



ZAKŁAD POMIAROWO - BADAWCZY ENERGETYKI
„ENERGOPOMIAR-ELEKTRYKA” Sp. z o.o



**Prezentacja rozwiązań technicznych
ZPBE Energopomiar-Elektryka Sp. z o.o.**

**Konwersatorium Inteligentna Energetyka
Gliwice 27 kwietnia 2021 roku**

**Systemy on/off grid
(wydzielanie i resynchronizacja wyspy elektrycznej).
Przykład praktycznej realizacji**

**Jerzy Wrzosek
Grzegorz Grzegorzycza
ZPBE Energopomiar-Elektryka**



Wstęp



Poprawna i bezpieczna praca pewnej grupy zakładów przemysłowych wiąże się również z zapewnieniem im warunków ciągłości zasilania energią elektryczną oraz ciepłą. Przerwy w zasilaniu mogą nieść daleko idące konsekwencje techniczno-ekonomiczne zarówno dla technologii produkcji jak i bezpieczeństwa kosztownych instalacji technicznych.

Dla realizacji zadania w omawianym zakresie na terenie zakładu budowane są elektrociepłownie z własnymi jednostkami prądotwórczymi, których układy automatyki, pomiarów i regulacji muszą w przypadku perturbacji systemowych i awarii zapewnić:

- jednoznaczną identyfikację zakłóceń sieciowych,
- bezpieczne przejście do pracy wyspowej,
- możliwość długotrwałej i optymalnej pracy wyspowej,
- ponowną synchronizację układu wyspowego z KSE.

System MUW-Plus



ZPBE Energopomiar-Elektryka Sp. z o.o. od wielu lat zajmował się problemami pewności zasilania określonych elementów pracujących w układzie elektroenergetycznym. W związku z tym faktem jest m.in. producentem systemu MUW-Plus do wydzielania i nadzoru pracy układów wyspowych oraz realizacji operacji łączeniowych układów elektroenergetycznych. System posiadający funkcjonalność PMU realizuje kompleksowo zadania wspomagania pracy UEE zakładu przemysłowego oraz funkcjonalność dedykowanej automatyki systemowej i regulacyjnej.

Układy wydzielania i synchronizacji SEE



Analizując rozwiązania układów wydzielania i synchronizacji szczególną uwagę należy zwrócić na następujące bardzo ważne obszary zagadnień:

- kompleksowości rozwiązań technicznych,
- jakości realizowanych operacji,
- predykcji skutków realizacji,
- efektywności działań.

Nowe oczekiwania dotyczące automatyki łączeniowej

- automatyczna detekcja stanów zakłóceń w SEE, przewidywanie możliwości wystąpienia perturbacji systemowych oraz zaimplementowanie w układzie pomiarów i automatyki scenariuszy automatycznej odbudowy i rekonfiguracji SEE poddanego skutkom awarii stanowi ważną i kluczową funkcjonalność.

MUW-Plus system wspomaganie pracy układów wyspowych i synchronizacji



- kontroluje pod względem spełnienia warunków synchronizmu napięcia trójfazowe nadzorowanego układu na wszystkich wyłącznikach mocy rozdzielni,
- jest skonsolidowany z terminalami EAZ oraz układami automatyki regulacyjnej zainstalowanymi w nadzorowanym obiekcie elektroenergetycznym,
- posiada rozszerzoną funkcjonalność PMU,

MUW-Plus system wspomaganie pracy układów wyspowych i synchronizacji



- realizuje pomiar wartości 3-fazowych napięć, prądów, mocy oraz wartości częstotliwości i przesunięcia kąтового dla wybranych pól nadzorowanego układu. Komplet wielkości jest wyznaczany w wymaganym dla oceny pracy układów wyspowych cyklu 40 ms,
- wizualizuje lokalnie oraz zdalnie parametry łączeniowe oraz zapewnia zdalną transmisję w czasie rzeczywistym wyników pomiarów do centrów dyspozytorskich,

MUW-Plus system wspomaganie pracy układów wyspowych i synchronizacji



- rejestruje w długim oknie czasowym parametry kryterialne procesu synchronizacji, parametry układu wyspowego oraz wybrane wielkości dwustanowe. Serie pomiarowe sygnowane są bardzo precyzyjnym znacznikiem czasu,
- posiada funkcjonalność predykcji skutków działań zapewniającą blokowanie potencjalnie niebezpiecznych operacji łączeniowych.

MUW-Plus system wspomaganie pracy układów wyspowych i synchronizacji



MUW-Plus zainstalowany w układzie EE zakładu wyposażonego we własne jednostki prądotwórcze:

- wspomaga pracę służb ruchowych z punktu widzenia możliwej pracy wyspowej układu,
- zapewnia bezpieczne oraz optymalne warunki pracy układów zasilania i odbiorów,
- realizuje funkcje wielokryterialnej automatyki wydzielania i synchronizacji układu wyspowego.

Automatyka wydzielenia i synchronizacji układu wyspowego



Dla zakładu przemysłowego posiadającego własne jednostki wytwórcze możliwości sprawnego i efektywnego wydzielenia układu wyspowego oraz ponownej synchronizacji z SEE są bardzo istotnymi funkcjonalnościami zarówno z punktu widzenia zachowania bezpieczeństwa technologii produkcji jak i zapewnienia stabilności pracy układu elektroenergetycznego.

