

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10) **PL 247983 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **431109**

(22) Data zgłoszenia: **2019.09.10**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.03.22 BUP 06/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.09.22 WUP 38/2025**

(51) MKP:

**H02J 7/34** (2006.01)

**H02M 7/487** (2007.01)

**H02H 7/16** (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,  
Kraków, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**ROBERT STALA, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Andrzej Rogowski, Kraków, PL**

(54) Tytuł:

**Sposób i układ do redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójfazowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii**

**PL 247983 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii, np. z zespołu paneli fotowoltaicznych.

Przedmiotem wynalazku jest również układ realizujący proces redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii.

Znajduje on zastosowanie do przekształcania energii elektrycznej ze źródeł energii niskiego napięcia, np. z zespołu paneli fotowoltaicznych w energię elektryczną odbiorników napięcia przemiennego.

Potrzeba wykorzystania alternatywnych źródeł energii, a zwłaszcza odnawialnych źródeł energii wymaga rozwoju energoelektronicznych systemów konwersji energii. Istotnym elementem systemu przetwarzania energii, pozyskiwanej z masowych źródeł energii odnawialnej, są falowniki napięcia. Potrzeba ta determinuje rozwój prac nad topologiami falowników napięcia oraz nad ich zastosowaniami, umożliwiającymi konwersję energii generowanej przez masowe źródła energii odnawialnej.

Jednym z najpopularniejszych falowników wielopoziomowych jest falownik (NPC, ang. Neutral Point Clamped). W układzie trójpoziomowym jest on zasilany z dzielnika kondensatorowego, o napięciu każdej z części równym połowie wartości całkowitej szyny DC. Daje to możliwość zastosowania, w takiej topologii, części łączników półprzewodnikowych o połowę niższym napięciu pracy, lub uzyskania dwa razy większego napięcia wyjściowego, przy użyciu łączników o niższym napięciu. Rozdzielona na dwie części wspólna linia DC umożliwia zasilanie każdej z nich przez inny przekształtnik DC-DC, przy zachowaniu ich symetrycznego rozkładu. Wówczas przekształtniki prądu stałego mogą pracować z mniejszym współczynnikiem wzmocnienia napięciowego oraz używać łączników o dwa razy niższym napięciu pracy, co przyczynia się do wzrostu ich sprawności oraz spadku ceny. Oprócz wspomnianych zalet takiego rozwiązania, w sytuacji istniejącego rozrzutu mocy maksymalnej modułów PV (ang. *photovoltaic*), zmiennych warunków generowanie energii oraz ewentualnej awarii łańcuchów paneli fotowoltaicznych lub przekształtników DC-DC, istnieje duże prawdopodobieństwo powstania ciągłego lub przejściowego niezrównoważenia mocy całkowitych, zasilających każdą sekcję rozdzielonej magistrali napięcia stałego. Taka sytuacja prowadzi do niezbalansowania napięć dzielnika kondensatorowego, zasilającego falownik NPC, skutkując odkształceniem przebiegów generowanych prądów wyjściowych i doprowadzając do zwiększenia napięcia maksymalnego łączników półprzewodnikowych. W efekcie może dojść do awarii falownika. Zjawisko to niesie, więc ze sobą bardzo niekorzystne skutki.

Falownik wielopoziomowy NPC jest zasilany przez dzielone łącze DC złożone z dzielnika pojemnościowego. Umożliwia korzystanie z dwóch lub więcej niezależnych szyn DC, które mogą być zasilane przez oddzielne przekształtniki DC-DC. Efektywnie zwiększa całkowite napięcie w obwodzie DC systemu konwersji energii. Ta cecha jest bardzo ważna podczas łączenia, niskonapięciowych i dynamicznych, odnawialnych źródeł energii, takich jak ciągi modułów fotowoltaicznych. Ponadto, przekształtniki DC-DC mogą pracować z niższym współczynnikiem wzmocnienia napięcia, co zwiększa ich sprawność i umożliwia obniżenie kosztu.

Dla poprawności pracy falownika NPC celowe i korzystne jest zbilansowanie napięć dzielnika kondensatorowego, zasilającego falownik NPC. Zbilansowanie napięć dzielnika kondensatorowego realizuje się przez układ kontroli napięć na szeregowo połączonych kondensatorach poprzez przekształcanie energii. Układ kontroli napięć stanowi układ aktywnego wyrównywania napięć umożliwiający kontrolę rozkładu napięć w celu zabezpieczenia falownika przed skutkami rozkładu nierównomiernego. Układ aktywnego wyrównywania napięć staje się przekształtnikiem energii umożliwiającym przekaz energii pomiędzy szeregowo połączonymi kondensatorami za pomocą kondensatora przełączanego.

Znane ogólne przekształtniki o przełączanych kondensatorach posiadają układ elementów półprzewodnikowych oraz pasywnych, który umożliwia przekształcanie energii przez ładowanie i rozładowanie kondensatorów w obwodach konfigurowanych przez łączniki półprzewodnikowe.

W istniejących rozwiązaniach, napięcia na szeregowo połączonych kondensatorach wyrównuje się przez sterowanie przepływem prądu wpływającego do węzłów łączących kondensatory, który to prąd wynika z obciążenia falownika. Jest to, więc metoda, która może być zastosowana w układach trójfazowych pracujących z obciążeniem, co jest wadą w stosunku do rozwiązania układu będącego przedmiotem zgłoszenia, który skutecznie działa również bez obciążenia kondensatorów.

W układach szeregowo połączonych kondensatorów stosuje się również przekształtniki DC-DC impulsowe. Wadą tego rozwiązania są możliwe straty energii w wyniku twardego przełączania i większa liczba elementów pasywnych LC niż w układzie będącym przedmiotem zgłoszenia.

W opisie patentowym US6121751 [Battery charger for charging a stack of multiple lithium ion battery cells] przedstawiono układ do ładowania akumulatorów połączonych szeregowo, wykorzystujący układy o przełączanych kondensatorach do kontroli napięć na akumulatorach, przy czym na dwa akumulatory przypada jeden przełączany kondensator z zestawem łączników półprzewodnikowych i może być wykorzystany do przenoszenia ładunku pomiędzy sąsiednimi akumulatorami.

W opisie CN202475036U [Active voltage balancing system for serial energy storage element bank] przedstawiono układ do kontroli napięć na szeregowo połączonych elementach gromadzących energię elektryczną akumulatorach. System umożliwia równoległe łączenie przełączanych kondensatorów z elementami gromadzącymi energię i pobór energii z poszczególnych elementów, a następnie zwrot energii do całego zasobnika złożonego z szeregowo połączonych elementów gromadzących energię elektryczną akumulatorach, uzyskując wyrównywanie napięć na poszczególnych elementach.

