

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 247985 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **431111**

(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:

H02M 7/487 (2007.01)

H02M 3/07 (2006.01)

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 przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego przez czteropoziomowy falownik NPC

PL 247985 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób przekształcania energii dwóch, niezależnych źródeł napięcia stałego, np. dwóch paneli fotowoltaicznych, przez czteropoziomowy falownik NPC.

Przedmiotem wynalazku jest również układ realizujący proces przekształcania energii dwóch, niezależnych źródeł napięcia stałego, przez czteropoziomowy falownik NPC.

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 ogólnie 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 sterowalne wysterowuje się tak, aby prąd ładowania przełączanego kondensatora płynął przez jeden lub dwa lub trzy kontrolowane kondensatory. W okresie rozładowania przełączanego kondensatora, łączniki półprzewodnikowe wysterowuje 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. Łączniki wysterowuje 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 sterowalne wysterowuje się tak, aby prąd ładowania przełączanego kondensatora płynął przez jeden lub dwa lub trzy kontrolowane kondensatory. W okresie rozładowania przełączanego kondensatora, łączniki półprzewodnikowe wysterowuje 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 przypadku konieczności przekształcania energii dwóch, niezależnych, źródeł napięcia stałego, np. dwóch paneli fotowoltaicznych przez czteropozomowy falownik NPC, niezbędne jest zdefiniowanie sposobu odpowiedniego przyłączenia źródeł napięcia stałego do dzielnika napięciowego układu wejściowego czteropozomowego falownika NPC oraz sposób kontrolowania obciążenia źródeł, a także sposób kontrolowania zasilania kondensatorów dzielnika wejściowego.

Z polskiego opisu patentowego PL 221692 pt „Sposób przekształcenia energii dwóch źródeł napięcia stałego na energię prądu przemiennego” znany jest sposób sterowania umożliwiający sterowanie energią jaka pobierana jest z poszczególnych źródeł napięcia stałego.

Sposób sterowania opisany w patencie P 221692 bazuje na klasycznej modulacji hybrydowej, w której jeden z modułów falownikowych sterowany jest sygnałem niskiej częstotliwości natomiast drugi moduł sterowany jest sygnałem zmodulowanym wysokiej częstotliwości. Moduł falownikowy, sterowany

niską częstotliwością, przekształca większą część energii, natomiast drugi moduł falownikowy ma jedyną funkcję wspomagającą (energia w większości pobierana jest z jednego źródła napięcia stałego). Ponieważ moduły falownikowe są jednakowe, możliwe jest odwrócenie ich ról poprzez zamianę sygnałów sterujących. W patentowanym sposobie sterowania, moduły falownikowe sterowane są naprzemiennie raz sygnałem wysokiej częstotliwości a raz sygnałem niskiej częstotliwości, w taki sposób aby regulować średnią moc pobieraną z poszczególnych źródeł napięcia stałego.

Z publikacji R. Stala, "Individual MPPT of photovoltaic arrays with use of single-phase three-level diode-clamped inverter," *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Bari, 2010, pp. 3456–3462. doi:10.1109/ISIE.2010.5637767 oraz z publikacji M. Szarek, A. Penczek, R. Stala, S. Piróg and A. Mondzik, "NPC three level inverter with dual DC bus for independent distributed generators. Neutral-point voltage balancing under the input power imbalance," *2017 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe)*, Warsaw, 2017, pp. P.1–P.10. doi:10.23919/EPE17ECCEurope.2017.8099240, znane są układy, w których do wejścia falownika NPC dołączane są niezależne źródła fotowoltaiczne przez przekształtniki impulsowe DC-DC. Każdy z przekształtników DC-DC wymaga zastosowania układu z tranzystorem, diodą, dławikiem oraz elektroniką sterującą i zasilającą.

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 czteropoziomowego 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 kontroli w przypadku konieczności przekształcania energii dwóch niezależnych, źródeł napięcia stałego, np. dwóch paneli fotowoltaicznych, przez czteropoziomowy falownik NPC.

Celem wynalazku jest określenie sposobu przekształcania energii dwóch, niezależnych, źródeł napięcia stałego, z możliwością regulowania energii pobieranej z poszczególnego źródła, przy zapewnieniu zbliżonej wartości napięć na kondensatorach wejściowych czteropoziomowego falownika NPC oraz opracowanie topologii układu zapewniającego warunki dla przekształcania energii dwóch, niezależnych źródeł napięcia stałego przez czteropoziomowy falownik NPC.

Istotą wynalazku jest sposób przekształcania energii dwóch, niezależnych, źródeł napięcia stałego przez czteropoziomowy falownik NPC, wyposażony na wejściu w dzielnik pojemnościowy, składający się z trzech połączonych szeregowo kondensatorów, do wejść którego przyłączony jest układ wejściowy, w postaci zespołu sterowalnych łączników, stanowiący połączenie falownika czteropoziomowego z gałęzią zawierającą kondensator przełączany, który poprzez odpowiednią konfigurację połączeń umożliwia przepływ prądu ładowania kondensatora przełączanego z jednego lub dwóch dołączonych źródeł i rozładowywania go przez kondensator wejściowego dzielnika kondensatorowego, usytuowanego na wejściu czteropoziomowego falownika NPC, do którego nieprzyłączone jest źródło napięcia stałego charakteryzujący się tym, że każde z dwóch niezależnych źródeł energii stałej, o różnej energii maksymalnej, dołącza się równolegle do jednego z kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego. Mierzy się w sposób ciągły wartości napięć obu dołączonych źródeł energii stałej oraz napięcia na kondensatorze wejściowego dzielnika napięciowego, który nie jest połączony równolegle z żadnym z dwóch źródeł energii stałej. Następnie zestawia się obwód rozładowania jednego z dołączonych źródeł lub obu źródeł przez kondensator przełączany. Dla rozładowania kondensatora przełączanego zestawia się obwód jego rozładowania przez kondensator wejściowego dzielnika kondensatorowego, który nie jest połączony równolegle z żadnym z dwóch źródeł energii stałej. Sekwencję rozładowania źródła napięcia stałego i ładowania kondensatora wejściowego dzielnika kondensatorowego, który nie jest połączony z żadnym z dwóch źródeł energii stałej, powtarza się i prowadzi się do osiągnięcia jednakowego napięcia na wszystkich kondensatorach wejściowego dzielnika kondensatorowego. Wyboru źródła, z którego realizuje się przekazywanie ładunku do kondensatora wejściowego dzielnika, który nie jest połączony równolegle z żadnym z dwóch źródeł energii stałej oraz czas trwania poszczególnych sekwencji, realizuje się na podstawie, prowadzonej przez układ sterujący, analizy wartości napięć na kon-

densatorach wejściowego dzielnika kondensatorowego, 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 napięcia stałego.

