



Układ i sposób sterowania w czasie rzeczywistym rozptywami mocy w sieci niskiego napięcia zasilanej przez źródła rozproszony

Przedmiotem wynalazku jest układ i sposób sterowania mocą w sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia poprzez zastosowanie zintegrowanego i dedykowanego systemu łączącego w sobie sztuczną inteligencję realizowaną przez technologię uczenia maszynowego wraz z zaawansowaną optymalizacją metaheurystyczną stanowiącą odpowiedź maszyn dla sterowania regresyjnego i klasyfikacyjnego z wykorzystaniem technologii radiowej i/lub technologii PLC i/lub technologii światłowodowej, który pozwala w czasie rzeczywistym na uruchamianie trybu poboru mocy dla co najmniej jednego statycznego układu przekształtnikowego mocy AC/DC przyłączonego optymalnie do tej sieci wraz z optymalnie dobranym zaczepek transformatora SN/nN pracującego pod obciążeniem mocy, zasilającego obwody z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi. Ponadto, układ i sposób umożliwia dwukierunkowe sterowanie mocą w sieci niskiego napięcia tak, aby co najmniej jeden statyczny układ przekształtnikowy mocy AC/DC mógł pracować również w trybie rozładowania mocy celem przygotowania przestrzeni pojemnościowej zasobnika przyłączonego do układu przekształtnikowego dla nowego okresu sterowania. Proponowany układ umożliwia sterowanie w czasie rzeczywistym mocą w sieci niskiego napięcia w sposób elastyczny niezależnie od ilości magistral z których sieć została zbudowana, liczby odbiorców czy liczby źródeł rozproszonych przyłączonych do tej sieci.

Znany jest patent nr [US9406434B2](#) transformator rozdzielczy do regulacji napięcia w lokalnych sieciach dystrybucyjnych MASCHINENFABRIK REINHAUSEN GMBH, służący do regulacji w sieci rozdzielczej wartością napięcia poprzez zmianę zaczepek transformatora bez przerwy pomiędzy różnymi odczepekami, tak aby nie doszło do przerywania obciążenia.

Znany jest również zgłoszenie patentowe [PL410949A1](#) układ sterowania sieciowym przekształtnikiem AC-DC z dwukierunkowym przesyłem energii, Politechnika Warszawska, który umożliwia synchroniczną pracę części AC przekształtnika z siecią elektroenergetyczną niskiego napięcia oraz pozwala na płynną bez zapadów napięcia regulację mocy czynnej P i mocy biernej Q dla dowolnych wartości w obu kierunkach ich przepływu tj. z zasobnika elektrochemicznego i z sieci elektroenergetycznej.

Znany jest również patent nr [CA2754432A1](#): Rozproszone zarządzanie danych z liczników ITRON INC, który umożliwia akwizycję danych z wszystkich liczników, sensorów w jednym urządzeniu obliczeniowym a następnie je przetworzyć w celu dalszego wykorzystania danych.

Z publikacji naukowych znany jest sposób pracy układu przekształtnikowego mocy AC/DC w trybie „grid-feedin”, opisany w artykule pt. „Porównanie falowników zasilających i wspomagających sieć pod względem jakości energii”, IEEE 2017, [DOI: 10.1109/PEDG.2017.7972536](#) i publikacji pt. „Badanie dotyczące sterowania rozproszonymi systemami wytwarzania energii elektrycznej w zastosowaniach mikrosieciowych”, Elsevier 2015, [DOI: 10.1016/j.rser.2015.01.016](#), polegający na tym, iż układ przekształtnikowy mocy pracuje jako źródło prądowe sterowanie wartościami mocy czynnej P i mocy biernej Q.

Z publikacji naukowych również znane są prace badawcze zastosowania sztucznej inteligencji w obszarze elektroenergetyki, opisane przeglądowo w artykule „Zastosowanie sztucznej inteligencji w pracy, sterowaniu i planowaniu systemu elektroenergetycznego”, Clean Energy 2023, [DOI: 10.1093/ce/zkad061](#), rodzaje aktualnie stosowanych technologii wskazują na zastosowanie sieci neuronowych do płytkiego i głębokiego uczenia.

Z dokumentu standaryzacyjnego Europejskiego Komitetu Normalizacji Elektrotechniki CENELEC, pt. „[SEGCG/M490/G Smart Grid Set of Standards](#)”, wersja 4.1 z 2017, znana jest architektura systemów klasy

Advanced Metering Infrastructure (AMI), tryb i zakres akwizycji danych pomiarowych oraz powiązania z centralnymi systemami klasy Operational Technology (OT).

Najbliższym technicznie rozwiązaniem jest opisane w dokumencie patentowym [EP2047577B1](#) dotyczącym metody i systemu zarządzania i modulacji zużycia energii elektrycznej w czasie rzeczywistym.

5 Natomiast zaproponowane rozwiązania różni się tym, że zarządzanie mocą polega na wyłączaniu lub ograniczeniu poboru mocy i energii przez system nadrzędny bezpośrednio u odbiorcy. Układ zaproponowany w patencie nie zawiera układów przekształtnikowych mocy AC/DC, które pozwalają na odbiór mocy z rozproszonych źródeł energii, zamiast stosować ograniczenie poboru/produkcji energii elektrycznej.

10 Najbliższym również technicznie rozwiązaniem jest opisane w zgłoszeniu patentowym [PL420387A1](#) sposób i układ do sterowania rozproszonymi źródłami energii w sieci elektroenergetycznej, CUBE.ITG SA. Natomiast zaproponowane rozwiązania różni się tym, że zasobnik energii (układ przekształtnikowy mocy AC/DC z źródłem prądowym) połączony jest bezpośrednio z obwodami prosumenta. Ponadto, zaproponowana architektura w powyższym patencie nie jest lokalna tzn. instalowana w stacji transformatorowej SN/nN, zaś ma charakter centralny zgodnie ze standardami CENELEC zbiera poprzez
15 liczniki energii elektrycznej w sieci niskiego napięcia z kilku niezależnych obwodów, dane pomiarowe do jednej jednostki obliczeniowej. Rozwiązanie nie minimalizuje przepływów mocy w kierunku sieci SN i nie umożliwia bilansowania lokalnego węzła SN/nN. Realizuje wyłącznie funkcję bilansowania węzła odbiorczo – prosumenckiego, jeżeli posiada zasobnik energii. Ponadto, rozwiązanie nie umożliwia ochrony sieci niskiego napięcia od wzrostu RMS napięcia po stronie SN wynikającego z dużej ilości przyłączonych farm
20 wiatrowych lub fotowoltaicznych do powiązanego fragmentu sieci SN, ponieważ brak jest w układzie pracy sieci podobciążeniowego przełącznika zaczepów wraz z dedykowanym elementem sterującym.

Najbliższym również technicznie rozwiązaniem jest opisane w zgłoszeniu patentowym [PL406729A1](#) dotyczącym sposobu i układu sterowania rozproszonymi źródłami energii w sieci elektroenergetycznej, AGH. Natomiast zaproponowane rozwiązania różni się tym, że zarządzanie wytwarzaniem energii elektrycznej
25 polega na pomiarze RMS napięcia nie zaś mocy czynnej P i/ mocy biernej Q oraz polega na wyłączaniu lub ograniczeniu produkcji z jednostek wytwórczych. Układ zaproponowany w patencie nie zawiera układów przekształtnikowych mocy AC/DC, które pozwalają na odbiór mocy z rozproszonych źródeł energii, zamiast stosować ograniczenie poboru/produkcji energii elektrycznej.

