

Wykrywanie podziału systemu z zastosowaniem synchrofazorów oraz symulacja działania algorytmu z wykorzystaniem RTDS

14 marca 2024 r.

Adam Babś
Łukasz Kajda



Czym jest (synchro)fazor ?

Synchrofazor (lub **fazor synchroniczny**) jest wartością napięcia lub prądu sinusoidalnego wyrażoną w postaci liczby zespolonej wyznaczaną jest na podstawie ciągu próbek wielkości mierzonej zbieranych przez stały, niezmienny czas (np. 20 ms)

$$\bar{U} = Ue^{j\varphi}$$

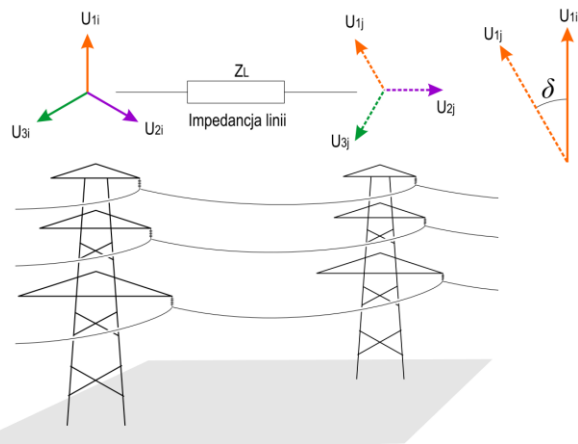
U – moduł (wartość skuteczna) napięcia

φ – odległość kątowa do początku pomiaru synchronicznego
dla wszystkich układów pomiarowych synchrofazorów (PMU) na świecie

Wielkoobszarowy system pomiaru synchrofazorów WAMS – Wide Area Measurement System

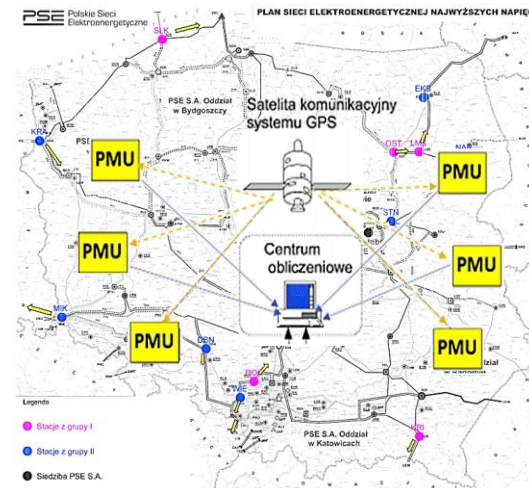
Funkcje systemu WAMS wynikają z możliwości wykorzystania obliczanych synchrofazorów dostępnych np. co 20 ms do bieżącej analizy zjawisk dynamicznych w systemie elektroenergetycznym.

Co 20 ms wylicza się szybkość zmiany częstotliwości (RoCoF)



$$P = \frac{U_i U_j}{Z} \sin(\delta)$$

- P – moc czynna wypływająca z gałęzi
- U_i, U_j – moduły napięć na początku/końcu gałęzi
- δ – kąt obciążenia, $\delta = \delta_i - \delta_j$ różnica kątów napięć na początku i końcu gałęzi