Istota układu, do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przez czteropoziomowy falownik NPC wyposażony w kondensatorowy dzielnik wejściowy, tworzący układ czterech zacisków wejściowych czteropoziomowego falownika NPC oraz przyłączony do tych zacisków układ wejściowy, w postaci zespołu siedmiu sterowalnych łączników, który łączy czteropoziomowy falownik NPC z gałęzią zawierającą kondensator przełączany i poprzez odpowiednie przełączanie sterowalnych łączników układu wejściowego zestawia konfigurację połączeń dla przepływu prądu ładowania kondensatora przełączanego z jednego lub dwóch dołączonych źródeł i rozładowywania go przez kondensator wejściowego dzielnika kondensatorowego. Ponadto układ do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego przez czteropoziomowy falownik wyposażony jest w cyfrowy układ sterujący łącznikami układu wejściowego na podstawie pomiaru parametrów pracy falownika charakteryzuje się tym, że dwa niezależne źródła napięcia stałego przyłączone są równolegle do dwóch z trzech kondensatorów dzielnika kondensatorowego w trzech konfiguracjach.

W pierwszej konfiguracji źródło pierwsze przyłączone jest równolegle do pierwszego kondensatora C1, pomiędzy zaciski we1 i we2 oraz źródło drugie przyłączone jest równolegle do kondensatora trzeciego C3, pomiędzy zaciski we3 i we4.

W konfiguracji drugiej źródło pierwsze przyłączone jest równolegle do pierwszego kondensatora C1 pomiędzy zaciski we1 i we2 oraz źródło drugie przyłączone jest równolegle do kondensatora drugiego C2, pomiędzy zaciski we2 i we3.

W konfiguracji trzeciej pierwsze źródło przyłączone jest równolegle do drugiego kondensatora C2, pomiędzy zaciski we2 a we3 oraz źródło drugie przyłączone jest równolegle do kondensatora trzeciego C3 pomiędzy zaciski we3 i we4.

W każdej z trzech konfiguracji zespoły połączenia równoległego każdego ze źródeł energii z jednym z kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego, rozładowywane są w obwodzie ładowania przełączanego kondensatora, utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników układu wejściowego. Naładowany kondensator przełączany rozładowywany jest w obwodzie ładowania kondensatora, który nie jest połączony równolegle z żadnym z dwóch źródeł energii stałej, utworzonym przez przełączenie. Każdy sterowalnych łączników układu wejściowego połączony jest z odpowiednim wyjściem sterującym cyfrowego układu sterowania.

Dodatkowo w konfiguracji pierwszej układu, do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC pierwsze niezależne źródło napięcia stałego przyłączone jest równolegle do kondensatora pierwszego C1, pomiędzy zaciski we1 a we2, a drugie niezależne źródło napięcia stałego przyłączone jest do równolegle kondensatora trzeciego C3 pomiędzy zaciski we3 i we4. W układzie wejściowym przełącznik S3 stanowi dioda, której katoda połączona jest z zaciskiem we2 a anoda z punktem wspólnego połączenia łączników S5 i S7, natomiast łącznik S4 stanowi dioda, której anoda połączona jest z zaciskiem we3 a katoda z punktem wspólnego połączenia łączników S6 i S7.

W konfiguracji drugiej układu, do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC pierwsze niezależne źródło napięcia stałego przyłączone jest równolegle do kondensatora pierwszego C1, pomiędzy zaciski we1 i we2 a drugie niezależne źródło napięcia stałego przyłączone jest równolegle do kondensatora drugiego C2, pomiędzy zaciski we2 i we3. W układzie wejściowym łącznik S6 stanowi dioda której katoda połączona jest z punktem wspólnego połączenia łączników S4 i S7 a anoda z wejściem kondensatora przełączanego C4 natomiast przełącznik S2 stanowi dioda której anoda połączona jest z zaciskiem we4 a katoda z wejściem kondensatora przełączanego C4.

W konfiguracji trzeciej układu, do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC pierwsze niezależne źródło napięcia stałego przyłączone jest równolegle do kondensatora drugiego C2 pomiędzy zaciski we2 i we3 a drugie niezależne źródło napięcia stałego przyłączone jest równolegle do kondensatora trzeciego C3 pomiędzy zaciski we3 i we4. W układzie wejściowym przełącznik S1 stanowi dioda której katoda połączona jest z zaciskiem we1 a anoda z wejściami elementu indukcyjnego 5 połączonego szeregowo z kondensatorem przełączanym C4, natomiast przełącznik S5 stanowi dioda, której anoda połączona jest z punktem

wspólnego połączenia łączników S3 i S4 a katoda z wejściami elementu indukcyjnego 5 połączonego szeregowo z kondensatorem przełączanym C4.

Wynalazek ujawnia sposób przekształcania energii dwóch, niezależnych, źródeł napięcia stałego, z możliwością regulowania ilości energii pobieranej z poszczególnego źródła, przy zapewnieniu zbliżonej wartości napięć na kondensatorach wejściowych czteropoziomowego falownika NPC oraz topologię układu do przekształcania energii dwóch, niezależnych źródeł napięcia stałego przez czteropoziomowy falownik NPC z wykorzystaniem znanego układu wejściowego złożonego z siedmiu sterowanych łączników oraz gałęzi kondensatora przełączanego, zapewniając skuteczne przekształcanie energii dwóch, niezależnych, źródeł napięcia stałego przez czteropoziomowy falownik NPC.