Automatyka wydzielenia i synchronizacji układu wyspowego



- operacje wydzielenia, prowadzenia pracy wyspowej oraz ponownego łączenia są ze sobą ściśle związane i muszą być poddane skoordynowanej analizie oraz nadzorowi,
- jakość, sprawność i bezpieczeństwo operacji ruchowych powinny być priorytetowe,
- należy zapewnić pełny determinizm czasowy działania wszystkich elementów składowych systemu.

Automatyka pracy wyspowej i synchronizacji



Automatyka wydzielenia



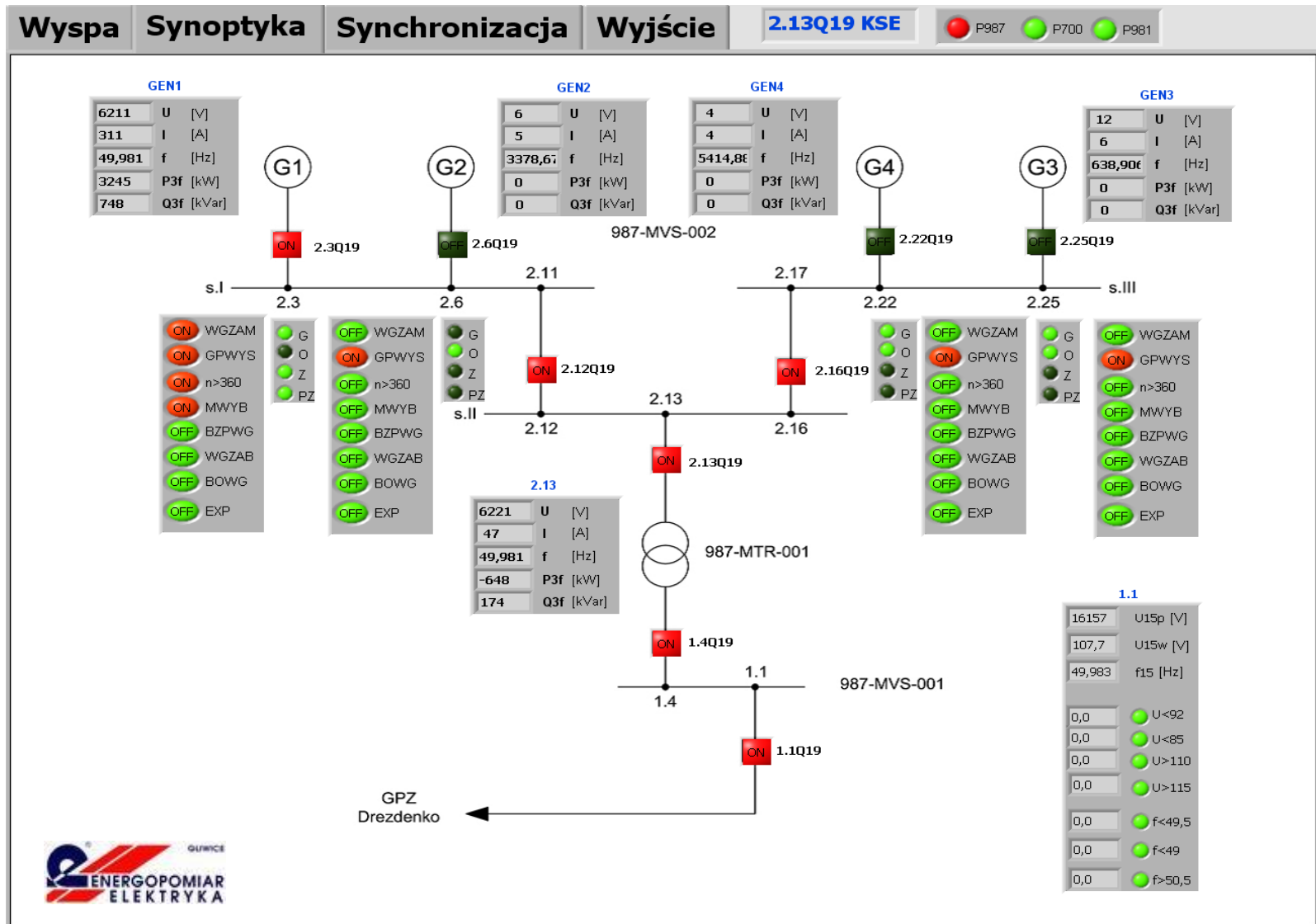
wyspowego zakładu przemysłowego

- wielokryterialna automatyka umożliwia realizację optymalnych wydzieleni zarówno z punktu widzenia obrony SEE jak i wrażliwych technologii produkcji zakładu przemysłowego,
- kluczowym elementem automatyki jest system bilansowania online mocy w nadzorowanym układzie.
- wdrożono mechanizmy kontrolowanego niebilansowania (generacja exportowa).