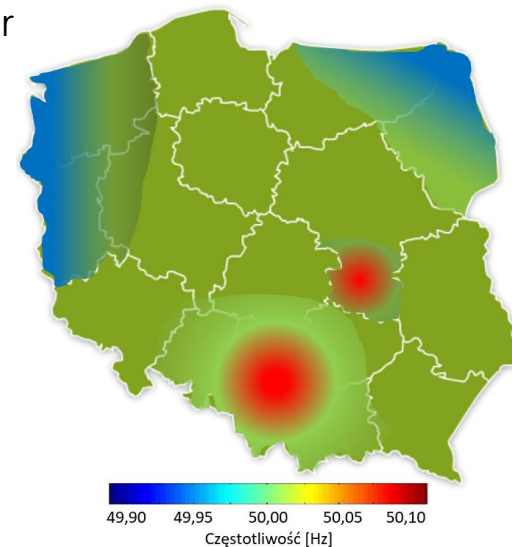


Świadomość sytuacyjna

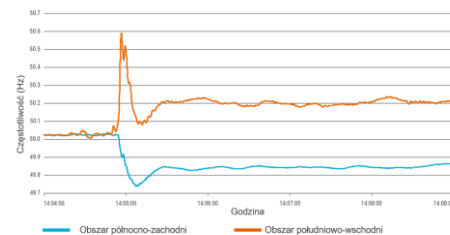
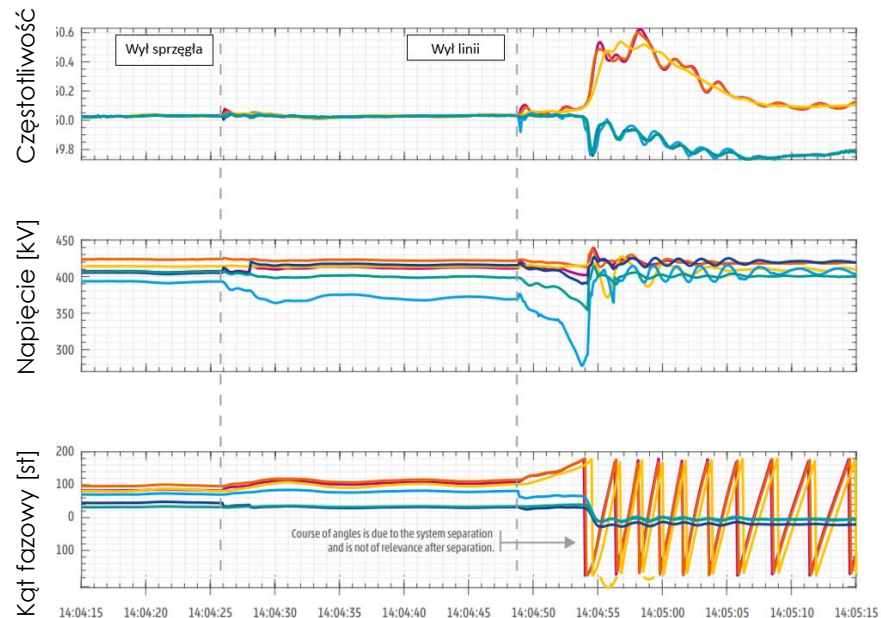
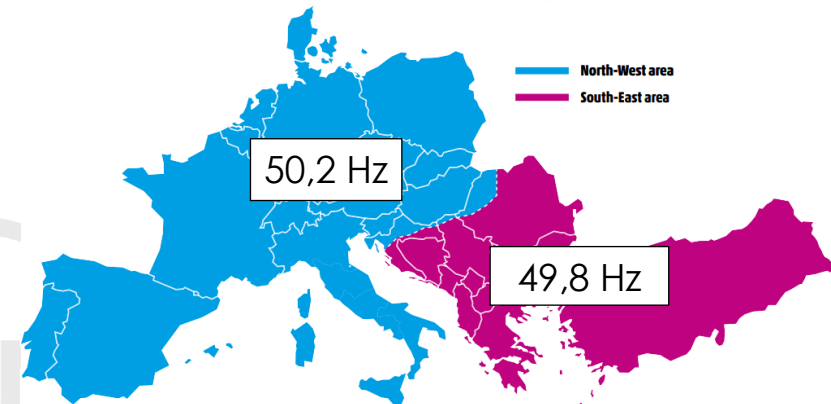
monitorowanie zjawisk dynamicznych

- kąty fazowe napięć silnie korelują z ogólnym obciążeniem systemu oraz podatnością systemu na oscylacje międzyobszarowe.
- Wyznaczanie trendu kątów fazowych w stosunku do wartości granicznych kątów fazowych, może być wykorzystywane do identyfikacji rosnących obciążeń systemu;
- Szybkość zmian różnicy kątów fazowych jest ważnym wskaźnikiem rosnącego obciążenia systemowego (*growing system stress*) i może być podstawą alarmów operatora (przykład: blackout północno – wschodnie USA w 2003 r. i w 2008 r)