W opisie polskiego zgłoszenia P.421777 p.t., „Sposób i układ kontroli napięć na szeregowo połączonych kondensatorach lub akumulatorach” ujawniony jest sposób i układ realizujący kontrolę napięć poprzez kolejne ładowanie i rozładowywanie przełączanego kondensatora. W obwodzie kontrolowanych kondensatorów w okresie ładowania przełączanego kondensatora łączniki półprzewodnikowe w pełni sterowalneysterowuje się tak, aby prąd ładowania przełączanego kondensatora płynął przez jeden lub dwa lub trzy kontrolowane kondensatory. W okresie rozładowania przełączanego kondensatora, łączniki półprzewodnikoweysterowuje się tak, aby prąd rozładowania przełączanego kondensatora płynął przez jeden lub dwa lub trzy kontrolowane kondensatory. Po kolejnych ładowaniach i rozładowaniach przełączanego kondensatora uzyskuje się oczekiwane wartości napięć na kontrolowanych elementach.

Sposób realizowany jest za pomocą układu łączników półprzewodnikowych w pełni sterowalnych. Łącznikiysterowuje się z opóźnieniami wymaganymi dla zastosowanych elementów półprzewodnikowych.

Układ, według wynalazku opisanego w zgłoszeniu P.421777, ma cztery zaciski wejściowe odpowiadające zaciskom trzech połączonych szeregowo kontrolowanych kondensatorów. W układzie wszystkie zastosowane łączniki są łącznikami półprzewodnikowymi w pełni sterowalnymi. Do kolejnych zacisków wejściowych dołączone są odpowiednio: do pierwszego wejścia katoda diody łącznika zewnętrznego górnego, do drugiego wejścia katoda diody łącznika wewnętrznego górnego prawego, do trzeciego wejścia anoda diody łącznika wewnętrznego dolnego prawego, do czwartego wejścia anoda diody łącznika zewnętrznego dolnego. Anoda diody łącznika wewnętrznego górnego prawego połączona jest z katodą diody łącznika środkowego i anodą diody łącznika wewnętrznego górnego prawego. Katoda diody łącznika wewnętrznego dolnego prawego połączona jest z katodą diody łącznika wewnętrznego dolnego lewego i anodą diody łącznika środkowego. Pomiedzy węzłem anody diody łącznika zewnętrznego górnego wraz z katodą diody łącznika wewnętrznego górnego prawego a węzłem anody diody łącznika wewnętrznego dolnego lewego wraz z katodą diody łącznika zewnętrznego dolnego, włączony jest element indukcyjny szeregowo połączony z przełączanym kondensatorem skierowanym dodatnim biegunem do góry.

Sposób kontroli napięć na szeregowo połączonych kondensatorach polega na kolejnym ładowaniu i rozładowaniu przełączanego kondensatora. Istotą jest to, że w obwodzie trzech kontrolowanych kondensatorów w okresie ładowania przełączanego kondensatora łączniki półprzewodnikowe w pełni sterowalneysterowuje się tak, aby prąd ładowania przełączanego kondensatora płynął przez jeden lub dwa lub trzy kontrolowane kondensatory. W okresie rozładowania przełączanego kondensatora, łączniki półprzewodnikoweysterowuje się tak, aby prąd rozładowania przełączanego kondensatora płynął przez jeden lub dwa lub trzy kontrolowane kondensatory. Po kolejnych ładowaniach i rozładowaniach przełączanego kondensatora uzyskuje się oczekiwane wartości napięć na kontrolowanych elementach.

W trakcie pełnienia podstawowej funkcji falownika w obwodach do przekształcania energii elektrycznej ze źródeł energii niskiego napięcia, np. z zespołu paneli fotowoltaicznych w energię elektryczną odbiorników napięcia przemiennego występuje zjawisko niebilansowania mocy chwilowych.

W topologiach jednofazowych przekształtników DC-AC sprzęgających źródło napięcia stałego z linią AC dąży się do zapewnienia stałego prądu wejściowego oraz sinusoidalnego prądu wyjściowego, współfazowego z napięciem linii. Moc pobierana z systemu DC jest stała, podczas gdy moc oddawana

do linii AC posiada składową stałą (moc czynna) oraz składową podwójnej częstotliwości o zerowej wartości średniej. Chwilowa moc jednofazowego systemu prądu przemiennego nie jest, zatem równa mocy systemu prądu stałego. Układ przekształtnikowy realizujący sprzęg pomiędzy systemem DC, a jednofazowym systemem AC powinien zapewnić dopasowanie mocy chwilowych poprzez cykliczne gromadzenie energii (w przedziałach czasu, gdy występuje jej nadmiar w systemie DC) i jej wydatkowanie (w przedziałach czasu, gdy występuje jej niedobór w systemie DC). W klasycznych topologiach dopasowanie mocy chwilowych systemów jest realizowane poprzez stosowanie kondensatorów (w większości przypadków kondensatorów elektrolitycznych) o dużej wartości pojemności. Gromadzą one w sobie energię wielokrotnie większą od energii potrzebnej do zbilansowania mocy chwilowych obu systemów. Rozwiązania klasyczne prowadzą do konieczności doboru elementów pasywnych o potencjalnie dużej zdolności do gromadzenia energii, czego następstwem są duże wymiary fizyczne.

W literaturze prezentowane są topologie implementujące techniki aktywnego magazynowania energii Aktywne Magazynowanie Energii Bilansującej – APD (ang. *Active Power Decoupling*) w jednofazowych przekształtnikach DC-AC.

Znany jest z polskiego opisu patentowego PL 223811 p.t. „Sposób redukcji składowej zmiennej mocy fotowoltaicznego źródła energii” dołączonego do sieci energetycznej, poprzez zespół kondensatorów, falownik napięcia i filtr sieciowy polegający na tym, że steruje się stanem tranzystorów falownika napięcia, przez co wywołuje się różnicę napięć na szeregowo połączonych kondensatorach zespołu kondensatorów, który to zespół jest połączony równolegle ze źródłem fotowoltaicznym.