Automatyka pracy wyspowej i synchronizacji

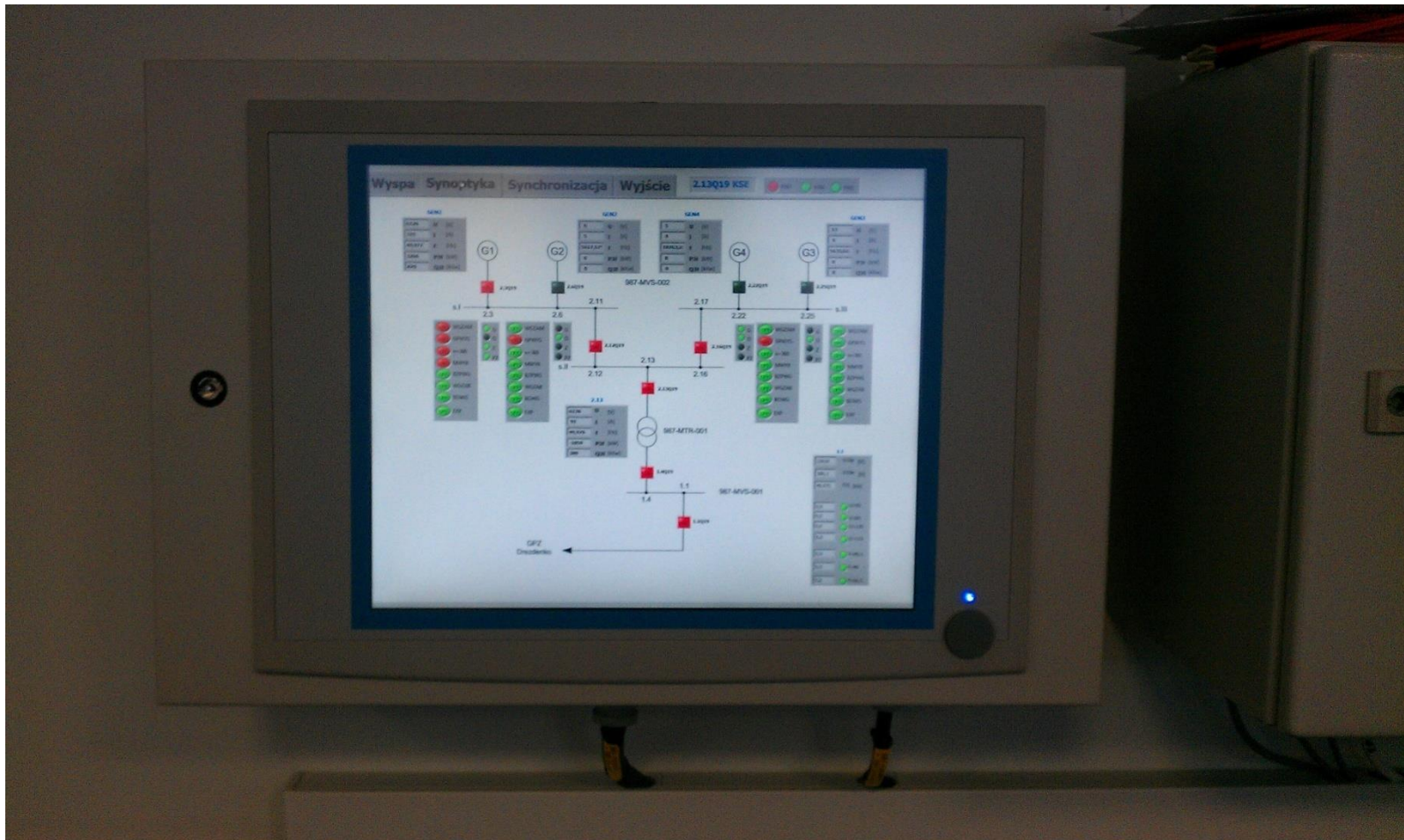


Automatyka pracy wyspowej i synchronizacji



Automatyka pracy wyspowej i synchronizacji

(wyniesiony terminal operatorski)



Automatyka wydzielenia układu wyspowego

- wydzielenie układu wyspowego zakładu przemysłowego może być zrealizowane za pomocą standardowej EAZ lub wielokryterialnej automatyki systemowej opartej o dedykowane i zoptymalizowane algorytmy działania,
- rozwiązania oparte o standardową EAZ nie spełniają wszystkich wymagań stawianych automatyce wydzielenia układów wyspowych i np. z punktu widzenia selektywności pracy mogą działać niewłaściwie,

Automatyka wydzielenia układu wyspowego



- układ wyspowy może być wydzielony automatycznie, planowo lub wskutek błędu ludzkiego,
- automatyka powinna realizować nie tylko funkcje szybkiego wydzielenia ale również zapewniać mechanizmy i warunki techniczne do optymalnej, efektywnej i bezprzerwowej pracy wyspowej mogącej trwać wiele godzin lub nawet dni,

Automatyka wydzielenia układu wyspowego



- realizacja optymalnych wydzieleni jest ważna zarówno z punktu widzenia obrony SEE jak i utrzymania ciągłości pracy oraz wrażliwych technologii produkcji zakładu przemysłowego,
- predykcja zjawisk umożliwia podejmowanie właściwych decyzji ruchowych,
- utrzymanie ciągłości pracy ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa instalacji zakładu, technologii produkcji oraz ze względów ekonomicznych.

