

---

# Idea *Grid Forming Capability* (GFC)

Piotr Rzepka | PSE Innowacje sp. z o.o. | Politechnika Śląska

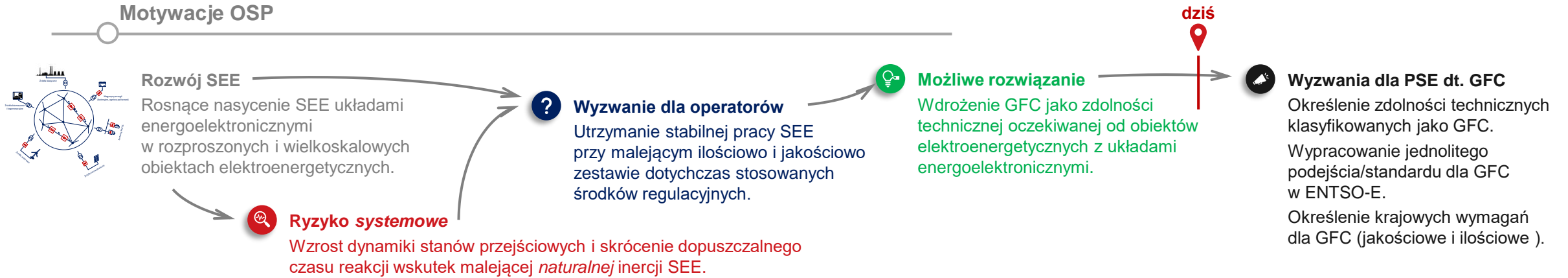
Mateusz Szablicki | PSE Innowacje sp. z o.o. | Politechnika Śląska

# Wprowadzenie

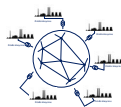
| Motywacja, Cel

# Idea Grid Forming Capability | Motywacje

## Motywacje OSP



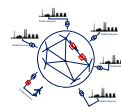
## Motywacje systemowe potrzeby wdrożenia GFC



### BYŁO | SEE klasyczny

Oczekiwane zachowanie OZE |  
**wyłączenie podczas zakłóceń w SEE**

Przełożenie na legislację |  
**nie dotyczy**



### JEST | SEE przejściowy

Oczekiwane zachowanie OZE |  
**Grid Following Converter**

Układy energoelektroniczne *nadążają* za sytuacją w SEE.

Przełożenie na legislację |  
**IRIESP** (m.in. funkcja przejścia przez zwarcie);  
**Kodeksy Sieci** (m.in. wymóg udziału w generacji prądu zwarciovego, wymóg inercji *syntetycznej*)



### BĘDZIE | SEE nasycony IBR

Oczekiwane zachowanie obiektów z energoelektronicznych |  
**Grid Forming Converter**

Układy energoelektroniczne (IBR) *kształtują* sytuację w SEE.

Przełożenie na legislację |

??

GFC ma być zdefiniowane w aktualizowanych Kodeksach Sieci i objąć **moduły parku energii, systemy HVDC i magazyny energii.**

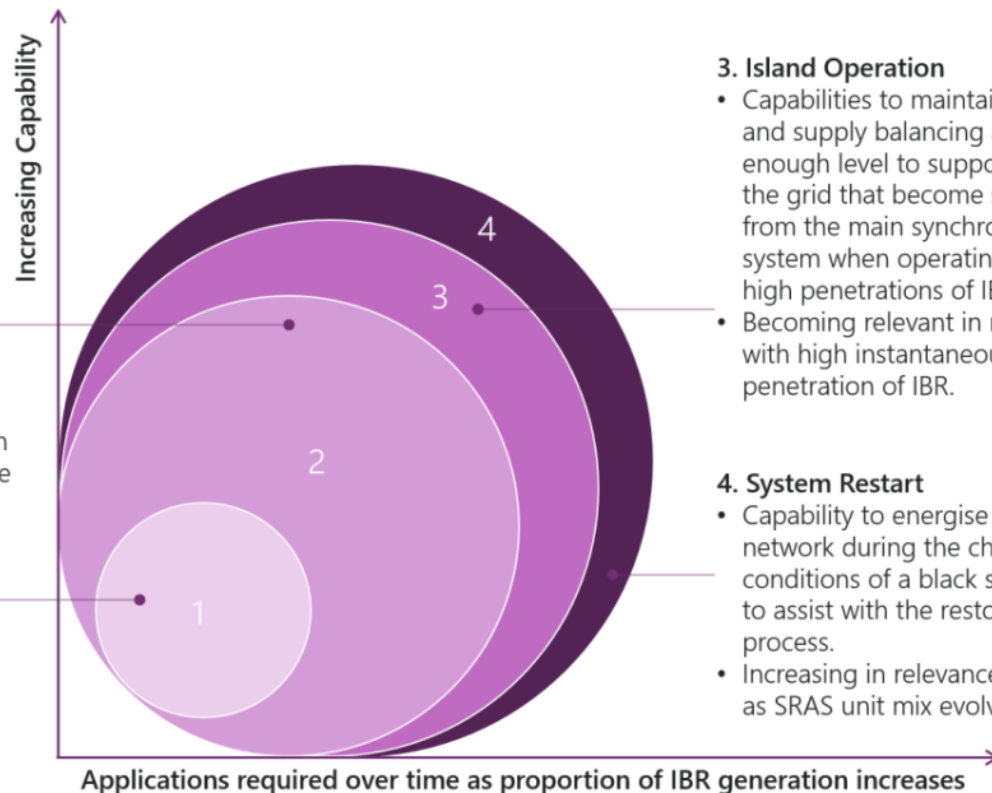
## Motywacje systemowe potrzeby wdrożenia GFC

### 2. Supporting system security

- Capabilities to maintain system security that are predominantly provided by synchronous generators today, such as inertia and system strength, to support the broader power system.
- Key development focus for the NEM as it transitions to operating with fewer synchronous generators online.