Z przywołanego uprzednio polskiego zgłoszenia P.421777 p.t. „Sposób i układ kontroli napięć na szeregowo połączonych kondensatorach lub akumulatorach” znany jest układ wejściowy przekształtnika NPC czteropozomowego i sposób przenoszenia ładunku pomiędzy kondensatorami stanowiącymi wejściowy dzielnik napięcia, przez odpowiednie sterowanie łącznikami półprzewodnikowymi. W rozwiązaniu tym źródło napięcia dołączone jest do wejścia falownika, w taki sposób, że jest to całkowite napięcie wejściowe, które następnie jest dzielone na trzech kondensatorach wejściowych. Zadaniem układu wejściowego jest kontrola wartości napięć na połączonych szeregowo kondensatorach, głównie według algorytmu, który zapewnia równe wartości napięć na kondensatorach wejściowych. Sposób według zgłoszenia P.421777, skuteczne i efektywne zapewnienie równe wartości napięć na kondensatorach wejściowych, nie zawiera jednak skutecznego sposobu redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii, np. z zespołu paneli fotowoltaicznych.

Celem wynalazku jest określenie sposobu redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii dołączonego równolegle do dwóch lub jednego z dwóch kondensatorów wchodzących w skład wejściowego dzielnika kondensatorowego, stanowiącego układ wejściowy trójpoziomowego falownika NPC oraz opracowanie topologii układu zapewniającego warunki do redukcji składowej zmiennej w napięciu wejściowym trójpoziomowego falownika NPC, zasilanego ze źródła energii dołączonego równolegle do dwóch, lub jednego z dwóch kondensatorów wchodzących w skład wejściowego dzielnika kondensatorowego trójpoziomowego falownika NPC.

Istotą wynalazku jest sposób sposobu redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC przekształcającego energię źródła, który posiada na wejściu dzielnik pojemnościowy składający się z dwóch kondensatorów połączonych szeregowo, do którego przyłączony jest układ wejściowy, w postaci zespołu łączników sterowanych przez układ sterowania, łączący falownik trójpoziomowy z gałęzią zawierającą kondensator przełączany, który jest ładowany i rozładowywany poprzez połączenia zestawiane w układzie wejściowym, w wyniku przełączania łączników sterowanych oraz dodatkowy kondensator stanowiący magazyn energii charakteryzujący się tym, że źródło energii, o zmiennej energii maksymalnej, dołącza się równolegle do dwóch lub jednego z kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego. W sposób ciągły mierzy się wartości napięć na kondensatorach dzielnika oraz moc przyłączonego źródła. W okresie zapotrzebowania falownika na moc mniejszą niż moc przyłączonego źródła, zestawia się obwód rozładowania źródła zasilającego, przez kondensator przełączany. Następnie zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez kondensator dodatkowy, pełniącą rolę magazynu energii. Operację ładowania i rozładowywania kondensatora przełączanego powtarza się przez cały okres pracy falownika z mocą wyjściową mniejszą niż moc przyłączonego źródła. Natomiast w okresie pracy falownika z mocą wyjściową większą niż moc przyłączonego źródła, zestawia się obwód rozładowania kondensatora dodatkowego, przez kondensator przełączany a następnie

obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez pierwszy z dwóch kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego. Po czym ponownie zestawia się obwód rozładowania kondensatora dodatkowego, przez kondensator przełączany a następnie zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez drugi z dwóch kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego a operację tą powtarza się przez cały okres zapotrzebowania falownika na moc większą, niż moc przyłączonego źródła. Kolejność sekwencji ładowania i rozładowywania kondensatora przełączanego oraz sekwencji rozładowywania kondensatora dodatkowego i czas trwania poszczególnych sekwencji, realizuje się na podstawie, przeprowadzanej przez układ sterowania, analizy wartości napięć na kondensatorach dzielnika, wymaganej mocy źródła, wymaganej niesymetrii napięć na kondensatorach dzielnika wejściowego falownika oraz możliwości obciążania kondensatorów dzielnika przez falownik a operację przekazywania ładunku kontynuuje się w zależności od wymaganego obciążenia przyłączonego źródła energii.

Istota układu, do redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC (III), zawierający jedno źródło energii (6) dołączone równolegle do dwóch kondensatorów (1) i (2) lub jednego z dwóch kondensatorów (1) lub (2), wejściowego dzielnika kondensatorowego (II), połączonych szeregowo oraz przyłączonego do dzielnika (II) układu wejściowego (I) w postaci zespołu siedmiu sterowalnych łączników (S1-S7), łączący trójpoziomowy falownik NPC (III) z gałęzią zawierającą kondensator przełączany (4). Poprzez układ wejściowy (I) poprzez który realizowane jest przełączanie sterowalnych łączników (S1-S7) zestawiane są konfiguracje połączeń układu wejściowego (I) dla przepływu prądu ładowania kondensatora przełączanego (4), ze źródła energii (6) i rozładowywania go przez kondensator dodatkowy (3). Ponadto układ wyposażony jest w układ sterowania sterujący łącznikami (S1-S7) na podstawie pomiaru parametrów pracy falownika i charakteryzuje się tym, że falownik trójpoziomowy (III) dołączony jest do zacisków we1, we2 i we3 a źródło energii (6) przyłączone jest równolegle, do dwóch kondensatorów (1) i (2) lub jednego z dwóch kondensatorów dzielnika kondensatorowego (II) kondensatorów (1) lub (2), tworząc trzy konfiguracje, gdzie w pierwszej konfiguracji źródło energii (6) przyłączone jest, do gałęzi będącej połączeniem szeregowym kondensatora pierwszego (1) i drugiego (2), pomiędzy zaciski we1 i we3, w konfiguracji drugiej źródło energii (6) przyłączone jest, równolegle do pierwszego kondensatora (1), pomiędzy zaciski we1 i we2, natomiast w konfiguracji trzeciej źródło energii (6) przyłączone jest do kondensatora drugiego (2) pomiędzy zaciski we2 i we3. Dla każdej z trzech konfiguracji, zespół równoległego połączenia źródła energii (6) oraz dwóch kondensatorów (1) i (2) lub jednego z dwóch kondensatorów (1) lub (2) wejściowego dzielnika kondensatorowego rozładowywany jest w obwodzie ładowania przełączanego kondensatora (4), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7) układu wejściowego (I). Naładowany kondensator przełączany (4) rozładowywany jest w obwodzie ładowania kondensatora dodatkowego (3) utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7). Naładowany kondensator dodatkowy (3), włączony pomiędzy wejścia trzecie we3 i czwarte we4 układu wejściowego (I), rozładowywany jest, przez kondensator przełączany (4), w obwodzie rozładowania kondensatora dodatkowego (3), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7). Naładowany kondensator przełączany (4) rozładowywany jest przez kondensator (1) wejściowego dzielnika kondensatorowego (II) w obwodzie ładowania kondensatora (1) wejściowego dzielnika napięciowego (II), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7). Rozładowany kondensator przełączany (4) ładowany przez kondensator dodatkowy (3) w obwodzie rozładowania kondensatora dodatkowego (3) utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7). Naładowany kondensator przełączany (4) rozładowywany jest przez kondensator (2) wejściowego dzielnika kondensatorowego (II) w obwodzie ładowania kondensatora (2) wejściowego dzielnika napięciowego (II), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7), z których każdy połączony jest z odpowiednim wyjściem sterującym układu sterowania.