Automatyka wydzielenia układu wyspowego

Wyspa
Synoptyka
2.13
Synchronizacja
Wyjście
2.13Q19 KSE
● P987
● P700
● P981

U1[V]	105,0
U2[V]	103,4
f1[Hz]	49,992
f2[Hz]	49,748
dU[%]	1,6
df[Hz]	0,244
a[deg]	311

103,4	U1 [V]	●
0,1	U2 [V]	●
49,747	f1 [Hz]	●
47,492	f2 [Hz]	●
103,3	dUOK	●
2,255	dfOK	●
340,1	alfaOK	●

BRAK SYNCHRONIZMU

103,4	U1 [V]	●
103,4	U2 [V]	●
49,748	f1 [Hz]	●
49,747	f2 [Hz]	●
-0,0	dUOK	●
0,001	dfOK	●
359,6	alfaOK	●

SYNCHRONIZM

103,4	U1 [V]	●
103,4	U2 [V]	●
49,748	f1 [Hz]	●
49,747	f2 [Hz]	●
1,6	dUOK	●
0,244	dfOK	●
310,8	alfaOK	●

BRAK SYNCHRONIZMU

103,4	U1 [V]	●
103,5	U2 [V]	●
49,748	f1 [Hz]	●
49,748	f2 [Hz]	●
-0,1	dUOK	●
-0,000	dfOK	●
359,6	alfaOK	●

SYNCHRONIZM

2.12Q19	2.13Q19	2.16Q19	2.13Q19
START SYNCHRO	START ZAMYK.		

2.6Q19 G2
2.12Q19 SP1
2.13Q19 KSE
2.16Q19 SP2
2.22Q19 G4
2.25Q19 G3

SG1
 SG2
 SG3
 SG4

Automatyka wydzielenia układu wyspowego



Warunki skutecznego i dobrego jakościowo wydzielenia układu wyspowego



- realizacja permanentnego bilansu mocy skorelowanego z wymaganiami technologii jest warunkiem koniecznym aby wydzielenie mogło być pomyślne i dobre jakościowo,
- pomyślne wydzielenie stabilnego układu wyspowego wymaga realizacji szybkich algorytmów automatyki wyprzedzających działanie automatyki technologicznej jednostek wytwórczych.

Zasady współpracy z zewnętrznymi układami automatyki i regulacji

- pomyślne wydzielenie układu wyspowego wymaga ciągłego utrzymywania warunków pracy nadzorowanego SEE oraz skoordynowanej i deterministycznej współpracy z zewnętrznymi układami automatyki i regulacji,
- utrzymanie stabilnej, długotrwałej i jakościowo dobrej pracy wyspowej związane jest z realizacją poprawnych oddziaływań regulacyjnych na elementy składowe układu.

Synchronizacja układu wyspowego z SEE



- podczas synchronizacji układu wyspowego z SEE szczególne znaczenie ma zapewnienie warunków dla bezpiecznej oraz efektywnej jakościowo i czasowo realizacji operacji łączeniowych,
- deterministyczny układ automatyki wspomaga operacje wybierając optymalne warunki ruchowe do realizacji łączeń. System blokuje również wszelkie działania niebezpieczne.

Wybrane uwagi dotyczące automatyki łączeniowej SEE



- wiele awarii w SEE było skutkiem błędów popełnianych podczas wykonywania operacji łączeniowych,
- niedokładne synchronizacje mogą prowadzić do kumulującego się obniżenia trwałości układów pierwotnych,
- dużo operacji łączeniowych jest realizowanych nieefektywnie czasowo,
- oczekiwana jest funkcjonalność predykcji skutków wykonywania operacji łączeniowych.

Synchronizacja układu wyspowego

Wyspa

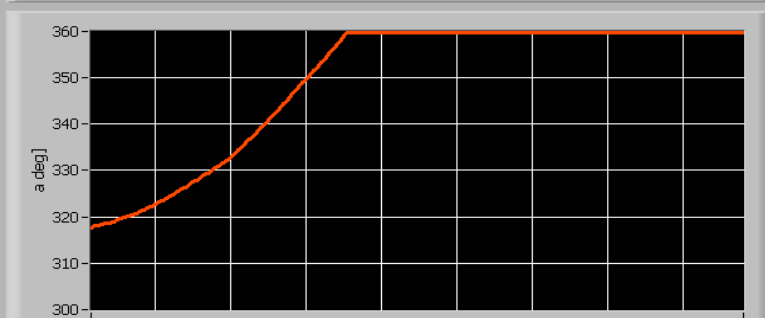
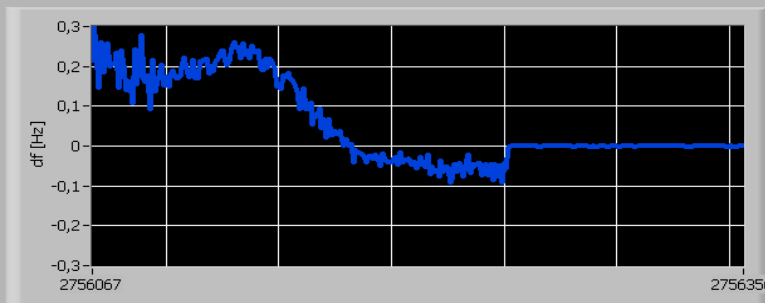
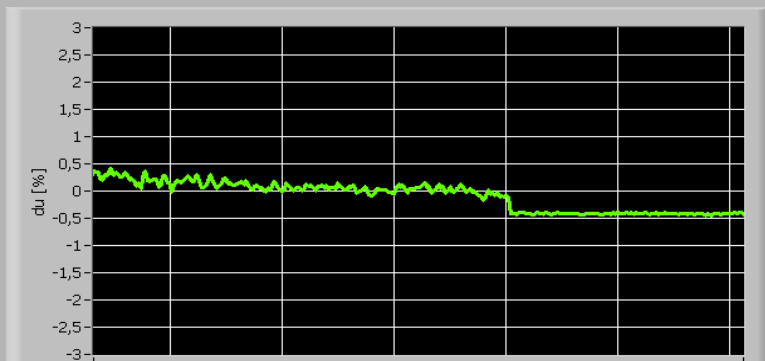
Synoptyka