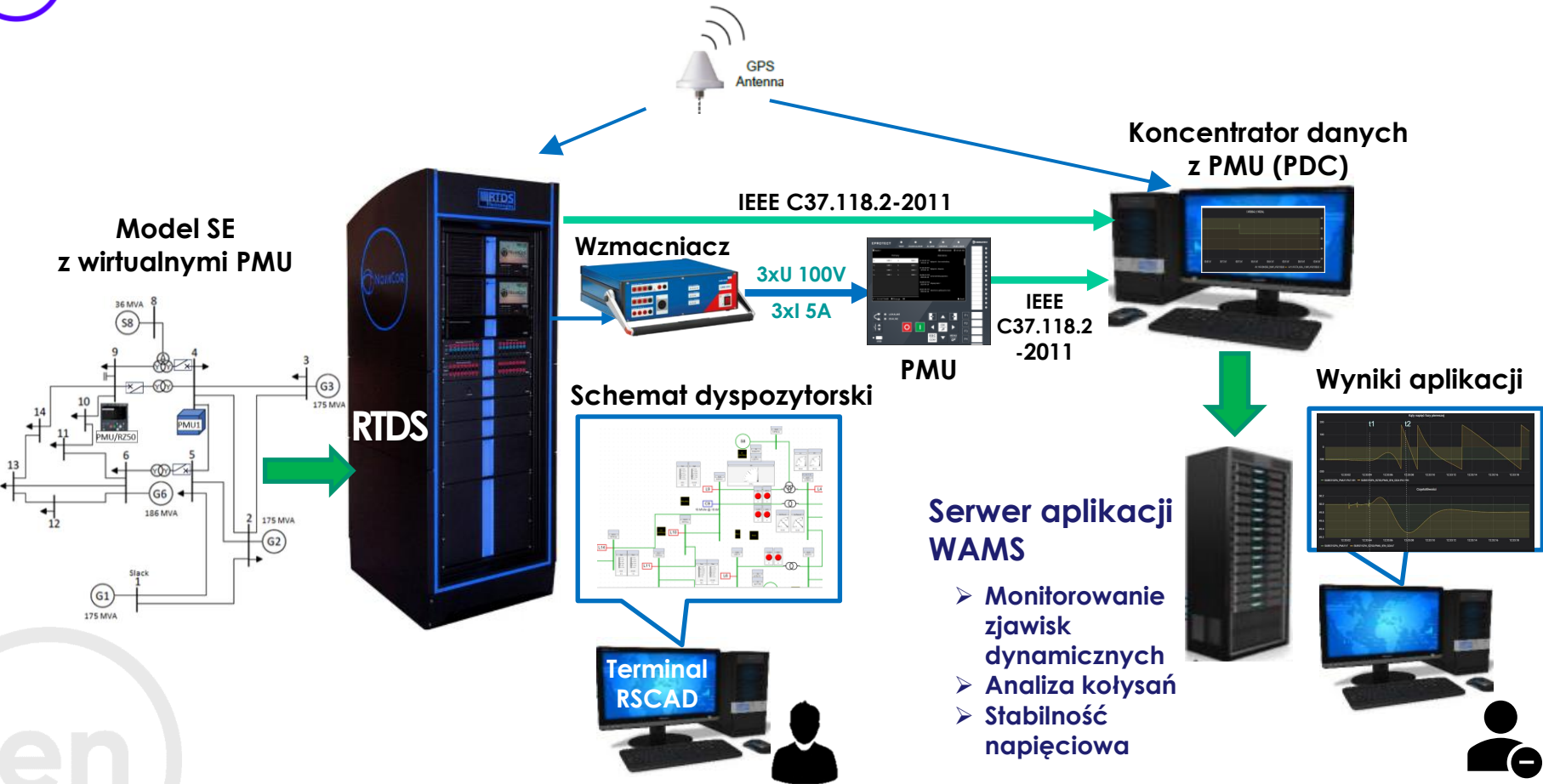
Przekroczenie kątów fazowych, ponad wcześniej wyliczone off-line wartości graniczne, może być podstawą do podjęcia środków zaradczych (zwiększenie generacji, modyfikacji przepływów gałęziowych, inne)



Podział systemu europejskiego 8 stycznia 2021



Stanowisko testowe dla aplikacji WAMS



Algorytm wykrywania podziału systemu wykorzystujący pomiary fazorów napięcia, częstotliwości i ROCOF

Metoda różnicy częstotliwości

Polega na zlokalizowaniu miejsc, w których różnica częstotliwości pomiędzy PMU w danej lokalizacji a częstotliwością mierzoną przez PMU referencyjne (f_{ref}) przekracza próg przez pewien czas (T_{th1}).

$$\begin{cases} |f_i(t) - f_{ref}| \geq f_{th}, \forall t \in [T_m, T_n] \\ T_n - T_m > T_{th1} \end{cases}$$

$f_i(t)$ - częstotliwość mierzona w czasie t ,
przez każdy z układów pomiarowych,

f_{ref} - częstotliwość odniesienia,

f_{th} - wartość progowa różnicy częstotliwości

T_{th1} - wartość progowa czasu trwania różnicy
częstotliwości ponad próg $[T_m, T_n]$.

Metoda zmiany kąta fazowego

Na podstawie danych z systemu pomiaru fazorów porównywane jest narastanie różnicy kątowej pomiędzy pomiarami napięcia składowej zgodnej w wielu miejscach.

$$\begin{cases} |\theta_{iR}(t + T) - \theta_{iR}(t)| \geq \theta_{th}, \forall t \in [T_m, T_n] \\ T_n - T_m > T_{th2} \end{cases}$$

θ_{iR} - kąt fazowy między szynami i a R w czasie t ,

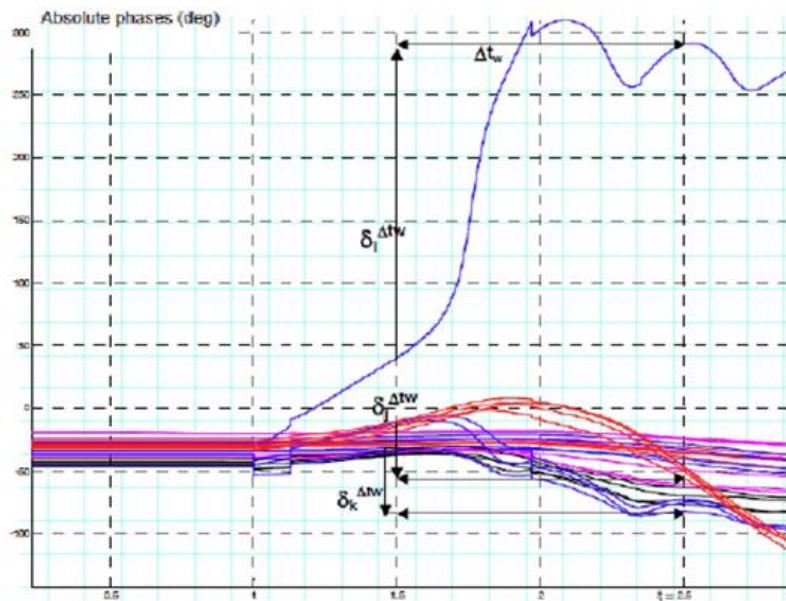
T - przedział czasu dla porównania kąta
fazowego,

