestoju.

### 7.8.3. Kategorie czasu

- a) **Całkowity czas pracy (TOH):** skumulowany czas, przez jaki urządzenie lub komponent był eksploatowany lub używany.

### 7.8.4. Niedostępność

Niedostępność zespołu STATCOM odnosi się do okresów, w których stacja nie spełnia wymaganych parametrów z powodu wymuszonych wyłączeń w ciągu roku. W przypadku, gdy tylko część zespołu STATCOM jest niedostępna, czas trwania równoważnego wyłączenia należy obliczyć jako iloczyn czasu trwania pracy z ograniczoną mocą oraz proporcji zakresu mocy wyjściowej, która nie była osiągalna w tym okresie. Nie zaleca się częściowej niedostępności zespołu STATCOM.

Całkowite wyłączenie zespołu lub awaria systemu sterowania traktowane są jako pełna niedostępność zespołu. Okres bazowy dla obliczeń wynosi 12 miesięcy, a nowa instalacja musi spełniać gwarantowane wartości dostępności i niezawodności.

Czasy przestoju uwzględniają dostępność zalecanych części zamiennych oraz zgodność z harmonogramem konserwacji. Obliczenia niezawodności powinny określać oczekiwaną częstotliwość nieplanowanej utraty zdolności operacyjnej zespołu, z uwzględnieniem dłuższego czasu naprawy w przypadku jednoczesnych awarii.

Zakłada się pełne obciążenie urządzeń przez 100% czasu, a dostępność i niezawodność ocenia się na podstawie zdolności zespołu do pracy z mocą znamionową, niezależnie od rzeczywistego obciążenia w trakcie eksploatacji.

#### 7.8.5. Wymagana dostępność i niezawodność

Stacja STATCOM powinna być zaprojektowana z uwzględnieniem następujących minimalnych okresów żywotności operacyjnej:

- Podstawowe wyposażenie STATCOM oraz powiązane z nią prace budowlane muszą mieć minimalną projektowaną żywotność wynoszącą 40 lat.
- Systemy ochrony i sterowania związane z STATCOM muszą mieć minimalną projektowaną żywotność wynoszącą 15 lat.
- Urządzenia energoelektroniczne powinny być zaprojektowane na minimalną żywotność wynoszącą 25 lat.

Podczas okresu eksploatacji instalacja STATCOM powinna wymagać jedynie minimalnej konserwacji. Wszystkie komponenty, które nie spełniają założeń dotyczących żywotności, muszą zostać uwzględnione w harmonogramie odchyłeń wraz z uzasadnieniem ich niezgodności.

Można zaproponować wydłużenie projektowej żywotności urządzeń, pod warunkiem wykazania korzyści ekonomicznych oraz spełnienia wymagań dotyczących niezawodności, dostępności i konserwacji (RAM). Całkowita dostępność instalacji musi wynosić co najmniej 98%, uwzględniając zaplanowane i wymuszone przestoje, a także okresy rozruchu i gwarancji.

Należy dostarczyć szczegółowe informacje na temat podejścia projektowego, które zapewni osiągnięcie zakładanej żywotności instalacji STATCOM. Opis powinien uwzględniać rozwiązania umożliwiające wymianę kluczowych komponentów, takich jak systemy ochrony, sterowania, urządzenia energoelektroniczne lub ich podsystemy, przy minimalnym czasie przestoju instalacji.

W przypadku planowanego odnowienia w połowie cyklu życia instalacji należy jasno określić jego zakres oraz przedstawić działania mające na celu minimalizację przestojów.

Należy przedstawić szczegółowe studium niezawodności, dostępności i konserwacji (RAM), które potwierdzi zgodność z wymaganiami oraz uwzględni wydajność systemów pierwotnych, wtórnych i pomocniczych. Studium powinno identyfikować potencjalne konsekwencje niepewności w działaniu STATCOM oraz zaproponować środki zaradcze, zapewniające dostępność urządzenia do czasu planowanego przestoju.

W ramach studium należy opracować statystyczne badanie dostępności, które potwierdzi zgodność z wymaganiami dotyczącymi dostępności zaworów energoelektronicznych. Badanie to powinno obejmować źródła danych dotyczących wskaźników awaryjności komponentów, a także uwzględniać konfigurację i wydajność elementów systemu chłodzenia zaworów, takich jak pompy, przetworniki i sterowniki.

Aby spełnić wymagania dotyczące dostępności, należy zapewnić odpowiedni poziom redundancji. Statystyczne badanie dostępności powinno uwzględniać wszystkie niezbędne środki zaradcze mające na celu osiągnięcie wymaganych poziomów dostępności oraz zapobieganie potencjalnym przestojom w początkowym okresie eksploatacji (rozruchu). Dodatkowo należy dążyć do minimalizacji przestojów w trakcie eksploatacji i konserwacji, w tym podczas remontów lub wymiany komponentów. W tym celu należy wprowadzić

redundancję w krytycznych systemach i komponentach oraz zadbać o ich odpowiednie rozmieszczenie, ułatwiające dostęp.

Wyłączenia zespołu STATCOM wynikające z awarii urządzeń, które nie są objęte odpowiedzialnością OSP, nie powinny być uwzględniane przy ocenie wskaźników gwarancji dostępności i niezawodności. Okoliczności prowadzące do ograniczenia zdolności operacyjnej zespołu STATCOM, które będą brane pod uwagę w ocenie niezawodności i dostępności, a które mogą skutkować wymuszonymi wyłączeniami, obejmują między innymi:

- i. Awarii sprzętu.
- ii. Nieprawidłowego działania systemu sterowania i zabezpieczeń.
- iii. Braku uruchomienia.
- iv. Zmniejszenia wydajności.

W ocenie niezawodności następujące zdarzenia będą również uznawane za wyłączenie zespołu STATCOM:

- i. Całkowite wyłączenie zespołu STATCOM.
- ii. Redukcja zdolności zespołu STATCOM z powodu wyłączenia któregoś z jej komponentów.

Obliczona niezawodność całego zespołu STATCOM musi być równa lub wyższa od określonych wartości docelowych. Średnia częstotliwość wyłączeń na rok dla każdej zespołu STATCOM nie może przekraczać poniższych wartości:

	Cel Projektowy dla zespołu STATCOM	Maksymalna akceptowalna wartość gwarantowana dla zespołu STATCOM
Całkowita liczba wymuszonych przerw	3	5

#### 7.8.6. Gwarantowany wskaźnik awaryjności dla modułu podrzędnego

Maksymalny gwarantowany roczny wskaźnik awaryjności modułu podrzędnego (w tym wszystkich komponentów i układów elektronicznych) nie może przekraczać 1,0% na moduł STATCOM. Wskaźnik awaryjności nie obejmuje awarii bezpośrednio związanych z błędami obsługi i konserwacją.

#### 7.8.7. Gwarantowany wskaźnik awaryjności dla kondensatora prądu przemiennego

Maksymalny gwarantowany roczny wskaźnik awaryjności kondensatorów nie może przekraczać 0,15%, z wyjątkiem awarii pierwszej jednostki. Kondensator uznaje się za uszkodzony, jeśli jego pojemność różni się o więcej niż  $\pm 5\%$  od wartości podanej na tabliczce znamionowej. Wyciek oleju z kondensatora i uszkodzenie jednostki należy uznać za awarię, nawet jeśli wartość pojemności mieści się w granicach tolerancji.

## 8. Wymagania funkcjonalne

### 8.1. Ogólne

Należy zaproponować znamionowe napięcie robocze dla strony dolnego napięcia transformatora obniżającego, aby zoptymalizować projekt zespołu STATCOM. Propozycja musi zostać przedłożona do oceny.

Wszystkie używane substancje powinny być sklasyfikowane zgodnie z przepisami Unii Europejskiej dotyczącymi substancji niebezpiecznych. W stosownych przypadkach należy dostarczyć karty charakterystyki substancji niebezpiecznych.

Jednostki STATCOM powinny równomiernie dzielić obciążenie, z możliwością pracy w warunkach awaryjnych przy nierównym obciążeniu. Podczas rozruchu ładowanie kondensatorów DC modułu podrzędnego powinno odbywać się za pomocą rezystorów i układu wyłącznika obejściowego. Rezystory te muszą być zaprojektowane na trzy cykle ładowania w ciągu godziny, z odpowiednim czasem chłodzenia po każdym cyklu.

Oferowane jednostki STATCOM, wraz z systemem sterowania, powinny być zlokalizowane wewnątrz budynku stacji

#### 8.1.1. Zawory

Zawory powinny być zaprojektowane zgodnie z wymaganiami wydajności określonymi w specyfikacji. Aby zapewnić nowoczesne, wydajne i niezawodne rozwiązanie, zespół powinien opierać się na konstrukcji wielomodułowej z redundantnymi modułami podrzędnymi.

Zawory muszą spełniać ogólne wymagania dotyczące wydajności i zawierać wszystkie niezbędne urządzenia pomocnicze zapewniające płynne oraz niezawodne działanie. Powinny być wewnętrznie izolowane powietrzem i chłodzone wodą zdemineralizowaną. Konstrukcja zaworów powinna być modułowa, z wymiennymi podmodułami.

Zawory muszą być zamontowane w sposób umożliwiający łatwy dostęp. Dodatkowo należy zapewnić urządzenia ułatwiające dostęp do zaworów.

#### 8.1.2. Elementy półprzewodnikowe

Elementy półprzewodnikowe powinny być zaprojektowane tak, aby działały zgodnie z ogólnymi wymaganiami dotyczącymi wydajności zespołu STATCOM. Zawory muszą być wyposażone w indywidualne elementy półprzewodnikowe dobrane zgodnie z ich parametrami projektowymi oraz spełniać wymagania normy IEC 60747, chyba że niniejszy dokument stanowi inaczej.

Elementy półprzewodnikowe powinny wytrzymywać spodziewane obciążenia w warunkach stanu ustalonego, przejściowego oraz chwilowych przepięć. Podstawowe urządzenia półprzewodnikowe powinny być typu prasowanego (Press-Pack) lub modułowego. Konstrukcja zaworu powinna zabezpieczać sąsiednie moduły podrzędne przed skutkami ewentualnej eksplozji.

Musi być zapewniona redundancja na poziomie co najmniej jednego dodatkowego elementu. Oznacza to, że awaria dowolnego elementu półprzewodnikowego, modułu podrzędnego lub

urządzenia monitorującego nie może uniemożliwić dalszego działania systemu. W przypadku awarii system powinien automatycznie zgłosić i zidentyfikować lokalizację uszkodzenia, jednocześnie kontynuując pracę do czasu zaplanowania naprawy. Nawet w przypadku kolejnych awarii STATCOM musi być zdolny do działania bez utraty zdolności operacyjnej.

Urządzenie przełączające powinno być zaprojektowane z uwzględnieniem tolerancji na nierównomierny rozkład napięcia pomiędzy komponentami zaworu, wynikający z kondensatorów błędzących oraz tolerancji elementów. Konstrukcja musi zapewniać niezawodność w takich warunkach.

Każde urządzenie przełączające powinno być zdolne do pracy w zakresie wartości znamionowych nawet przy co najmniej dwóch uszkodzonych podmodułach lub poziomach. Liczba dopuszczalnych uszkodzonych podmodułów lub poziomów musi być zgodna z wymaganiami dotyczącymi dostępności układu.

#### 8.1.3. Moduł podrzędny dla topologii wielomodułowej

Moduł podrzędny jest kluczowym elementem topologii wielomodułowej. Zwiększenie liczby modułów podrzędnych pozwala na osiągnięcie wysokiego napięcia przy bardzo niskich zniekształceniach harmonicznym oraz minimalnym współczynniku szybkości zmian napięcia  $du/dt$ .

Moduł podrzędny powinien być zaprojektowany tak, aby zagwarantować łatwość konserwacji. Moduły VSC muszą być chronione przed przepięciami za pomocą odpowiednich strategii, a dostarczona dokumentacja powinna zawierać opis trybu awaryjnego urządzenia przełączającego oraz strategii postępowania w przypadku awarii.

Każdy kabel światłowodowy używany do sterowania lub komunikacji modułu podrzędnego, wyposażony w wiele rdzeni światłowodowych, powinien mieć co najmniej jeden zapasowy rdzeń dostępny do przyszłego wykorzystania."

#### 8.1.4. Moduł podrzędny

Moduł podrzędny zawiera kondensatory prądu stałego, które muszą zostać naładowane w celu zapewnienia pełnej funkcjonalności i wydajności. Po uruchomieniu zespołu kondensatory są rozładowane. Podczas sekwencji ładowania kondensatory są ładowane z głównej sieci energetycznej za pośrednictwem rezystora podłączonego szeregowo do głównych obwodów połączeniowych. Po osiągnięciu wymaganego napięcia ładowania obwód rezystora jest omijany za pomocą przełącznika lub wyłącznika obejściowego.

Typ i wartości znamionowe rezystora ładowania oraz związanego z nim wyłącznika obejściowego powinny być zaprojektowane zgodnie z ogólnymi wymaganiami dotyczącymi wydajności zespołu oraz spełniać wymagania odpowiednich norm.

#### 8.1.5. Chłodzenie zaworów

System recyrkulacji w obiegu zamkniętym musi zapewniać pełną wydajność odprowadzania ciepła z pomp, wymienników ciepła i wentylatorów, zgodnie z wymaganiami dotyczącymi dostępności zespołu. System chłodzenia powinien być zdolny do utrzymania pełnej wydajności przy maksymalnej temperaturze otoczenia i maksymalnej mocy biernej STATCOM. Dodatkowo system musi działać również przy najniższej temperaturze otoczenia i zerowej

mocy wyjściowej. Układ chłodzenia zaworu powinien być wyposażony w funkcję black startu. Niezbędne zasilacze UPS/UMD muszą być dostarczone osobno dla każdej jednostki STATCOM.