30 Celem wynalazku jest umożliwienie w trybie czasu rzeczywistego zarządzanie mocą w obrębie stacji transformatorowej sieci niskiego napięcia, tak aby utrzymać zadaną skuteczną wartość napięcia we wszystkich węzłach tej sieci, a świadczona dla odbiorców usługa dystrybucji energii elektrycznej pozwalała na pełną generację energii elektrycznej przez wszystkie źródła rozproszone w tej sieci. Dodatkową funkcjonalnością jest także możliwość całkowitej konsumpcji i/lub akumulacji mocy przepływającej w kierunku
35 transformatora SN/nN czyli w kierunku sieci średniego napięcia SN. Posiadając takie narzędzie, operator sieci dystrybucyjnej i/lub agregator będzie posiadał kontrolę nad bilansem mocy w systemie elektroenergetycznym niezależnie od warunków środowiskowych pozwalających na generację rozproszoną. Jest to szczególnie istotne w dobie coraz większej liczby źródeł rozproszonych (w tym głównie OZE) przyłączanych do sieci niskiego i średniego napięcia. Rozwiązanie pozwala na efektywne wykorzystywanie
40 mocy i energii wytworzonej lokalnie, gdyż obszar bilansowy skupiający stacje transformatorowe SN/nN połączone siecią SN w okresie generacji ze źródeł rozproszonych wymagają mniejszego poboru mocy z sieci przesyłowej. Ponadto, zaproponowany sposób pracy sieci nN ogranicza negatywnie skutki przepływu mocy w kierunku sieci wysokich i najwyższych napięć nie zaburzając przez to ich rozprawy mocy. Zastosowana architektura rozwiązania ma charakter lokalny co oznacza, że wszystkie jej komponenty zlokalizowane są

blisko, równolegle urządzeń prosumentów, odbiorców, stacji rozdzielczej SN/nN. Decyzje w zakresie sterowania rozplywami mocy podejmowane są lokalnie bez potrzeby wysyłania danych, informacji do systemu centralnego poza teren sterowania.

5 Przedmiotem wynalazku jest układ i sposób sterowania w czasie rzeczywistym rozplywami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi.

Układ do sterowania w czasie rzeczywistym rozplywami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi, która to sieć podłączona jest do systemu elektroenergetycznego i składa się z pierwszego węzła, do którego pierwszego wyjścia podłączony jest transformator rozdzielczy SN/nN wyposażony w podobciążeniowy przełącznik zacze-
10 Pów z podłączonym do niego pierwszym mikrokontrolerem dedykowanym do sterowania położeniem przekładni zacze-
Pów. Do pierwszego węzła szeregowo podłączone są kolejno przekładnik napięciowy średniego napięcia, miernik pomiaru RMS napięcia w sieci średniego napięcia, oraz drugi mikrokontroler odpowiedzialny za akwizycję danych pomiarowych średniego i niskiego napięcia, który podłączony jest poprzez licznik czterokwadrantowy energii elektrycznej niskiego napięcia i układ przekładników prądowych i napięciowych do drugiego węzła znajdującego się na
15 linii pomiędzy stroną niskiego napięcia transformatora rozdzielczego SN/nN a trzecim węzłem. Drugi mikrokontroler wraz z układem pomiarowym składającym się z licznika czterokwadrantowego energii elektrycznej niskiego napięcia i przekładników prądowych i napięciowych tworzy koncentrator zintegrowany AMI. Pomiędzy trzecim węzłem a czwartym węzłem oraz trzecim węzłem i piątym węzłem znajdują się magistrale. Do każdej z nich w punkcie przyłączenia przyłączeni są odbiorcy lub prosumenci. Do co najmniej
20 jednej z dwóch magistrali podłączony jest w punkcie układu przekształtnikowy mocy AC/DC podłączony do źródła prądu stałego. Do statycznego układu przekształtnikowego mocy AC/DC podłączony jest trzeci mikrokontroler odpowiedzialny za sterowanie w trybie grid feeding, który to trzeci mikrokontroler połączony jest z odbiornikiem PS1, PS2. Drugi mikrokontroler poprzez węzeł wejścia do KAMI połączony jest poprzez odbiornik AMI z każdym licznikiem energii elektrycznej w pierwszej magistrali i jednocześnie z każdym
25 licznikiem energii elektrycznej w drugiej magistrali. Każdy licznik energii elektrycznej wyposażony jest w nadajnik licznika energii klasy AMI kolejno w pierwszej magistrali od i w drugiej magistrali do. **Istotą układu jest to, że** drugi mikrokontroler podłączony jest do czwartego mikrokontrolera jednostki obliczeniowej graficznej, w którym do czwartego mikrokontrolera podłączone są równolegle rdzenie graficzne CUDA **tudzież** wyjście pierwszego rdzenia graficznego CUDA połączone jest z wejściem drugiego rdzenia graficznego CUDA, **zaś** wyjście z pierwszego rdzenia graficznego i wyjście z drugiego rdzenia graficznego połączone jest z czwartym mikrokontrolerem. Pierwsze wyjście czwartego mikrokontrolera podłączone jest z trzecim mikrokontrolerem, zaś drugie wyjście podłączone jest z pierwszym mikrokontrolerem.

Korzystnie połączeniem pomiędzy drugim mikrokontrolerem a czwartym mikrokontrolerem jest połączeniem radiowym składającym się z nadajnika radiowego MKB i odbiornika radiowego GPU albo jest połączeniem
35 światłowodowym.

Połączeniem pomiędzy czwartym mikrokontrolerem a trzecim mikrokontrolerem jest połączeniem radiowym składającym się z nadajnika radiowego GPU i odbiornika radiowego PS1 albo jest połączeniem światłowodowym.

Połączeniem pomiędzy czwartym mikrokontrolerem a pierwszym mikrokontrolerem jest połączeniem radiowym składającym się z nadajnika radiowego GPU i odbiornika radiowego transformatora SN/nN albo
40 połączeniem światłowodowym.

Istotą sposobu sterowania w czasie rzeczywistym rozplywami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi realizowany z wykorzystaniem układu jest to, że w przedziale czasowym z wykorzystaniem miernika pomiaru RMS napięcia w sieci średniego napięcia odczytuje się wartość