Synchronizacja

Wyjście

2.13Q19 KSE

● P987 ● P700 ● P981



U1[V]	102,8
U2[V]	103,2
f1[Hz]	49,977
f2[Hz]	49,976
dU[%]	-0,4
df[Hz]	0,001
a[deg]	360



2.3Q19 G1	2.6Q19 G2	2.22Q19 G4	2.25Q19 G3
103,2 U1[V] ●	103,2 U1[V] ●	103,3 U1[V] ●	103,3 U1[V] ●
0,1 U2[V] ●	0,1 U2[V] ●	103,0 U2[V] ●	103,0 U2[V] ●
49,977 f1 [Hz]	49,977 f1 [Hz]	49,976 f1 [Hz]	49,976 f1 [Hz]
50,600 f2 [Hz]	50,993 f2 [Hz]	49,977 f2 [Hz]	49,977 f2 [Hz]
103,1 ● dUOK	103,1 ● dUOK	0,3 ● dUOK	0,2 ● dUOK
-0,623 ● dfOK	-1,017 ● dfOK	-0,002 ● dfOK	-0,001 ● dfOK
326,1 ● alfaOK	306,5 ● alfaOK	359,6 ● alfaOK	359,4 ● alfaOK
BRAK SYNCHRONIZMU	BRAK SYNCHRONIZMU	SYNCHRONIZM	SYNCHRONIZM
2.12Q19	2.13Q19	2.16Q19	2.13Q19
103,2 U1[V] ●	102,8 U1[V] ●	103,2 U1[V] ●	START SYNCHRO
103,2 U2[V] ●	103,2 U2[V] ●	103,3 U2[V] ●	
49,976 f1 [Hz]	49,977 f1 [Hz]	49,976 f1 [Hz]	2.13Q19
49,977 f2 [Hz]	49,976 f2 [Hz]	49,976 f2 [Hz]	
0,0 ● dUOK	-0,4 ● dUOK	-0,1 ● dUOK	START ZAMYK.
-0,001 ● dfOK	0,001 ● dfOK	0,000 ● dfOK	
359,6 ● alfaOK	359,8 ● alfaOK	359,7 ● alfaOK	
SYNCHRONIZM	SYNCHRONIZM	SYNCHRONIZM	

2.3Q19 G1 OFF 2.6Q19 G2 OFF 2.12Q19 SP1 OFF 2.13Q19 KSE ON 2.16Q19 SP2 OFF 2.22Q19 G4 OFF 2.25Q19 G3 OFF

○ SG1 ○ SG2 ○ SG3 ○ SG4

Synchronizacja układu wyspowego



Wyspa

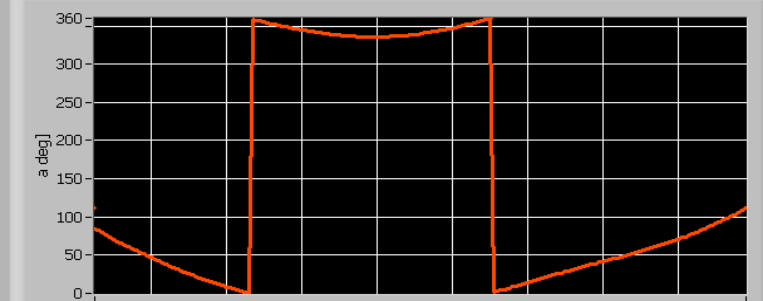
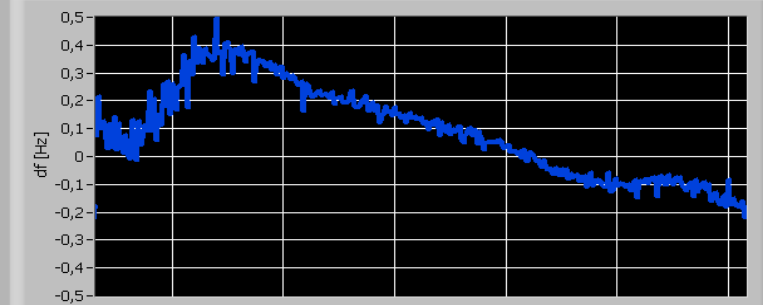
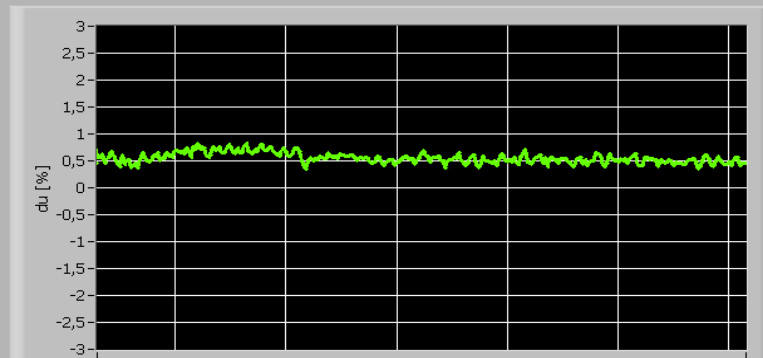
Synoptyka