θ_{th} - wartość progowa różnicy kątów,

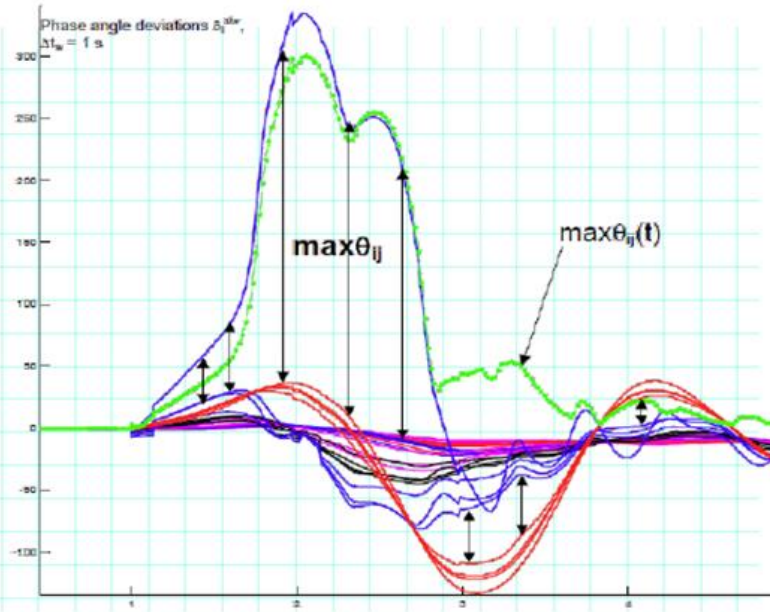
T_{th2} - wartość progowa czasu trwania różnicy
kątów ponad wartość progową

Monitorowanie zjawisk dynamicznych (przykład)

Kąty napięć w poszczególnych stacjach



Różnice kątowe w stosunku do średniej



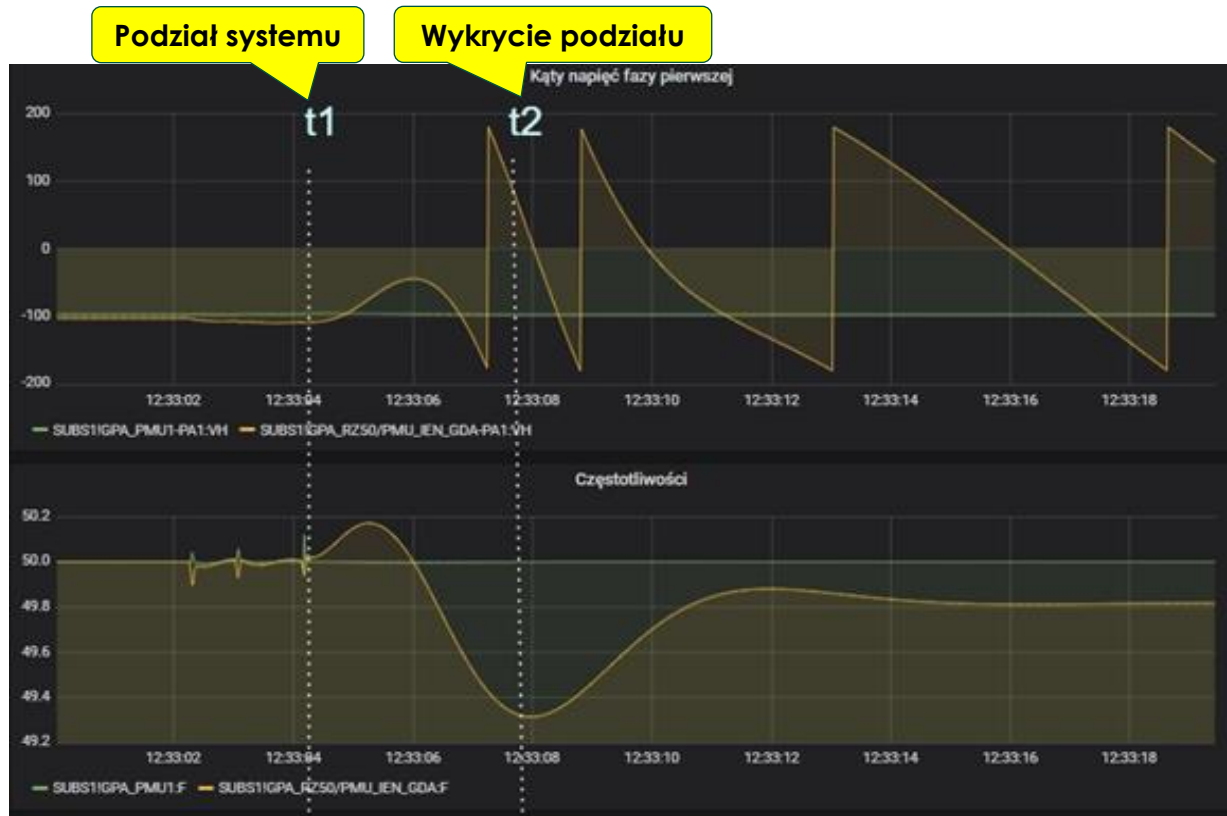
Możliwość wyliczania średniej wartości kąta (wartość referencyjna) i wyboru lokalizacji gdzie różnica w stosunku do wartości referencyjnej jest największa