skuteczną napięcia sieci SN oraz z wykorzystaniem licznika czterokwadrantowego energii elektrycznej nN odczytuje się moc czynną oraz jej kierunek przepływu w stosunku do systemu elektroenergetycznego, a odczytane wartości przekazuje się do drugiego mikrokontrolera odpowiedzialnego za akwizycję danych, który jednocześnie w tym samym oknie czasowym w ramach koncentratora AMI pobiera wartości i kierunki mocy czynnej od z liczników energii elektrycznej z pierwszej magistrali oraz z wartości i kierunki mocy czynnej, z liczników energii elektrycznej z drugiej magistrali, zaś zebrane dane pomiarowe są konwertowane do postaci pierwszej macierzy dwu wymiarowej składającej się z predyktorów reprezentujących kolumny macierzy jako, natomiast pierwszy wiersz pierwszej macierzy stanowią zmierzone wartości fizyczne z okna czasowego, następnie dane pierwszej macierzy wysyła się do czwartego mikrokontrolera, który wykonuje obliczenia predykcyjne wartości pierwszej mocy czynnej na pierwszym rdzeniu wyposażonym w maszynę konwolucyjną sieci neuronowej, której wartość jest przesyłana do trzeciego mikrokontrolera w celu wysterowania zgodnie z otrzymaną wartością predykcji dla falownika, jednocześnie wartość w czwartym mikrokontrolerze jako nowy predyktor dla kolumn i wartość dla pierwszego wiersza jest dodana do drugiej macierzy danych, która w nowej postaci jest przesłana na drugi rdzeń wyposażony w maszynę klasyfikacyjną, w której oblicza się wartość drugiej predykcji położenia przekładni transformatora SN/nN, a wartość przesyła się do pierwszego mikrokontrolera w celu ustawienia zadanego położenia przekładni.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że możliwe będzie bilansowanie mocy w obwodach sieci niskiego napięcia tam, gdzie występują już problemy napięciowe oraz bilansowe ze względu na dużą liczbę prosumentów. Dotychczas, czyli bez przyłączonych do sieci niskiego napięcia prosumentów, przepływ mocy odbywał się w kierunku od stacji transformatorowej SN/nN do ostatniego odbiorcy w każdej z magistral. Ze względu na pojawienie się w układzie pracy sieci niskiego napięcia jednostek wytwórczych o charakterze węzła PQ tj. źródeł rozproszonych, kierunek dla przepływu mocy uległ zmianie, czyli od prosumentów w kierunku stacji SN/nN. Wówczas, zaistniałe problemy napięciowe będą dotyczyć znacznej części punktów przyłączenia do sieci w zakresie wzrostu skutecznej wartości napięcia powyżej 1,1 Un p.u. (powyżej 253 V) czyli niezgodnie z warunkami świadczenia umowy dystrybucyjnej. W przypadku odbiorców energii elektrycznej skutkiem wystąpienia problemów napięciowych będzie uszkodzenie urządzeń odbiorczych (np. elektronika), zaś w przypadku części prosumentów oznacza uruchomienie automatyki wyłączenia pracy falownikowej układu przekształtnikowego, zadziałanie zabezpieczenia nadnapięciowego i wstrzymanie przepływu mocy w kierunku sieci niskiego napięcia zgodnie z normą PN-EN 50549-1. W wyniku czego odbiorcy energii zabezpieczając się przed ww. skutkami muszą zastosowania dodatkowe zabezpieczenia, zaś prosumenci pozbawienie są możliwości generacji i zwrotu z inwestycji. Sieć niskiego napięcia staje się dysfunkcyjna do czasu naturalnego ograniczenia produkcji ze źródeł rozproszonych poprzez spadek natężenia promieniowania słonecznego. Ponadto, zainstalowanie rozwiązania umożliwi przyłączanie do istniejącej sieci niskiego napięcia nowych mocy wytwórczych bez negatywnego wpływu na odbiorców czy istniejących prosumentów. Proponowane rozwiązanie może przyczynić się do szybkiego uruchomienia procesu bilansowania obszarów sieci niskiego napięcia co będzie przekładało się na dekarbonizację sektora wytwórczego w Polsce. Rozwiązanie umożliwi dwa rodzaje bilansowania mocy w obrębie stacji transformatorowej SN/nN. Pierwszy rodzaj bilansowania to zastosowanie ograniczenia zmiennych zależnych tak, aby wartość skuteczna napięcia we wszystkich węzłach utrzymywała się w zakresie 0,9 – 1,1 Un p.u. Drugi rodzaj bilansowania to spełnienie ww. oraz dodanie nowego ograniczenia polegającego na zerowaniu przepływu mocy w kierunku sieci średniego napięcia. Zastosowanie w wynalazku dwóch rodzajów bilansowania pozwala na zainstalowanie po stronie DC, statycznego optymalnie dobranego układu przekształtnikowego mocy, dowolnego układu konwersji energii np. elektrochemiczny (Li-ion, NMC, FLP itd.)

czy chemiczny (Solid Oxide Fuel Cell, Proton Exchange Membrane Fuel Cell, Alkaline Fuel Cell). Rodzaj konwersji energii po stronie DC będzie zależał od przyjętej strategii magazynowania energii albo krótkiej godzinowej (elektrochemia) lub długiej dni, tygodnie (chemia). Propozycja wynalazku wykorzystuje pomiar mocy elektrycznej w każdym z punktów przyłączenia do sieci niskiego napięcia (odbiorcy i prosumenci) poprzez dedykowany system pomiarowy AMI i/lub zainstalowane w sieci sensory czy pomiary techniczne np. strona pierwotna transformatora SN/nN. Wykorzystana do sterowania rozptywami mocy, lokalnie zlokalizowana i optymalnie dobrana sztuczna inteligencja, w czasie rzeczywistym podaje nastawy P^* i Q^* odciażając skomplikowane i długotrwałe obliczenia optymalnych rozptywów mocy dla danego stanu pracy sieci niskiego napięcia w serwerach zlokalizowanych w chmurach obliczeniowych.

10

Wynalazek został przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym poszczególne figury przedstawiają:

Fig. 1 - Układ sterowania w czasie rzeczywistym rozptywami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w pierwszym przykładzie wykonania,

15 Fig. 2 – Układ sterowania w czasie rzeczywistym rozptywami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w drugim przykładzie wykonania,

Fig. 3 – Układ sterowania w czasie rzeczywistym rozptywami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w trzecim przykładzie wykonania,

Fig. 4 – Układ sterowania w czasie rzeczywistym rozptywami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w czwartym przykładzie wykonania,

20

Fig. 5 – Układ akwizycji danych pomiarowych w sieci niskiego napięcia według struktury systemu klasy AMI.

Układ do sterowania w czasie rzeczywistym rozptywami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi **w pierwszym przykładzie wykonania**, którego schemat przedstawiono na Fig. 1. rysunku, składa się z modelu rzeczywistego systemu elektroenergetycznego **SE** sieci trójfazowej średniego napięcia napięcie znamionowe pracy sieci SN = 15kV wykonanej w trójprzewodowej technologii napowietrznej lub technologii kablowej, podłączonej przez węzeł **A1** do strony SN transformatora rozdzielczego SN/nN **Tr** 250 kVA firmy RONT model ECOTAP®, wyposażonego w podobciążeniowy przełącznik zaczełów **OLTC**, który jest peryferyjnie połączony z pierwszym mikrokontrolerem **MKTR** dedykowanym do sterowania położeniem przekładni przełącznik zaczełów **OLTC** w trybie $\pm 4 \times 2,5\%$ napięcia znamionowego strony średniego napięcia, połączonym w ramach transmisji cyfrowej SPI z radiowym odbiornikiem transformatora SN/nN **RFTR**, w postaci routera dedykowanym do odbioru nastaw przełącznika zaczełów **OLTC** sygnałem od NVIDIA Jetson Xavier jednostki obliczeniowej z graficznej **GPU** poprzez radiowy nadajnik GPU **RFOUT**. Do węzła **A1** równolegle podłączony jest sensor napięciowy wolnostojący SN3 ELEKTROBUDOWA pełniący funkcję przekładnika napięciowy średniego napięcia **PK1** do którego podłączony został uniwersalnego sterownika polowy firmy JM Tronic pełniący funkcję miernika pomiaru RMS napięcia SN **LB1**, który połączony jest z koncentratorem AMI firmy SAGEMCOM typ XP4000 posiadającym lokalnie drugi mikrokontroler **MKB** odpowiedzialnym za akwizycję danych pomiarowych średniego napięcia poprzez przekładnik **PK1**. Natomiast po stronie niskiego napięcia transformatora rozdzielczego SN/nN **Tr** w węzle strony nN transformatora SN/nN **A2** sieci czteroprzewodowej niskiego napięcia wykonanej w technologii napowietrznej lub technologii kablowej napięcie znamionowe pracy sieci nN = 0,4kV podłączony jest koncentrator firmy SAGEMCOM typ XP4000 pełniący funkcję koncentratora zintegrowanego AMI **KAMI** odpowiedzialnego za pomiar mocy i kierunku jej przepływu, **przy czym** składa się on z układu przekładników prądowych i napięciowych węzła A2 **PK2** podłączonych do