Wynalazek ujawnia sposób redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii, np. z zespołu paneli fotowoltaicznych w procesie przekształcania energii źródła napięcia stałego, z możliwością regulowania ilości energii pobieranej ze źródła, przy zapewnieniu zbliżonej wartości napięć na kondensatorach, stanowiących wejściowy dzielnik kondensatorowy. Redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego odbywa się z wykorzystaniem znanego układu wejściowego złożonego z siedmiu sterowanych łączników oraz gałęzi kondensatora

przełączanego, zapewniając skuteczne przekształcanie energii źródeł napięcia stałego przez trójpoziomowy falownik NPC. Redukcja składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego realizowana jest poprzez zastosowanie kondensatora dodatkowego w którym gromadzi się cyklicznie energię (w przedziałach czasu, gdy występuje jej nadmiar w systemie DC) i jej wydatkowanie (w przedziałach czasu, gdy występuje jej niedobór w systemie DC). Sposób według wynalazku pozwala na minimalizację pojemności kondensatora dodatkowego a przez to prowadzi również do minimalizacji jego energii oraz gabarytów.

Przedmiot wynalazku, w przykładach wykonania, jest odtworzony na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia uproszczony schemat układu do redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii w konfiguracji pierwszej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, Fig. 2 przedstawia uproszczony schemat układu do redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii w konfiguracji drugiej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, Fig. 3 przedstawia uproszczony schemat układu do redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii w konfiguracji trzeciej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, Fig. 4 przedstawia uproszczony schemat blokowo-ideowy układu do redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii w konfiguracji pierwszej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego.

Działanie rozwiązania według patentu, zarówno w zakresie sposobu jak i układów, wyjaśnione jest poniżej na podstawie realizacji przykładu wykonania przedmiotu wynalazku. Sposób według wynalazku polega na tym, że dołącza się niezależne źródło energii do systemu falownika trójpoziomowego z dołączonym układem wejściowym, w postaci gałęzi przełączanego kondensatora i zespołu sterowalnych łączników, umożliwiających przepływ prądu ładowania kondensatora przełączanego z dołączonego źródła i rozładowywania przez kondensator dodatkowy stanowiący magazyn energii. W okresie zapotrzebowania falownika na moc mniejszą niż moc przyłączonego źródła, zestawia się obwód rozładowania źródła zasilającego, przez kondensator przełączany. Następnie zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez kondensator dodatkowy, pełniącą rolę magazynu energii. Operację ładowania i rozładowywania kondensatora przełączanego powtarza się przez cały okres pracy falownika z mocą wyjściową mniejszą niż moc przyłączonego źródła. Natomiast w okresie pracy falownika z mocą wyjściową większą niż moc przyłączonego źródła, zestawia się obwód rozładowania kondensatora dodatkowego, przez kondensator przełączany a następnie obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez pierwszy z dwóch kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego. Po czym ponownie zestawia się obwód rozładowania kondensatora dodatkowego, przez kondensator przełączany a następnie zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez drugi z dwóch kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego a operację tą powtarza się przez cały okres zapotrzebowania falownika na moc większą, niż moc przyłączonego źródła.

Układ do redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC (III) zasilanego z jednego źródła energii (6) wyposażony jest układ wejściowy (I) w postaci zespołu siedmiu sterowalnych łączników (S1-S7), łączący falownik trójpoziomowy (III) z gałęzią zawierającą kondensator przełączany (4), który poprzez odpowiednią konfigurację umożliwia przepływ prądu ładowania kondensatora przełączanego (4) z dołączonego źródła (6) a następnie kondensator przełączany (4) rozładowywany jest przez kondensator dodatkowy (3). Kondensator dodatkowy (3) rozładowywany jest przez kondensator przełączany (4). Z kolei kondensator dodatkowy (3) rozładowywany kolejno przez kondensator (1) i przez kondensator (2) wejściowego dzielnika kondensatorowego, usytuowanego na wejściu trójpoziomowego falownika NPC.

Układ wejściowy zbudowany jest w następujący sposób:

Kondensator przełączany (4) połączony jest szeregowo z elementem indukcyjnym (5) stanowiącą gałąź przełączalną która dołączona jest do dzielnika kondensatorowego, stanowiącego układ wejściowy (I) falownika trójpoziomowego (III), za pośrednictwem trzech gałęzi układu wejściowego przy czym gałąź pierwsza łączy wejście pierwsze dzielnika (we1) z elementem indukcyjnym (5) oraz gałąź druga łączy wejście drugie dzielnika (we2) z elementem indukcyjnym (5). Gałąź trzecia łączy wejście trzecie dzielnika (we3) z kondensatorem (4), natomiast kondensator dodatkowy (3) połączony jest z wejściem trzecim dzielnika we3 a poprzez gałąź czwartą łączy się z kondensatorem (3).

Gałąź pierwsza składa się z łącznika S1 a gałąź czwarta z łącznika (S2). Gałąź druga składa się z połączonych szeregowo łączników (S3) i (S5) natomiast gałąź czwarta z połączonych szeregowo łączników (S4) i (S6). Punkt połączenia łączników (S3) i (S5) oraz punkt połączenia łączników (S4) i (S6) połączone są gałęzią piątą zawierającą łącznik (S7).