1. Ciągła rejestracja synchrofazorów z PMU1 i PMU/RZ50 tj. zmian częstotliwości i kąta fazowego w obu częściach podzielonego systemu, różnica kątów fazowych napięć $\Delta\theta$ liczona narastająco
2. Jako wartości graniczne świadczące o podziale systemu przyjęto:
 - narastająca różnica kątowa $\Delta\theta_{th2} > \Delta\theta_{th1} = 30$ stopni
 - czas utrzymywania się różnicy kątowej ponad wartość graniczną ($t_{\Delta\theta} > 3$ s)

$$\Delta\theta = |\theta U1_{PMU1} - \theta U1_{PMU/RZ50}|$$

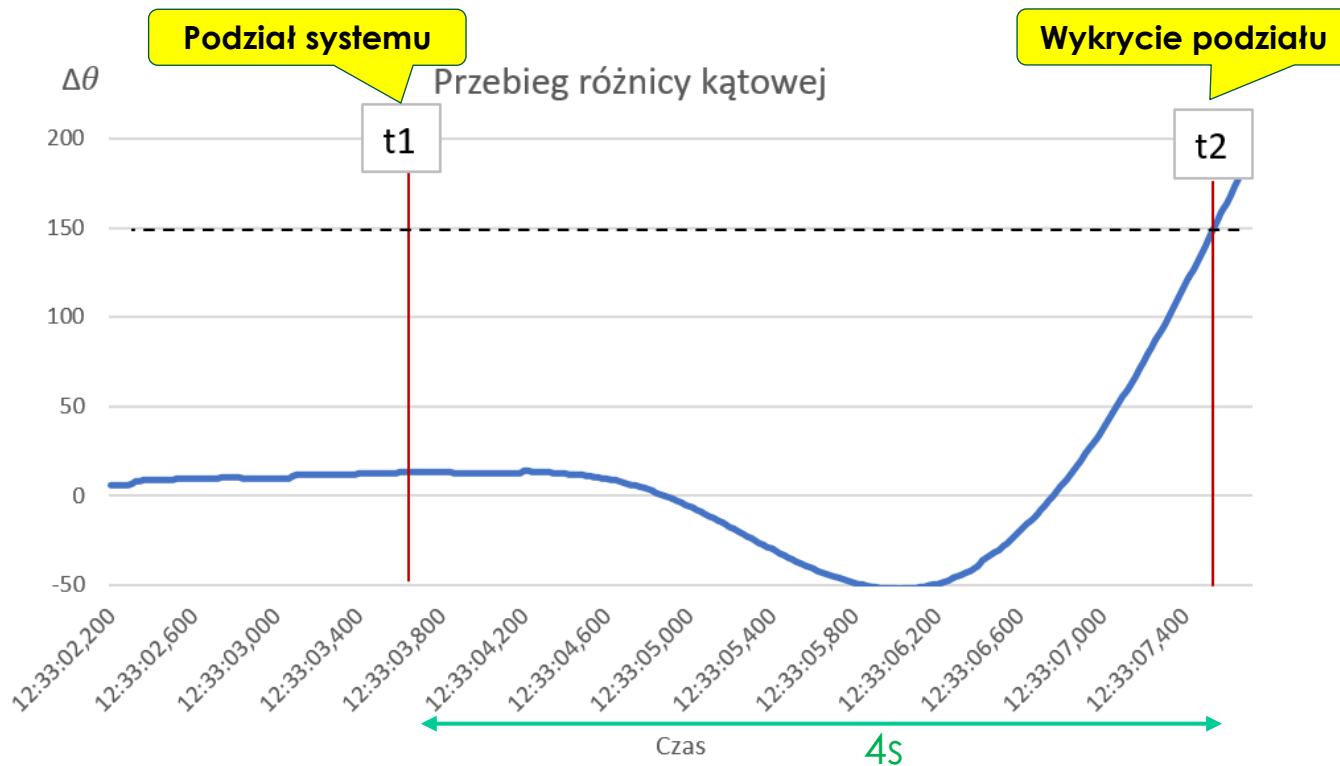
Wyniki wykrywania podziału systemu

Rejestracja katów napięć oraz częstotliwości przed i po wydzieleniu fragmentu sieci