35

40

węzła **A2**, połączonego z nimi trójfazowego licznika czterokwadrantowego energii elektrycznej niskiego napięcia **LB2** oraz drugiego mikrokontrolera **MKB** połączonego z **LB2**. Drugi mikrokontroler **MKB** poprzez węzeł wejścia do KAMI **INAMI** jest połączony z odbiornikiem koncentratora AMI **RFAMI** według Fig.5 rysunku i posiada funkcję akwizycji danych z liczników AMI model: CX2000-9 w klasie B w pierwszej magistrali

5 pomiędzy węzłami sieci niskiego napięcia **B** i **C** w każdym punkcie przyłączeniowym od **P11** do **P1n** i z liczników AMI model: CX2000-9 w klasie B w drugiej magistrali pomiędzy węzłami sieci niskiego napięcia **B** i **D** w każdym punkcie przyłączeniowym od **P21** do **P2n** w technologii PLC i/lub LTE 450. Licznik czterokwadrantowy energii elektrycznej niskiego napięcia **LB2** pełniący rolę bilansową sieci niskiego napięcia od strony węzła **A2** połączony jest z drugim mikrokontrolerem **MKB** a ten z peryferyjnym nadajnikiem MKB

10 **RFB** poprzez węzeł wyjścia z KAMI **OUTAMI**, a następnie za pośrednictwem transmisji cyfrowej sygnału z odbiornikiem GPU **RFIN** w postaci routera wraz z anteną kierunkową. Na wejściu NVIDIA Jetson Xavier jednostki obliczeniowej graficznej **GPU** odbiornik GPU **RFIN** wraz z anteną kierunkową podłączony jest do węzła **IN** stanowiącego wejście do jednostki obliczeniowej graficznej **GPU** poprzez złącze USB urządzenia NVIDIA Jetson Xavier w skład którego wchodzi czwarty mikrokontroler GPU **MKCPU** odpowiedzialny za

15 odbiór danych z sieci niskiego napięcia i z jednego węzła **A1** średniego napięcia w ułożonych w postaci macierzy 2D, dwuwymiarowej struktury predyktorów i ich wartości przygotowanych jako dane wejściowe dla dwóch maszyn sztucznej inteligencji i odpowiedzialny za rozdział sygnału cyfrowego tych samych macierzy 2D na dwa niezależne rdzenie graficzne CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI **AI1** i **AI2**, przy czym dodatkowo wyniki predykcji pierwszego rdzenia graficznego CUDA **AI1** przekazywane są jako kolejny

20 predyktor macierzy 2D poprzez SPI na wejście drugiego rdzenia graficznego CUDA **AI2**, następnie dwa sygnały predykcji oddzielnie poprzez SPI przekazywane są ponownie do mikrokontrolera architektury 64-bit **MKCPU** a ten rozdziela niezależnie sygnały na dwa węzły, węzeł wyjścia z GPU dedykowany dla transmisji radiowej **OUT1** i węzeł wyjścia z GPU w kierunku MKTR **OUT2** stanowiące wyjście z jednostki obliczeniowej graficznej **GPU** jako dwa porty USB. Do węzła **OUT1** i **OUT2** podłączony jest nadajnik radiowy

25 GPU **RFOUT** skomunikowany radiowo z odbiornikiem **RFTR** i **RF1**. W węźle początkowym pierwszej magistrali i drugiej magistrali **B** połączonym z węzłem **A2**, sieć niskiego napięcia posiada dwie magistrale, gdzie do każdej z nich w punkcie przyłączenia **P11** do **P1n** i **P21** do **P2n** przyłączeni są odbiorcy **O** i prosumenci **G**. Do pierwszej magistrali pomiędzy węzłem **B** i **C** w punkcie optymalnym przyłączenia **P1M** dołączony jest KAC50DP/BC100DE firmy KStar składający się z statycznego układu

30 przekształtnikowego **PS1** o mocy 100 kW, do którego peryferyjnie poprzez przewód Ethernet podłączony jest pierwszy trzeci mikrokontroler **MK1** odpowiedzialny za sterowanie w trybie grid feeding pierwszym przekształtnikiem **PS1**, a następnie peryferyjnie podłączony jest radiowy odbiornik PS1 **RF1**, który jest skomunikowany radiowo z nadajnikiem GPU **RFOUT**. Równolegle w ramach jednego urządzenia KAC50DP/BC100DE do przetwornicy **PS1** na napięciu DC 850V dołączone jest elektrochemiczne LFP

35 pierwsze źródło prądu stałego **M1**.

Układ do sterowania w czasie rzeczywistym rozpiływami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w drugim przykładzie wykonania, którego schemat przedstawiono na Fig. 2. rysunku, posiada budowę analogiczną do pierwszego przykładu wykonania z tym, że do drugiej

40 magistrali pomiędzy węzłem **B** i **D** w punkcie optymalnym przyłączenia **P2M** dołączony jest dołączony jest KAC50DP/BC100DE firmy KStar składający się z statycznego układu przekształtnikowego **PS2** o mocy 100 kW, do którego peryferyjnie poprzez przewód Ethernet podłączony jest drugi trzeci mikrokontroler **MK2** odpowiedzialny za sterowanie w trybie grid feeding drugim przekształtnikiem **PS2**, a następnie peryferyjnie podłączony jest radiowy odbiornik PS2 **RF2**, który jest skomunikowany radiowo z nadajnikiem GPU **RFOUT**.

Równolegle w ramach jednego urządzenia KAC50DP/BC100DE do przetwornicy **PS2** na napięciu DC 850V dołączone jest elektrochemiczne LFP pierwsze źródło prądu stałego **M2**.