### 1. Connecting IBR in weak grids

- Capability to maintain stable operation in weak grid areas to meet IBR performance obligations, and potentially to provide system strength to support the connection of other nearby IBR plant.
- Provides localised capability to stabilise nearby IBR generation, but does not necessarily support the broader power system.
- Important for VRE project developers, NSPs and AEMO.



### 3. Island Operation

- Capabilities to maintain stability and supply balancing at a high enough level to support areas of the grid that become separated from the main synchronous system when operating under high penetrations of IBR.
- Becoming relevant in regions with high instantaneous penetration of IBR.

### 4. System Restart

- Capability to energise the local network during the challenging conditions of a black system, or to assist with the restoration process.
- Increasing in relevance over time as SRAS unit mix evolves.

Docelowo te usługi powinny być dostarczane przez urządzenia z GFC

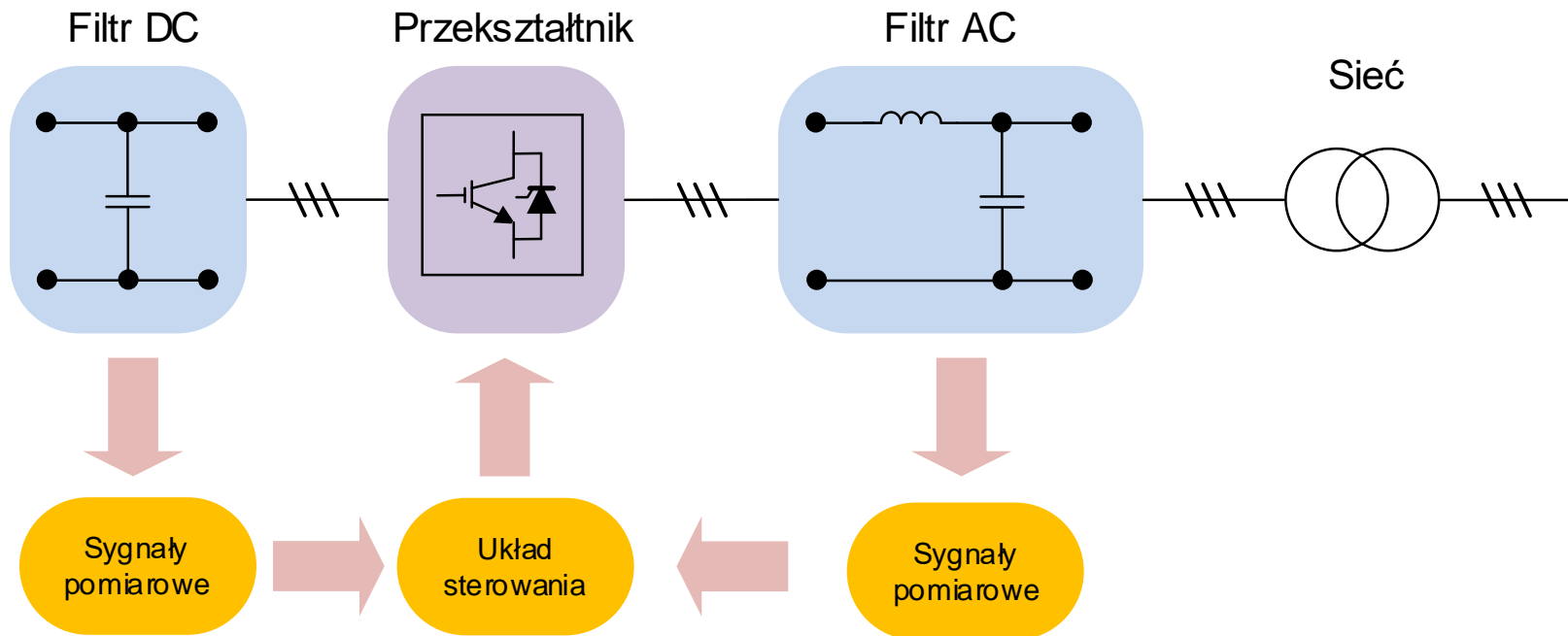
Źródło: Application of Advanced Grid-scale Inverters in the NEM August 2021. White Paper An Engineering Framework report on design capabilities needed for the future National Electricity Market