Każdy łącznik składa się z sterowalnego łącznika oraz diody równolegle z nim połączonej. W łączniku S1 katoda diody bocznikującej (połączonej równolegle) połączona jest z wejściem (we1) dzielnika kondensatorowego natomiast anoda z elementem indukcyjnym 5 gałęzi przełączalnej. W łączniku S2 anoda diody bocznikującej połączona jest za pośrednictwem wejścia (we4) układu wejściowego z kondensatorem dodatkowym (3) natomiast katoda z kondensatorem przełączanym (4) gałęzi przełączanej. W łączniku S3 anoda diody bocznikującej połączona jest z wejściem (we2) natomiast katoda diody bocznikującej S3 połączona jest z katodą diody bocznikującej S5 oraz z anodą diody bocznikującej S7. W łączniku S4 katoda diody bocznikującej połączona jest z wejściem (we3) dzielnika kondensatorowego natomiast anoda diody bocznikującej S4 połączona jest z katodą diody bocznikującej S7 oraz z anodą diody bocznikującej S6. W łączniku S5 anoda diody bocznikującej połączona jest z elementem indukcyjnym 5 i katodą diody bocznikującej S1 natomiast katoda diody bocznikującej S5 połączona jest z katodą diody bocznikującej S3 oraz z anodą diody bocznikującej S7. W łączniku S6 anoda diody bocznikującej połączona jest z anodą diody bocznikującej S4 oraz z katodą diody bocznikującej S7 natomiast katoda diody bocznikującej S6 z kondensatorem 4 gałęzi przełączalnej oraz z anodą diody bocznikującej S2. W łączniku S7 anoda diody bocznikującej połączona jest z katodą diody bocznikującej S3 oraz z katodą diody bocznikującej S5 natomiast katoda diody bocznikującej S7 z anodą diody bocznikującej S4 oraz z anodą diody bocznikującej S6.

W przykładzie wykonania wynalazku zrealizowany został układ, w którym źródło napięcia (6) włączone jest pomiędzy wejścia we1 i we3, a uproszczony schemat blokowo-ideowy, w którym wykorzystany jest układ wejściowy według patentu P.421777 zawiera Fig. 1 natomiast schemat całego układu do redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła energii w konfiguracji pierwszej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, przedstawiony jest na Fig. 4.

W przypadku zasilania falownika (III) ze źródła (6) wpiętego pomiędzy zaciski we1 i we3, w cyklu ładowania kondensatora przełączanego (4), zestawiany jest obwód ładowania w postaci zamkniętego łącznika S1, gałęzi przełączanej składającej się z kondensatora (4) oraz elementu indukcyjnego (5), zamkniętego łącznika (S6) i zamkniętego łącznika (S4).

Natomiast w cyklu rozładowania kondensatora przełączanego (4) przez kondensator dodatkowy (3) zestawiany jest obwód rozładowania gałęzi przełączalnej w postaci połączonego z we3 zamkniętego łącznika (S4), zamkniętego łącznika (S7) i zamkniętego łącznika (S5) gałęzi przełączalnej, składającego się z kondensatora (4) oraz elementu indukcyjnego (5) zamkniętego łącznika (S2), – wpiętego pomiędzy zaciski we3 i we4, do których przyłączony jest ładowany kondensator dodatkowy (3).

Kondensator dodatkowy (3) jest rozładowywany przez przełączany kondensator (4) w zestawionym obwodzie składającym się zamkniętego łącznika S4, zamkniętego łącznika (S7) i zamkniętego łącznika (S5) gałęzi przełączalnej, składającego się z kondensatora (4) oraz elementu indukcyjnego (5) zamkniętego łącznika (S2), – wpiętego pomiędzy zaciski we3 i we4, do których przyłączony jest ładowany kondensator dodatkowy (3).

Kondensator przełączany (4) rozładowywany jest przez kondensator (1) w obwodzie składającym się z zamkniętego łącznika S1, gałęzi przełączalnej składającej się z kondensatora (4) oraz elementu indukcyjnego (5) oraz zamkniętych łączników S6, S7 oraz S3, który wpięty jest pomiędzy zaciski we1 i we2. Natomiast kondensator przełączany (4) rozładowywany jest przez kondensator (2) w obwodzie składającym się z zamkniętego łącznika S3 i S5, gałęzi przełączalnej składającej się z kondensatora (4) oraz elementu indukcyjnego (5) oraz zamkniętych łączników S6 i S4, który jest wpięty pomiędzy zaciski we2 i we3.

Zestawienie zamkniętych i otwartych łączników odpowiadających za zestawienie obwodu dla przepływu prądu ładowania gałęzi przełączalnej ze źródła (6) oraz kondensatora dodatkowego (3) z kondensatora przełączanego (4) oraz za zestawienie obwodu dla przepływu prądu rozładowywania kondensatora dodatkowego (3) przez kondensator przełączany (4) przez kondensatory (1) i (2), przedstawiono tabelarycznie dla obwodu przedstawionego na fig. 1.

Zestawiony obwód	Łączniki zamknięte	Łączniki otwarte	Element ładowany
Obwód ładowania zespołu przełączanego ze źródła (6)	S1, S6, S4	S5, S3, S7, S2	C (4)
Obwód rozładowania zespołu przełączanego i ładowania kondensatora 3 oraz rozładowywania kondensatora 3 przez kondensator 4	S2, S4, S5, S7	S1, S3, S6	C (3) lub C(4)
Obwód rozładowania zespołu przełączanego i ładowania kondensatora 1	S1, S6, S7, S3	S2, S4, S5	C (1)
Obwód rozładowania zespołu przełączanego i ładowania kondensatora 2	S3, S5, S6, S4	S1, S2, S7	C (2)

Kondensatory wejściowe stanowiące dzielnik wejściowego falownika (1), (2) oraz kondensator dodatkowy (3) zrealizowane zostały przez połączenie równoległe kondensatorów foliowych i elektrolitycznych o pojemności milifaradów, natomiast gałąź przełączalna zbudowana została z kondensatora polipropylenowego o pojemności kilku mikrofaradów oraz dławika rezonansowego powietrznego o indukcyjności kilku mikrohenrów.

Elementy półprzewodnikowe falownika trójpoziomowego, jednofazowego, mostkowego – stanowiły tranzystory MOSFET i diody szybkie.

Natomiast układ sterowania stanowił mikroprocesor lub układ FPGA (Field Programmable Gate Array), w którym zaimplementowane zostały algorytmy nadrzędnego sterowania i generacji sygnałów sterujących dla układu wejściowego i falownika. Sygnałami wejściowymi układu sterowania są mierzone wartości; napięcia pierwszego źródła napięcia stałego  $U_{n1}$ , napięcia drugiego źródła napięcia stałego  $U_{n2}$ , napięcie kondensatora ładowanego  $U_3$ , prąd pierwszego źródła napięcia stałego  $i_{n1}$ , prąd drugiego źródła napięcia stałego  $i_{n2}$ , napięcia na obciążeniu  $U_{out}$  oraz prądu obciążenia  $i_{out}$ . Sygnałami wyjściowymi układu sterowania są sygnały sterujące tranzystorami łączników; S1-cs1, S3-cs3, S4-cs4, S5-cs5 oraz S7-cs7.