Układ chłodzenia zaworu musi być zaprojektowany tak, aby spełniał wymagania wydajności określone w niniejszej specyfikacji:

- a) Każda jednostka STATCOM powinna mieć własny system chłodzenia zaworów wodą dejonizowaną z redundantnymi pompami.
- b) Do chłodzenia zaworów STATCOM należy zastosować dejonizowany system wody w obiegu zamkniętym.
- c) Do chłodzenia wody dejonizowanej należy zastosować wymiennik ciepła woda-powietrze lub woda-woda. W zależności od wymagań projektowych możliwe jest stosowanie płynu ograniczającego zamarzanie.
- d) System powinien być zaprojektowany w taki sposób, aby nie było konieczności wyłączenia STATCOM w celu uzupełnienia wody dejonizowanej w systemie. Woda uzupełniająca powinna być zgodna z zalecanym PH i wymaganiami dotyczącymi czystości.
- e) Woda chłodząca powinna mieć stały przepływ niezależnie od obciążenia.
- f) System sterowania układem chłodzenia powinien być redundantny, obejmując zarówno zasilanie sterowania, jak i główne zasilanie. Alternatywnie, zamiast redundantnego systemu sterowania, dopuszczalny jest odpowiedni tryb, który zapewni działanie układu chłodzenia nawet w przypadku awarii sterowania.
- g) Układ powinien być wyposażony w dwie pompy o wydajności 100%, z jedną pompą rezerwową przeznaczoną dla zasilania głównego. W przypadku awarii jednej pompy, druga pompa powinna uruchamiać się automatycznie, bez konieczności wyłączenia STATCOM. W razie awarii zarówno pierwszej pompy, jak i pompy rezerwowej, na panelu sterowania powinien zostać wyświetlony alarm.
- h) Każdy system chłodzenia powinien być wyposażony w niezależne lub dedykowane zasilanie UMD, przy czym dopuszczalne jest zastosowanie wspólnej baterii dla obu zasilaczy UMD. System UMD musi zapewniać zdolność zespołu STATCOM do nieprzerwanego dostarczania mocy biernej
- i) System chłodzenia powinien być redundantny, umożliwiając wyłączenie 10% modułów chłodnic (co najmniej jednego zespołu wentylatora) bez wpływu na znamionową wydajność STATCOM.
- j) System chłodzenia powinien być zaprojektowany tak, aby umożliwiał pracę z uszkodzoną pompą lub wentylatorem bez konieczności wyłączenia systemu.
- k) W normalnych warunkach uzupełnianie wody nie jest wymagane. W przypadku obniżenia poziomu wody w zbiorniku wyrównawczym, uzupełnianie powinno odbywać się automatycznie za pomocą zbiornika wody uzupełniającej oraz pompy uzupełniającej.
- l) Należy zapewnić stację uzdatniania wody o odpowiedniej wydajności. System oczyszczania wody powinien utrzymywać przewodność poniżej 1  $\mu\text{S}$ . Komórka pomiarowa wody wypływającej z dejonizatora musi monitorować wyczerpanie materiału jonowymiennego. Filtry i dejonizatory powinny być zaprojektowane tak, aby

można je było wymieniać bez przerywania pracy systemu, a wymiana elementów eksploatacyjnych nie powinna być wymagana częściej niż raz w roku.

- m) Filtry oraz materiały dejonizatora muszą być zaprojektowane tak, aby ich wymiana mogła być przeprowadzona w ciągu kilku minut, bez konieczności wyłączania jednostki chłodzącej. Regularna wymiana nie powinna być wymagana częściej niż raz w roku.
- n) Podstawowy system chłodzenia powinien monitorować swoje działanie oraz stan wody chłodzącej.
- o) System ochrony cyklu chłodzenia powinien mieć co najmniej następujące alarmy:
  - a. zubożone ogniwo dejonizującej,
  - b. niska rezystywność wody,
  - c. wysoka temperatura wody,
  - d. pompa główna zatrzymana,
  - e. zatrzymanie wentylatora,
  - f. wadliwe obwody blokady pompy głównej lub wentylatora,
  - g. niski poziom wody w zbiorniku obiegu pierwotnego (wody uzupełniającej),
  - h. awaria układu sterowania,
  - i. usterka UMD/UPS.
- p) W ochronie układu chłodzenia należy zaimplementować następujące alarmy wyłączenia:
  - a. nadmierna niska rezystywność wody,
  - b. nadmierna wysoka temperatura wody,
  - c. całkowita utrata zasilania pomocniczego pomp głównych,
  - d. niski przepływ,
  - e. niskie ciśnienie,
  - f. i inne.
- q) Elementy rozpraszające ciepło w przekształtniku powinny być chłodzone wodą dejonizowaną.
- r) Straty mocy powinny być odprowadzane do otoczenia za pomocą wymiennika ciepła woda dejonizowana/powietrze. Instalację należy sprawdzić pod kątem:
  - a. miernika przewodności wody dejonizowanej.
  - b. przepływomierza wyposażonego w dwa punkty nastawy (alarm i wyzwolenie).
  - c. manometru do pomiaru ciśnienia.
  - d. dwóch termometrów dla wlotu oraz dwóch dla wylotu (z dwoma punktami nastawy: alarm i wyzwolenie).
  - e. termostatu.
- s) Stan układu chłodzenia powinien być monitorowany przez system sterowania.
- t) Wymiana urządzeń chłodzących, takich jak pompy, wentylatory czy chłodnice, powinna być możliwa podczas pracy systemu chłodzenia, nawet w przypadku uszkodzenia tych elementów.

#### 8.1.6. Testy zaworu

Wszystkie wymagane testy, w tym testy operacyjne (z wyjątkiem testu zwarciovego), dielektryczne oraz test wrażliwości zaworu na zakłócenia elektromagnetyczne, muszą być przeprowadzone zgodnie z najnowszym wydaniem normy IEC 62927.

Test częściowego rozładowania należy wykonać podczas rutynowego testu każdego modułu podrzędnego, z wyłączeniem kondensatora DC, oprócz innych rutynowych i produkcyjnych testów określonych w normie IEC 62927.

## **8.2. Regulacja i sterowanie**

### **8.2.1. Urządzenia sterujące**

Systemy sterowania muszą spełniać cele funkcjonalne określone w punkcie 7.2. Dokładność napięcia powinna mieścić się w granicach  $\pm 1\%$  napięcia odniesienia. Dokładność nachylenia i liniowość dostarczanego przez zespół STATCOM należy określić w odniesieniu do odchylenia prądu od nachylenia wskazanego w punkcie 7.1, przy czym maksymalne odchylenie nie może przekraczać  $\pm 5\%$  prądu znamionowego.

Projekt systemu sterowania musi być zgodny z kryterium pojedynczej awarii, co oznacza, że awaria dowolnego komponentu nie może spowodować całkowitej awarii systemu. Minimalnym wymogiem jest zastosowanie podwójnego cyfrowego programowalnego regulatora, odpowiedzialnego za pełną kontrolę nad elementami STATCOM, MSR i MSC, w tym funkcjami wymienionymi poniżej.

- a. Regulator powinien umożliwiać diagnostykę i samokontrolę zaworów, przekształtników, sprzętu oraz oprogramowania interfejsu, co pozwoli na skrócenie czasu przestojów i ułatwi wykrywanie usterek.
- b. Regulator powinien być programowalny. Operator musi mieć możliwość zmiany wartości referencyjnych i granicznych za pośrednictwem interfejsu operatora.
- c. Regulator zespołu STATCOM powinien umożliwiać zmiany wartości zadanych w ramach wybranych limitów za pośrednictwem interfejsu operatora (np. poprzez UZDA), obejmując następujące funkcje:
  - i. Regulator napięcia
  - ii. Regulator Q (regulator mocy biernej).
  - iii. Dodatkowy regulator prądu VSC.
  - iv. Inne dodatkowe funkcje sterowania (w tym praca z nadrzędną regulacją OSP).
- d. Regulator powinien mieć co najmniej 10% rezerwy pojemności wejść/wyjść, aby umożliwić przyszłe aktualizacje oprogramowania i dostosowanie do zmieniających się wymagań. Powinien również obsługiwać co najmniej cztery dodatkowe urządzenia bocznikowe takie jak dławiki lub kondensatory.
- e. Wszystkie sygnały sterujące dostępne do zdalnego sterowania muszą być również dostępne lokalnie, aby umożliwić operatorowi obsługę stacji STATCOM w przypadku braku łączności komunikacyjnej.
- f. Regulator musi umożliwiać przełączanie między trybem sterowania lokalnego a zdalnego
- g. Proponuje się zastosowanie systemu nadzorczego i monitorującego (SCADA) do sterowania STATCOM. Wszystkie dane powinny być pozyskiwane z pola oraz różnych elementów, a sterowanie realizowane za pomocą redundantnego interfejsu HMI. Lokalny system sterowania zespołem STATCOM powinien zawierać:
  - i. Redundantny regulator zespołu STATCOM,
  - ii. Redundantną stację roboczą HMI,
  - iii. Bramkę komunikacyjną (Gateway),

- iv. Komputer do systemu sterowania oraz rejestrator zakłóceń,
- v. Zapasową stację roboczą HMI w sytuacjach awaryjnych.

Dodatkowe wyposażenie peryferyjne powinno obejmować:

- i. System GPS,
- ii. Zasilacz awaryjny (UPS).

Synchronizacja czasu z wykorzystywaniem sieci LAN zalecany standard NTP. W uzasadnionych przypadkach, gdy konieczna jest duża dokładność synchronizacji czasu preferowany standard PTP.

Całe wyposażenie musi być połączone za pomocą redundantnej sieci LAN opartej na technologii Ethernet.

- h. Dodatkowo, stacja robocza HMI (identyczna jak stacja HMI w sterowni zespołu STATCOM) powinna być zainstalowana również w sterowni głównej stacji WN. Stacja robocza HMI musi być zasilana z niezależnego systemu UPS, zapewniającego zasilanie przez co najmniej dwie godziny w przypadku awarii zasilania pomocniczego
- i. Urządzenia sterujące muszą spełniać wymagania dotyczące niezawodności i dostępności określone w niniejszej specyfikacji.
- j. Należy zastosować wszelkie niezbędne środki, aby zapewnić prawidłowe działanie urządzeń w obecności harmonicznych prądu i napięcia, szumów oraz zakłóceń radiowych. Urządzenia muszą być zaprojektowane tak, aby działały zgodnie z warunkami środowiskowymi określonymi w specyfikacji.

### **8.3. Wymagania dla Grid Forming**

Zespół STATCOM powinien być zaprojektowany tak, aby umożliwiał realizację sterowania typu Grid Forming (GFM), czyli formowanie sieci. Sterowanie GFM powoduje, że STATCOM może być traktowany jako źródło napięcia za impedancją wewnętrzną. Po wystąpieniu zakłócenia sieciowego wewnętrzne źródło napięcia będzie zachowywać amplitudę napięcia i kąt fazowy. W rezultacie prąd wymieniany między STATCOM a siecią będzie wprost proporcjonalny do różnicy napięć między wewnętrznym źródłem napięcia STATCOM, a napięcie sieci w punkcie przyłączenia, a odwrotnie proporcjonalny do impedancji wewnętrznej STATCOM.

Przy zachowaniu układu połączeń jednostki przekształtnikowej zespołu STATCOM w trójkąt, układ sterowania powinien umożliwiać synchronizację typu moc czynna – kąt napięcia, jako jeden z koniecznych elementów zapewnienia zdolności do pracy jednostki w trybie źródła napięciowego<sup>1</sup>, w ramach dostępnych limitów prądu oraz energii po stronie DC.

#### *Dodatkowe wymagania w zakresie dopuszczalnego zakresu pracy*

1. W przypadku zakłóceniu od strony sieci po czasie narastania (czas, w ciągu którego sygnał wyjściowy układu osiąga/zmienia się od 10% do 90% wartości tego sygnału w

---

<sup>1</sup> w ramach grupy funkcjonalności określanej jako Grid forming.

stanie ustalonym) wynoszącym 10 ms, powinno zostać osiągnięte 90% oczekiwanej wartości chwilowej prądu biernego lub zmiany mocy.

2. W przypadku skokowej zmiany amplitudy napięcia (np. na skutek zmiany wartości zadanej), której wartość nie przekracza 5%, czas ustalania (zdefiniowany jako ostatni moment, w którym zmierzona wartość wchodzi w zakres tolerancji  $\pm 5\%$  oczekiwanej wartości) powinien wynosić do 60 ms.
3. Układ powinien być tak zaprojektowany, aby zapewniał dodatnie tłumienie mieszczące się w zakresie od 0,2% do 5%.

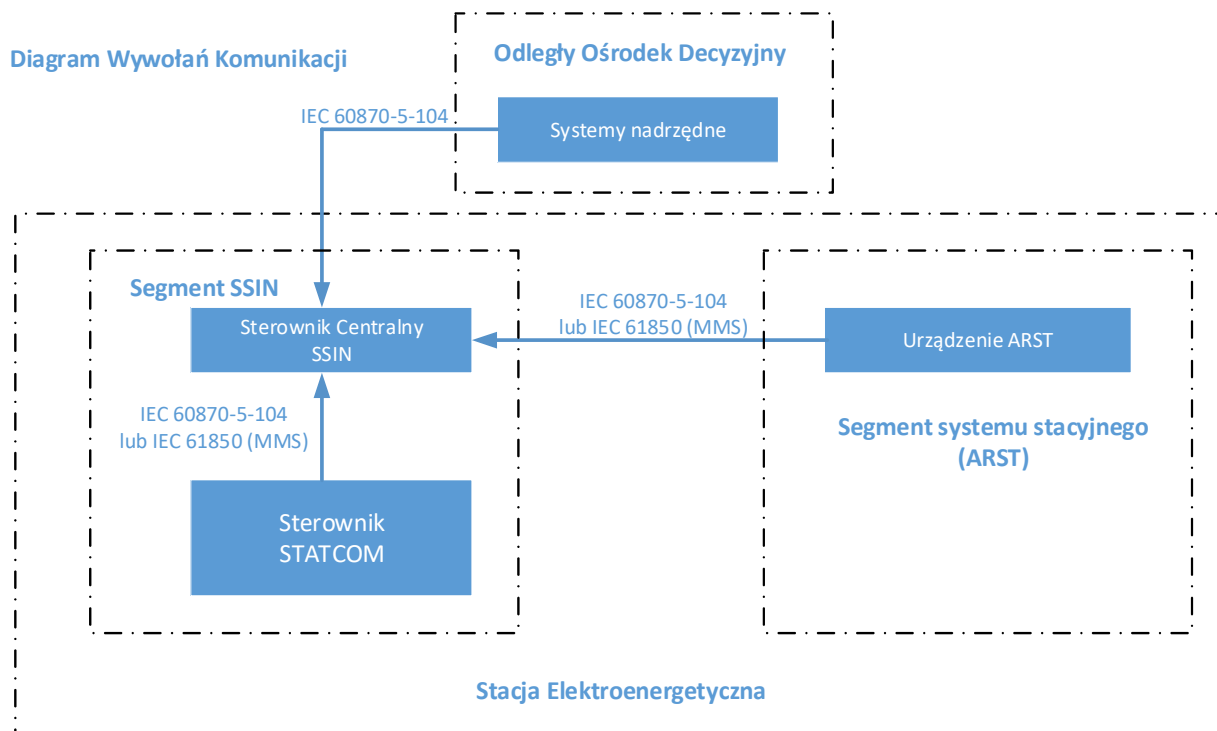
#### Dodatkowe wymagania po osiągnięciu ograniczenia prądowego

1. W przypadku osiągnięcia limitów prądu dopuszczalnego należy utrzymać zachowanie źródła napięciowego (zwiększenie udziału prądu biernego pojemnościowego w przypadku zmniejszenia wielkości napięcia i zwiększenie prądu biernego indukcyjnego w przypadku zwiększenia wielkości napięcia). Amplituda prądu powinna być ograniczona bez nakładania twardych limitów na regulatory prądu. Ograniczenie początkowo powinno dotyczyć amplitudy fazona prądu, a następnie dostosowywać wielkość amplitudy i argumentu (kąta) napięcia wewnętrznego STATCOM, w celu działania w granicach dopuszczalnego prądu przekształtnika VSC i napięcia obwodu DC.
2. W przypadku osiągnięcia wartości granicznych prądu, całkowity prąd pozorny powinien być jak najbardziej zbliżony do prądu znamionowego i nie może być mniejszy niż 95% prądu znamionowego.
3. Po likwidacji zwarcia, zarówno w trakcie, jak i podczas wychodzenia z trybu ograniczenia prądu, zespół STATCOM powinien zapobiegać wszelkim możliwym przepięciom w punkcie połączenia, zapewniając odpowiednią ilość prądu biernego.
4. W przypadku odpowiedzi dynamicznej:
  - W następstwie zakłócenia od strony sieci po czasie narastania, który nie może być dłuższy niż 10 ms, powinno być osiągnięte nie mniej niż 90% zmiany oczekiwanej wartości chwilowej prądu biernego lub mocy biernej.
  - W przypadku gdy po zakłóceniu spodziewana jest wartość w stanie ustalonym, oczekiwany czas ustalania (zdefiniowany jako ostatni moment, w którym zmierzona lub symulowana wartość wchodzi w zakres tolerancji  $\pm 10\%$  wartości oczekiwanej) wynosi 60 ms.