Przedmiot wynalazku, w przykładach wykonania, jest odtworzony na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia uproszczony schemat układu do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC w konfiguracji pierwszej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, Fig. 2 przedstawia uproszczony schemat układu do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC w konfiguracji drugiej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, Fig. 3 przedstawia uproszczony schemat układu do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC w konfiguracji trzeciej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, Fig. 4 przedstawia uproszczony schemat układu do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC w konfiguracji pierwszej z wykorzystaniem uproszczonego układu wejściowego według wynalazku, Fig. 5 przedstawia uproszczony schemat układu do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC w konfiguracji drugiej z wykorzystaniem uproszczonego układu wejściowego według wynalazku, Fig. 6 przedstawia uproszczony schemat układu do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC w konfiguracji trzeciej z wykorzystaniem uproszczonego układu wejściowego według wynalazku natomiast Fig. 7 przedstawia uproszczony schemat blokowo-ideowy układu do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC w konfiguracji drugiej, z wykorzystaniem uproszczonego układu wejściowego według wynalazku.

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 dwa niezależne źródła energii do systemu falownika czteropoziomowego z układem wejściowym, w postaci przełączanego kondensatora oraz zespołu sterowalnych łączników umożliwiających przepływ prądu ładowania kondensatora przełączanego z jednego lub dwóch dołączonych źródeł i rozładowywania go przez kondensator wejściowego dzielnika kondensatorowego, usytuowanego na wejściu czteropoziomowego falownika NPC, do którego nieprzyłączone jest źródło napięcia stałego, usytuowanego na wejściu czteropoziomowego falownika NPC oraz gałąź zawierającą kondensator przełączany. Sposób sterowania, polega na przekazywaniu energii z poszczególnych źródeł do kondensatora, który nie jest połączony z żadnym z dwóch przyłączonych źródeł energii.

W sytuacji, jeżeli napięcie na kondensatorze niepołączonym ze źródłem, jest odpowiednio niskie to energia do tego kondensatora jest przenoszona z obu źródeł, przy równoczesnym odbiorze energii ze wszystkich kondensatorów przez falownik. Źródło o większej energii maksymalnej może dostarczać do kondensatora niepołączonego ze źródłem więcej energii a falownik może również szybciej odbierać energię z tego źródła i z kondensatora niepołączonego ze źródłem. Falownik może wprowadzać niesymetrię obciążenia kondensatorów wejściowych tak, aby uzyskać napięcie na kondensatorze niepołączonym ze źródłem zbliżone do wymaganego.

W przypadku, gdy kondensator niepołączony ze źródłem zasilany jest z jednego ze źródeł napięcia, falownik obciąża wszystkie kondensatory z odpowiednią niesymetrią tak, aby uzyskać optymalne obciążenie źródeł oraz optymalny rozkład napięć wejściowych.

W przypadku, gdy źródła energii są ze sobą połączone szeregowo, to kondensator niepołączony ze źródłem może być zasilany z jednego ze źródeł, lub z obu źródeł równocześnie, a falownik obciąża wszystkie kondensatory z odpowiednią niesymetrią tak, aby uzyskać optymalne obciążenie źródeł oraz optymalny rozkład napięć wejściowych.

Układ do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego przez czteropoziomowy falownik NPC wyposażony jest układ wejściowy w postaci zespołu siedmiu sterowalnych łączników (S1–S7), łączący falownik czteropoziomowy z gałęzią zawierającą kondensator przełączany (4), który poprzez odpowiednią konfigurację umożliwia przepływ prądu ładowania kondensatora przełączanego z jednego lub dwóch dołączonych źródeł i rozładowywania go przez kondensator wejściowego dzielnika kondensatorowego, usytuowanego na wejściu czteropoziomowego falownika NPC, do którego nieprzyłączone jest źródło napięcia stałego, oraz gałąź zawierającą kondensator przełączany (4). Układ wejściowy zbudowany jest w następujący sposób:

Kondensator przełączany (4) połączony jest szeregowo z elementem indukcyjnym (5) stanowiącymi gałąź przełączalną, która dołączona jest do dzielnika kondensatorowego, stanowiącego układ wejściowy falownika czteropoziomowego, za pośrednictwem czterech 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) oraz gałąź czwarta łączy wejście czwarte dzielnika (we4) z kondensatorem (4).

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 z wejściem (we4) dzielnika kondensatorowego natomiast katoda z kondensatorem 4 gałęzi przełączalnej. 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 przedmiotu wynalazku zrealizowany został układ, w którym pierwsze źródło napięcia (6) włączone jest pomiędzy wejścia we1 i we2, natomiast drugie źródło napięcia (7) włączone jest pomiędzy wejścia we2 i we3, a uproszczony schemat blokowo-ideowy, w którym wykorzystany jest układ wejściowy według patentu P.421777 zawiera fig. 2 natomiast uproszczony schemat blokowo-ideowy, w którym wykorzystany jest układ wejściowy zmodyfikowany według wynalazku zawiera fig. 5.

W przykładzie wykonania źródła energii (6) i (7) są ze sobą połączone szeregowo, a kondensator niepołączony ze źródłem (3) może być zasilany z jednego ze źródeł (6) lub (7), lub z obu źródeł równocześnie.

W przypadku zasilania kondensatora (3) ze źródła (6) wpiętego pomiędzy zaciski we1 i we2, w cyklu ładowania, zestawiany jest obwód ładowania w postaci zamkniętego łącznika S1, gałęzi przełączalnej składającej się z kondensatora (4) oraz elementu indukcyjnego (5), diody zastępującej S6 zamkniętego łącznika S7 oraz zamkniętego łącznika S3 – wpiętego pomiędzy zaciski we1 i we2.

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

W przypadku zasilania kondensatora (3) z szeregowo połączonych źródeł (6) i (7) wpiętych pomiędzy zaciski we1 i we3, w cyklu ładowania, zestawiany jest obwód ładowania w postaci zamkniętego łącznika S1, gałęzi przełączalnej, składającej się z kondensatora (4) oraz elementu indukcyjnego (5),

diody zastępującej S6 i zamkniętego łącznika S4 – wpiętego pomiędzy zaciski we1 i we3. Natomiast obwód rozładowania jest identyczny jak dla przypadku pierwszego.