Synchronizacja

Wyjście

2.13Q19 KSE

● P987 ● P700 ● P981



U1[V]	103,9
U2[V]	103,4
f1[Hz]	50,012
f2[Hz]	50,192
dU[%]	0,4
df[Hz]	-0,180
a[deg]	111



2.3Q19 G1	2.6Q19 G2	2.22Q19 G4	2.25Q19 G3
103,4 U1 [V] ●	103,4 U1 [V] ●	103,5 U1 [V] ●	103,5 U1 [V] ●
0,1 U2 [V] ●	0,1 U2 [V] ●	103,2 U2 [V] ●	103,2 U2 [V] ●
50,238 f1 [Hz]	50,192 f1 [Hz]	50,193 f1 [Hz]	50,193 f1 [Hz]
49,823 f2 [Hz]	52,627 f2 [Hz]	50,193 f2 [Hz]	50,193 f2 [Hz]
103,3 ● dUOK	103,3 ● dUOK	0,3 ● dUOK	0,2 ● dUOK
0,416 ● dfOK	-2,435 ● dfOK	-0,000 ● dfOK	-0,000 ● dfOK
56,2 ● alfaOK	298,0 ● alfaOK	359,6 ● alfaOK	359,5 ● alfaOK
BRAK SYNCHRONIZMU	BRAK SYNCHRONIZMU	SYNCHRONIZM	SYNCHRONIZM

2.12Q19	2.13Q19	2.16Q19	2.13Q19
103,4 U1 [V] ●	103,9 U1 [V] ●	103,4 U1 [V] ●	START SYNCHRO
103,4 U2 [V] ●	103,4 U2 [V] ●	103,5 U2 [V] ●	
50,192 f1 [Hz]	50,012 f1 [Hz]	50,192 f1 [Hz]	START ZAMYK.
50,192 f2 [Hz]	50,192 f2 [Hz]	50,193 f2 [Hz]	
0,0 ● dUOK	0,4 ● dUOK	-0,0 ● dUOK	
-0,001 ● dfOK	-0,180 ● dfOK	-0,001 ● dfOK	
359,6 ● alfaOK	111,2 ● alfaOK	359,6 ● alfaOK	
SYNCHRONIZM	BRAK SYNCHRONIZMU	SYNCHRONIZM	