### **8.4. Wytyczne dla układów sterowania i monitorowania**

#### **8.4.1. Ogólne**

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, System Sterownia i Nadzoru Stacji SSIN) to niezbędny system do sterowania i monitorowania procesu w czasie rzeczywistym. Preferowana struktura pracy układu telekomunikacyjnego przedstawiająca wywołania komunikacyjne między poszczególnymi elementami niezbędnymi do poprawnej pracy STATCOM została pokazana na Rys. 8.1. Zakłada się, że dane z sterownika STATCOM będą przesyłane do dowolnych centrów dyspozytorskich za pomocą mechanizmów dostępnych w SCADA (SSIN).

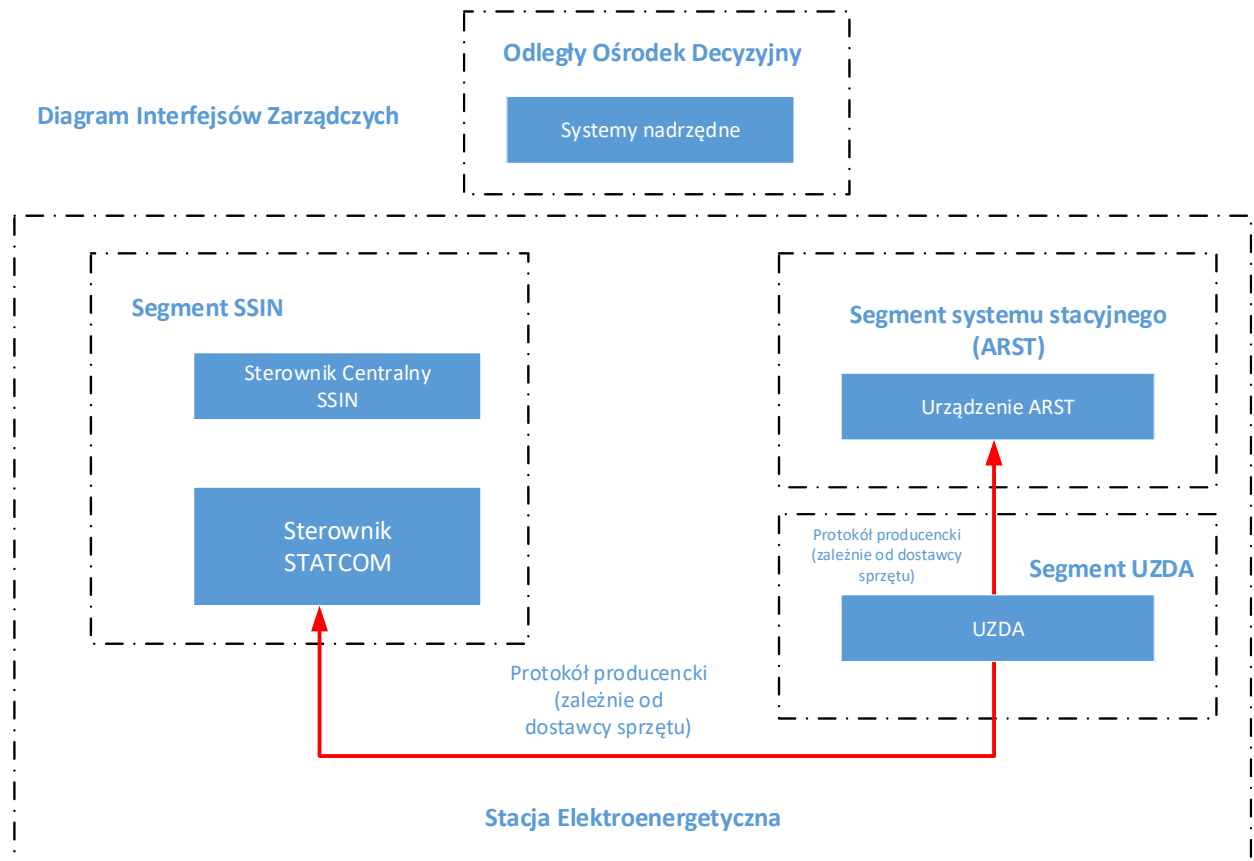


Rys. 8.1. Diagram wywołań komunikacji w układach współpracujących ze sterownikiem STATCOM

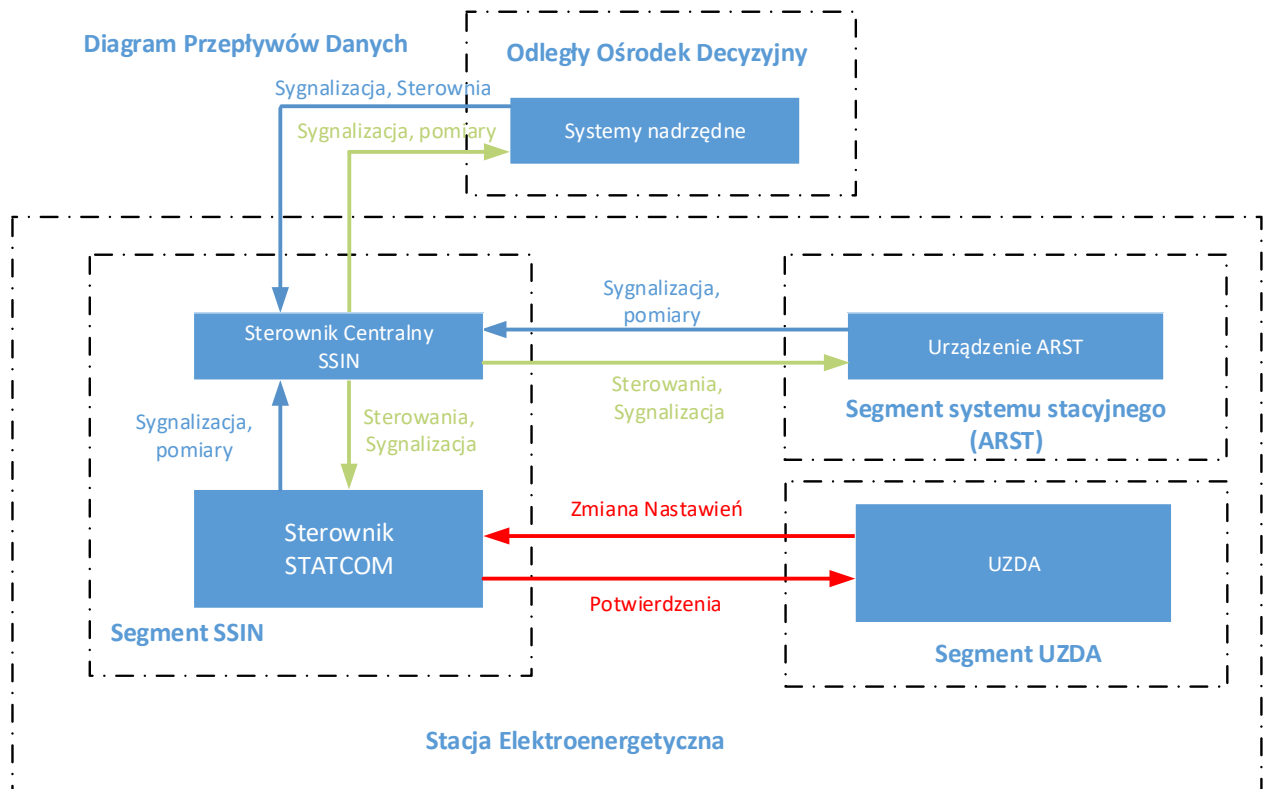
Dodatkowo na Rys. 8.2. pokazano diagram interfejsów zarządczych między stacyjnym systemem UZDA, a sterownikami współpracującymi z STATCOM. Wymiana danych w ramach interfejsów zarządczych powinna odbywać się z wykorzystaniem łącz Ethernet. Wymagane jest, aby zastosowany protokół do administracji, zarządzania i nastawiania urządzeń zapewniał uwierzytelnienie, poufność oraz integralność komunikacji.

Przepływy danych między elementami współpracującymi w ramach STATCOM pokazano na Rys. 8.3. Poprawne działania układu STATCOM wymusza przesyłanie zestawu danych sygnalizacyjnych, pomiarowych zgodnie z zaznaczonymi na Rys. 8.3 kierunkami przepływów.

Zaleca się, aby wszelkie fizyczne układy połączeń telekomunikacyjnych szczególnie dedykowane do współpracy z SSIN realizować w wysokiej dostępności tzw. HA (High Availability).



Rys. 8.2. Diagram interfejsów zarządczych do elementów współpracujących ze sterownikiem STATCOM



Rys. 8.3. Diagram przepływów danych ze sterownika STATCOM

Sterownik zespołu STATCOM powinien być zaprojektowany tak, aby umożliwiał jego działanie w warunkach ustalonych, przejściowych i dynamicznych.

Sterownik STATCOM musi być wyposażony w interfejsy komunikacyjne, które umożliwiają komunikację z systemami SCADA (SSiN) oraz z lokalnym terminalem HMI np. realizowanym w ramach systemu UZDA. Wszystkie operacje związane ze sterowaniem i monitorowaniem stanu sterownika STATCOM (oraz pośrednio innych elementów układu STATCOM) muszą być dostępne na poziomie dedykowanych interfejsów.

Lokalny terminal HMI (realizowany np. w formie systemu UZDA) powinien pozwalać na wizualizację schematów i stanów pracy poszczególnych elementów układu STATCOM, a także wskazywać status urządzeń, alarmy, napięcia, prądy itp. Lokalny terminal HMI musi pozwalać na pełną diagnostykę alarmów oraz sygnałów wyłączających.

Należy określić metodologię sterowania w celu zarządzania utratą sygnałów napięcia w jednej z trzech faz oraz zdefiniować zachowanie algorytmu działania sterownika STATCOM w przypadku asymetrii lub awarii jednej bądź dwóch faz.

Układ współpracy poszczególnych elementów STATCOM musi być zaprojektowany z odpowiednią redundancją i niezawodnością tak, aby pojedyncza awaria dowolnego komponentu systemu zarządzającego pracą STATCOM, w tym transformatorów pomiarowych, nie prowadziła do nieprawidłowego działania czy zmniejszenia dostępności zespołu STATCOM jako całości.

Wszystkie stany pracy zespołu STATCOM oraz jego awarie muszą być zgłaszane do systemu SCADA, a następnie udostępniane w ramach odpowiednich alarmów.

Dodatkowe wymagania dotyczące zaawansowanej diagnostyki, takie jak rejestracja zakłóceń, gromadzenie danych oraz synchronizacja czasu, powinny zostać określone w specyfikacji dotyczącej urządzeń EAZ dyktowanych dla konkretnego projektu.

#### 8.4.2. Punkty sterowania (lokalizacje)

Urządzenie STATCOM powinno mieć możliwość sterowania zdalnie za pomocą systemu SCADA (SSiN). System sterowania powinien być wyposażony w dwa punkty sterowania:

- Lokalny punkt, umieszczony w pobliżu zespołu STATCOM, umożliwiający operacje łączeniowe, wybór określonych funkcji, trybów pracy itp.
- Zdalny punkt, obsługiwany przez terminal zdalny SCADA (SSiN) zgodnie ze specyfikacją OSP.

Sterownik STATCOM musi być zintegrowany z systemem SCADA (SSiN), umożliwiając przesyłanie danych oraz zdalne sterowanie. Należy zaimplementować mechanizm arbitrażu dostępu do sterowania pracą STATCOM, który zapewni, że w danym momencie tylko jeden punkt sterowania zdalny lub lokalny ma aktywne uprawnienia do obsługi urządzenia lub jego funkcji. Aktywny punkt sterowania musi być wyraźnie wskazany we wszystkich potwierdzeniach zdarzeń.

Sterownik STATCOM musi umożliwiać wybór różnych strategii lub trybów pracy zespołu STATCOM. Wybór odpowiedniej strategii pracy STATCOM powinien być możliwy do

zrealizowania w trybie lokalnym jak i zdalnym. Sterownik STATCOM musi być elastyczny tak, aby zapewnić precyzyjne dostosowanie parametrów jego działania do różnych warunków operacyjnych określonych w poszczególnych trybach pracy.

Układ sterowania STATCOM powinien być zaprojektowany w sposób umożliwiający łatwe rozszerzanie jego funkcjonalności w przyszłości, w szczególności poprzez integrację nowych algorytmów sterowania, dodatkowych modułów komunikacyjnych oraz interfejsów współpracy z systemami nadrzędnymi.