W przypadku zasilania kondensatora (3) ze źródła (7) wpiętego pomiędzy zaciski we2 i we3, w cyklu ładowania, zestawiany jest obwód ładowania w postaci zamkniętych łączników S3 i S5, gałęzi przełączalnej, składającej się z kondensatora (4) oraz elementu indukcyjnego (5), diody zastępującej S6 i zamkniętego łącznika S4 – wpiętego pomiędzy zaciski we2 i we3. Natomiast obwód rozładowania jest identyczny jak dla przypadku pierwszego.

Zestawienie zamkniętych i otwartych łączników odpowiadających za zestawienie obwodu dla przepływu prądu ładowania gałęzi przełączalnej ze źródła (6) lub ze źródła (7) a także równocześnie z połączonych dwóch źródeł (6) i (7) oraz rozładowywania gałęzi przełączalnej, przedstawiono tabelarycznie dla obwodu przedstawionego na fig. 5.

Zestawiony obwód	Łączniki zamknięte	Łączniki otwarte	Element ładowany
Obwód ładowania zespołu przełączanego ze źródła (6)	S1, S7, S3	S5, S4	C (4)
Obwód ładowania zespołu przełączanego ze źródła (7)	S3, S5, S4	S1, S7	C (4)
Obwód ładowania zespołu przełączanego ze szeregowego połączenia źródeł (6) i (7)	S1, S4,	S3,S5,S7	C (4)
Obwód rozładowania zespołu przełączanego i ładowania kondensatora 3	S4 ,S7,S5,	S1,S3,	C (3)

Realizacja układu zmodyfikowanego według wynalazku zrealizowana została w ten sposób, że w miejsce łączników użyte zostały tranzystory MOSFET, mające w swojej strukturze diodę zwrtną, natomiast w miejsce łączników S2 i S6 użyte zostały diody szybkie. Kondensatory wejściowe stanowiące dzielnik wejściowego falownika (1), (2) i (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 czteropozomowego, jednofazowego, mostkowego – stanowiły tranzystory MOSFET i diody szybkie.

Jeżeli do realizacji łączników sterownych układu wejściowego zastosowane zostaną jednokierunkowe tranzystory IGBT to w zmodyfikowanym układzie według wynalazku, przedstawionym na Fig. 4 łączniki S1 i S2, w układzie przedstawionym na Fig. 5 łączniki S1 i S4 a w układzie na Fig. 6 łączniki S3 i S2 mogą być zastosowane bez diod zwrtnych.

Natomiast cyfrowy 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 cyfrowego 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 cyfrowego układu sterowania są sygnały sterujące tranzystorami łączników; S1-cs1, S3-cs3, S4-cs4, S5-cs5 oraz S7-cs7.

Zmodyfikowany układ wejściowy, według wynalazku, znacznie upraszcza sterowanie układem wejściowym oraz obniża koszty wykonania układu zapewniającego warunki dla przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego przez czteropozomowy falownik NPC.

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

Wykaz oznaczeń:

- I. Układ wejściowy z zespołem sterownych łączników i kondensatorem przełączanym,
- II. Wejściowy dzielnik kondensatorowy,
- III. Falownik czteropoziomowy typu NPC
 - 1. Pierwszy kondensator dzielnika kondensatorowego – C1,
 - 2. Drugi kondensator dzielnika kondensatorowego – C2,
 - 3. Trzeci kondensator dzielnika kondensatorowego – C3,
 - 4. Kondensator przełączany
 - 5. Element indukcyjny gałęzi kondensatora przełączanego,
 - 6. Pierwsze niezależne źródło napięcia stałego,
 - 7. Drugie niezależne źródło napięcia stałego,
 - 8. 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,
- we 4** – zacisk wejściowy połączony z wyprowadzeniem ujemnym kondensatora 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_{N1}** – napięcie źródła 6
- U_{N2}** – napięcie źródła 7
- U₁** – napięcie na kondensatorze 1
- U₂** – napięcie na kondensatorze 2
- U_D** – napięcie na kondensatorze dodatkowym 3
- I_{N1}** – prąd źródła 6
- I_{N2}** – prąd źródła 7
- U_{out}** – napięcie na obciążeniu 8
- I_{out}** – prąd płynący przez obciążenie 8

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób przekształcania energii dwóch, niezależnych, źródeł napięcia stałego przez czteropoziomowy falownik NPC, wyposażony na wejściu w dzielnik pojemnościowy, składający się z trzech połączonych szeregowo kondensatorów, do wejść którego przyłączony jest układ wejściowy, w postaci zespołu sterowalnych łączników, łączący falownik czteropoziomowy z gałęzią zawierającą kondensator przełączalny, który poprzez odpowiednią konfigurację połączeń umożliwia przepływ prądu ładowania kondensatora przełączalnego z jednego lub dwóch dołączonych źródeł i rozładowywania go przez kondensator wejściowego dzielnika kondensatorowego, usytuowanego na wejściu czteropoziomowego falownika NPC, do którego nieprzyłączone jest źródło napięcia stałego **znamienny tym**, że każde z dwóch niezależnych źródeł energii stałej, o różnej energii maksymalnej, dołącza się równolegle do jednego z kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego, mierzy się w sposób ciągły wartości napięć obu dołączonych źródeł energii stałej oraz napięcia na kondensatorze wejściowego dzielnika napięciowego który nie jest połączony równolegle z żadnym z dwóch źródeł energii stałej, następnie zestawia się obwód rozładowania jednego z dołączonych źródeł lub obu źródeł przez kondensator przełączany, z kolei zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez kondensator wejściowego dzielnika kondensatorowego, który nie jest połączony równolegle z żadnym z dwóch źródeł energii stałej, zaś sekwencję rozładowania źródła napięcia stałego i ładowania kondensatora wejściowego dzielnika kondensatorowego, który

nie jest połączony z żadnym z dwóch źródeł energii stałej, powtarza się i prowadzi się do osiągnięcia jednakowego napięcia na wszystkich kondensatorach wejściowego dzielnika kondensatorowego przy czym wyboru źródła, z którego realizuje się przekazywanie ładunku do kondensatora wejściowego dzielnika, który nie jest połączony równolegle z żadnym z dwóch źródeł energii stałej oraz czas trwania poszczególnych sekwencji, realizuje się na podstawie, prowadzonej przez układ sterujący, analizy wartości napięć na kondensatorach wejściowego dzielnika kondensatorowego, 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 napięcia stałego.