Układ do sterowania w czasie rzeczywistym rozplywami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w **trzecim przykładzie wykonania**, którego schemat przedstawiono na Fig. 1. rysunku, składa się z modelu rzeczywistego systemu elektroenergetycznego **SE** sieci trójfazowej średniego napięcia napięcie znamionowe pracy sieci SN = 15kV wykonanej w trójprzewodowej technologii napowietrznej lub technologii kablowej, podłączonej poprzez węzeł **A1** do strony SN transformatora rozdzielczego SN/nN **Tr** 250 kVA firmy RONT model ECOTAP®, wyposażonego w podobciążeniowy przełącznik zaczełów **OLTC**, który jest peryferyjnie połączony z pierwszym mikrokontrolerem **MKTR** dedykowanym do sterowania położeniem przekładni przełącznik zaczełów **OLTC** w trybie $\pm 4 \times 2,5\%$ napięcia znamionowego strony średniego napięcia, połączonym przez Ethernet z NVIDIA Jetson Xavier w pierwszym pierwszym węźle wyjścia z GPU dedykowanym przewodowo dla MK1 **OUT11** w postaci portu USB. Do węzła **A1** równolegle podłączony jest sensor napięciowy wolnostojący SN3 ELEKTROBUDOWA pełniący funkcję przekładnika napięciowy średniego napięcia **PK1** do którego podłączony został uniwersalnego sterownika polowy firmy JM Tronic pełniący funkcję miernika pomiaru RMS napięcia SN **LB1**, który połączony jest z koncentratorem AMI firmy SAGEMCOM typ XP4000 posiadającym lokalnie drugi mikrokontroler **MKB** odpowiedzialnym za akwizycję danych pomiarowych średniego napięcia poprzez przekładnik **PK1**. Natomiast po stronie niskiego napięcia transformatora rozdzielczego SN/nN **Tr** w węźle strony nN transformatora SN/nN **A2** sieci czteroprzewodowej niskiego napięcia wykonanej w technologii napowietrznej lub technologii kablowej napięcie znamionowe pracy sieci nN = 0,4kV podłączony jest koncentrator firmy SAGEMCOM typ XP4000 pełniący funkcję koncentratora zintegrowanego AMI **KAMI** odpowiedzialnego za pomiar mocy i kierunku jej przepływu, **przy czym** składa się on z układu przekładników prądowych i napięciowych węzła **A2 PK2** podłączonych do węzła **A2**, połączonego z nimi trójfazowego licznika czterokwadrantowego energii elektrycznej niskiego napięcia **LB2** oraz drugiego mikrokontrolera **MKB** połączonego z **LB2**. Drugi mikrokontroler **MKB** poprzez węzeł wejścia do KAMI **INAMI** jest połączony z odbiornikiem koncentratora AMI **RFAMI** według Fig.5 rysunku i posiada funkcję akwizycji danych z liczników AMI model: CX2000-9 w klasie B w pierwszej magistrali pomiędzy węzłami sieci niskiego napięcia **B** i **C** w każdym punkcie przyłączeniowym od **P11** do **P1n** i z liczników AMI model: CX2000-9 w klasie B w drugiej magistrali pomiędzy węzłami sieci niskiego napięcia **B** i **D** w każdym punkcie przyłączeniowym od **P21** do **P2n** w technologii PLC i/lub LTE 450. Licznik czterokwadrantowy energii elektrycznej niskiego napięcia **LB2** pełniący rolę bilansową sieci niskiego napięcia od strony węzła **A2** połączony jest z drugim mikrokontrolerem **MKB** a ten z poprzez przewód Ethernet z węzłem **IN** stanowiącego wejście do jednostki obliczeniowej graficznej **GPU** poprzez złącze USB kompaktowego urządzenia brzegowego AI realizowanej przez NVIDIA Jetson Xavier w skład którego wchodzi czwarty mikrokontroler GPU **MKCPU** odpowiedzialny za odbiór danych z sieci niskiego napięcia i z jednego węzła **A1** średniego napięcia w ułożonych w postaci macierzy 2D, dwuwymiarowej struktury predyktorów i ich wartości przygotowanych jako dane wejściowe dla dwóch maszyn sztucznej inteligencji i odpowiedzialny za rozdział sygnału cyfrowego tych samych macierzy 2D na dwa niezależne rdzenie graficzne CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI **AI1** i **AI2**, przy czym dodatkowo wyniki predykcji pierwszego rdzenia graficznego CUDA **AI1** przekazywane są jako kolejny predyktor macierzy 2D poprzez SPI na wejście drugiego rdzenia graficznego CUDA **AI2**, następnie dwa sygnały predykcji oddzielnie poprzez SPI przekazywane są ponownie do mikrokontrolera architektury 64-bit **MKCPU** a ten rozdziela niezależnie sygnały na dwa węzły, pierwszy pierwszy węzeł wyjścia z GPU dedykowany przewodowo dla MK1 **OUT11** i węzeł wyjścia z GPU w kierunku MKTR **OUT2** stanowiące wyjście z jednostki obliczeniowej graficznej **GPU** jako dwa porty USB. Do węzła **OUT11** w postaci portu USB jednostki obliczeniowej graficznej **GPU**

podłączony jest poprzez przewód Ethernet pierwszy trzeci mikrokontroler **MK1**, dedykowany do przekazywania nastaw wartości pierwszej pierwszej mocy czynnej **P1** i pierwszej pierwszej mocy biernej **Q1** dla pierwszego układu przekształtnikowego **PS1**. W węźle początkowym pierwszej magistrali i drugiej magistrali **B** połączonym z węzłem **A2**, sieć niskiego napięcia posiada dwie magistrale, gdzie do każdej z nich w punkcie przyłączenia **P11** do **P1n** i **P21** do **P2n** przyłączeni są odbiorcy **O** i prosumenci **G**. Do pierwszej magistrali pomiędzy węzłem **B** i **C** w punkcie optymalnym przyłączenia **P1M** dołączony jest KAC50DP/BC100DE firmy KStar składający się z statycznego układu przekształtnikowego **PS1** o mocy 100 kW, do którego peryferyjnie poprzez przewód Ethernet podłączony jest pierwszy trzeci mikrokontroler **MK1** odpowiedzialny za sterowanie w trybie grid feeding pierwszym przekształtnikiem **PS1**, który poprzez przewód Ethernet połączony jest z **OUT11**. Równolegle w ramach jednego urządzenia KAC50DP/BC100DE do przetwornicy **PS1** na napięciu DC 850V dołączone jest elektrochemiczne LFP pierwsze źródło prądu stałego **M1**.

Układ do sterowania w czasie rzeczywistym rozpiętymi mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w czwartym przykładzie wykonania, którego schemat przedstawiono na Fig. 4. rysunku, posiada budowę analogiczną do trzeciego przykładu wykonania z tym, że dodano do drugiej magistrali pomiędzy węzłem **B** i **D** w punkcie optymalnym przyłączenia **P2M** dołączony jest dołączony jest KAC50DP/BC100DE firmy KStar składający się z statycznego układu przekształtnikowego **PS2** o mocy 100 kW, do którego peryferyjnie poprzez przewód Ethernet podłączony jest drugi trzeci mikrokontroler **MK2** odpowiedzialny za sterowanie w trybie grid feeding drugim przekształtnikiem **PS2**. Równolegle w ramach jednego urządzenia KAC50DP/BC100DE do przetwornicy **PS2** na napięciu DC 850V dołączone jest elektrochemiczne LFP pierwsze źródło prądu stałego **M2**. Do pierwszego drugiego węzła wyjścia z GPU dedykowany przewodowo dla **MK2** **OUT12** w postaci portu USB jednostki obliczeniowej graficznej **GPU** podłączony jest poprzez przewód Ethernet drugi trzeci mikrokontroler **MK2**.