Wynalazek znajdzie zastosowanie przede wszystkim w instalacjach łączących farmy fotowoltaiczne z siecią niskich napięć odbierającą energię wytworzoną przez łańcuchy ogniw fotowoltaicznych. Rozwiązania ujawnione w wynalazku umożliwią uproszczenie instalacji służących do odbioru energii oraz obniżenia ich kosztów.

#### Wykaz oznaczeń:

- I. Układ wejściowy z zespołem sterownych łączników i kondensatorem przełączalnym,
  - II. Wejściowy dzielnik kondensatorowy,
  - III. Falownik czteropoziomowy typu NPC,
    1. Pierwszy kondensator dzielnika kondensatorowego – C1,
    2. Drugi kondensator dzielnika kondensatorowego – C2,
    3. Kondensator dodatkowy – C3,
    4. Kondensator przełączalny,
    5. Element indukcyjny gałęzi kondensatora przełączalnego,
    6. Obciążenie falownika,
- we 1** – zacisk wejściowy połączony z wyprowadzeniem dodatnim kondensatora C1,  
**we 2** – zacisk wejściowy połączony z punktem wspólnego połączenia wyjść kondensatorów C1 i C2,  
**we 3** – zacisk wejściowy połączony z punktem wspólnego połączenia wyjść kondensatorów C2 i C3,

- $C_{s1}$  – sygnał sterujący łącznikiem S1
- $C_{s2}$  – sygnał sterujący łącznikiem S2
- $C_{s3}$  – sygnał sterujący łącznikiem S3
- $C_{s4}$  – sygnał sterujący łącznikiem S4
- $C_{s5}$  – sygnał sterujący łącznikiem S5
- $C_{s6}$  – sygnał sterujący łącznikiem S6
- $C_{s7}$  – sygnał sterujący łącznikiem S7
- $U_N$  – napięcie źródła 6
- $U_1$  – napięcie na kondensatorze 1
- $U_2$  – napięcie na kondensatorze 2
- $U_D$  – napięcie na kondensatorze dodatkowym 3
- $I_N$  – prąd źródła 6
- $U_{out}$  – napięcie na obciążeniu 7
- $I_{out}$  – prąd płynący przez obciążenie 7

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu trójpoziomowego falownika NPC, przekształcającego energię źródła przy napięciu stałym, który posiada na wejściu dzielnik pojemnościowy składający się z dwóch kondensatorów połączonych szeregowo, do którego przyłączony jest układ wejściowy, w postaci zespołu łączników sterowanych przez układ sterowania, łączący falownik trójpoziomowy z gałęzią zawierającą kondensator przełączany, który jest ładowany i rozładowywany poprzez połączenia zestawiane w układzie wejściowym, w wyniku przełączania łączników sterowanych oraz dodatkowy kondensator stanowiący magazyn energii **znamienny tym**, że źródło energii stałej, o zmiennej energii maksymalnej, dołącza się równolegle do dwóch lub do jednego z kondensatorów, wejściowego dzielnika kondensatorowego, mierzy się w sposób ciągły wartości napięć na kondensatorach dzielnika oraz moc przyłączonego źródła i w okresie zapotrzebowania falownika na moc mniejszą, niż moc przyłączonego źródła, zestawia się obwód rozładowania źródła zasilającego przez kondensator przełączany, następnie zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez kondensator dodatkowy, operację tą powtarza się przez cały okres zapotrzebowania falownika na moc mniejszą, niż moc przyłączonego źródła, natomiast w okresie zapotrzebowania falownika na moc większą, niż moc przyłączonego źródła, zestawia się obwód rozładowania kondensatora dodatkowego, przez kondensator przełączany a następnie obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez pierwszy z dwóch kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego, po czym zestawia się obwód rozładowania kondensatora dodatkowego, przez kondensator przełączany a następnie zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez drugi z dwóch kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego a operację tą powtarza się przez cały okres zapotrzebowania falownika na moc większą, niż moc przyłączonego źródła, przy czym kolejność sekwencji ładowania i rozładowywania kondensatora przełączanego oraz sekwencji rozładowywania kondensatora dodatkowego i czas trwania poszczególnych sekwencji, realizuje się na podstawie, przeprowadzanej przez układ sterowania, analizy wartości napięć na kondensatorach dzielnika, wymaganej mocy źródła, wymaganej niesymetrii napięć na kondensatorach dzielnika wejściowego falownika oraz możliwości obciążania kondensatorów dzielnika przez falownik a operację przekazywania ładunku kontynuuje się w zależności od wymaganego obciążenia przyłączonego źródła energii.
2. Układ do redukcji składowej zmiennej w wejściowym napięciu stałym trójpoziomowego falownika NPC (III), zawierający jedno źródło energii (6) dołączone równolegle do dwóch (1) i (2) lub jednego z dwóch kondensatorów, (1) lub (2), wejściowego dzielnika kondensatorowego (II), połączonych szeregowo oraz przyłączonego do dzielnika (II) układu wejściowego (I) w postaci zespołu siedmiu sterowanych łączników (S1-S7), łączący trójpoziomowy falownik NPC (III) z gałęzią zawierającą kondensator przełączany (4), który poprzez odpowiednie przełączanie sterowanych łączników (S1-S7) zestawia konfigurację połączeń układu wejściowego