2.3Q19 G1 OFF 2.6Q19 G2 OFF 2.12Q19 SP1 OFF **2.13Q19 KSE ON** 2.16Q19 SP2 OFF 2.22Q19 G4 OFF 2.25Q19 G3 OFF

SG1 SG2 SG3 SG4

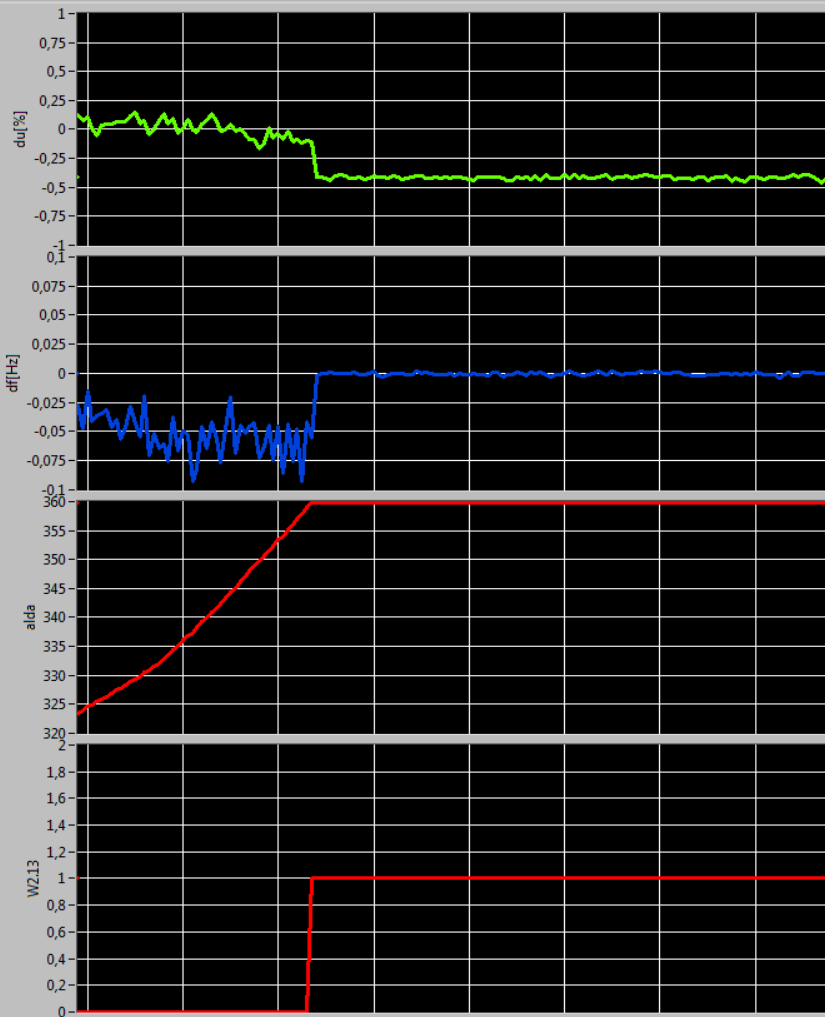
Jakość procesu synchronizacji



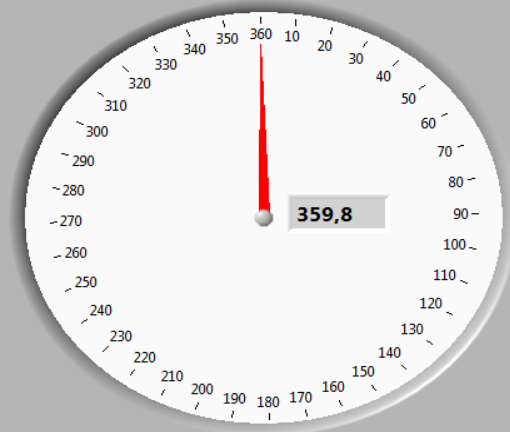
- synchronizacje w SEE realizowane w sposób niedokładny mogą prowadzić do kumulującego się obniżenia trwałości układów pierwotnych
- ,
- operacje łączeniowe w SEE mogą być realizowane nieefektywnie czasowo,
- nie dla każdej wykonywanej operacji łączeniowej jest prawidłowo analizowana predykcja skutków działań dla SEE.

Jakość procesu synchronizacji

Wyspa Synoptyka 2.13 Synchronizacja Wyjście 2.13Q19 KSE ● P987 ● P700 ● P981



U1[V]	102,8
U2[V]	103,2
f1[Hz]	50,019
f2[Hz]	50,019
dU[%]	-0,4
df[Hz]	0,000
a[deg]	360



<p>2.3Q19 G1</p> <p>103,2 U1 [V] ●</p> <p>0,1 U2 [V] ●</p> <p>50,018 f1 [Hz]</p> <p>48,464 f2 [Hz]</p> <p>103,1 ● dUOK</p> <p>1,554 ● dfOK</p> <p>307,5 ● alfaOK</p> <p>BRAK SYNCHRONIZMU</p>	<p>2.6Q19 G2</p> <p>103,2 U1 [V] ●</p> <p>0,1 U2 [V] ●</p> <p>50,018 f1 [Hz]</p> <p>51,374 f2 [Hz]</p> <p>103,1 ● dUOK</p> <p>-1,356 ● dfOK</p> <p>305,2 ● alfaOK</p> <p>BRAK SYNCHRONIZMU</p>	<p>2.22Q19 G4</p> <p>103,3 U1 [V] ●</p> <p>103,0 U2 [V] ●</p> <p>50,019 f1 [Hz]</p> <p>50,018 f2 [Hz]</p> <p>0,3 ● dUOK</p> <p>0,001 ● dfOK</p> <p>359,6 ● alfaOK</p> <p>SYNCHRONIZM</p>	<p>2.25Q19 G3</p> <p>103,3 U1 [V] ●</p> <p>103,1 U2 [V] ●</p> <p>50,019 f1 [Hz]</p> <p>50,019 f2 [Hz]</p> <p>0,2 ● dUOK</p> <p>-0,000 ● dfOK</p> <p>359,5 ● alfaOK</p> <p>SYNCHRONIZM</p>
<p>2.12Q19</p> <p>103,2 U1 [V] ●</p> <p>103,2 U2 [V] ●</p> <p>50,019 f1 [Hz]</p> <p>50,018 f2 [Hz]</p> <p>0,0 ● dUOK</p> <p>0,001 ● dfOK</p> <p>359,6 ● alfaOK</p> <p>SYNCHRONIZM</p>	<p>2.13Q19</p> <p>102,8 U1 [V] ●</p> <p>103,2 U2 [V] ●</p> <p>50,019 f1 [Hz]</p> <p>50,019 f2 [Hz]</p> <p>-0,4 ● dUOK</p> <p>0,000 ● dfOK</p> <p>359,8 ● alfaOK</p> <p>SYNCHRONIZM</p>	<p>2.16Q19</p> <p>103,2 U1 [V] ●</p> <p>103,3 U2 [V] ●</p> <p>50,019 f1 [Hz]</p> <p>50,019 f2 [Hz]</p> <p>-0,1 ● dUOK</p> <p>0,000 ● dfOK</p> <p>359,6 ● alfaOK</p> <p>SYNCHRONIZM</p>	<p>2.13Q19</p> <p>START SYNCHRO</p> <p>2.13Q19</p> <p>START ZAMYK.</p>