#### 8.4.3. Wymagania dotyczące interfejsu STATCOM

Sterownik STATCOM musi umożliwiać zdalny dostęp do funkcji i interfejsu lokalnego HMI (rozumiany jako dostęp do UZDA). Użytkownicy zdalni powinni mieć możliwość przeglądania ekranów oraz zmiany ustawień parametrów STATCOM, gdy zajdzie taka potrzeba.

Wszystkie funkcje zespołu STATCOM, w tym operacje łączeniowe i monitorowanie stanów, muszą być odzwierciedlone w systemie SCADA (SSIN). Ta integracja musi zapewniać operatorom SCADA pełną kontrolę, obsługę i monitorowanie wszystkich elementów tworzących urządzenie STATCOM.

Należy przedstawić szczegółową propozycję listy sygnałów, które będą integrowane pomiędzy systemem SCADA a sterownikiem STATCOM. Propozycja ta będzie poddana przeglądowi przez OSP.

#### 8.4.4. Blokady

Sterownik STATCOM musi dostarczać sygnały wejściowe do mechanizmu blokad sterowniczych w podstacji, aby zapewnić bezpieczną obsługę pozostałego sprzętu rozdzielczego. Wymagania dotyczące zakresu dostarczanych sygnałów oraz logik blokad muszą zostać opracowane i przekazane do przeglądu przez OSP.

### **8.5. Zabezpieczenia**

#### 8.5.1. Układy automatyki zabezpieczeniowej

Układy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej zapewniają szybkie usuwanie krytycznych awarii z punktu widzenia stabilności systemu, zapobiegają zapadom napięcia, utracie lub ograniczeniom obciążenia. Układy te są również kluczowe w ograniczaniu skutków zwarcia w samym chronionym obiekcie. Dlatego dąży się do możliwie szybkiej eliminacji zakłóceń, co powoduje zmniejszenie czasu przepływu dużego prądu.

Urządzenie STATCOM powinno być chroniony przed skutkami zakłóceń we wszystkich warunkach jego potencjalnej pracy tj. przetężenia, przepięcia, nadmiernego obciążenia mocą bierną, asymetrią spowodowaną utratą elementów kondensatora, zwarciami międzyfazowymi i międzyfazowymi doziemnymi, zwarciami trójfazowymi, utratą systemu chłodzenia, awarią zaworu półprzewodnikowego lub sterowania itp.

Sposób działania wszystkich urządzeń zabezpieczeniowych dedykowanych do ochrony zespołu STATCOM musi być skoordynowany tak, aby zapobiegać nieprawidłowemu działaniu podczas normalnej pracy zespołu STATCOM. Dotyczy to także pracy w nietypowych warunkach funkcjonowania systemu przesyłowego. W całym systemie należy stosować zabezpieczenia

działające w trybie fail-safe, pozwalającym na minimalizowanie skutków pojawienia się awarii jednego z komponentów Oznacza to, że konstrukcja systemu powinna naturalnie zapobiegać lub łagodzić niebezpieczne konsekwencje wykrytej awarii.

#### 8.5.2. Priorytety układu EAZ

Podstawowe zasady i priorytety działania układów EAZ powinny uwzględniać następujące aspekty:

- Prawidłowa identyfikacja usterki, problemu lub błędu w systemie.
  - Izolowanie minimalnej liczby elementów lub podsystemów, o ile jest to możliwe.
  - Brak reakcji układów EAZ na specyficzne ale dopuszczalne tryby pracy zespołu STATCOM.
  - Pewne wyłączenie i zablokowanie zespołu STATCOM podczas wykrycia zakłócenia w jego pracy.
- a. Awaria wymiany danych z systemem SCADA (SSiN) nie może prowadzić do zadziałania urządzeń zabezpieczeniowych ani wyłączenia zespołu STATCOM. System EAZ musi działać w trybie fail-safe, zapewniając bezpieczną pracę STATCOM, niezależnie od wymiany danych z SCADA (SSiN).
  - b. Urządzenia EAZ muszą być zaprojektowane tak, aby selektywnie umożliwiały precyzyjne identyfikowanie elementów i obwodów sprawnych oraz uszkodzonych.
  - c. Przekazniki oraz styki przekazników muszą spełniać wymagania ogólne dla urządzeń oraz wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej zgodnie ze standardem PSE-ST.EAZ.NN.WN: Urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i układy z nią współpracujące, stosowane na stacjach elektroenergetycznych WN i NN
  - d. Należy podjąć odpowiednie działania w celu ochrony obwodów przed zewnętrznymi napięciami przejściowymi. Ułożenie kabli powinno minimalizować zakłócenia. Wszystkie zasilacze pomocnicze, wymagane do zasilania obwodów półprzewodnikowych, muszą być podłączone do głównej baterii akumulatorowej stacji.
  - e. System zabezpieczeń powinien być projektowany w oparciu o warunki przełączania oraz możliwość wystąpienia pojedynczej awarii. Usterki spowodowane pracami konserwacyjnymi lub jednoczesnym wystąpieniem dwóch lub więcej awarii nie powinny być uwzględniane w założeniach dotyczących zabezpieczeń.
  - f. Obwody wejściowe analogowe zabezpieczeń cyfrowych muszą być monitorowane w celu weryfikacji ich wiarygodności. W przypadku wykrycia nieprawidłowych informacji funkcja zabezpieczająca wykorzystująca te informacje powinna zostać zablokowana. Wszystkie obwody wyłączające (sygnały OW) muszą być wyposażone w urządzenia monitorujące obwody wyzwalające.
  - g. Funkcje testowe:
    - Układ EAZ musi umożliwiać testowanie urządzeń podczas pracy bez konieczności wyłączania poszczególnych urządzeń. Należy przewidzieć połączenia umożliwiające izolację poszczególnych obwodów oraz obwodu wyzwalania dla każdej cewki otwierającej i zamykającej wyłącznik.
    - Należy zapewnić niezależne wymuszenia prądów i napięć w danych obwodach, aby umożliwić testowanie urządzeń EAZ wraz z powiązanymi obwodami.

- h. Układ EAZ musi być zaprojektowany i zainstalowany tak, aby uszkodzone elementy były odłączane w sposób selektywny i automatyczny. Wszystkie urządzenia zabezpieczające muszą pozostawać sprawne podczas zjawisk przejściowych, takich jak przełączenia czy inne zakłócenia w systemie.
- i. Szczegółowe informacje dotyczące zależności w działaniu układów EAZ powinny zostać określone z uwzględnieniem specyficznych wymagań dla konkretnych urządzeń STATCOM oraz po konsultacji z ich producentami. Należy przedstawić szczegółową propozycję działania układów EAZ uwzględniających te zależności. Propozycja ta będzie poddana przeglądowi przez OSP.
- j. Lista funkcji zabezpieczających dla zespołu STATCOM (Tabela 8.1)

Tabela 8.1. Wymagane rodzaje zabezpieczeń STATCOM

Zabezpieczenie	Kod ANSI <sup>2</sup>	Funkcja zabezpieczeniowa
różnicowe transformatora sprzęgającego(nr P1) <sup>3</sup>	87T	Zabezpieczenie różnicowe stabilizowane
ziemnozwarciowe strefowe transformatora blokowego (nr P2)	87N	Zabezpieczenie różnicowe reagujące na prąd zerowy
ziemnozwarciowe transformatora sprzęgającego (punkt neutralny) (nr P3)	50N/50NTD	Zabezpieczenie nadprądowe zerowe od zwarć jednofazowych
nadprądowe trójfazowe transformatora sprzęgającego (nr P4)	50	Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne od zwarć międzyfazowych po stronie uzwojenia górnego
nadprądowe trójfazowe transformatora sprzęgającego (nr P5)	51C	Zabezpieczenie nadprądowe od przeciążeń po stronie górnego napięcia
Gazowoprzepływowe (nr P6)	63	Zabezpieczenie technologiczne transformatora sprzęgającego
od przewzbudzenia transformatora sprzęgającego (nr P7)	24	Zabezpieczenie reagujące na iloraz napięcia i częstotliwości
różnicowe szyn zbiorczych SN (nr P8)	87B	Zabezpieczenie różnicowe stabilizowane szyn

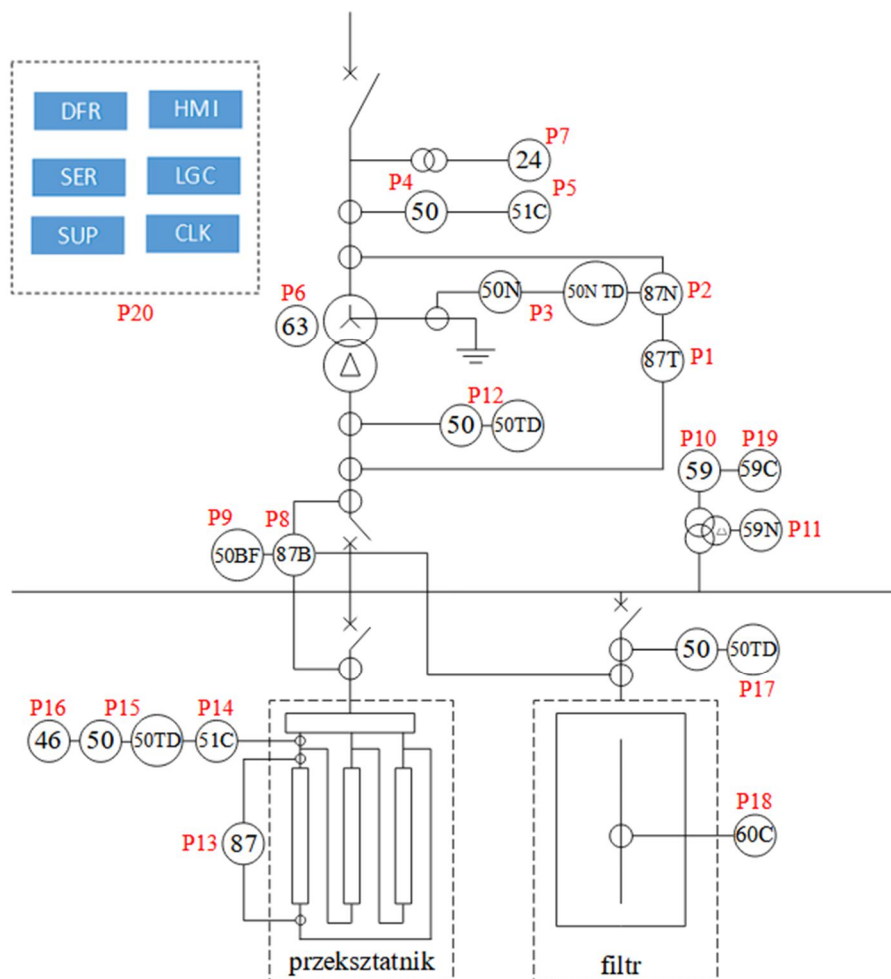
<sup>2</sup> Oznaczenia usystematyzowane zgodnie z dokumentem „Urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i układy z nią współpracujące, stosowane na stacjach elektroenergetycznych WN i NN” kod : PSE-ST.EAZ.NN.WN/2021

<sup>3</sup> Dotyczy oznaczeń na rys. 8.4

		Zalecane w rozbudowanych układach szyn SN
lokalna rezerwa wyłącznikowa (nr P9)	50BF	Zabezpieczenie przed uszkodzeniem wyłącznika na szynach zasilających STATCOM
Nad napięciowe (nr P10)	59	Zabezpieczenie reagujące na zwiększenie napięcia
Nad napięciowe zerowe (nr P11)	59N	Zabezpieczenie reagujące na zwiększenie napięcia zerowego
Zabezpieczenie nadprądowe (nr P12)	50/50TD	Zabezpieczenie bezzwłoczne i zwłoczne po stronie dolnego napięcia transformatora sprzęgającego
różnicowe gałęzi STATCOM (nr P13)	87	Zabezpieczenie różnicowe stabilizowane Zalecane, gdy używane są klasyczne przekładniki prądowe. Alternatywą jest użycie podwójnego zabezpieczenia nadprądowego i blokowania przekształtnika przy wysokim prądzie w odgałęzieniu VSC
od przeciążenia gałęzi STATCOM (nr 14)	51C	Zabezpieczenie od przeciążeń gałęzi STATCOM, model cieplny
nadprądowe dla obwodów wewnętrznych układu delta (nr P15)	50/50TD	Zabezpieczenie reagujące na zwiększenie prądu
nadprądowe składowej przeciwnej (gałęzi STATCOM) (nr P16)	46	Zabezpieczenie nadprądowe reagujące na składową przeciwną prądu
nadprądowe obwodu filtru harmonicznym (nr P17)	50/50TD	Zabezpieczenie reagujące na zwiększenie prądu
od nierównowagi prądów(nr P18)	60C	Zabezpieczenie działające na skutek wykrycia różnicy prądów w dwóch obwodach.
Od napięcia szczytowego (nr P19)	59C	Zabezpieczenie reagujące na zwiększenie napięcia
Funkcje dodatkowe ogólne		

System rejestracji zakłóceń (nr P20)	DFR	Rejestracja zakłóceń w stanach zagrożenia
System rejestracji zdarzeń (nr P20)	SER	Rejestracja zdarzeń w stanach zagrożenia
System diagnostyki technicznej (nr P20)	SUP	System diagnostyki poprawności pracy urządzenia zabezpieczeniowego
System komunikacji z użytkownikiem (nr P20)	HMI	Porty telekomunikacyjne pozwalające na zdalny nadzór i diagnostykę zabezpieczenia.
Układ logiki programowalna (nr P20)	LGC	Układ logiki programowalnej
Zegar czasu rzeczywistego (nr P20)	CLK	Układa zegara wewnętrznego z możliwością zewnętrznej synchronizacji.

Uwaga: Zakresy nastawcze dla poszczególnych funkcji zabezpieczeniowych powinny być zgodne z wymaganiami przedstawionymi w specyfikacji "Urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i układy z nią współpracujące, stosowane na stacjach elektroenergetycznych WN i NN" kod dokumentu PSE-ST.EAZ.NN.WN/2021.



Rys. 8.4 Schemat funkcjonalny systemu zabezpieczeń STATCOM

Funkcje ochronne dla poszczególnych gałęzi (STATCOM, MSC, MSR) muszą powodować wyłączenie odpowiednich wyłączników średniego napięcia dla danej gałęzi.