# Funkcjonalności IBR

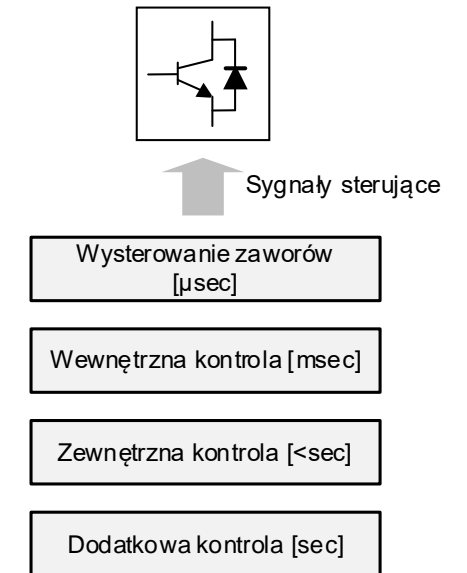
## | Grid-following vs Grid-forming

## Kształtowanie zachowania się przekształtnika w różnych stanach pracy

### Podstawowe elementy przekształtnika



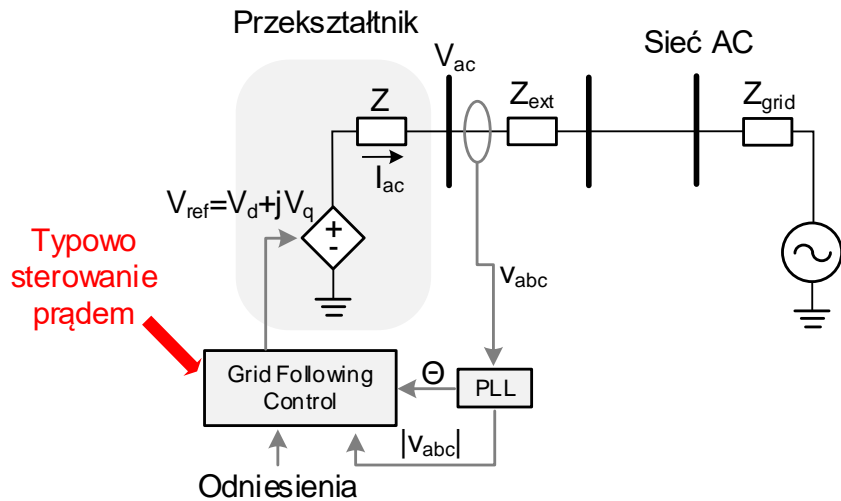
### Idea sterowania przekształtnika



# Funkcjonalności IBR | Struktura klasycznego przekształtnika

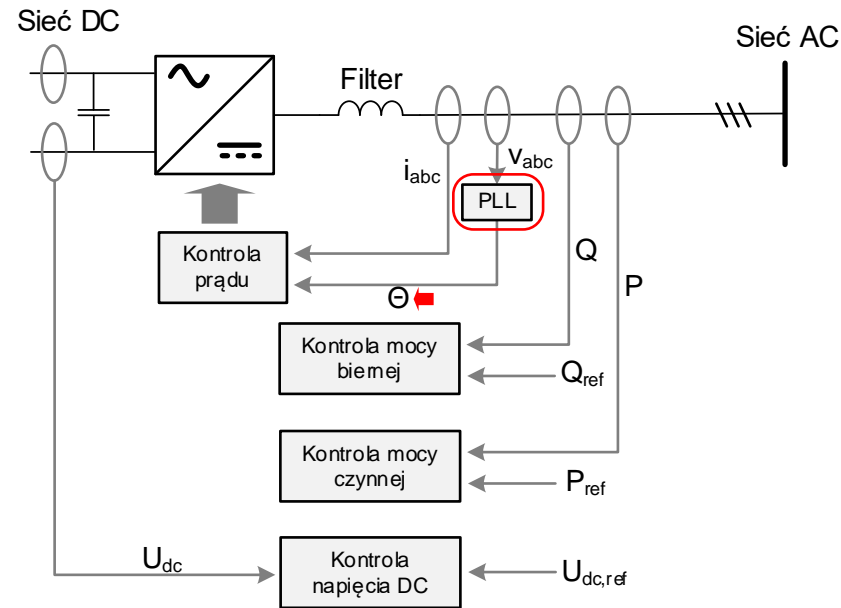
## Typowa konwencjonalna struktura sterowania przekształtnikiem | grid following converter

### Przekształtnik w strukturze SEE

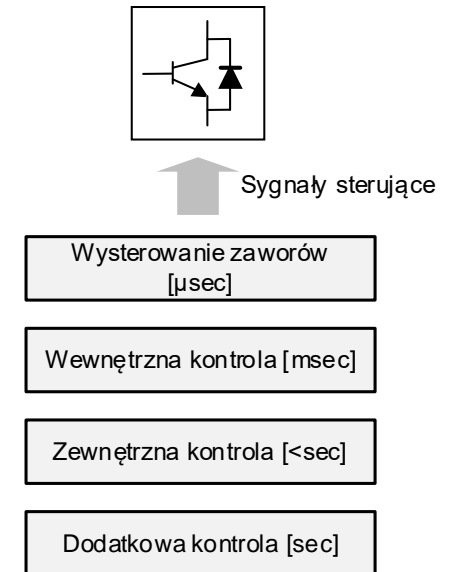


### Układy sterowania przekształtnika

(PLL i AC Current controller)



### Idea sterowania przekształtnika



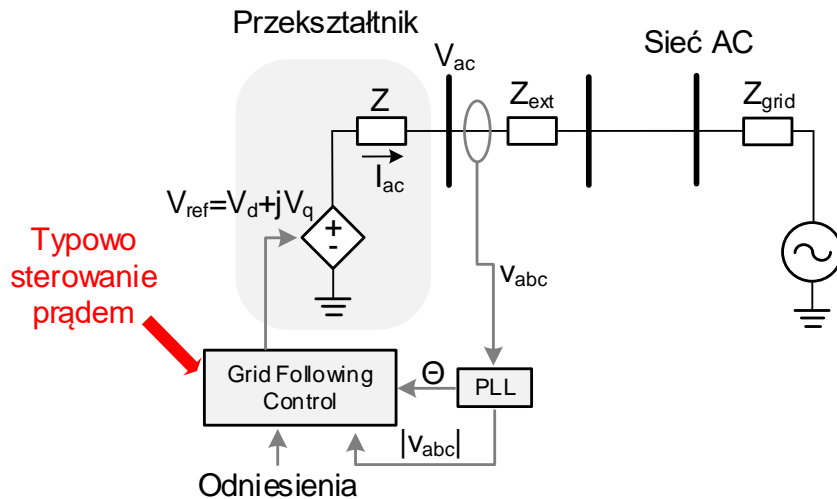
# Funkcjonalności IBR | Grid-following vs Grid-forming