2. Układ do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego przez czteropozomowy falownik NPC (III), zawierający dwa niezależne źródła napięcia stałego (6) i (7), wyposażony w kondensatorowy dzielnik wejściowy (II), tworzący układ czterech zacisków wejściowych czteropozomowego falownika NPC (III) oraz przyłączony do tych zacisków układ wejściowy (I) w postaci zespołu siedmiu sterowalnych łączników (S1–S7), łączący czteropozomowy falownik NPC z gałęzią zawierającą kondensator przełączalny (4), który poprzez odpowiednie przełączanie sterowalnych łączników (S1–S7) zestawia konfigurację połączeń układu wejściowego dla przepływu prądu ładowania kondensatora przełączalnego (4) z jednego lub dwóch dołączonych źródeł (6) i (7) i rozładowywania go przez kondensator wejściowego dzielnika kondensatorowego, oraz wyposażony w układ sterujący łącznikami (S1–S7) na podstawie pomiaru parametrów pracy falownika **znamienny tym**, że dwa niezależne źródła napięcia stałego (6) i (7) przyłączone są równolegle do dwóch z trzech kondensatorów dzielnika kondensatorowego (II), w trzech konfiguracjach, gdzie w pierwszej konfiguracji, pierwsze źródło (6) przyłączone jest równolegle do pierwszego kondensatora (1) wejściowego dzielnika kondensatorowego (II), pomiędzy zaciski we1 i we2 oraz drugie źródło (7) do kondensatora trzeciego (3), pomiędzy zaciski we3 i we4, w konfiguracji drugiej, pierwsze źródło (6) przyłączone jest równolegle do pierwszego kondensatora (1) wejściowego dzielnika kondensatorowego (II), pomiędzy zaciski we1 i we2 oraz drugie źródło (7) do kondensatora drugiego (2) pomiędzy zaciski we2 i we3, natomiast w konfiguracji trzeciej pierwsze źródło (6) przyłączone jest równolegle do drugiego kondensatora (2) wejściowego dzielnika kondensatorowego (II) oraz drugie źródło (7) do kondensatora trzeciego (3), pomiędzy zaciski we3 i we4, natomiast w każdej z trzech konfiguracji zespoły równoległego połączenia źródeł energii (6) i (7) oraz jednego z kondensatorów (1), (2) lub (3) rozładowywane są w obwodzie ładowania przełączalnego kondensatora (4), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1–S7) układu wejściowego (I), zaś kondensator przełączany (4) rozładowywany jest w obwodzie ładowania kondensatora, który nie jest połączony równolegle z żadnym z dwóch źródeł energii stałej, utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1–S7), z których każdy połączony jest z odpowiednim wyjściem sterującym cyfrowego układu sterowania.
3. Układ do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropozomowego falownika NPC, w konfiguracji pierwszej, według zastrz. 2 **znamienny tym**, że pierwsze niezależne źródło napięcia stałego (6) przyłączone jest do kondensatora pierwszego (1), pomiędzy zaciski we1 a we2 a drugie niezależne źródło napięcia stałego (7) przyłączone jest do kondensatora trzeciego (3), pomiędzy zaciski we3 i we4 a w układzie wejściowym łącznik S3 stanowi dioda, której katoda połączona jest z zaciskiem we2 a anoda z punktem wspólnego połączenia łączników S5 i S7, natomiast łącznik S4 stanowi dioda, której anoda połączona jest z zaciskiem we3 a katoda z punktem wspólnego połączenia wyjść łączników S6 i S7.
4. Układ do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropozomowego falownika NPC, w konfiguracji drugiej, według zastrz. 2 **znamienny tym**, że pierwsze niezależne źródło napięcia stałego (6) przyłączone jest równolegle do kondensatora pierwszego (1), pomiędzy zaciski we1 i we2 a drugie niezależne źródło napięcia stałego (7) przyłączone jest równolegle do kondensatora drugiego (2), pomiędzy zaciski we2 i we3 a w układzie wejściowym przełącznik S6 stanowi dioda której katoda połączona jest z punktem wspólnego połączenia łączników S4 i S7 a anoda z wejściem kondensatora przełączalnego (4) natomiast przełącznik S2 stanowi dioda której anoda połączona jest z zaciskiem we4 a katoda z wejściem kondensatora przełączalnego (4).

5. Układ do przekształcania energii dwóch niezależnych źródeł napięcia stałego, przyłączonych do czteropoziomowego falownika NPC, w konfiguracji trzeciej, według zastrz. 2 **znamienny tym**, że pierwsze niezależne źródło napięcia stałego (6) przyłączone jest równolegle do kondensatora drugiego (2), pomiędzy zaciski we2 i we3 a drugie niezależne źródło napięcia stałego (7) przyłączone jest równolegle do kondensatora trzeciego (3), pomiędzy zaciski we3 i we4, w układzie wejściowym łącznik S1 stanowi dioda, której katoda połączona jest z zaciskiem we1 a anoda z wejściami elementu indukcyjnego (5) połączonego szeregowo z kondensatorem przełączalnym (4), natomiast przełącznik S5 stanowi dioda, której anoda połączona jest z punktem wspólnego połączenia wyjść łączników S3 i S4 a katoda z wejściami elementu indukcyjnego (5) połączonego szeregowo z kondensatorem przełączalnym (4).