Szyny zasilające STATCOM powinny być wyposażone w układ LRW przeciwdziałający skutkom uszkodzeń wyłącznika. Układ LRW powinien działać na podstawie logiki opartej na sygnale prądowym o braku przerywania prądu zwarciovego oraz informacji o stanie otwarcia lub zamknięcia wyłącznika.

W przypadku zwarcia na szynie SN, musi nastąpić zadziałanie wyłącznika WN. Zwarcia w poszczególnych gałęziach powinny być eliminowane przez odpowiednie wyłączniki SN.

System zabezpieczeń dla części zaworowej zespołu STATCOM musi być zintegrowany w sterownikach, które w przypadku przeciążenia wewnętrznego, przepięcia, zwarcia doziemnego itp. odizolują zawory STATCOM.

## 8.6. Cyberbezpieczeństwo

W zakresie zapewnienia cyberbezpieczeństwa należy spełnić wymagania zawarte w standardzie IEEE Std 1686™-2022, a także w specyfikacjach PSE S.A.:

1. Standard budowy systemu sterowania i nadzoru (SSIN) w stacjach elektroenergetycznych, PSE-ST.SSIN.PL,
2. Systemy telekomunikacyjne obiektów stacyjnych PSE S.A., PSE-SF.TELE,
3. Standard architektury sieci IP na stacjach elektroenergetycznych PSE SA, PSE-SF.TELE\_LAN\_IP\_SE,
4. Urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i układy z nią współpracujące, stosowane na stacjach elektroenergetycznych WN i NN, PSE-ST.EAZ.NN.WN.

## 8.7. Mechanicznie załączane dławiki (MSR) do współpracy ze STATCOM

Zastosowanie MSR jest opcjonalne. MSR jest stałym źródłem indukcyjnej mocy biernej, podłączonym równolegle do szyny średniego napięcia zespołu STATCOM. Załączanie MSR odbywa się za pomocą wyłącznika mocy (wyposażonego w urządzenie do sterowania przełączania) na podstawie polecenia z systemu sterowania stacji. Znamionowe parametry pracy MSR są określone dla napięcia WN w PCC oraz w zakresie częstotliwości 49 – 51 Hz. Elementy MSR muszą być zaprojektowane z uwzględnieniem wymagań dotyczących ogólnej wydajności stacji. Poszczególne elementy muszą być zdolne do pracy w trudnych warunkach, w przypadku przepięć systemowych i obecności harmonicznych. MSR składa się z następujących elementów:

- Trójfazowy dławik powietrzny,
- Trójfazowy wyłącznik średniego napięcia,
- Przekładnik prądowy,
- Trójfazowy odłącznik,
- Uziemnik ochronny.

Obszar, w którym znajduje się MSR musi być ogrodzony, a dla zapewnienia bezpieczeństwa ludzi należy zastosować system blokad zamkowych z uziemnikiem ochronnym.

## 8.8. Mechanicznie załączane kondensatory (MSC) do współpracy ze STATCOM

Zastosowanie MSC jest opcjonalne. MSC to przełączalna trójfazowa bateria kondensatorów, podłączona równolegle do szyny SN zespołu STATCOM. Przełączanie MSC odbywa się automatycznie za pomocą wyłącznika mocy, na podstawie polecenia z systemu sterowania. Elementy MSC muszą być zaprojektowane w sposób umożliwiający spełnienie wymagań dotyczących ogólnej wydajności zespołu STATCOM. Muszą być zdolne do pracy w trudnych warunkach, takich jak przepięcia systemowe i harmoniczne. MSC składa się z następujących elementów:

- Trójfazowa bateria kondensatorów mocy AC,
- Dławik powietrzny do ograniczania prądów (jeśli wymagany),
- Trójfazowy wyłącznik SN,
- Przekładnik prądowy,

- Trójfazowy odłącznik,
- Uziemnik ochronny.

Obszar, w którym znajduje się MSC musi być ogrodzony, a dla zapewnienia bezpieczeństwa ludzi należy zastosować system blokad zamkowych z uziemnikiem ochronnym.

## **8.9. Dławiki powietrzne**

### **8.9.1. Ogólne**

Dławiki powietrzne stosowane pomiędzy przekształtnikiem VSC a szyną zbiorczą SN muszą spełniać następujące wymagania, aby zapewnić stałe wartości indukcyjności w systemie STATCOM oraz dostrojenie filtrów harmoniczných.

### **8.9.2. Klasa napięciowa i mocowa**

Należy przeprowadzić badania w celu określenia klasy napięciowej i mocowej dławików, zgodnych z normą IEC 60076-6. Badania te powinny obejmować pełen zakres parametrów pracy systemu, takich jak maksymalne i minimalne napięcia, zakres częstotliwości oraz poziom zniekształceń harmoniczných. Właściwości dielektryczne dławików muszą zostać potwierdzone testami zgodnie z normą IEC 60076-3.

Badania powinny uwzględniać prądy rozruchowe i rozładowania, wynikające zarówno z normalnej pracy STATCOM, jak i zdarzeń awaryjnych (np. awarii sprzętu). Dławiki muszą być zaprojektowane tak, aby wytrzymały chwilowe prądy bez uszkodzeń.

### **8.9.3. Ograniczenie wzrostu temperatury**

Wzrost temperatury uzwojeń dławika nie może przekraczać limitów określonych w normie IEC 60076 (wszystkie części). W celu weryfikacji tej charakterystyki należy przeprowadzić testy wzrostu temperatury.

Wzrost temperatury elementów konstrukcyjnych dławika nie może przekraczać 30°C, jeśli są one dostępne podczas normalnej pracy lub 50°C w innych przypadkach.

### **8.9.4. Odległości od pola magnetycznego**

Projekt zespołu STATCOM musi być zgodny z wytycznymi Międzynarodowej Komisji Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP) dotyczącymi pól zmiennych w czasie. W przypadku ekspozycji publicznej należy stosować się do zaleceń UE z 1999 roku (1999/519/EC2).

Należy zapewnić odpowiednie odległości magnetyczne od zainstalowanego dławika w stosunku do wszystkich metalowych obiektów. Zamknięte metalowe pętle muszą być wykluczone z bezpośredniego sąsiedztwa dławika. Zalecane odległości magnetyczne powinny zostać uwzględnione w karcie danych dławika oraz w rozmieszczeniu urządzeń.

Należy dostarczyć wykresy pola magnetycznego obejmujące wszystkie punkty znajdujące się poza obszarem zespołu STATCOM, w których pole magnetyczne przekracza wartość 100  $\mu$ T.

#### 8.9.5. Konstrukcja i wyposażenie

Dławiki muszą być wyposażone w uchwyty do podnoszenia, co ułatwi ich transport i instalację. Wszystkie wewnętrzne połączenia prądowe muszą być spawane, lutowane lub wykonane jako złącza zaciskowe. Zaciski muszą być pokryte cyną lub srebrem.

#### 8.9.6. Tolerancje

Należy spełnić wartości tolerancji określone w specyfikacji dla danego projektu. Wartości te powinny odnosić się do parametrów elektrycznych, mechanicznych i środowiskowych, aby zapewnić zgodność urządzenia z wymaganiami.

#### 8.9.7. Testy i weryfikacja

Dławiki muszą przejść testy zgodnie z najnowszym wydaniem normy IEC 60076, odpowiednio dla typu urządzenia. Testy muszą obejmować weryfikację właściwości dielektrycznych, odporności na przepięcia oraz wzrostu temperatury.

### **8.10. Kondensatory mocy**

#### 8.10.1. Ogólne

- a) Baterie kondensatorów powinny składać się z jednostek kondensatorów, urządzeń rozładowczych, urządzeń zabezpieczających, dławika szeregowego (jeśli wymagany), uziemników oraz odpowiednio połączonych elementów szeregowych i równoległych. Baterie powinny być zamontowane na poziomie gruntu i otoczone zabezpieczonym ogrodzeniem. Liczba, rozmieszczenie i konfiguracja baterii kondensatorów muszą być dostosowane do wymagań całego kompensatora. Baterie kondensatorów mogą być używane w połączeniu z dławikami, przy czym wartość znamionowa kondensatorów powinna być dobrana tak, aby wytrzymały obciążenia harmoniczne i uwzględniały zmiany częstotliwości. Aby ograniczyć szczytowy prąd udarowy podczas załączania kondensatorów, należy zastosować dławiki ograniczające prąd wraz z rezystorami tłumiącymi (jeśli wymagane), połączonymi szeregowo z bateriami kondensatorów.
- b) Kondensatory wyposażone w bezpieczniki wewnętrzne muszą być zgodne z normą IEC 60871-4 i przetestowane zgodnie z sekcją 5 tej normy.
- c) Bezpieczniki zewnętrzne, jeśli są stosowane, muszą spełniać wymagania normy IEC 60871-3, sekcja 5 Bezpieczniki zewnętrzne.
- d) Bezpieczniki nie mogą ulec stopieniu ani uszkodzeniu pod wpływem prądu rozruchowego w okresie eksploatacji.
- e) W przypadku, gdy kondensator jest naładowany do napięcia szczytowego, bezpieczniki powiązane ze sprawnymi elementami nie mogą przepalać się podczas przenoszenia prądu rozładowania wynikającego z awarii elementu lub zewnętrznego zwarcia.
- f) Bezpieczniki powinny być zdolne do odłączenia uszkodzonego elementu w zakresie napięcia na zaciskach urządzenia od 0,9 do 2,0  $U_n$ . Jeśli wszystkie elementy w tym samym rzędzie kompensatora z bezpiecznikiem wewnętrznym ulegną awarii w wyniku działania kaskadowego, ostatni bezpiecznik, który ulegnie przepaleniu, musi skutecznie odłączyć napięcie wynoszące co najmniej 1,5  $U_n$ .

- g) Po zadziałaniu zespół bezpiecznika powinien być w stanie wytrzymać w sposób ciągły co najmniej 1,5-krotność napięcia znamionowego  $U_n$  przez co najmniej 10 s.
- h) System bezpieczników musi być zaprojektowany w taki sposób, aby energia uwolniona do uszkodzonej jednostki kondensatora była mniejsza niż wartość, która mogłaby spowodować rozerwanie lub pęknięcie obudowy.
- i) Kondensatory powinny być typu zewnętrznego. Obudowa kondensatorów powinna być wykonana ze stali nierdzewnej.
- j) Każda jednostka kondensatorowa musi być łatwo dostępna i wymienna bez konieczności ingerencji w inne jednostki. Ramy wsporcze powinny być zaprojektowane w sposób zapewniający odpowiednią wentylację dla jednostek.
- k) Ciecz dielektryczna stosowana w jednostkach kondensatora musi być bezpieczna dla środowiska, biodegradowalna i nietoksyczna. Dielektryk typu polichlorowanego bifenyłu (PCB) lub którykolwiek z jego pochodnych nie może być dopuszczony.
- l) Należy zapewnić szczegóły proponowanej topologii elementów banku kondensatorowego, w tym informacje o sposobie spełnienia wymagań dotyczących ochrony przed asymetrią.

#### 8.10.2. Wymagania konstrukcyjne i projektowe

- a) Kondensatory AC muszą być zgodne z odpowiednimi normami IEC określonymi w tej specyfikacji.
- b) Kondensatory DC zainstalowane w modułach elektroniki mocy muszą być zgodne z normą PN EN 61071. Należy zapewnić analizy uzasadniające dobór wartości znamionowej kondensatorów DC.
- c) Dławiki ograniczające prąd powinny być typu suchego i połączone szeregowo z baterią kondensatorów. Muszą być wyposażone w odpowiednie uchwyty do podnoszenia.
- d) Obudowa kondensatorów musi być wystarczająco wytrzymała, aby wytrzymać obciążenia mechaniczne podczas pracy i montażu bez uszkodzeń lub skrócenia żywotności. Obciążenia te obejmują siły elektromagnetyczne (również podczas zwarć zewnętrznych lub wewnętrznych w baterii kondensatorów), obciążenia wietrzne, siły wynikające z rozszerzania i kurczenia spowodowanego temperaturą otoczenia, zmianami obciążenia itp.
- e) Jednostki kondensatorów powinny być wymienne, aby zmniejszyć zapotrzebowanie na części zamienne i uprościć procedury konserwacji.
- f) Zespół kondensatorów musi być wolny od wibracji. Musi mieć stały potencjał, połączony z jednym punktem elektrycznym w baterii. Powinien być wykonany z ocynkowanej stali konstrukcyjnej.
- g) Szafy Rack kondensatorów powinny być dostarczane w komplecie ze wszystkimi jednostkami kondensatorów, izolatorami i połączeniami oraz wyposażone w uchwyty do podnoszenia ułatwiające montaż w stosie. Rack powinien być wykonany z ocynkowanej stali konstrukcyjnej. Wiercenie w stali ocynkowanej jest niedozwolone.
- h) Kondensatory muszą być specjalnie zaprojektowane do pracy przerywanej, zgodnie z ich przeznaczeniem.
- i) Elementy kondensatora powinny być suszone próżniowo wewnątrz obudowy przed impregnacją płynem dielektrycznym. Po impregnacji jednostka kondensatora powinna zostać zaplombowana natychmiast po usunięciu zasobnika impregacyjnego.

- j) Rezystor rozładowczy musi obniżyć napięcie jednostki z napięcia szczytowego pracy do mniej niż 75 V w ciągu 10 min.
- k) Obudowa kondensatora musi być wykonana z nierdzewnej stali typu 409 lub równoważnej. Wszystkie spoiny muszą być zespane i przetestowane pod kątem szczelności.
- l) Wszystkie szafy Rack i izolatory szyn, a także izolatory używane do izolowania każdego zespołu kondensatorów od poziomu gruntu powinny być typu kołpakowego lub słupkowego. Izolatory muszą być przeznaczone do użytku zewnętrznego.
- m) Rozmiar i układ grup jednostek kondensatorowych muszą być takie, aby pojedyncze przepalenie bezpiecznika nie powodowało wzrostu napięcia w równoległej grupie o więcej niż 10%.
- n) Redundancja musi być zapewniona zgodnie z wymaganiami dotyczącymi niezawodności i dostępności określonymi w odpowiednich zapisach specyfikacji.

#### 8.10.3. Napięcie w stanie ustalonym

Wartość znamionowa napięcia jednostek kondensatorowych musi być określona zgodnie z normą IEC 60871-1. Należy przeprowadzić analizy, które wykażą sposób określenia wartości napięcia znamionowego kondensatorów. Parametry te muszą uwzględniać pełen zakres określonych warunków pracy systemu, w tym maksymalne i minimalne napięcie, zakres częstotliwości, poziom harmonicznych, a także ciągły i krótkotrwały zakres pracy zespołu STATCOM.