## Przejście z Grid-following na Grid-forming

Rozwój technologii przekształtników

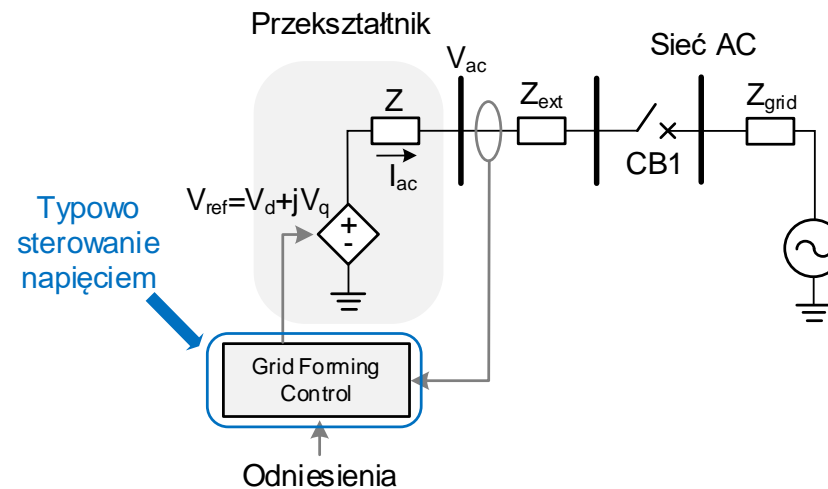
### Grid-following

- PLL
- Current controller



### Grid-forming

- Brak PLL – wewnętrzne wyznaczenie punktu odniesienia
- Voltage and frequency controller



### Definicje

Terminologia dotycząca GFC nie jest w pełni ustandaryzowana i zdefiniowana. Definicje przyjęte na potrzeby niniejszej prezentacji

### Definitions:

- **Grid-following inverters** synchronise to the grid voltage waveform, adjusting their output to track an external voltage reference.
- **Grid-forming inverters** set their own internal voltage waveform reference and can synchronise with the grid or operate independently of other generation



# Funkcjonalności przekształtników | Grid-following vs Grid-forming vs VSM

## Przejęcie z Grid-following na Grid-forming

Grid-following

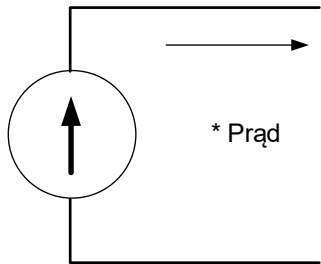


Grid-forming

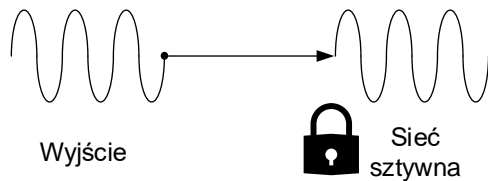


Virtual synchronous Machine - VSM

Current Source Inverter



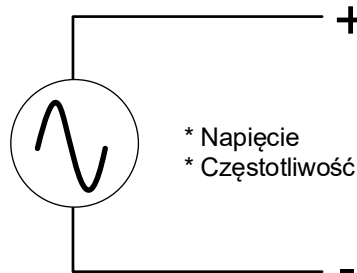
\* Prąd



Wyjście

Sieć sztywna

Voltage Source Inverter

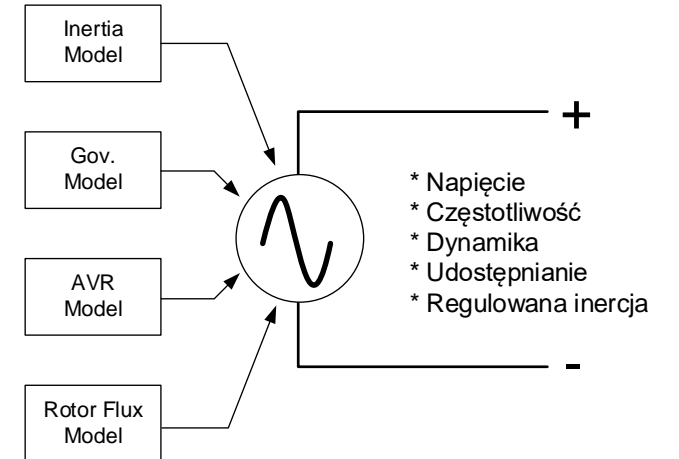


\* Napięcie  
\* Częstotliwość

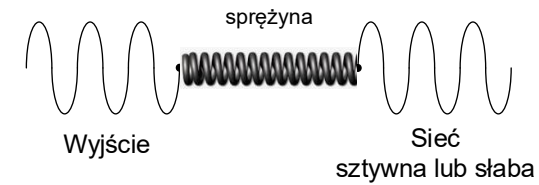


Wyjście

Sieć sztywna lub słaba



\* Napięcie  
\* Częstotliwość  
\* Dynamika  
\* Udostępnianie  
\* Regulowana inercja