Sposób sterowania w czasie rzeczywistym rozpiętymi mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w pierwszym przykładzie wykonania zrealizowano z użyciem układu opisanego w pierwszym przykładzie wykonania. Zrealizowano go w sposób następujący: jednocześnie dla wszystkich pomiarów wartości fizycznych sieci elektroenergetycznej, czyli w jednym oknie czasowym **T** 15 minutowym, w węźle strony SN transformatora SN/nN **A1**, z wykorzystaniem miernika pomiaru RMS napięcia w sieci średniego napięcia **LB1** pobrano wartość skuteczną napięcia sieci SN **UNSN**, w węźle strony nN transformatora SN/nN **A2** z wykorzystaniem pokładowego licznika czterokwadrantowego **LB2**, pobrano wartość i kierunek mocy czynnej **PB**, równolegle za pośrednictwem koncentratora zintegrowanego AMI **KAMI** i transmisji GSM poprzez modem z anteną **RFAMI** z wykorzystaniem liczników energii elektrycznej z własną komunikacją GSM z koncentratorem AMI **KAMI**, z każdego punktu przyłączeniowego od **P11** do **P1n** oraz od **P21** do **P2n** zgodnie z Fig. 5 rysunku, za pośrednictwem węzła wejścia do **KAMI** **INAMI** pobrano wartość poszczególnych mocy czynnych od **PL11** do **PL1n** i od **PL21** do **PL2n** przy czym wartość n dla pierwszej magistrali **P1n** wynosi 22, zaś wartość n dla drugiej magistrali **P2n** wynosi 22 i przeprowadzono ich akwizycję w drugim mikrokontrolerze **MKB** odpowiedzialnym za akwizycję danych pomiarowych średniego i niskiego napięcia, a następnie uporządkowanie ich według pierwszej macierzy nr 1.1 jako cyfrowej struktury przyszłych predyktorów dla wejścia **IN** jednostki obliczeniowej graficznej **GPU**. Gotowy zestaw danych pomiarowych w postaci pierwszej macierzy nr 1.1 poprzez modem GSM **RFB** przyłączony peryferyjnie do koncentratora zintegrowanego AMI **KAMI** został wysłany do jednostki obliczeniowej graficznej **GPU**, który posiada swój odbiornik GPU **RFIN**. W ramach jednostki obliczeniowej graficznej **GPU** czwarty mikrokontroler GPU **MKCPU** pobrane dane w postaci pierwszej macierzy nr 1.1 stanowiące razem pakiet danych wejścia

do maszyny uczącej się przesyła na pierwszy rdzeń graficzny CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI **A11**, który posiada dedykowane oprogramowanie głębokiego uczenia maszynowego typu konwolucyjnej sieci neuronowej. Pierwszy rdzeń graficzny CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI **A11** wykonuje pierwszą predykcję regresyjną maszyny uczącej się w postaci wartości pierwszej mocy czynnej **P1** dla statycznego układu przekształtnikowego **PS1**. Wynik predykcji **P1** przekazywany jest równoległe do węzła wyjścia z GPU dedykowanego do transmisji radiowej **OUT1** oraz jako dodatkowa dana predykcyjna dodana zostaje do pierwszej macierzy **nr 1.1** przekazanej przez czwarty mikrokontroler **MKCPU** tworząc nową drugą macierz **nr 1.2** danych na wejście do drugiego rdzenia graficznego CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI **A12**. Następnie drugi rdzeń graficzny CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI **A12**, który posiada dedykowane oprogramowanie płytkiego uczenia maszynowego sieci neuronowej wykonuje na podstawie danych drugiej macierzy **nr 1.2** drugą predykcję klasyfikacji w postaci wartości położenia podobciążeniowego przełącznika zacze-
pów **TAP** transformatora rozdzielczego SN/nN **Tr**, która jest przesyłana na węzeł wyjścia z GPU w kierunku wyjścia **MKTR OUT2**. Po wykonanych czynnościach obliczeniowych dwóch wartości predykcji **P1**, **TAP** przez jednostkę obliczeniową graficzną **GPU** są one przesyłane poprzez system GSM do **PS1** i **OLTC**. Wartości predykcji regresji dotycząca pierwszej mocy czynnej **P1** przesyłana jest z węzła **OUT1** do pierwszego trzeciego mikrokontrolera **MK1** a następnie docelowo do przetwornicy **PS1** zaś wartość predykcji klasyfikacji położenia podobciążeniowego przełącznika zacze-
pów **TAP** przesyłana jest z węzła **OUT2** do pierwszego mikrokontrolera **MKTR** a następnie docelowo do **OLTC**. W przypadku predykcji pierwszej, statyczny układ przekształtnikowy mocy **PS1** zostałysterowany na wartość mocy czynnej $P1 = 74,2$ kW, gdzie **PS1** pełni rolę odbiornika regulowanego mocy i dla zadanej wartości predykcyjnej mocy czynnej **P1** zaczyna ją pobierać z sieci nN w punkcie przyłączenia **P1M**. Efektem pracy **PS1** jest pobór nadmiaru mocy czynnej wygenerowanej ze źródeł rozproszonych w tej sieci niskiego napięcia co wpływa na zmianę rozpliwów mocy i w konsekwencji zmienia się wartość RMS napięcia p.u. założenie poniżej wartości 1,1 dla każdego z punktów przyłączenia sieci niskiego napięcia. Sygnał GSM wysyłamy poprzez nadajnik GPU **RFOUT** odbierany przez moduł GSM odbiornika **PS1 RF1** podłączony peryferyjnie do pierwszego trzeciego mikrokontrolera **MK1** którego zadaniem jestysterowanie zgodnie z predykcją wartość pierwszej mocy czynnej **P1** falownika **PS1**. W przypadku predykcji drugiej **TAP** otrzymano wartość predykcji klasyfikacji o wartości 2 co odpowiada nastawom położenia przekładni transformatora SN/nN w pozycji $+ 2 \times 2,5\%$ napięcia znamionowego strony średniego napięcia, zaś pierwszy mikrokontroler **MKTR** poprzez system GSM połączony z **RFTR** odbiera sygnał z nadajnik GPU **RFOUT** z węzła **OUT2** wartość **TAP** równą 2 dla podobciążeniowego przełącznika zacze-
pów **OLTC**. Zadaniem podobciążeniowego przełącznika zacze-
pów **OLTC** jest ustawienie poprawnego położenia przekładni transformatora rozdzielczego SN/nN **Tr**, dla wartości 2, nastąpi obniżenie napięcia po stronie SN o 5% w węźle **A1** tak aby miało to wpływ na obwody strony sieci niskiego napięcia. Cykl kolejnych sterowań **T** 15 minutowych jest powtarzany do momentu, kiedy **GPU** na bazie zebranych danych pomiarowych z głębi sieci niskiego napięcia nie jest w stanie ustalić wartości pierwszej mocy czynnej **P1** dla **PS1**, gdyż jest ona bliska wartości zero.