#### 8.10.4. Odporność na impulsy piorunowe

Kondensatory muszą przejść test odporności na impulsy piorunowe, zgodnie z sekcją 5 normy IEC 60871-1.

#### 8.10.5. Znamionowy prąd o częstotliwości zasilania

Zakres znamionowego prądu harmonicznego i częstotliwości zasilania musi być odpowiednie do wymagań projektowych.

#### 8.10.6. Prądy rozruchowe i rozładowania

Prądy rozruchowe muszą być ograniczone do wartości określonych w sekcji 27.6.2 "Prądy przejściowe przeciążeniowe" normy IEC 60871-1. Kondensatory muszą być zdolne do wytrzymania prądów rozruchowych wynikających z normalnej pracy oraz zdarzeń awaryjnych w zespole STATCOM.

Bezpieczniki kondensatorów muszą być zaprojektowane tak, aby wytrzymały liczbę impulsów prądów rozruchowych związanych z łączeniem podczas całej żywotności kondensatora. Szczytowa wartość prądu rozruchowego nie może przekraczać 100-krotności znamionowego prądu skutecznego (RMS).

Kondensatory muszą być zgodne z sekcją 27.6.2 "Prądy przejściowe przeciążeniowe" oraz sekcją 22 "Wymagania bezpieczeństwa dla połączeń w obudowie" normy IEC 60871-1. Zespoły kondensatorów oraz poszczególne kondensatory muszą spełniać wymagania dotyczące czasów rozładowań określone w normie IEC 60871-1.

#### 8.10.7. Wykrywanie awarii kondensatora

Stopnie wykrywania awarii jednostek kondensatorów lub ich elementów powinny być zapewnione zgodnie z poniższymi wymaganiami:

- a) Każda bateria kondensatorów musi być wyposażona w trzystopniową ochronę przed asymetrycznym prądem. Pierwszy etap ma generować alarm po osiągnięciu dopuszczalnego limitu asymetrii, a ostatecznie, w przypadku przekroczenia limitu, system ma wyłączyć baterię.
- b) Pierwszy stopień ochrony ma generować alarm, ale bateria kondensatorów powinna pozostać w eksploatacji. Zakłada się, że bateria zostanie odłączona w celu konserwacji w ciągu dwóch tygodni.
- c) Drugi stopień ochrony ma generować oddzielny alarm oraz opóźniony sygnał wyłączenia, który odłączy baterię kondensatorów po dwóch godzinach.
- d) Trzeci stopień ochrony ma powodować natychmiastowe odłączenie baterii kondensatorów.

#### 8.10.8. Testy kondensatorów

Wszystkie testy jednostek kondensatorowych muszą być przeprowadzane zgodnie z najnowszym wydaniem normy IEC 60871.

### **8.11. Transformator sprzęgający**

#### 8.11.1. Ogólne

Należy dostarczyć analizę wykazującą sposób określenia parametrów znamionowych transformatora sprzęgającego. Transformator musi spełniać wymagania normy IEC 60076 (wszystkie części).

Transformator sprzęgający musi być zaprojektowany tak, aby działał w najbardziej wymagających warunkach pracy zespołu STATCOM, bez skracania jego żywotności. Projekt transformatora powinien opierać się na najnowszych doświadczeniach w aplikacjach STATCOM oraz wykorzystywać nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne stosowane w branży. Szczegółowa weryfikacja projektu zostanie przeprowadzona przez OSP.

Transformator sprzęgający musi być przystosowany do przenoszenia pełnego obciążenia pojemnościowego i indukcyjnego mocy biernej określonego dla zespołu STATCOM, w tym obciążeń wynikających z przełączanych mechanicznie kondensatorów i dławików oraz prądów harmoniczných.

#### 8.11.2. Wymagania projektowe

Transformator sprzęgający musi być zaprojektowany pod względem elektrycznym i mechanicznym, aby sprostać specyficznym warunkom pracy zespołu STATCOM, w tym między innymi:

- a) Problemy z izolacją elektryczną wynikające z narażenia transformatora na napięcia o zniekształconym sinusoidalnym kształcie, spowodowane nasyceniem, harmonicznymi, oraz prądem stałym w kondensatorach.

- b) Kumulacyjne efekty sił elektrodynamicznych powstających podczas komutacji zaworów lub stanów zwarciovych wynikających z ograniczeń konstrukcyjnych i pracy grupy zaworów.
- c) Prądy harmoniczne wynikające z działania zespołu STATCOM, ze szczególnym uwzględnieniem dodatkowych strat spowodowanych tymi prądami harmonicznymi.
- d) Brak generowania nietypowych harmonicznycch przez transformatory.
- e) Obciążenia mechaniczne i elektryczne wynikające z normalnych operacji sterowania oraz innych wymagających warunków.
- f) Obciążenia wynikające z wymagań szybkiej odpowiedzi STATCOM, umożliwiające przejście od 100% obciążenia indukcyjnego do 100% pojemnościowego i odwrotnie.
- g) Obciążenia przepięciowe, dla których zespół STATCOM został zaprojektowany zgodnie z wymaganiami specyfikacji, mają również zastosowanie do transformatora.
- h) Wszystkie inne obciążenia, dla których stacja STATCOM została zaprojektowana zgodnie z wymaganiami specyfikacji, mają również zastosowanie do transformatora.
- i) Transformator oraz wszystkie jego elementy, takie jak przepusty i przekładniki prądowe, muszą być zaprojektowane tak, aby bez uszkodzeń wytrzymały termiczne i mechaniczne efekty każdego zewnętrznego zwarcia do ziemi lub zwarcia między zaciskami dowolnego uzwojenia przez 3 s. Poziom zwarciov systemu WN, do którego zostanie podłączony transformator, musi odpowiadać maksymalnemu poziomowi zwarcia głównej stacji elektroenergetycznej. Poziom zwarciov transformatora sprzęgającego musi być zgodny z poziomem zwarciovym danej stacji elektroenergetycznej. Poziom zwarciov dla przepustu WN wynosi 63 kA przez 1 s.
- j) Transformator musi być zdolny do pracy zgodnie z normą IEC 60076 lub w bardziej wymagających warunkach przeciążeniowych
- k) Transformator musi być w stanie wytrzymać obciążenia mechaniczne spowodowane zvarciami symetrycznymi lub asymetrycznymi w dowolnym uzwojeniu.
- l) Transformator musi być zaprojektowany do przenoszenia określonego poziomu prądu stałego zgodnego z założeniami dla zespołu STATCOM. Aby zapewnić minimalną generację harmonicznycch, gęstość strumienia nasycenia transformatora powinna być wyższa niż maksymalna gęstość strumienia osiągnana w pełnym zakresie ustalonego stanu pracy. Margines ten powinien wynosić co najmniej 10%. Gęstość strumienia przy najwyższym napięciu wtórnym musi znajdować się w liniowej części krzywej BH. Każda harmoniczna generowana przez transformator musi być uwzględniona w danym projekcie STATCOM.
- m) Wszystkie przekładniki prądowe w transformatorze sprzęgającym muszą być typu PX/PS. Szczegóły dotyczące tych przekładnikóww powinny być ustalone podczas szczegółowego etapu projektowania i muszą spełniać wymagania ochrony i pomiaróww. Parametry przekładnikóww prądowych do wskaźnika temperatury uzwojeń (WTI) dla każdego uzwojenia powinny być zgodne z projektem producenta transformatora sprzęgającego.
- n) Transformator musi być zdolny do pracy w warunkach naturalnego chłodzenia do określonego poziomu obciążenia. System wymuszonego chłodzenia powinien uruchamiać się poprzez styki sterowane wskaźnikiem temperatury uzwojeń, umożliwiając pracę w trybie ONAF, a następnie w trybie OFAF. W przypadku całkowitej awarii zasilania wentylatoróww i pomp oleju transformator powinien być zdolny do pracy przy pełnym

obciążeniu przez co najmniej 10 minut. Transformator powinien być wyposażony w dwie chłodnice, z których każda powinna być zdolna do odprowadzenia 50% strat cieplnych przy maksymalnym obciążeniu. Transformator musi być również zdolny do pracy przez 20 minut w przypadku awarii pompy oleju lub wentylatorów jednej z chłodnic, bez przekroczenia temperatury punktu krytycznego uzwojenia.

- o) Transformator musi być zaprojektowany tak, aby nie wykazywał tendencji do ładowania elektrostatycznego w żadnych warunkach pracy, przy włączonych systemach cyrkulacji oleju. Prędkość przepływu oleju w uzwojeniach nie może przekraczać 1,0 m/s.

Tabela 8.2 Zalecane parametry techniczne transformatora

Nr klauzuli	Opis	Jednostka	Parametry techniczne
1.1	Moc znamionowa		
	WN	MVA	Aby spełnić wymagania dotyczące wydajności i parametrów STATCOM, transformator musi być dobrany do 100% obciążenia biernego.
	SN	MVA	(*)
1.2	Stosunek napięć (linia-linia)		(*)
1.3	Konstrukcja		Jednofazowa/Trójfazowa
1.4	Obowiązująca norma		IEC 60076
1.5	Częstotliwość znamionowa	Hz	50
1.6	Chłodzenie i procentowa wydajność przy różnych metodach chłodzenia		ONAN/ONAF/(OFAF lub ODAF): 60% / 80% / 100% LUB ONAN/ONAF1/ONAF2: 60% / 80% / 100% LUB OFAF (z 5 × 25% jednostek chłodzących, jeśli wymagane)
1.7	Impedancja przy 75°C		WN – SN: Zgodnie z wymaganiami projektowymi
1.8	Tolerancja impedancji (WN-SN)	%	Zgodnie z IEC
1.9	Rodzaj pracy		Zewnętrzny
1.10	Tryb pracy		Ciągle obciążenie bierne
1.11	Standard przeciążenia		IEC-60076-7
1.12	Wzrost temperatury ponad 50°C temperatury otoczenia		
i)	Olej górny mierzony termometrem	°C	50
ii)	Średnia temperatura uzwojenia mierzona metodą	°C	55

	rezystancji		
1.13	Uzwojenia		
i)	Poziom zwarcia systemu		
	WN	kA	63
	SN	kA	Zgodnie z wymaganiami projektowymi
ii)	Napięcie udarowe piorunowe		
	WN	kVp	1300
	SN	kVp	*
	Neutralne	kVp	170
iii)	Napięcie udarowe łączeniowe		
	WN	kW	1050
iv)	Napięcie wytrzymywane przy częstotliwości sieci przez 1 minutę		
	WN	kVrms	570
	SN	kVrms	*
	Neutralne	kVrms	70
v)	Uziemienie neutralne		Solidne uziemienie
vi)	Izolacja		
	WN		Stopniowana
	SN		Jednolita
vii)	Tangens delta uzwojenia	%	< 0,5
1.14	Grupa połączeń (3 fazy) (chyba że określono inaczej)		YNd*
1.15	Regulacja zaczeów		Nie dotyczy
1.16	Przepusty		
i)	Napięcie znamionowe		
	WN	kV	*
	SN	kV	*
	Neutralne	kV	*
ii)	Prąd znamionowy (min.)		
	WN	A	*
	SN	A	*
	Neutralne	A	*
iii)	Napięcie udarowe piorunowe		
	WN	kVp	1425
	SN	kVp	*
	Neutralne	kVp	170

iv)	Napięcie udarowe łączeniowe		
	WN	kVp	1050
v)	Napięcie wytrzymywane przy częstotliwości sieci przez 1 minutę		
	WN	kVrms	695
	SN	kVrms	*
	Neutralne	kVrms	77
vi)	Minimalne całkowite odległości ulotu		
	WN	mm/kV	31 mm/kV
	SN	mm/kV	31 mm/kV
	Neutralne	mm/kV	31 mm/kV
vii)	Tangens delta przepustów		
	WN	%	Patrz Uwaga 1
	SN	%	Patrz Uwaga 1
viii)	Maksymalny poziom wyładowań niezupełnych przy $U_m$		
	WN	pC	10
	SN	pC	10
	Neutralne		
1.17	Maksymalny poziom wyładowań niezupełnych przy $1,58 \cdot U_r / \sqrt{3}$	pC	100
1.18	Maksymalny poziom hałasu (moc akustyczna LWA) przy napięciu znamionowym i głównym zaczeple, bez obciążenia i przy włączonym chłodzeniu	dB	80
1.19	Maksymalny poziom hałasu (moc akustyczna LWA), z uwzględnieniem przepływu prognozowanej składowej stałej.	dB	94
1.20	Maks. straty bez obciążenia przy napięciu znamionowym i częstotliwości	kW	Zgodnie z wymaganiami projektowymi

1.21	Maks. straty przy obciążeniu w maksymalnym ciągłym prądzie i temperaturze 75°C	kW	Zgodnie z wymaganiami projektowymi
1.22	Maks. straty pomocnicze przy napięciu znamionowym i częstotliwości	kW	Zgodnie z wymaganiami projektowymi

Uwagi:

Nie należy używać zewnętrznych ani wewnętrznych transformatorów/dławików w celu osiągnięcia określonych wartości impedancji WN/SN.

- 1) Kryterium strat transformatora powinno być następujące:
  - a. straty w miedzi (straty obciążeniowe) > straty żelaza (straty jałowe) > straty chłodzenia (straty pomocnicze).
- 2) Parametry oznaczone symbolem (\*) zostaną określone w zależności od wymagań producenta STATCOM.

## 8.12. Rozdzielnica SN

Rozdzielnica SN musi być zaprojektowana tak, aby spełniała ogólne wymagania wydajności zespołu STATCOM.

### 8.12.1. Wyłącznik SN

Wyłącznik SN musi być zgodny z normami IEC oraz wszystkimi innymi odpowiednimi normami, zgodnie z wymaganiami określonymi w tej specyfikacji.