wego (I) dla przepływu prądu ładowania kondensatora przełączalnego (4), ze źródła energii (6) i rozładowywania go przez kondensator dodatkowy (3) oraz wyposażony w układ sterowania sterujący łącznikami (S1-S7) na podstawie pomiaru parametrów pracy falownika **znamienny tym**, że falownik trójpoziomowy (III) dołączony jest do zacisków we1, we2 i we3 a źródło energii (6) przyłączone jest równolegle, do dwóch kondensatorów (1) i (2) lub jednego z dwóch kondensatorów dzielnika kondensatorowego (II) kondensatorów (1) lub (2), tworząc trzy konfiguracje, gdzie w pierwszej konfiguracji źródło energii (6) przyłączone jest, do gałęzi będącej połączeniem szeregowym kondensatora pierwszego (1) i drugiego (2), pomiędzy zaciski we1 i we3, w konfiguracji drugiej źródło energii (6) przyłączone jest, równolegle do pierwszego kondensatora (1), pomiędzy zaciski we1 i we2, natomiast w konfiguracji trzeciej źródło energii (6) przyłączone jest do kondensatora drugiego (2) pomiędzy zaciski we2 i we3, a dla każdej z trzech konfiguracji, zespół równoległego połączenia źródła energii (6) oraz dwóch kondensatorów (1) i (2) lub jednego z dwóch kondensatorów (1) lub (2) rozładowywany jest w obwodzie ładowania przełączanego kondensatora (4), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7) układu wejściowego (I) zaś kondensator przełączany (4) rozładowywany jest w obwodzie ładowania kondensatora dodatkowego (3) utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7), natomiast kondensator dodatkowy (3), włączony pomiędzy wejścia trzecie we3 i czwarte we4 układu wejściowego (I), rozładowywany jest, przez kondensator przełączany (4), w obwodzie rozładowania kondensatora dodatkowego (3), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7), a z kolei kondensator przełączany (4) rozładowywany jest przez kondensator (1) wejściowego dzielnika kondensatorowego (II) w obwodzie ładowania kondensatora (1) wejściowego dzielnika napięciowego (II), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7), rozładowany kondensator przełączany (4) ładowany przez kondensator dodatkowy (3) w obwodzie rozładowania kondensatora dodatkowego (3) utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7), a kondensator przełączany (4) rozładowywany jest przez kondensator (2) wejściowego dzielnika kondensatorowego (II) w obwodzie ładowania kondensatora (2) wejściowego dzielnika napięciowego (II), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1-S7), z których każdy połączony jest z odpowiednim wyjściem sterującym układu sterowania.