Wyniki wykrywania podziału systemu

Przebieg różnicy kątowej



Test urządzenia na zgodność z IEC/IEEE 60255-118-1 i C37.118.2 conformance test

CERTIFICATE

Document No. 1223

Issued for:
SPE Emergencj sp. z o.o.
ul. Chroma 440
PL 80-200 Gdansk

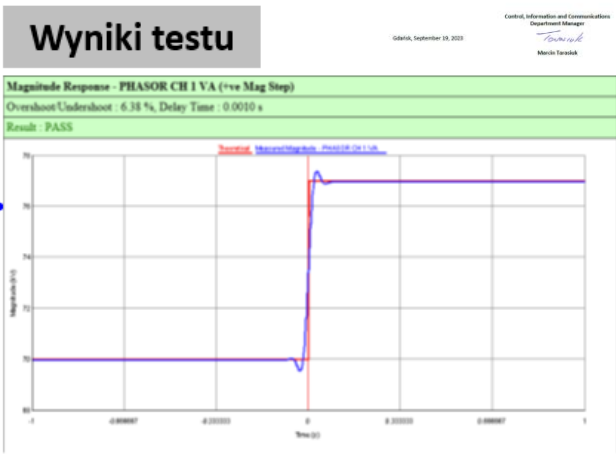
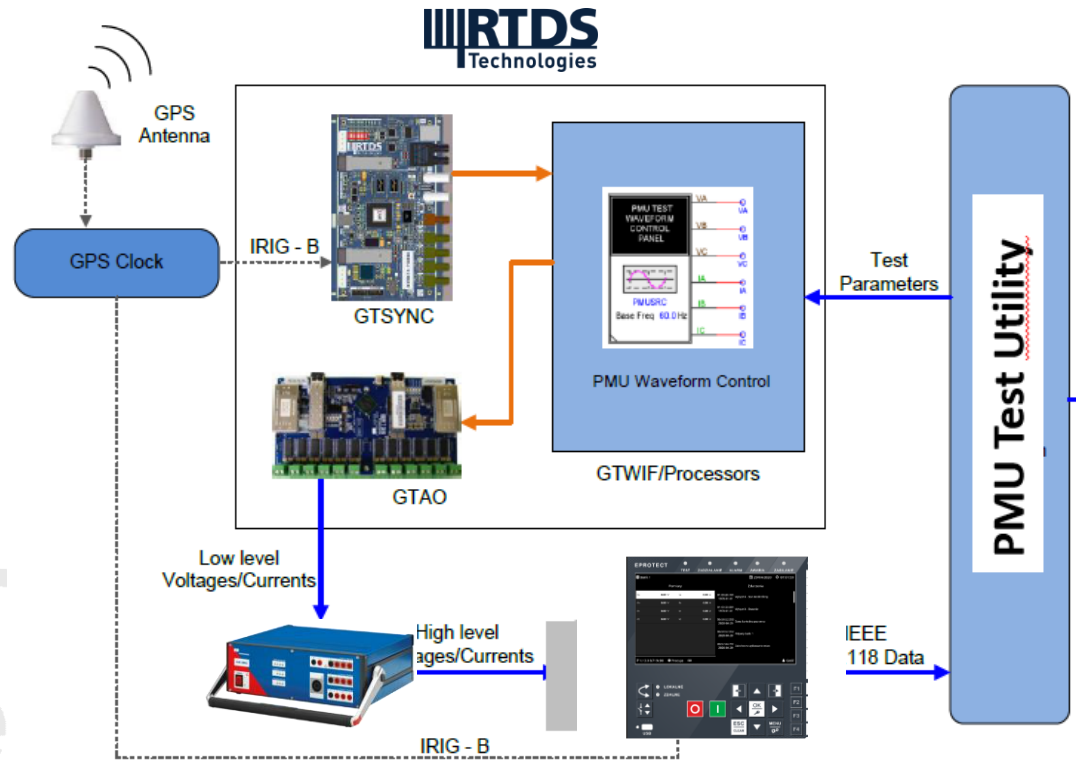
For the product:
Fault Recorder: R250(RM)
Model Number: R250-series-3
Software version: 11.09.2023

Issued by:
Institute of Power Engineering
Research Institute
Gdansk Division
Multiple Step 27 Str., PL 80-870 Gdansk

This certifies that the above product was tested according to IEEE Synchrophasor Measurement Test Suite Specification designed in RTDS on an automated test suite (PMU) setting for both steady state and dynamic test scenarios for the class P and M, and was found to comply with all applicable requirements as detailed in the test report issued to the customer.
The test has been carried out on one single specimen of the products as referred to above.
This certificate does not imply that INSTITUTE OF POWER ENGINEERING has certified or approved any product other than the specimen tested.