- a) Wyłącznik powinien być kompletny i wyposażony we wszystkie elementy niezbędne do realizacji wszystkich funkcji, jakie wyłącznik ma spełniać.
- b) Wszystkie niezbędne elementy wymagane do zapewnienia kompletnej i operacyjnej instalacji wyłącznika, takie jak zaciski, elementy sterujące, złącza i inne elementy, niezależnie od tego, czy zostały wyraźnie wymienione w tym dokumencie, muszą zostać dostarczone.
- c) Konstrukcja wsporcza wyłącznika musi być cynkowana ogniowo. Elementy osprzętu narażone na działanie warunków atmosferycznych muszą być cynkowane ogniowo lub elektrolitycznie.
- d) Wyłącznik SN musi być wyposażony w sterowane załączane w następujących zastosowaniach:
  - Przełączania baterii kondensatorów.
  - Przełączania baterii dławików bocznikowych.
- e) Testy przełączania dławików muszą być przeprowadzone na wyłączniku SN zgodnie z najnowszą edycją normy IEC 62271-110.
- f) Testy rutynowe zgodnie z normą IEC 62271-100 muszą być przeprowadzone na wszystkich wyłącznikach.
- g) Wyłączniki SN w dowolnym z obwodów muszą być zaprojektowane tak, aby wyłączać zwarcia trójfazowe ograniczone wyłącznikiem impedancją transformatora sprzęgającego zespołu STATCOM. Należy uwzględnić początkowy prąd zwarcia oraz składową stałą

zgodnie z normą IEC 60909-0, biorąc pod uwagę najgorszy przypadek stałej czasowej, gdy występuje maksymalny szczyt zwarcia i składowa stała.

#### 8.12.2. Izolator SN i przełącznik uziemienia

Odłączniki i uziemniki muszą być zgodne z normami IEC oraz wszystkimi innymi odpowiednimi normami, a także ze specyfikacją zawartą w niniejszym dokumencie.

- a) Odłączniki powinny być zgodne z odpowiednimi normami z serii IEC-62271 (lub IS:9921), z wyjątkiem modyfikacji wyraźnie określonych w specyfikacji.
- b) Uziemniki powinny być zainstalowane na odłącznikach wszędzie tam, gdzie jest to wymagane.
- c) Odłączniki i uziemniki powinny być wyposażone w napęd silnikowy z funkcją sterowania lokalnego i zdalnego oraz opcją obsługi lokalnej.
- d) Odłączniki i uziemniki muszą być elektrycznie i mechanicznie blokowane.

#### 8.12.3. Przekładniki dla zespołu STATCOM

Przekładniki muszą być zgodne z odpowiednimi normami IEC. Powinny być zaprojektowane do pracy w warunkach środowiskowych określonych w specyfikacji. Przekładniki przeznaczone do funkcji sterowania, pomiaru i zabezpieczeń muszą posiadać odpowiednie wartości napięcia i prądu znamionowego, klasy dokładności oraz zdolności obciążeniowe, zapewniające realizację ich funkcji zgodnie z wymaganiami.

- a) Przekładniki napięciowe muszą być zgodne z odpowiednimi normami IEC, w szczególności IEC 61869 (Część 1, Część 3 i Część 5).
- b) Przekładniki prądowe muszą być zgodne z normą IEC 61869 (Część 1 i Część 2). Testy muszą być przeprowadzone zgodnie z odpowiednimi wymaganiami norm IEC.

#### 8.12.4. Ogranicznik przepięć

Ograniczniki przepięć muszą zapewniać skuteczną ochronę urządzeń przed przepięciami spowodowanymi wyładowaniami atmosferycznymi, przepięciami łączeniowymi, zwarciami wewnętrznymi i zewnętrznymi oraz innymi zakłóceniami systemowymi. Powinny być dobrane tak, aby mogły rozładować maksymalną energię określoną przez badania koordynacji izolacji, wynikającą z przepięć atmosferycznych, łączeniowych, czasowych oraz zwarc, bez przekroczenia temperatury, która mogłaby prowadzić do niestabilności cieplnej w przypadku kolejnych przepięć.

Obudowa ograniczników powinna być wykonana z porcelany lub kompozytu, a końcówki mocujące z materiału niemagnetycznego i odpornego na korozję. Wewnętrzne komponenty ograniczników muszą eliminować wyładowanie koronowe i zapewniać minimalne sprzężenie pojemnościowe z warstwami zanieczyszczeń na zewnętrznej powierzchni porcelanowej obudowy.

Szczególną uwagę należy zwrócić na możliwość wystąpienia wysokich prądów wyładowczych podczas eksploatacji, takich jak rozładowanie energii zgromadzonej w filtrach prądu przemiennego, urządzeniach kompensacji mocy biernej lub podczas wyłączenia STATCOM.

#### 8.12.5. Zasilanie pomocnicze zespołu STATCOM

Kluczowym czynnikiem przy projektowaniu systemu zasilania pomocniczego dla STATCOM jest zdolność systemu do regulacji symetrii napięcia i redukcji składowej ujemnej, co wpływa na warunki asymetrii zasilania pomocniczego.

System zasilania pomocniczego musi zapewniać stabilne zasilanie zespołu STATCOM podczas awarii systemowych, takich jak zwarcia jednofazowe, międzyfazowe, trójfazowe oraz podczas zdarzeń LVRT. W niektórych przypadkach konieczne może być zastosowanie systemu UPS (zasilania awaryjnego) lub UMD, w zależności od charakterystyki awarii i wymagań LVRT. Układy UPS lub UMD zwiększają zdolność STATCOM do dostarczania mocy biernej bez zakłóceń, tworząc bufor ochronny w przypadku awarii systemu.

Źródło zasilania pomocniczego musi być zgodne z wymaganiami OSP. System pomocniczy każdego zespołu STATCOM powinien obejmować dwie główne linie zasilające i jedną linię awaryjną zasilaną z agregatu prądotwórczego. Dwie główne linie zasilające muszą działać redundantnie, aby zapewnić wysoką niezawodność i dostępność.

Jedna z głównych linii może być podłączona do trzeciego uzwojenia transformatora 400/220/33 kV w głównej stacji 400/220 kV.

Druga linia zasilająca może być zasilana z jednego z następujących trzech źródeł:

- Zasilanie z szyny średniego napięcia (SN) systemu STATCOM,
- Zasilanie z trzeciego uzwojenia transformatora STATCOM,
- Zasilanie z systemu pomocniczego stacji,
- Zasilanie z trzeciego uzwojenia transformatora mocy stacji,
- Zasilanie z sieci dystrybucyjnej.

W przypadku dużych wahań napięcia na linii zasilającej, należy zastosować statyczny regulator napięcia (AVR) w celu stabilizacji napięcia pomocniczego. Wszystkie linie zasilające SN muszą być wyposażone w odpowiednie wyłączniki, odłączniki, przekładniki pomiarowe i inne urządzenia, wraz z niezbędnym systemem zabezpieczeń.

## 9. Badania inżynierskie

### 9.1. Badania inżynierskie i weryfikacja projektu przed produkcją oraz modele STATCOM

#### 9.1.1. Badania projektowe

Podsumowanie wymagań dotyczących analiz, które muszą zostać wykonane, znajduje się w Dodatku A.

Podczas szczegółowego projektowania systemu STATCOM, Należy dostarczyć kopie wyników analiz projektowych, które określą parametry techniczne i konfigurację zgodnie z wymaganiami zawartymi w tej specyfikacji. Zakres tych badań obejmuje (ale nie ogranicza się do):

- a) Badania przepływu mocy w stanie ustalonym (w tym analiza skokowej zmiany napięcia) oraz badania dynamiczne – w celu oceny zdolności systemu do zarządzania obciążeniami i stabilności napięcia.
- b) Weryfikacja wymagań i kryteriów związanych z częstotliwością/mocą czynną oraz dynamiczną regulacją napięcia, które powinny uwzględniać wyniki badań spełniających normy VDE-AR-N 4131, punkty 10.1.4 oraz 10.1.9.2 związane z trybem Grid Forming.
- c) Badania koordynacji izolacji – w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu ochrony izolacji dla urządzeń i systemu.
- d) Analiza przejściowych stanów pracy (EMP), takich jak załączanie lub wyłączenie urządzeń.
- e) Badania czasowych i dynamicznych przeciążeń – weryfikacja zdolności systemu do pracy przy przeciążeniach w krótkich i dynamicznych okresach.
- f) Analiza trybów sterowania operacyjnego oraz określenie strategii pracy systemu w różnych warunkach.
- g) Badania hałasu elektrycznego i akustycznego – w celu określenia poziomu emisji i zgodności z wymaganiami.
- h) Badania niezawodności, dostępności i wydajności – analiza mająca na celu ocenę trwałości i ciągłości działania systemu.
- i) Badania strat i oceny strat – w celu zminimalizowania strat energii i optymalizacji wydajności.
- j) Analiza migotania napięcia – weryfikacja wpływu systemu na jakość energii elektrycznej.
- k) Raport EMC (Kompatybilność Elektromagnetyczna) – identyfikacja ewentualnej potrzeby zastosowania układów filtrujących.

Badania te są kluczowe do zapewnienia, że system STATCOM spełni wszystkie wymagania techniczne i operacyjne specyficzne dla projektu.

#### 9.1.2. Podsynchroniczne interakcje układów regulacji

Należy dostarczyć szczegółowe modele (zgodnie z pkt. 9.1.3) i opisy systemu sterowania, umożliwiające przeprowadzenie wszelkich wymaganych badań.

Badania muszą wykazać, że wydajność systemu sterowania, w odniesieniu do urządzeń znajdujących się w bliskiej odległości, nie wykazuje niedopuszczalnie tłumionego oscylacyjnego zachowania.

Jeśli zostanie zidentyfikowane ryzyko podsynchronicznej interakcji regulatorów (SSCI), należy zaproponować odpowiednie środki zaradcze.

### 9.1.3. Modele STATCOM do analizy systemu elektroenergetycznego

Odpowiednie modele muszą zostać dostarczone, aby umożliwić przeprowadzenie następujących badań na etapie szczegółowego projektowania:

- a) Analiza rozpliwów mocy. Dokładny model reprezentujący STATCOM dla analiz przepływu mocy przy częstotliwości 50 Hz musi zostać dostarczony w formatach kompatybilnych z oprogramowaniem OSP np.: PSS/E oraz PowerFactory.
- b) Analiza dynamiczna RMS. Dokładny model do symulacji w dziedzinie czasu-musi zostać dostarczony w formatach kompatybilnych z oprogramowaniem OSP np.: PSS/E, PowerFactory. Modele te muszą wiernie odwzorowywać kluczowe komponenty STATCOM oraz pętle sterowania, aby dokładnie odtworzyć dynamiczne zachowanie zespołu w całym zakresie jego pracy.
- c) Stabilność kątowna lokalna. Dokładny model do analizy modalnej i obliczeń wartości własnych musi zostać dostarczony w formacie uzgodnionym z OSP.
- d) Analiza EMT. Pełny model z kompletną reprezentacją urządzeń energoelektronicznych, zabezpieczeń, funkcjonalności oraz strategii sterowania musi zostać dostarczony w formatach stosowanych przez OSP (PSCAD).  
Dodatkowo należy dostarczyć „szybszą” wersję modelu (w której przekształtniki energoelektroniczne są zastąpione równoważnymi źródłami napięcia zaprojektowanymi do utrzymania bilansu mocy) również w formatach stosowanych przez OSP (PSCAD).
- e) Harmoniczne. Szczegółowy model w dziedzinie częstotliwości zespołu STATCOM, uwzględniający jego zależne od częstotliwości zachowanie (impedancję  $Z(f)$ ) oraz emisję harmoniczną we wszystkich punktach pracy, musi zostać dostarczony w formacie uzgodnionym z OSP np. PowerFactory.

Każdy z powyższych modeli musi być opatrzony szczegółową dokumentacją wyjaśniającą strukturę i sposób użycia modelu. Dodatkowo, dla każdego modelu należy dostarczyć raport walidacyjny. Badania powinny być przeprowadzone dla następujących warunków:

- Maksymalnego obciążenia (Peak Load),
- Minimalnego obciążenia (Light Load),
- Warunków awaryjnych (Contingency Conditions).

Badania muszą wykazać, że system STATCOM spełnia wszystkie określone w specyfikacji kryteria wydajności zarówno systemu, jak i urządzeń. Zakres analiz inżynierskich powinien obejmować, ale nie ograniczać się do badań określonych w dalszej części dokumentu.

Tabela 9.1 Badania rozptyłów mocy

Zakres	Do określenia	Wartości prądów i napięć, przepływy mocy czynnej i biernej
	Dane od operatora	Model rozptyłowy, lista zdarzeń awaryjnych, możliwa konfiguracja systemu, w tym zmiany wynikające z przyszłych etapów rozbudowy systemu i warunków awaryjnych (wysokie/niskie obciążenie), wartości znamionowe elementów systemu
Cel	Do sprawdzenia	Obciążenia elementów systemu poniżej wartości znamionowych Wartości napięć w dopuszczalnych zakresach
	Do znalezienia	Słabe warunki systemowe
Model		Reprezentacja systemu za pomocą układu jednofazowego bazującego na częstotliwości podstawowej dla układów symetrycznych, reprezentacja trójfazowa dla stanów niesymetrycznych (składowe symetryczne)

Tabela 9.2 Badania poziomów mocy zwarciovych

Zakres	Do określenia	Maksymalne i minimalne prądy zwarciovych dla zwarc jednofazowych, międzyfazowych i trójfazowych
	Dane od operatora	Baza danych zwarc, lista zdarzeń awaryjnych, czasy usuwania awarii, możliwe konfiguracje systemu w zależności od krytycznych warunków pracy (wysokie/niskie obciążenie, etapy sieci itp.)
Cel	Do znalezienia	Termiczne i dynamiczne parametry projektowe stacji i wartości nastaw dla urządzeń zabezpieczających, zakłócenia w innych systemach, sposób realizacji połączenia punktu neutralnego
Model		Reprezentacja systemu za pomocą układu jednofazowego bazującego na częstotliwości podstawowej dla układów symetrycznych, reprezentacja trójfazowa dla stanów niesymetrycznych (składowe symetryczne)

Tabela 9.3 Badania stabilności

Zakres	Do określenia	Wydajność systemu podczas i po zwarcu
	Dane od operatora	Model rozplwyowy, lista zdarzeń awaryjnych, czasy wyłączenia, możliwe konfiguracje systemu uwzględniające przerwy w pracy elementów, zdarzenia awaryjne i działań OSP
Cel	Ocena	Wpływ na system, elektrownie, elementy sterujące generatora i urządzenia zabezpieczające
	Do znalezienia	Ograniczenie stabilności przejściowej i odzyskiwanie systemu
	Do określenia	Środki poprawy, które należy uwzględnić w planowaniu systemu, strategie operacyjne, zmiany w układach sterowania i ochrony
Model		Równania różniczkowe i algebraiczne w badaniach w dziedzinie czasu, wykorzystanie analizy wartości własnych do badania stabilności kątovej lokalnej, równoważny zredukowany model