2.6Q19 G2 OFF 2.12Q19 SP1 OFF 2.13Q19 KSE ON 2.16Q19 SP2 OFF 2.22Q19 G4 OFF 2.25Q19 G3 OFF

SG1 SG2 SG3 SG4

Skutki energetyczne łączeń

Wyspa

Synoptyka

2.13

Synchronizacja

Wyjście

2.13Q19 KSE



P987

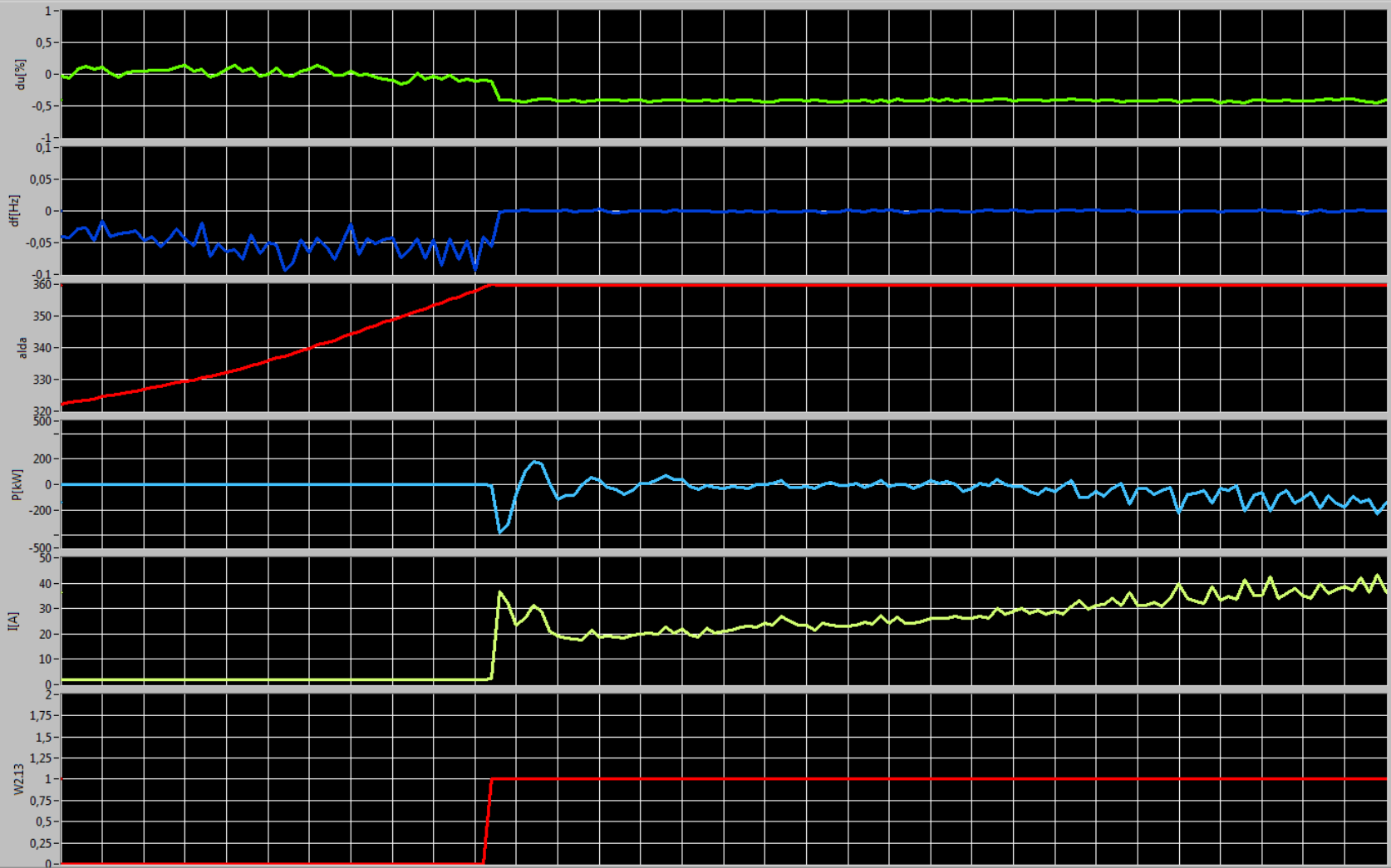


P700



P981

Plot 0



Podsumowanie



- konsekwentna i precyzyjna realizacja proponowanych rozwiązań pozwoliła uruchomić specjalizowany system do realizacji operacji wydzielania i synchronizacji z SEE układu wyspowego,
- analiza zjawisk fizycznych rozciągnięta na wszelkie możliwe sytuacje nietypowe wymusiła zastosowanie odpowiednich urządzeń oraz zasad współpracy,
- wielokryterialne rejestracje sygnowane wspólnym znacznikiem czasu, pozwalają ocenić jakość i precyzję operacji oraz określają i dokumentują ewentualny ich wpływ na urządzenia pierwotne stacji,

Podsumowanie

- nastawienia urządzeń automatyki, pomiarów oraz regulacji powinny być w możliwym zakresie adaptacyjne, skorelowane ze sobą i dostosowane do możliwych sytuacji ruchowych i zakłóceńowych,
- ze względu na bardzo wysokie wymagania metrologiczne elementy składowe systemu są okresowo weryfikowane przez akredytowane w PCA Laboratorium,
- badanie dopuszczające do stosowania automatyki proponuje się uzupełnić próbami realizowanymi w oparciu o rzeczywiste przebiegi zarejestrowane w KSE.

Podsumowanie

- zastosowano innowacyjne rozwiązania techniczne, które poprzez należyłą ocenę stanów pracy nadzorowanego układu zapewniają przyjazne środowisku, technicznie i ekonomicznie zoptymalizowane oraz efektywne dostawy energii,
- przedstawiony układ automatyki i pomiarów jest przykładem rozwiązania technicznego w zakresie wspomagania bezpieczeństwa energetycznego kraju.

Dziękujemy za uwagę