Accordance granted with IEC/IEEE Standard 60255-118-1:2018
Test report No.: OIG/360/23_PMU_R250_Performance_test_report

Control, Information and Communications
Department Manager
Gdansk, September 19, 2023
Marek Tomiak
Marek Tomiak



Symulator RTDS

Symulacja czasu rzeczywistego

Czas trwania zjawiska symulowanego komputerowo jest taki sam, jak czas trwania zjawiska rzeczywistego

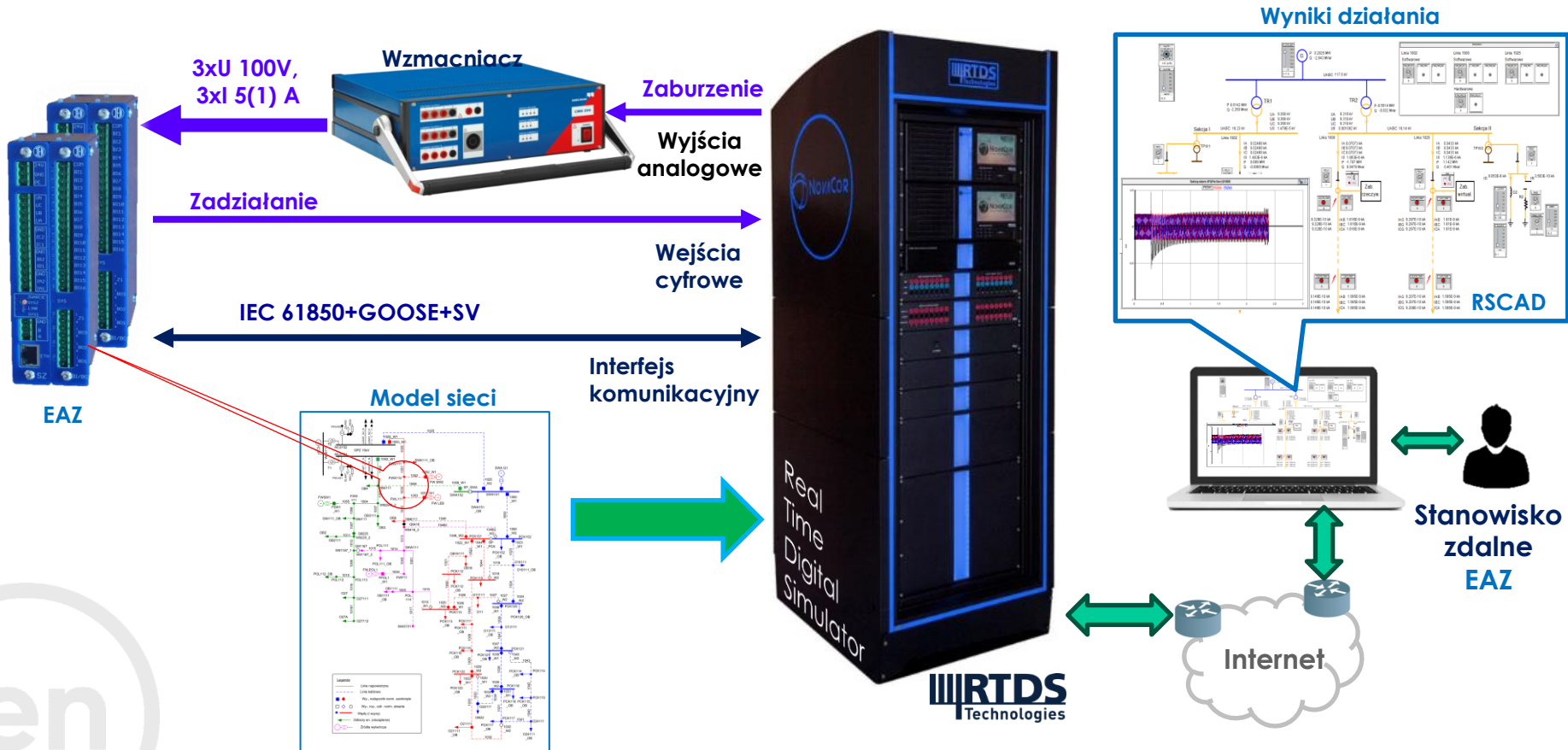
RTDS umożliwia analizę:

- Działania urządzeń i infrastruktury energetycznej w ujęciu trójfazowym, dla wszystkich poziomów napięć
- Zjawisk fizycznych i zakłóceńowych
- Systemów wymiany komunikacji danych
- Mechaniki urządzeń m.in. energetycznych