Wyjście

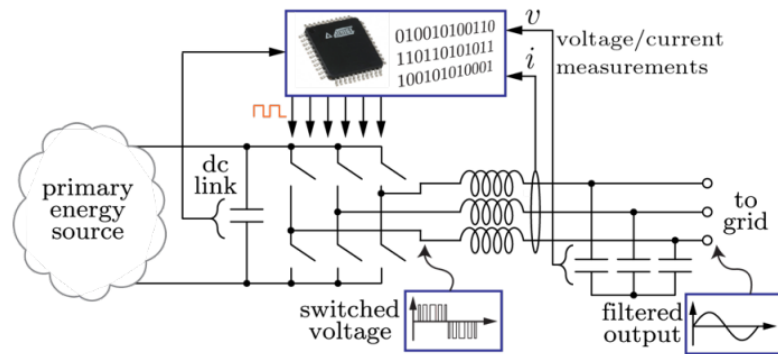
Sieć sztywna lub słaba

# Funkcjonalności przekształtników | Schematy funkcjonalne Grid-following vs Grid-forming

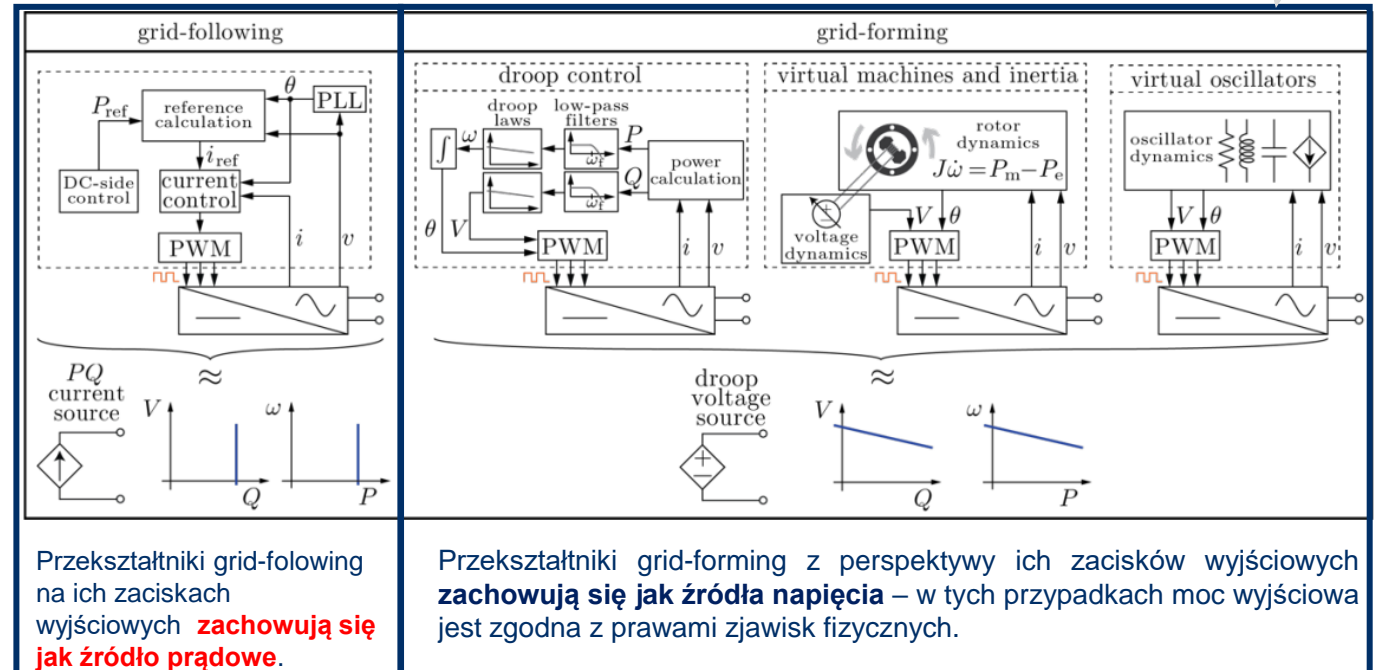
Struktura układu z grid-forming jest znacznie bardziej rozbudowana

## Struktury przekształtników grid-following vs grid-forming

### Generalna struktura przekształtnika



### Schematy funkcjonalne przekształtników grid-following oraz grid-forming



Źródło: Research Roadmap on Grid-Forming Inverters. November 2020. Yashen Lin,<sup>1</sup> Joseph H. Eto,<sup>2</sup> Brian B. Johnson,<sup>3</sup> Jack D. Flicker,<sup>4</sup> Robert H. Lasseter,<sup>5</sup> Hugo N. Villegas Pico,<sup>1</sup> Gab-Su Seo,<sup>1</sup> Brian J. Pierre,<sup>4</sup> and Abraham Ellis<sup>4</sup>

# GFC – przegląd z perspektywy operatorów SĒE

| Podejście do tematyki na świecie

## Podejście ENTSO-E



### Oczekiwane cechy GFC

- Creating (forming) system voltage.
- Contributing to fault level (short circuit power).
- Contributing to total system inertia (limited by energy storage capacity and the available power rating of the PPM or HVDC converter station).
- Supporting system survival to enable the effective operation of low frequency demand disconnection for rare system splits.
- Acting as a sink to counter harmonics and inter-harmonics in system voltage.
- Acting as a sink to counter any unbalance in system voltage.
- Preventing adverse control system interactions.

Źródło: Grid-Forming Capabilities: Towards System Level Integration 31 March 2021

- Podkreślono potrzebę rozwoju GFC
- Zdefiniowano ram funkcjonalne
- Zdefiniowano **7 kluczowych** cech GFC
  - Wspieranie systemu w stanach awaryjnych/przejściowych
  - Tłumienie wyższych harmonicznych
  - Przeciwdziałanie interakcji

# Podejście niemieckich OSP

| 50Hertz Transmission GmbH,  
Transnet BW GmbH,  
Amprion GmbH,  
Tennet TSO GmbH

**Dokument 4-TSO Paper on Requirements for Grid-Forming Converters**

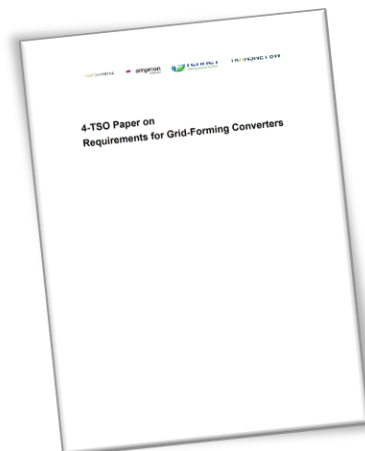
**Zakres**

- przedstawia stanowisko niemieckich operatorów sieci przesyłowej do zagadnienia GFC.
- zawiera generalne wymagania jakim muszą sprostać przekształtniki energoelektroniczne w celu uzyskania tzw. „pełnego grid-formingu”.