Rysunki

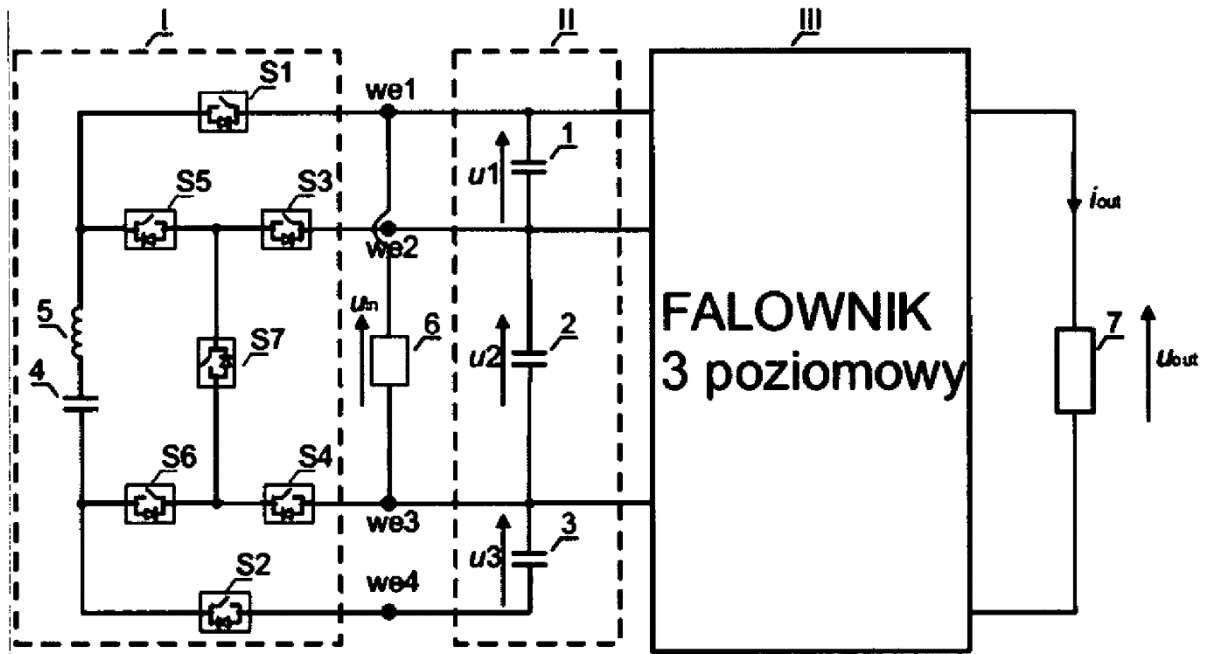


Fig. 1

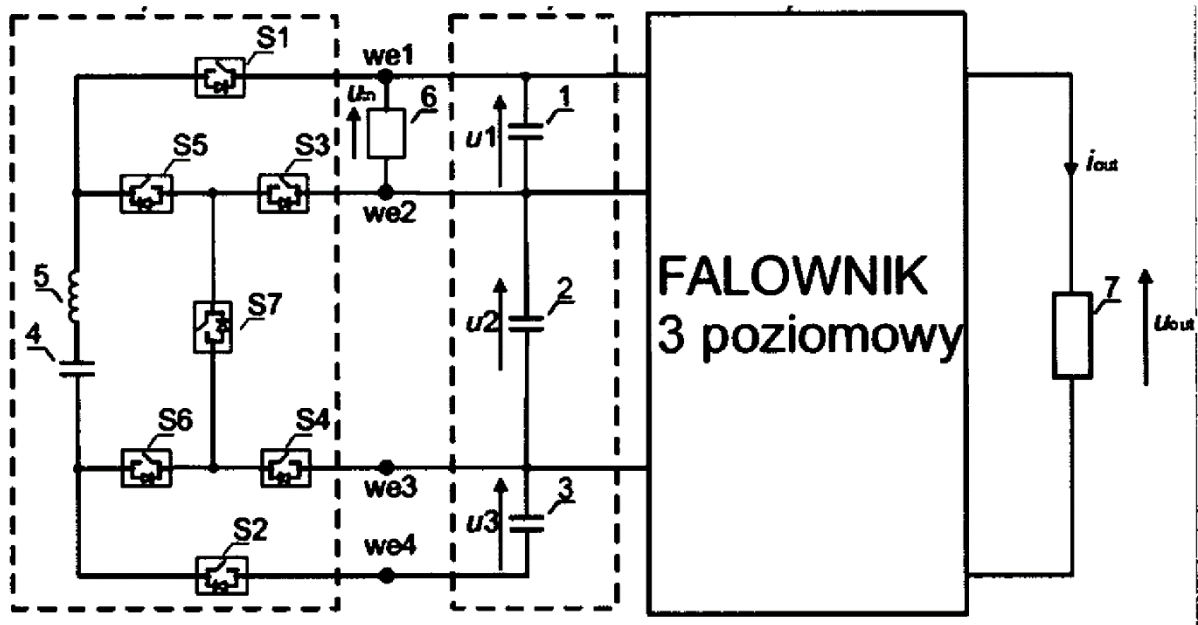


Fig. 2

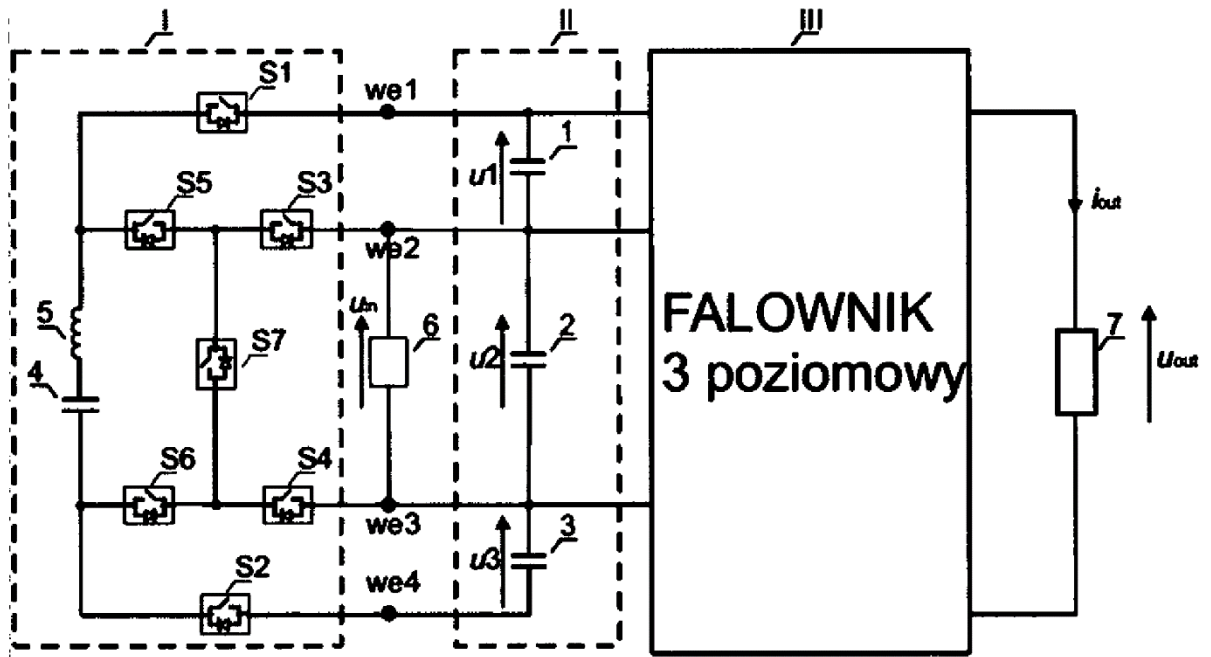


Fig. 3

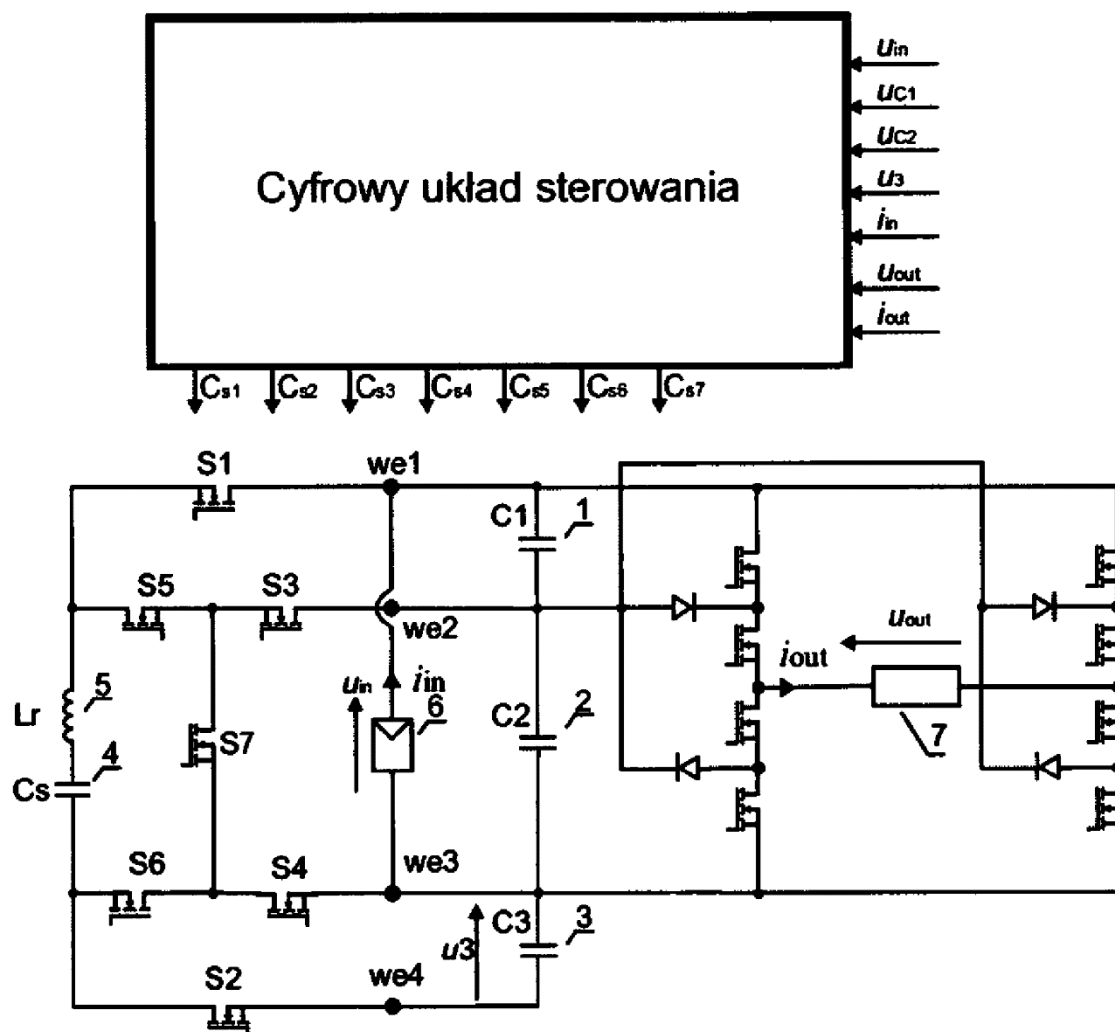


Fig. 4