Rysunki

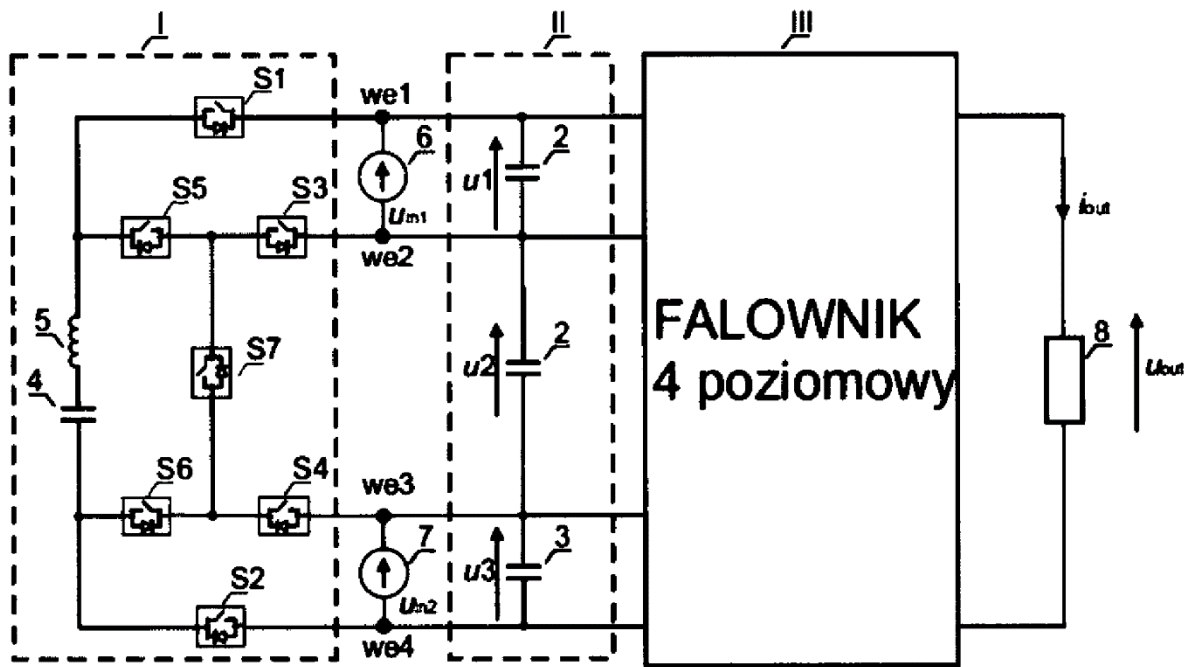


Fig. 1

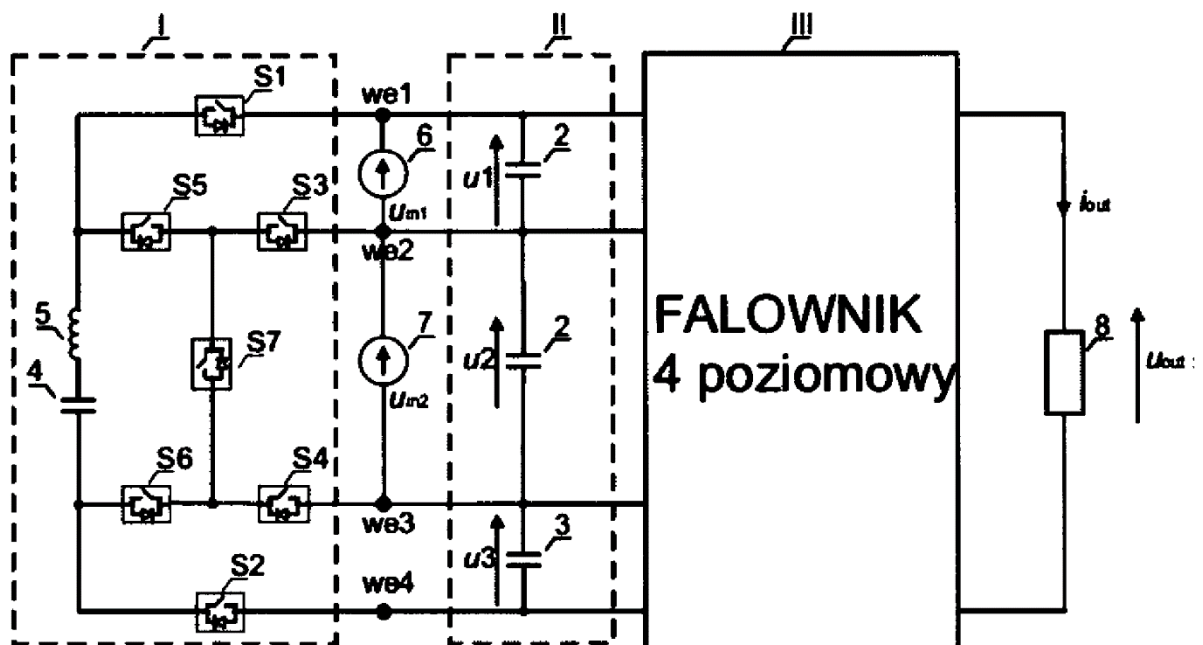


Fig. 2