**Wymagania GFC**

- Tworzenie napięcia systemowego (*Creating System Voltage*),
- Udział w poziomie zwarcia (*Contribution to Fault Level*),
- Zapewnienie inercji systemu (*Contribution to Inertia*),
- Zapobieganie niekorzystnym interakcjom sterowania (*Preventing averse control interaction*),
- Stabilność sterowania (*Controller stability*)

Podstawowe informacje	
Data/status	10.05.2022 r - opublikowany
Uczestnicy projektu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50Hertz Transmission GmbH,</li> <li>• Transnet BW GmbH,</li> <li>• Aprion GmbH,</li> <li>• Tennet TSO GmbH,</li> </ul>
Cel	<b>Podstawowe wymagania dla przekształtników GFC</b>
Źródło	<u>4-TSO Paper on Requirements for Grid-Forming Converters</u>



4 TSO zamierzają wypracować definicję wymagań dla przekształtników typu GFC w niemieckiej sieci przesyłowej na poziomie krajowym podczas kolejnej rewizji *Technical Application Rules (TAR)*.

Data publikacji:  
**10.05.2022 r.**

Źródło: 4-TSO Paper on Requirements for Grid-Forming Converters

**Dokument 4-TSO Paper on Requirements for Grid-Forming Converters**

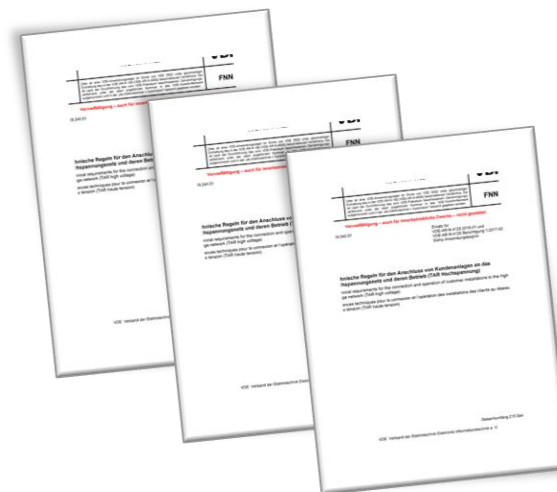
**Publikacja ogólnych wymagań**

**Normy VDE**

**Grid connection regulations**



**Projekt GFM-Benchmark**



German transmission grid at national level for the next revision of the Technical Application Rules (TAR) right now

- Technical Connection Rules
- VDE-AR-N 4120 (TAR High Voltage)
  - VDE-AR-N 4130 (TAR Extra High Voltage)
  - VDE-AR-N 4131 (TAR HVDC)

**Grid Connection Rules (NAR)**

The VDE technical requirements:

- VDE-AR-N 4120:2018-11 (TCR HV);
- VDE-AR-N 4130:2018-11 (TCR EHV);
- VDE-AR-N 4131:2019-03 (TCR HVDC);

are an integral part of these NAR and shall be complied with insofar as they apply.

Są wstępne zapisy dt. GFC dla NC HVDC

- Requirements for HVDC-Stations System Studies | Grid forming control study
- Requirements for offshore grid connection | System Studies | Grid forming control study

Dokument z: 24th July 2023

Źródło: [4-TSO Paper on Requirements for Grid-Forming Converters](#)

Źródło: [GFM-Benchmark – Measurements of Grid Forming Converters](#)

Źródło: [Technical Connection Rules](#)

Źródło: [Grid connection Regulation](#)

# Podejście brytyjskiego OSP

| National Grid ESO



## Podejście NG ESO do GFC

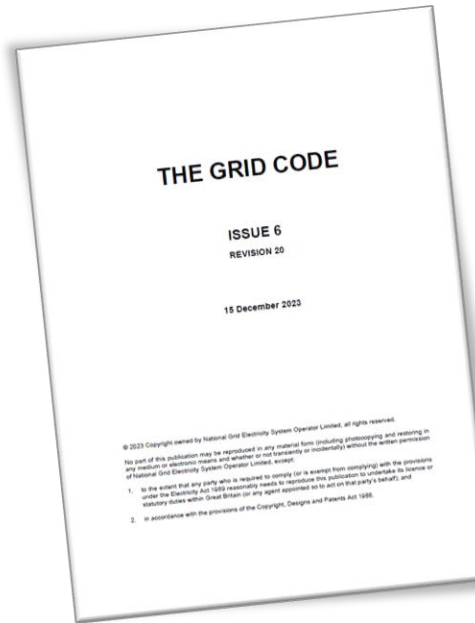
### GC0137 | Minimum Specification Required for Provision of GB Grid Forming (GBGF) Capability (formerly Virtual Synchronous Machine/VSM Capability)



### Harmonogram prac NG-ESO GBGF

- 10 grudzień 2019 - Rozpoczęcie prac – pierwsza propozycja
- 14 luty 2022 - Zaimplementowane w Grid Code poprawki GC0137
- Kwiecień 2023 – Publikacja Great Britain Grid Forming
- Prace w toku – pogłębione rozpoznania GFC

### NG-ESO - umieszczenie wymagań w THE GRID CODE



[THE GRID CODE \(nationalgrideso.com\)](http://nationalgrideso.com)

### NG-ESO - Najlepsze praktyki testowania



[Great Britain Grid Forming Best Practice Guide \(nationalgrideso.com\)](http://nationalgrideso.com)

Najbardziej zaawansowane działania

## Podejście NG ESO do GFC

### GC0137 Minimum Specification Required for Provision of GB Grid Forming (GBGF) Capability (formerly Virtual Synchronous Machine/VSM Capability)



#### Zakres

- Potrzeba wdrożenia
- Potencjalne efekty
- Definicje
- Minimalne specyfikacje techniczne
- Wymagania szczegółowe