Sposób sterowania w czasie rzeczywistym rozpliwami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w drugim przykładzie wykonania zrealizowano z użyciem układu opisanego w drugim przykładzie wykonania. Zrealizowano go w następujący sposób jak w pierwszym sposobie wykonania z tym, że wartość n dla pierwszej magistrali **P1n** wynosi 33, zaś wartość n dla drugiej magistrali **P2n** wynosi 44 i po wykonanych czynnościach obliczeniowych przez jednostkę obliczeniową graficzną **GPU** na pierwszym rdzeniu graficznym CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI **A11** przesyłane są równoległe poprzez nadajnik GPU **RFOUT** dwie wartości predykcji regresyjnej z węzła **OUT1**,

to jest wartość pierwszej predykcji mocy czynnej **P1** do przekształtnika **PS1** i wartość drugiej predykcji mocy czynnej **P2** do przekształtnika **PS2** oraz obie dane predycyjne zostały dodane do pierwszej macierzy nr **2.1** przekazanej przez czwarty mikrokontroler **MKCPU** tworząc nową drugą macierz nr **2.2** danych na wejście do drugiego rdzenia graficznego CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI **AI2**. Następnie drugi rdzeń graficzny CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI **AI2**, który posiada dedykowane oprogramowanie płytkowego uczenia maszynowego sieci neuronowej wykonuje na podstawie danych drugiej macierzy nr **2.2** drugą predykcję klasyfikacji w postaci wartości położenia podobciążeniowego przetłącznika zacze-
5 pów **TAP** transformatora rozdzielczego SN/nN **Tr**, która jest przesyłana na węzeł wyjścia z GPU w kierunku wyjścia **MKTR OUT2**. W przypadku predykcji pierwszej **P1**, statyczny układ przekształtnikowy mocy **PS1** jest wysterowany na wartość mocy czynnej $P1 = 32 \text{ kW}$ i falownik **PS1** pełni rolę odbiornika regulowanego mocy, gdzie dla zadanej wartości predycyjnej mocy czynnej zaczyna ją pobierać z sieci nN w punkcie przyłączenia **P1M** oraz jednocześnie statyczny układ przekształtnikowy mocy **PS2** jest wysterowany na wartość mocy czynnej $P2 = 17 \text{ kW}$ i falownik **PS2** pełni rolę odbiornika regulowanego mocy, gdzie dla zadanej wartości predycyjnej mocy czynnej zaczyna ją pobierać z sieci nN w punkcie przyłączenia **P2M**. Efektem pracy urządzeń **PS1** i **PS2** jest pobór nadmiaru mocy czynnej co wpływa na zmianę rozplływów mocy w sieci i w konsekwencji zmienia wartość RMS napięcia p.u. założenie poniżej wartości 1,1 dla każdego punktu przyłączenia do sieci niskiego napięcia. Sygnał GSM nadany poprzez nadajnik GPU **RFOUT** odbierany jest przez odbiornik PS1 **RF1** i odbiornik PS2 **RF2** posiadające moduły GSM podłączone peryferyjnie do każdego z mikrokontrolerów **MK1** i **MK2**, którego zadaniem jest wysterowanie zgodnie z predykcją wartości **P1** i **P2** kolejno falowników **PS1** i **PS2**. W przypadku predykcji drugiej **TAP** otrzymano wartość predykcji klasyfikacji o wartości 1 co odpowiada nastawom położenia przekładni transformatora SN/nN w pozycji $+1 \times 2,5\%$ napięcia znamionowego strony średniego napięcia.

Sposób sterowania w czasie rzeczywistym rozplływami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w **trzecim** przykładzie wykonania zrealizowano z użyciem układu opisanego w **trzecim** przykładzie wykonania. Zrealizowano go w następujący sposób jak w pierwszym sposobie wykonania z tym, że gotowy zestaw danych pomiarowych zebrany w postaci pierwszej macierzy nr **1.1** został przesłany przez drugi mikrokontroler odpowiedzialny za akwizycję danych pomiarowych średniego i niskiego napięcia **MKB** do jednostki obliczeniowej graficznej przewodem Ethernet za pośrednictwem węzła wejścia do GPU **IN**. Wartość predykcji regresyjnej pierwszej mocy czynnej **P1** przekazany został na pierwszy węzeł wyjścia z GPU dedykowany przewodowo do **MK1 OUT11** przewodem Ethernet do wejścia mikrokontrolera odpowiedzialnego za sterowanie w trybie grid feeding PS1 **MK1**. W przypadku predykcji drugiej **TAP**, wartość predykcji klasyfikacji została podana na węzeł wyjścia z GPU w kierunku **MKTR OUT2** i następnie została przekazana przewodem Ethernet do wejścia pierwszego mikrokontrolera **MKTR** dedykowanego do sterowania położeniem podobciążeniowego przetłącznika zacze-
35 pów **OLTC**.

Sposób sterowania w czasie rzeczywistym rozplływami mocy w sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem źródłami rozproszonymi w **czwartym** przykładzie wykonania zrealizowano z użyciem układu opisanego w **czwartym** przykładzie wykonania. Zrealizowano go w następujący sposób jak w **trzecim** sposobie wykonania z tym, że wartość predykcji regresyjnej pierwszej drugiej mocy czynnej **P2** przekazana została na pierwszy drugi węzeł wyjścia z GPU dedykowany przewodowo do **MK2 OUT12** przewodem Ethernet do wejścia mikrokontrolera odpowiedzialnego za sterowanie w trybie grid feeding PS2 **MK2**.

RZECZNIK PATENTOWY

Maciej Nowicki
mgr inż. Maciej Nowicki

Nr wp. 3476

UN	PB	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P110	P111	...
1,08	-89,1	-4,80	-4,27	0,62	0,70	0,40	0,46	0,31	0,31	-6,24	-7,20	-7,39	...

...	P112	P113	P114	P115	P116	P117	P118	P119	P120	P121	P122	...
...	0,59	-4,42	0,18	0,34	-4,54	-4,80	0,62	0,70	0,40	0,46	0,31	...

...	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P210	P211	...
...	0,31	-6,25	-7,78	-7,12	0,59	-4,43	0,18	0,34	-4,11	-4,13	0,62	...

...	P212	P213	P214	P215	P216	P217	P218	P219	P220	P221	P222	...
...	0,70	0,40	0,46	0,31	0,31	-6,26	-7,16	-7,20	0,59	-4,43	0,18	...

Macierz nr 1.1

UN	PB	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P110	P111	...
1,08	-84,1	-4,80	-4,27	0,62	0,70	0,40	0,46	0,31	0,31	-6,24	-7,20	-7,39	...

...	P112	P113	P114	P115	P116	P117	P118	P119	P120	P121	P122	...
...	0,59	-4,42	0,18	0,34	-4,54	-4,80	0,62	0,70	0,40	0,46	0,31	...

...	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P210	P211	...
...	0,31	-6,25	-7,78	-7,12	0,59	-4,43	0,18	0,34	-4,11	-4,13	0,62	...

...	P212	P213	P214	P215	P216	P217	P218	P219	P220	P221	P222	P1	...
...	0,70	0,40	0,46	0,31	0,31	-6,26	-7,16	-7,20	0,59	-4,43	0,18	74,2	...

Macierz nr 1.2

UN	PB	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P110	P111	
1,06	52,1	0,83	0,17	0,24	0,12	0,30	-2,28	0,64	0,12	0,67	-2,78	-3,91	...
	1												
...		P112	P113	P114	P115	P116	P117	P118	P119	P120	P121	P122	...
		0,14	0,91	0,37	0,20	0,20	0,66	0,03	0,15	0,05	0,17	0,26	...
...		P123	P124	P125	P126	P127	P128	P129	P130	P131	P132	P133	...
		0,48	-7,20	0,91	0,12	0,84	-2,47	-7,59	0,50	-6,46	0,13	-2,96	...
...		P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P210	P211	...
		0,70	0,13	0,67	0,67	0,85	-2,57	0,03	0,15	-3,22	0,10	0,43	...
...		P212	P213	P214	P215	P216	P217	P218	P219	P220	P221	P222	...
		0,06	0,13	0,13	-3,62	0,10	0,62	-2,29	0,22	0,29	0,03	0,11	...
...		P223	P224	P225	P226	P227	P228	P229	P230	P231	P232	P233	...
		-4,77	0,07	0,65	0,92	1,07	0,17	0,32	-3,74	-2,12	0,54	-5,24	...
...		P234	P235	P236	P237	P238	P239	P240	P241	P242	P243	P244	...
		0,14	0,21	0,28	-5,26	-1,63	0,74	-7,11	0,17	0,38	0,19	0,08	...