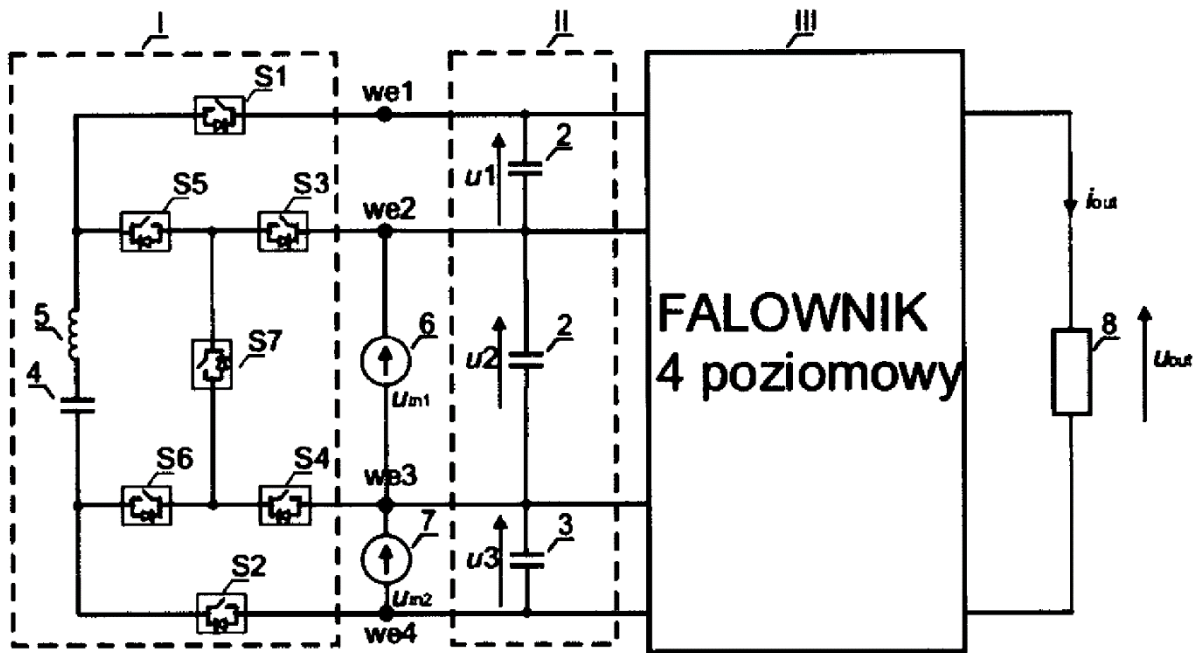


Fig. 3

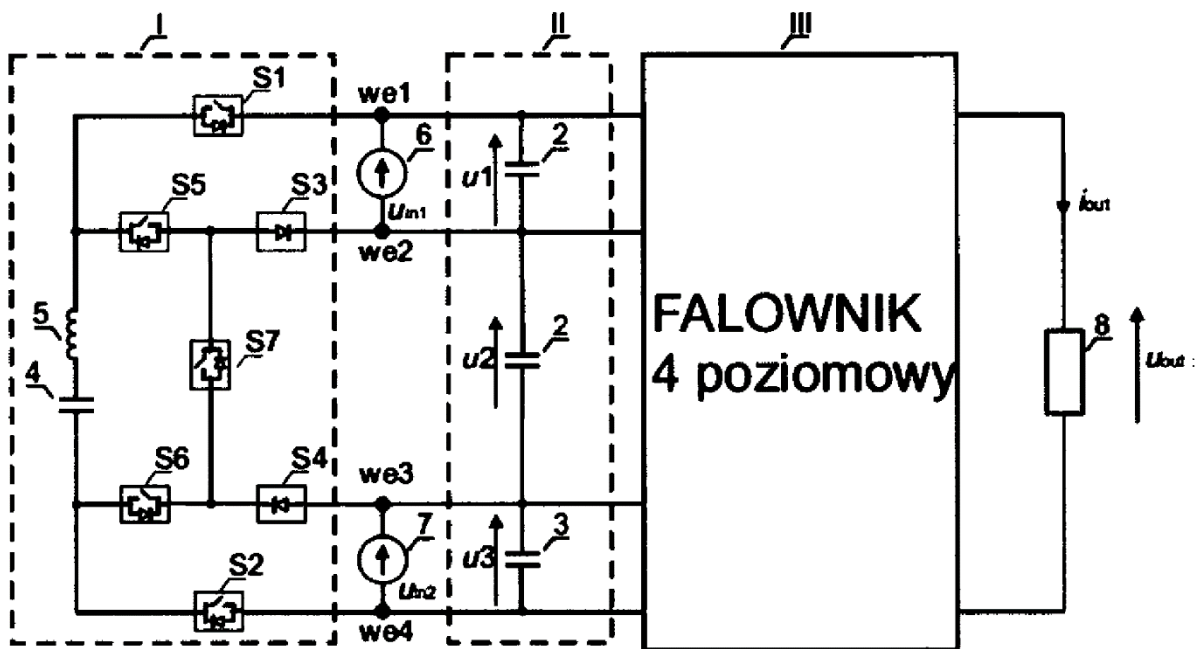


Fig. 4

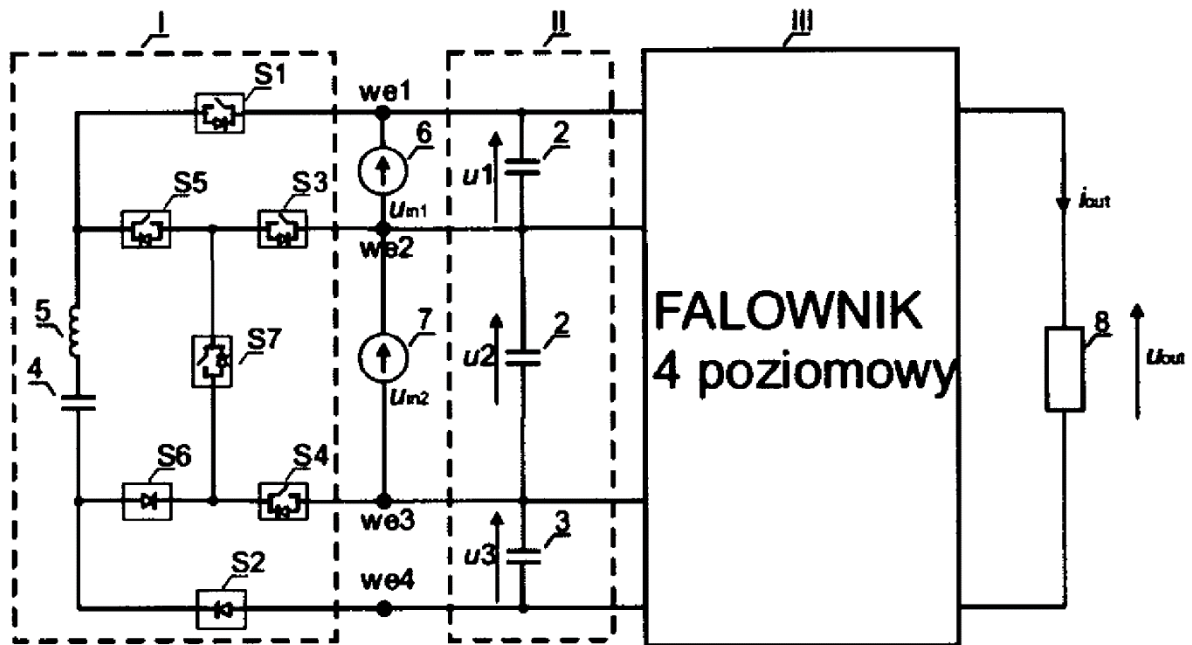