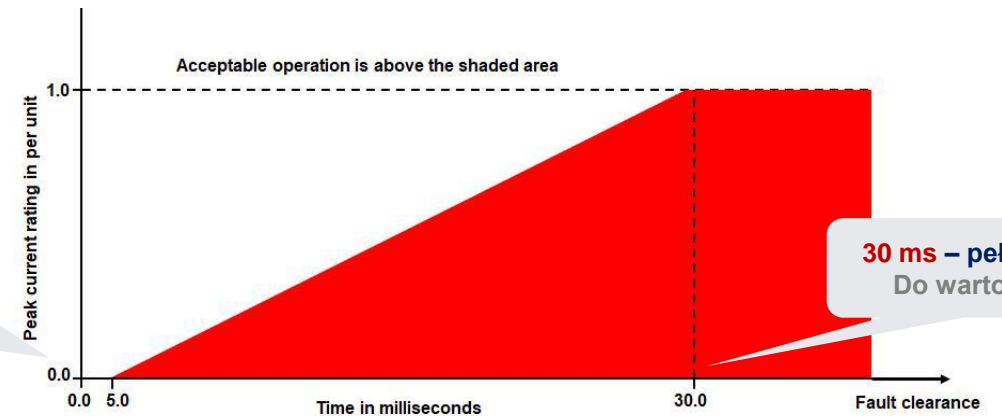
5 ms – START  
40 - 50 ms – klasyczne PE

### Comparison of Converter Technology

Capability	GBGF-S	GBGF-I	Conventional
Phase Based Phase Jump Power in one cycle	Yes	Yes	No
RoCoF response Power	Yes	Yes	No
Damping Power	Yes	Yes	Yes
Operate in Synchronism with the System	Yes	Yes	Yes
Contribution to Fault infeed	Yes - High	Yes – As specified	Yes - Limited
Avoids producing current harmonics > 5 Hz	Yes	Yes	No

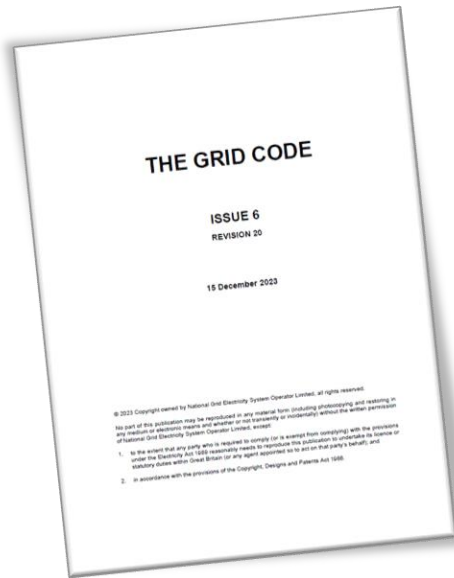
For the avoidance of doubt GBGF-I includes VSM0H converters

### Krzywa udziału prądu zwarciovego



## Podstawowe definicje dt. GFC zawarte w The Grid Code

### NG-ESO – Grid Code



[THE GRID CODE  
\(nationalgrideso.com\)](http://nationalgrideso.com)



**Grid Forming Capability** is (but not limited to) the capability a

- Power Generating Module,
- HVDC Converter (which could form part of an HVDC System),
- Generating Unit, Power Park Module,
- DC Converter,
- OTSDUW Plant and Apparatus,
- Electricity Storage Module,
- Dynamic Reactive Compensation Equipment
- or any Plant and Apparatus (including a smart load)

GFC może być dostarczane przez Jednoski wytórcze, magazyny energii, stacje HVDC, MFW, STATCOM, smart load.

**OTSDUW** - Offshore Transmission System Development User Works

Synchronous Compensator, Static Var Compensator (SVC), STATCOM

GF może również świadczyć odbiór

whose **supplied Active Power is directly proportional to the difference between the magnitude and phase of its Internal Voltage Source and the magnitude and phase of the voltage at the Grid Entry Point or User System Entry Point** and the sine of the Load Angle.

As a consequence, Plant and Apparatus which has a Grid Forming Capability has a **frequency of rotation of the Internal Voltage Source which is the same as the System Frequency for normal operation, with only the Load Angle defining the relative position between the two.**

In the case of a GBGF-I, a Grid Forming Unit forming part of a GBGF-I **shall be capable of sustaining a voltage at its terminals irrespective of the voltage at the Grid Entry Point or User System Entry Point** for normal operating conditions.

For GBGF-I, the control system, which determines the amplitude and phase of the Internal Voltage Source, shall have a response to the voltage and System Frequency at the Grid Entry Point or User System Entry Point) with a bandwidth that is less than a defined value as shown by the control system's NFP Plot.

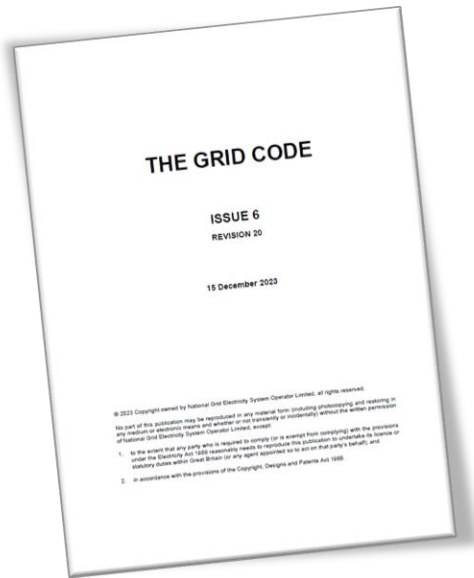
Exceptions to this requirement are only allowed during transients caused by System faults, voltage dips/surges and/or step or ramp changes in the phase angle which are large enough to cause damage to the Grid Forming Plant via excessive currents.