Tabela 9.4 Badania stanów przejściowych

Zakres	Do określenia	Krótkotrwałe obciążenia elementów systemu (przebiegi, przetężenia i związane z nimi przebiegi falowe)
	Dane od operatora	Charakterystyka elektroteometryczna linii przesyłowych, możliwe konfiguracje systemu, stany przejściowe elementów (nasylenie, sprzężenie pojemnościowe itp.), zintegrowane działania systemów sterowania oraz szybkich mechanizmów ochrony
Cel	Do określenia	Obciążenia elementów w stosunku do wartości znamionowych, koordynacja izolacji, nieprawidłowe działanie systemów pomiarowych, systemów sterowania i zabezpieczeń
	Optymalizacja	Struktury kontroli i koordynacji zabezpieczeń
Model		Szczegółowy model trójfazowy uwzględniający układy sterowania i zabezpieczeń

Tabela 9.5 Badanie impedancji harmonicznej systemu

Zakres	Do określenia	Poziomy zniekształceń w PCC Napięcia i prądy elementów systemu STATCOM
	Dane od operatora	Źródła harmonicznych - typ, wielkość Harmoniczne impedancje systemu Właściwości elementów zespołu STATCOM
Cel	Do obliczenia	Poziomy zniekształceń w PCC Projekt systemu STATCOM Napięcia kondensatorów i prądy dławików
	Do określenia	Poziomy zniekształceń poniżej dopuszczalnych wartości Maksymalne napięcia i prądy robocze wszystkich elementów w celu określenia parametrów znamionowych
Model		Reprezentacja jednofazowa Modelowanie komponentów według parametrów zależnych od częstotliwości. Obszar równoważnej impedancji harmonicznej

Tabela 9.6 Badania harmonicznych (wydajność systemu i ocena komponentów)

Zakres	Do określenia	Impedancja systemu widziana z punktu POC zespołu STATCOM Wzajemna impedancja między POC, a odległymi węzłami
	Dane od operatora	Model rozpiływowy, lista zdarzeń awaryjnych, możliwa konfiguracja systemu w tym zmiany wynikające z przyszłych etapów rozbudowy systemu (wysokie/niskie obciążenie), wartości znamionowe elementów systemu
Cel	Do obliczenia	Impedancje własne i wzajemne związane z POC zespołu STATCOM. Wartości impedancji powinny być dostarczone w plikach tekstowych: f (Hz), R (Ohm), X (Ohm) z krokami częstotliwości nie większymi niż 1 Hz
	Do określenia	Wykresy R/X dla różnych częstotliwości lub zakresów częstotliwości Określenie obszarów, w których mają być przeprowadzone badania harmonicznych
Model		Reprezentacja jednofazowa Uwzględnienie zmienności właściwości elementów w zależności od częstotliwości

## **9.2. Analizy dynamiczne**

### **9.2.1. Badania dynamiczne systemu**

Badania muszą wykazać, że system STATCOM spełnia wszystkie określone kryteria wydajności systemu i sprzętu zgodnie ze specyfikacją. Powinny obejmować, ale nie ograniczać się do badań wskazanych w tej specyfikacji. Poniżej przedstawiono listę badań dynamicznych:

- a) Badania weryfikujące, czy zespół STATCOM zapewnia odpowiednią regulację dynamiczną, spełniającą kryteria wydajności systemu w danych warunkach pracy.
- b) Badanie czasu reakcji i zachowania systemu STATCOM oraz jego udziału w odzyskiwaniu systemu po awariach.
- c) Badania mające na celu weryfikację działania wszelkich dodatkowych elementów regulacyjnych do tłumienia oscylacji mocy w następstwie zakłóceń systemu, jeśli takie elementy mają zostać uwzględnione.
- d) Badania mające na celu ocenę interakcji regulatorów STATCOM z innymi pobliskimi systemami regulacji, w tym układów HVDC, generatorów synchronicznych i innych elementów FACTS, jeżeli takie systemy regulacji istnieją w dostarczonym modelu pobliskiej sieci.

## **9.3. Harmoniczne**

Należy przeprowadzić modelowanie i analizę sieci oraz dostarczyć szczegóły dotyczące badań harmonicznym prądów i napięć. Badania powinny ocenić maksymalne poziomy napięć harmonicznym w punkcie PCC systemu STATCOM oraz określić maksymalne obciążenia na wszystkich elementach.

Raport z badania powinien zawierać następujące elementy:

- a) Ocenę określonych warunków systemowych i operacyjnych we wszystkich możliwych warunkach pracy zespołu STATCOM,
- b) Ocenę maksymalnych zakresów tolerancji komponentów systemu STATCOM,
- c) Ocenę maksymalnej asymetrii napięć,
- d) Ocenę najgorszego przypadku rezonansu między zespołem STATCOM, a całym systemem,
- e) Ocenę możliwych przepięć rezonansowych,
- f) Harmoniczne indukowane przez nasycenie transformatora,

## **9.4. Elektromagnetyczne stany przejściowe, sterowanie i stany nadnapięciowe**

Badania stanów przejściowych powinny zostać przeprowadzone z uwzględnieniem rzeczywistych układów regulacji, aby zweryfikować, czy urządzenia systemu STATCOM są odpowiednio chronione przed przepięciami i prądami przetężeniowymi wynikającymi ze zjawisk przejściowych. Ocenę należy przeprowadzić w następujących obszarach:

- a) Analiza rozruchu, w tym załączania transformatora, wyłączania, koordynacji przełączeń oraz innych zdarzeń przełączeniowych w lokalnej sieci,
- b) Analiza systemu ochrony zespołu STATCOM oraz koordynacji zabezpieczeń,
- c) Analiza zwarć, obejmujących zwarcia jednofazowe do ziemi, międzyfazowe oraz trójfazowe,

- d) Analiza zwarć w obszarze przekształtnika (VSC), kondensatorów oraz innych urządzeń, jeśli są stosowane,
- e) Analiza interakcji sterowania, jeżeli inne systemy regulacji istnieją w dostarczonym modelu pobliskiej sieci.

Raport z tych badań powinien wykazać, że system STATCOM spełnia wszystkie wymagania ochrony urządzeń i niezawodności działania podczas stanów przejściowych.

### 9.5. Badanie izolacji

Koordinacja izolacji powinna zostać zweryfikowana na podstawie analiz obejmujących przepięcia dynamiczne, zwarcia oraz zjawiska przejściowe związane z operacjami łączeniowymi. Należy uwzględnić również wpływ przepięć piorunowych na urządzenia zespołu STATCOM. Celem badania jest określenie poziomów izolacji, wymaganych odstępów izolacyjnych oraz lokalizacji i parametrów technicznych ograniczników przepięć

### 9.6. Inne

- a) Badanie uziemienia,
- b) Zakłócenia PLC/radiowe,
- c) Natężenie pola magnetycznego,

### 9.7. Badania i testy

Testy zespołu STATCOM obejmują zarówno testy fabryczne, jak i testy terenowe komponentów, podsystemów oraz całego systemu. W przypadku testów terenowych należy stosować normę IEEE 1303. Testy fabryczne głównych elementów zespołu STATCOM, przeprowadzane w fabryce lub obiektach testowych, powinny być zgodne z obowiązującymi normami, o ile są dostępne. Tabela 9.7 zawiera listę norm mających zastosowanie do komponentów zespołu STATCOM.

Z uwagi na zintegrowany charakter pracy zespołu STATCOM w sieci elektroenergetycznej, niezbędne jest przeprowadzenie następujących testów:

- a) Testy symulacyjne: Należy przeprowadzić testy systemu sterowania i ochrony zespołu STATCOM przy użyciu symulatora, który będzie odpowiednio odwzorowywać sieć elektroenergetyczną w różnych warunkach pracy. Sterownik zespołu STATCOM musi uwzględniać wszystkie funkcje regulacyjne.
- b) Dokładne odwzorowanie sieci: Symulator powinien zapewniać precyzyjne odwzorowanie sieci, uwzględniając harmoniczne, elektrownie, generatory (z AVR), istniejące i przyszłe systemy HVDC, SVC, STATCOM, kondensatory szeregowo, dławiki, kondensatory bocznikowe, filtry oraz inne elementy.

Testy typu funkcji sterowania zespołu STATCOM na symulatorze powinny obejmować:

- Weryfikację każdej funkcji sterowania.
- Weryfikację liniowości działania układu sterowania.
- Weryfikację redundancji systemu sterowania.
- Weryfikację systemu monitorowania.

- Weryfikację systemu ochrony w odniesieniu do zintegrowanych funkcji ochronnych zawartych w sterownikach i układach wyzwalań.
- Weryfikację wydajności całego systemu podczas małych i dużych zakłóceń w systemie elektroenergetycznym.
- Weryfikację obciążenia procesorów wszystkich sterowników cyfrowych.
- Weryfikację równoległej pracy zespołu STATCOM z innymi systemami sterowania oraz stabilności układu sterowania.
- Rutynowe testy produkcyjne wszystkich funkcji sterowania oraz odrębnie wszystkich funkcji ochronnych.

Celem tych testów jest zapewnienie, że zespół STATCOM spełnia wszystkie wymagania funkcjonalne i ochronne, oraz że jest właściwie przygotowany do integracji z siecią elektroenergetyczną.

Tabela 9.7 Normy dla testów

Urządzenie	Standard IEEE	Standardy Inne
Transformator	IEEE C57	IEC 60076-4
Wyłącznik		IEC 60056-03
Dławik		IEC 60076-6
Kondensator	18	IEC 60871
Kondensator DC		IEC 61071
Rezystor		
Przełączniki ochronne	IEEE C37	IEC 60255
Zawory tyrystorowe		IEC 61954
Podmoduły VSC		IEC 62927
Transformator	IEEE C57	IEC 60076-4
Wyłącznik		IEC 60056-03

## 10. Tabele danych gwarantowanych

Tabela 10.1 Zestawienie danych gwarantowanych dotyczących układu STATCOM

Lp.		Identyfikacja urządzenia	
1.	Producent statycznego kompensatora synchronicznego STATCOM		
2.	Oznaczenie typu		
3.	Numer katalogowy		
Lp.	Opis parametru	Wymagane	Gwarantowane
Wymagania ogólne			
4.	Sposób montażu	wewnętrzny	
5.	Moc znamionowa, (Maksymalna moc STATCOM, którą należy traktować jako wartość znamionową przy pełnym obciążeniu)	100 Mvar, 150 Mvar, 200 Mvar, 250 Mvar, 300 Mvar, 350 Mvar, 400 Mvar	
6.	Napięcie znamionowe STATCOM	Informacja	
7.	Zakres regulacji mocy biernej	Informacja, -X / +Y Mvar	
8.	Zakres mocy biernej	Regulacja pojemnościowa i indukcyjna	
9.	Topologia	IGBT	
10.	Częstotliwość znamionowa	50 Hz	
11.	Zakres częstotliwości pracy	47-52 Hz	
12.	Maksymalne krótkoterminowe napięcie	1,12 pu	
13.	Minimalne krótkoterminowe napięcie	0,3 pu	
14.	Poziom emisji hałasu, ciśnienie akustyczne	informacja	
15.	Poziom emisji hałasu, ciśnienie akustyczne (w punkcie ogrodzenia stacji)	$\leq 50$ dB (A) w dzień, $\leq 45$ (A) w nocy	
16.	Harmoniczne	Zgodne z IEEE/IEC	
17.	Roczna dostępność dla planowanych przerw w pracy STATCOM	$\geq 98\%$	
18.	rodzaj chłodzenia	Powietrze, woda	
19.	Wymiary	Informacja	

## **11.Dodatek A: Analizy i raporty**

Analizy i raporty powinny zostać wykonane zgodnie z poniższymi informacjami oraz wymaganiami określonymi w specyfikacji.

### **11.1. Etap 1 – Projekt koncepcyjny**

Należy dostarczyć analizy i raporty potwierdzające, że STATCOM spełnia wymagania wydajności określone w specyfikacji. Analizy i raporty powinny obejmować, lecz nie ograniczać się do:

- a) Analizy przepływu mocy – celem analiz jest określenie i wykazanie charakterystyk projektowych STATCOM, takich jak: znamionowe parametry w stanie ustalonym, przepływy mocy biernej w normalnych i zakłóceńowych warunkach systemowych oraz wykazanie charakterystyk pracy,
- b) Wydajność harmoniczna,
- c) Raport oceny strat mocy,
- d) Wydajność akustyczna,
- e) Analizy niezawodności, dostępności, konserwacji i bezpieczeństwa,
- f) Koszty eksploatacyjne w całym cyklu życia – oszacowania bazujące na stratach, częściach zamiennych i konserwacji,
- g) Raport dotyczący zabezpieczeń, sterowania i monitorowania.

### **11.2. Etap 2 – Szczegółowe analizy projektowe**

W ramach projektowania należy dostarczyć analizy i raporty, które potwierdzą lub ponownie ocenią przyjęte założenia. Uzyskane wyniki i ustalenia będą stanowić parametry projektowe, które posłużą jako podstawa do produkcji oraz wymagań testowych, w tym testów typu i testów fabrycznych.

Analizy stabilności przejściowej powinny zostać przeprowadzone w celu oceny wpływu systemu STATCOM na parametry elektromechaniczne systemu elektroenergetycznego w odpowiedzi na różne zakłócenia w różnych warunkach pracy. Celem tych analiz jest określenie stabilności systemu oraz zdolności do tłumienia oscylacji elektromechanicznych (0,1–5 Hz) po wystąpieniu zakłóceń.

Analizy powinny obejmować:

- a) Znamionowe parametry przejściowe STATCOM.
- b) Reakcję przejściową i tłumienie systemu elektroenergetycznego.
- c) Wzajemne oddziaływanie STATCOM z innymi elementami systemu elektroenergetycznego.
- d) Identyfikację krytycznych warunków systemowych i zakłóceń.
- e) Określenie możliwości poprawy limitów przesyłu mocy, stabilności przejściowej i tłumienia systemu zapewnianych przez STATCOM.
- f) Wykazanie trybów sterowania, parametrów sterowania i ograniczeń sterowania.
- g) Szczegółowy raport projektowy dotyczący działania STATCOM i ochrony systemu.
- h) Badanie małych zakłóceń w celu oceny pracy zespołu STATCOM w odniesieniu do innych aktywnych urządzeń w lokalnej sieci.

- i) Identyfikację potencjalnych interakcji pomiędzy różnymi urządzeniami sterującymi w systemie.
- j) Możliwość wystąpienia oscylacji z powodu braku tłumienia.
- k) Wykazanie środków zapewniających odpowiednią wartość tłumienia.
- l) Wpływ regulatora POD zespołu STATCOM na tłumienie systemu oraz wymagania dotyczące fazy regulatora.