Macierz nr 2.1

UN	PB	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P110	P111	
1,06	52,1	0,83	0,17	0,24	0,12	0,30	-2,28	0,64	0,12	0,67	-2,78	-3,91	...
	1												
...		P112	P113	P114	P115	P116	P117	P118	P119	P120	P121	P122	...
		0,14	0,91	0,37	0,20	0,20	0,66	0,03	0,15	0,05	0,17	0,26	...
...		P123	P124	P125	P126	P127	P128	P129	P130	P131	P132	P133	...
		0,48	-7,20	0,91	0,12	0,84	-2,47	-7,59	0,50	-6,46	0,13	-2,96	...
...		P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P210	P211	...
		0,70	0,13	0,67	0,67	0,85	-2,57	0,03	0,15	-3,22	0,10	0,43	...
...		P212	P213	P214	P215	P216	P217	P218	P219	P220	P221	P222	...
		0,06	0,13	0,13	-3,62	0,10	0,62	-2,29	0,22	0,29	0,03	0,11	...
...		P223	P224	P225	P226	P227	P228	P229	P230	P231	P232	P233	...
		-4,77	0,07	0,65	0,92	1,07	0,17	0,32	-3,74	-2,12	0,54	-5,24	...
...		P234	P235	P236	P237	P238	P239	P240	P241	P242	P243	P244	P1
		0,14	0,21	0,28	-5,26	-1,63	0,74	-7,11	0,17	0,38	0,19	0,08	32
													P2
													17

Macierz nr 2.2

Wykaz oznaczeń

SE	–	System Elektroenergetyczny,
OLTC	–	Podobciążeniowy przełącznik zacze­pów,
Tr	–	Transformator rozdzielczy SN/nN,
T	–	Okno czasowe,
A1	–	Węzeł strony SN transformatora SN/nN,
A2	–	Węzeł strony nN transformatora SN/nN,
B	–	Węzeł początkowy pierwszej magistrali i drugiej magistrali,
C	–	Węzeł końcowy pierwszej magistrali,
D	–	Węzeł końcowy drugiej magistrali,
IN	–	Węzeł wejścia do GPU,
INAMI	–	Węzeł wejścia do KAMI,
OUTAMI	–	Węzeł wyjścia z KAMI,
OUT1	–	Węzeł wyjścia z GPU dedykowany dla transmisji radiowej,
OUT11	–	Pierwszy pierwszy węzeł wyjścia z GPU dedykowany przewodowo dla MK1,
OUT12	–	Pierwszy drugi węzeł wyjścia z GPU dedykowany przewodowo dla MK2,
OUT2	–	Węzeł wyjścia z GPU w kierunku MKTR,
G	–	Generacja mocy np. PV,
GPU	–	Jednostka obliczeniowa graficzna,
KAMI	–	Koncentrator zintegrowany AMI,
O	–	Odbiór mocy,
A11	–	Pierwszy rdzeń graficzny CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI,
A12	–	Drugi rdzeń graficzny CUDA kompaktowego urządzenia brzegowego AI,
LB1	–	Miernik pomiaru RMS napięcia w sieci średniego napięcia,
LB2	–	Licznik czterokwadrantowy energii elektrycznej niskiego napięcia,
L11	–	Licznik energii elektrycznej w pierwszym punkcie przyłączenia pierwszej magistrali,
L12	–	Licznik energii elektrycznej w drugim punkcie przyłączenia pierwszej magistrali,
L1n	–	Licznik energii elektrycznej w n-tym punkcie przyłączenia pierwszej magistrali,
L21	–	Licznik energii elektrycznej w pierwszym punkcie przyłączenia drugiej magistrali,
L22	–	Licznik energii elektrycznej w drugim punkcie przyłączenia drugiej magistrali,
L2n	–	Licznik energii elektrycznej w n-tym punkcie przyłączenia drugiej magistrali,
MKTR	–	Pierwszy mikrokontroler dedykowanym do sterowania położeniem przekładni OLTC,
MKB	–	Drugi mikrokontroler odpowiedzialny za akwizycję danych pomiarowych średniego i niskiego napięcia,
MK1	–	Pierwszy trzeci mikrokontroler odpowiedzialny za sterowanie w trybie grid feeding PS1,
MK2	–	Drugi trzeci mikrokontroler odpowiedzialny za sterowanie w trybie grid feeding PS2,
MKCPU	–	Czwarty mikrokontroler GPU,
M1	–	Pierwsze źródło prądu stałego,
M2	–	Drugie źródło prądu stałego,
RFAMI	–	Odbiomnik koncentratora AMI,

RFTR	–	Odbiomnik transformatora SN/nN,
RFIN	–	Odbiomnik GPU,
RF1	–	Odbiomnik PS1,
RF2	–	Odbiomnik PS2,
RFB	–	Nadajnik MKB,
RFOUT	–	Nadajnik GPU,
RF11	–	Nadajnik licznika energii klasy AMI L11 w punkcie pierwszym w magistrali nr 1,
RF12	–	Nadajnik licznika energii klasy AMI L12 w punkcie drugim w magistrali nr 1,
RF1n	–	Nadajnik licznika energii klasy AMI L1n w punkcie n w magistrali nr 1,
RF21	–	Nadajnik licznika energii klasy AMI L21 w punkcie pierwszym w magistrali nr 2,
RF22	–	Nadajnik licznika energii klasy AMI L22 w punkcie drugim w magistrali nr 2,
RF2n	–	Nadajnik licznika energii klasy AMI L2n w punkcie n w magistrali nr 2,
UNSN	–	Wartość skuteczna napięcia w węźle A1.
PB	–	Wartość mocy czynnej w węźle A2,
P1	–	Wartość pierwszej pierwszej mocy czynnej,
P2	–	Wartość pierwszej drugiej mocy czynnej,
Q1	–	Wartość pierwszej mocy biernej,
Q2	–	Wartość drugiej mocy biernej,
TAP	–	Wartość położenia przekładni dla OLTC,
PL11	–	Wartość i kierunek mocy czynnej odczytanej przez L11,
PL12	–	Wartość i kierunek mocy czynnej odczytanej przez L12,
PL1n	–	Wartość i kierunek mocy czynnej odczytanej przez L1n,
PL21	–	Wartość i kierunek mocy czynnej odczytanej przez L21,
PL22	–	Wartość i kierunek mocy czynnej odczytanej przez L22,
PL2n	–	Wartość i kierunek mocy czynnej odczytanej przez L2n,
PS1	–	Pierwszy statyczny układ przekształtnikowy mocy AC/DC,
PS2	–	Drugi statyczny układ przekształtnikowy mocy AC/DC,
PK1	–	Przekładnik napięciowy średniego napięcia,
PK2	–	Układ przekładników prądowych i napięciowych węzła A2,