Fig. 5

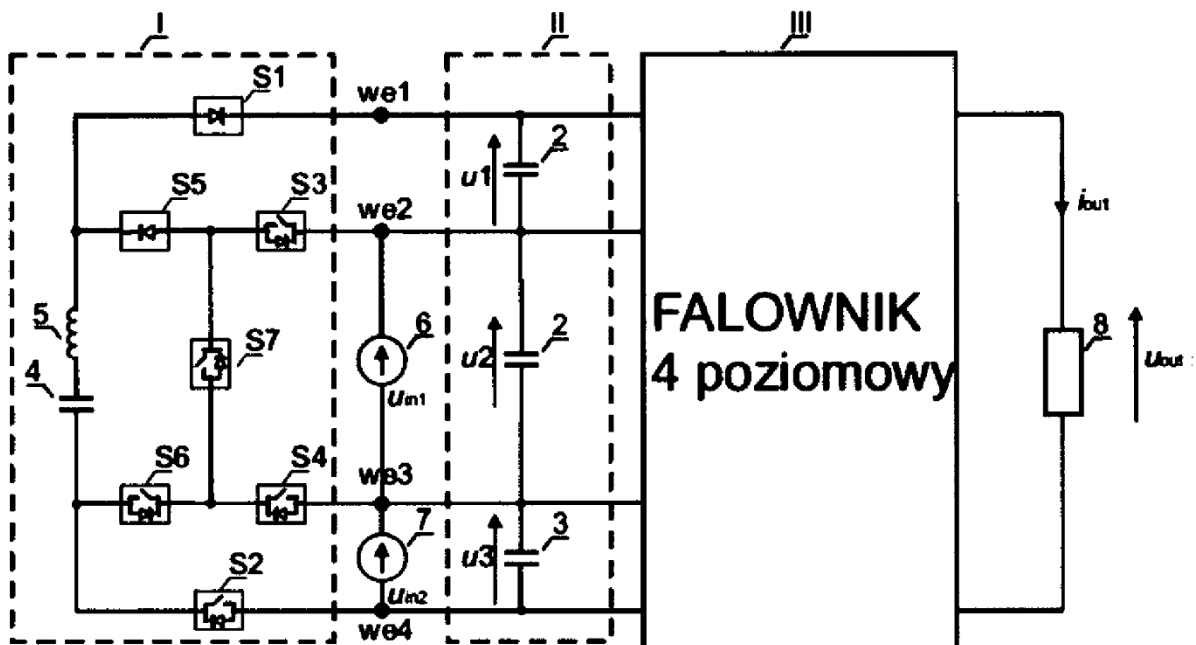


Fig. 6

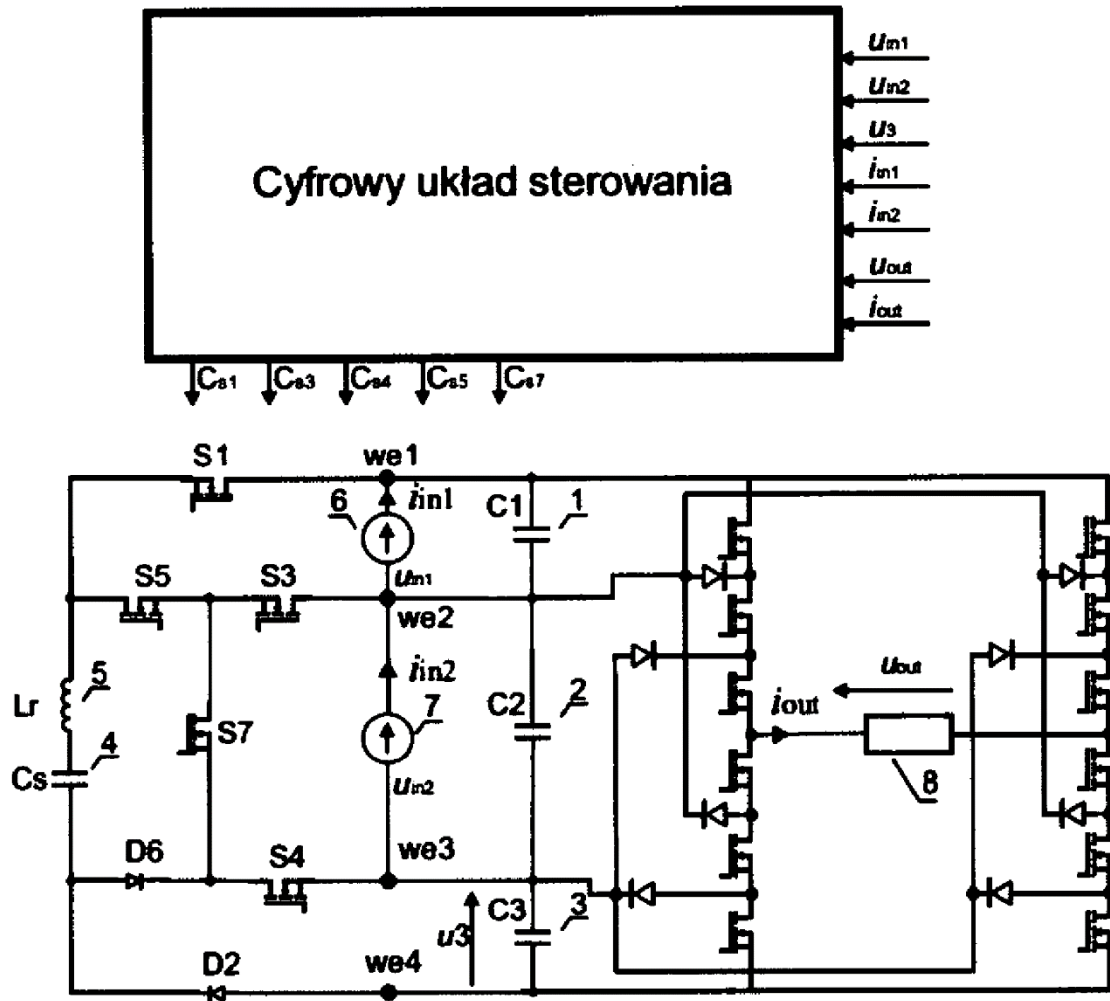


Fig. 7