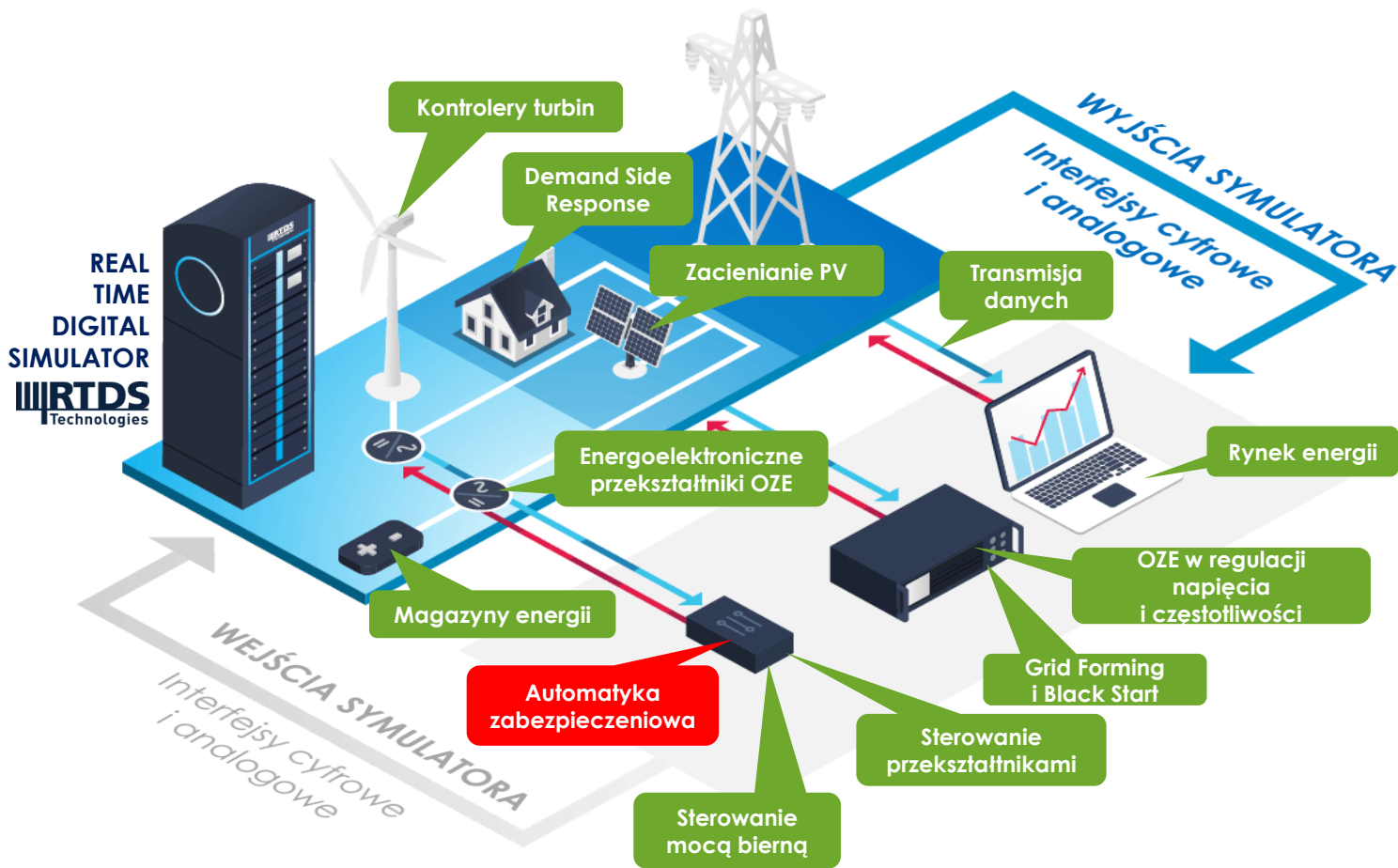
Budowanie świadomości dynamiki zjawisk rzeczywistych
Badania urządzeń rzeczywistych w środowisku testowym odwzorowującym rzeczywistość



Testy funkcjonalne układów EAZ - Hardware in the loop



Symulator RTDS – obszary wykorzystania



1. Opracowano stanowisko przeznaczone do testowania aplikacji wykorzystujących pomiary synchronofazorów w sieci elektroenergetycznej z zastosowaniem symulatora RTDS w technice „hardware in the loop”. Zastosowane narzędzia sprzętowe oraz oprogramowanie PDC są w pełni przydatne do symulacji procesów w systemach nadzoru i sterowania takich jak: wizualizacja stanu sieci, monitorowanie zjawisk dynamicznych, wykrywanie zagrożeń i stanów nienormalnych.
2. Badanie aplikacji do wykrywania na podstawie pomiarów synchronofazorów podziału systemu potwierdziły przydatność opracowanego algorytmu. Do badań symulacyjnych wykorzystano model referencyjny IEEE 14-szynowy, skonfigurowany dla celów wykrywania podziału systemu. Jako źródło informacji pomiarów synchronofazorów wykorzystano rzeczywisty układ pomiarowy PMU/RZ50 zasilany danymi analogowymi z RTDS (pomiarami napięć i prądów) oraz układ pomiarowy wirtualny, wbudowany w RTDS .
3. Stanowisko umożliwia przeprowadzanie testów działania (performance test) urządzeń EAZ w symulowanym środowisku sieci elektroenergetycznej – dostępny tryb zdalny.
4. Z wykorzystaniem RTDS i programu testującego wykonano test urządzenia (PMU) na zgodność z normą.

**Dziękujemy
za uwagę**