Wprowadzone dokumentem GC0137: "Minimum specification Required for provision of GB Grid Forming (GBGF) Capability (formerly Virtual Synchronous Machine/VSM Capability)"

## Podstawowe definicje dt. GFC zawarte w The Grid Code

### NG-ESO – Grid Code



[THE GRID CODE  
\(nationalgrideso.com\)](http://nationalgrideso.com)

- **Grid Forming Plant**  
A site which contains Plant and Apparatus which is classified as either a GBGF-S or a GBGF-I
- **GB Grid Forming - Inverter or GBGF-I**  
Is any Power Park Module, HVDC System, DC Converter, OTSDUW Plant and Apparatus, Non-Synchronous Electricity Storage Module, Dynamic Reactive Compensation Equipment or any Plant and Apparatus (including a smart load) which is connected or partly connected to the Total System via an Electronic Power Converter which has a Grid Forming Capability (GBGF-I).
- **GB Grid Forming – Synchronous or GBGF-S**  
Is a Synchronous Power Generating Module, Synchronous Electricity Storage Module or Synchronous Generating Unit with a Grid Forming Capability.
- **Grid Forming Plant Owner**  
The owner or operator of a Grid Forming Plant
- **Grid Forming Unit**  
A Power Park Unit or Electricity Storage Unit or a Synchronous Power Generating Unit or **individual Load with a Grid Forming Capability.**
- **Grid Forming Electronic Power Converter**  
A Grid Forming Plant whose output is derived from an Electronic Power Converter with a GBGF-I capability.
- **Internal Voltage Source**  
For a Grid Forming Synchronous Generating Unit a real magnetic field, that rotates synchronously with the System Frequency under normal operating conditions, which induces an Internal Voltage Source in the stationary generator winding that has a real impedance. For a Grid Forming Electronic Power Converter it uses switched power electronic devices to produce a real voltage waveform, with harmonics, that has a fundamental component that rotates synchronously with the System Frequency under normal operating conditions to produce the real Internal Voltage Source that is connected to a one or more real impedances.
- **Load Angle**  
The angle in radians between the voltage of the Internal Voltage Source and the voltage at the Grid Entry Point or User System Entry Point.

Jako GF może również świadczyć

- **odbiór indywidualny**



Wprowadzone dokumentem GC0137: "Minimum specification Required for provision of GB Grid Forming (GBGF) Capability (formerly Virtual Synchronous Machine/VSM Capability)"

# Podsumowanie

| Implementacja GFC w KSE

## GFC w NC RfG 2.0. – dyskutowane podejście na poziomie ENTSO-E → ACER

### Article Y

(new article)

Prawdopodobnie w zastępstwie kilku istniejących artykułów NC (m.in. dt. inercji syntetycznej, szybkiego prądu zwarciovego).

Decyzyjność na poziomie OS – możliwość dopasowania do lokalnych potrzeb.

#### Requirements for type A, B, C, D power park modules

6. The relevant TSO shall have the right to request grid forming capability from PPM at its connection point as defined by the following paragraphs:
  - a. Within the power park module current limits, the power park module shall be capable of behaving at its connection point as a voltage source behind an internal impedance (Thevenin source), during the normal operating conditions (non-disturbed grid conditions) and quasi immediately after a grid disturbance (including voltage, frequency and voltage phase angle disturbance). The Thevenin source is characterized by its voltage amplitude, voltage phase angle, frequency and internal impedance.
  - b. During the first instant following a grid disturbance and while the power park module capabilities and current limits are not exceeded:
    - (i) the instantaneous AC voltage characteristics of the Thevenin source according to paragraph (a) shall be capable of not changing its amplitude and voltage phase angle while voltage phase angle steps or voltage magnitude steps (in positive and in negative sequence) are occurring at the connection point (grid side). The positive and the negative sequence current exchanged between the power park module (power park module side) at the connection and AC grid shall flow naturally according to grid and converter impedances.
    - (ii) The relevant system operator shall specify a minimum time dependent current profile for which the grid forming capability of the power park module is required.
  - c. During the disturbance period (voltage magnitude, frequency and voltage phase angle disturbance) and after the first instant,
    - (iii) The internal voltage magnitude and voltage phase angle of the power park module shall be adapted according to a predefined dynamic performance.
    - (iv) The power park module active and reactive current adjustment shall always respect the minimum and maximum power park module capability and current limits.
    - (v) The TSO may specify additional requirements in the case that current limitation is necessary.
    - (vi) The power park module shall be capable of stable and smooth transition when reaching the power park module current limits, without interruption, in a continuous manner and returning to the behaviour described in paragraph (b)(ii) as soon as the limitations are no more active.
  - d. The required energy to deliver the minimum capability in paragraph (a) to (b) shall be ensured through the whole active power operating range of power park module.
  - e. The required dynamic performance of the power park module for the paragraphs (a) to (d) and its associated performance parameters shall be specified by the relevant TSO.

IBR jako źródło Thevenina.



# GFC | GFC w KSE – możliwa ścieżka implementacji

Adresacja GFC

## ENTSO-E

- ↓💡 wskazanie GFC jako środka poprawy stabilności pracy SEE
- ↔️ decyzja o wdrożeniu wymagań dla GFC przy aktualizacji Kodeksów Sieci
- ↕️🧬 budowanie nowej wiedzy dt. GFC
- ↕️🔍 definiowanie wytycznych dt. kształtowania zdolności GFC

Prace RDIC (GFC)

## Aktualizacja Kodeksów Sieci (NC)

- ↕️📄 definiowanie i opiniowanie wymagań dt. zdolności IBR
- ↓↔️ poszukiwanie ścieżki implementacji GFC w NC
- Prawdopodobna ścieżka:** nieobowiązkowe wymagania ogólne w NC (implementacja do decyzji operatora) – wymagania szczegółowe w krajowych WOS
- ↕️📄 definiowanie i opiniowanie wymagań dt. GFC w NC

Prace WG ENTSO-E

**Prawdopodobne działanie:** przy implementacji WOS konieczność określenia ilościowych wymagań GFC

## Długoterminowe planowanie stabilności KSE

# Dziękujemy!

PRELEGENCI

Piotr Rzepka | [piotr.rzepka@pse.pl](mailto:piotr.rzepka@pse.pl)

Mateusz Szablicki | [mateusz.szablicki@pse.pl](mailto:mateusz.szablicki@pse.pl)