

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 247984 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **431110**

(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 zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego

PL 247984 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego, np. z zespołu paneli fotowoltaicznych.

Przedmiotem wynalazku jest również układ realizujący proces zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego.

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 trójfazowym 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 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 226636 znany jest układ falownika ze zintegrowanym stopniem podwyższającym napięcie składający się ze źródła napięcia, z identycznych gałęzi fazowych w liczbie o jeden mniejszej od liczby faz napięcia wyjściowego falownika, zawierających w pełni sterowane łączniki półprzewodnikowe oraz zawierający obwód wejściowy w postaci czwórnika składający się

z dwóch dławików, dwóch kondensatorów i jednego półprzewodnikowego łącznika blokującego, zaś ostatnia gałąź fazowa składa się z dwóch w pełni sterowanych łączników półprzewodnikowych o zwiększonej wytrzymałości napięciowo-prądowej i jest połączona swoim początkiem z biegunem ujemnym źródła napięcia oraz dolnym biegunem pierwszego kondensatora, a swoim końcem z końcem drugiego dławika oraz górnym biegunem drugiego kondensatora.

Dla uzyskania napięcia wyjściowego falownika większego od napięcia źródła na wejściu falownika dołącza się dodatkowy stopień przekształcania energii w postaci przekształtnika DC-DC podwyższającego napięcie. Najprostszy układ przekształtnika DC-DC podwyższającego energię zawiera dławik wejściowy połączony z biegunem dodatnim źródła napięcia, w pełni sterowany łącznik półprzewodnikowy czasowo zwierający obwód źródła i dławika, powodując tym samym gromadzenie energii w dławiku i odkładanie się spadku napięcia na dławiku oraz półprzewodnikowy łącznik blokujący przepływ prądu pomiędzy źródłem a falownikiem w czasie procesu podwyższania napięcia. Dla uzyskania korzystnie większego współczynnika podwyższenia napięcia wejściowego falownika w porównaniu z napięciem źródła w stopniu podwyższającym napięcie stosuje się układy przekształtników DC-DC o kombinacjach wielu dławików i kondensatorów.

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 zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego., np. z zespołu paneli fotowoltaicznych.

Celem wynalazku jest określenie sposobu zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC, którego zadaniem jest przekształcenie energii źródła napięcia stałego, dołączonego równolegle do jednego z trzech kondensatorów wchodzących w skład wejściowego dzielnika kondensatorowego stanowiącego układ wejściowy czteropoziomowego falownika NPC oraz opracowanie topologii układu do zwiększania napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC, zasilanego ze źródła napięcia stałego dołączonego równolegle do jednego z trzech kondensatorów wchodzących w skład wejściowego dzielnika kondensatorowego czteropoziomowego falownika NPC.

Istotą wynalazku jest sposób zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC, wyposażonego 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 ze źródła napięcia stałego dołączonego równolegle do jednego z kondensatorów wstępnego dzielnika kondensatorowego czteropoziomowego falownika NPC i rozładowywania go przez kondensatory wejściowego dzielnika kondensatorowego, do których nie jest przyłączone źródło napięcia stałego, poprzez połączenia zestawiane w układzie wejściowym, w wyniku przełączania łączników sterowalnych charakteryzujący się tym, że źródło energii stałej, o zmiennej energii maksymalnej, dołącza się równolegle do jednego z kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego. Mierzy się w sposób ciągły wartości napięć na kondensatorach dzielnika. Zestawia się obwód rozładowania źródła zasilającego przez kondensator przełączany, następnie zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez pierwszy kondensator, wejściowego dzielnika kondensatorowego, niezobocznikowany źródłem napięcia stałego. Po czym zestawia się obwód rozładowania źródła zasilającego przez kondensator przełączany, następnie zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez drugi kondensator, wejściowego dzielnika kondensatorowego, niezobocznikowany źródłem napięcia stałego. Sekwencję rozładowania źródła napięcia stałego i ładowania obu niezobocznikowanych kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego powtarza się i prowadzi się do osiągnięcia jednakowego napięcia na wszystkich kondensatorach wejściowego dzielnika kondensatorowego. Kolejność sekwencji ładowania i rozładowywania kondensatora przełączanego oraz czas trwania poszczególnych sekwencji, realizuje się na podstawie, przeprowadzanej 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. Operację przekazywania ładunku kontynuuje się w zależności od wymaganego obciążenia przyłączonego źródła napięcia stałego.

Istota układu, do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC, zawierającego jedno źródło energii, dołączone równolegle do jednego z trzech kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego, połączonych szeregowo i tworzących układ czterech zacisków wejściowych, czteropoziomowego falownika NPC oraz przyłączony do tych zacisków układ wejściowy, w postaci zespołu siedmiu sterowalnych łączników, łączący czteropoziomowy falownik NPC z gałęzią zawierającą kondensator przełączany, który poprzez odpowiednie przełączanie sterowalnych łączników zestawia konfigurację połączeń układu wejściowego dla przepływu prądu ładowania kondensatora przełączanego ze źródła napięcia stałego i rozładowywania go przez kondensatory wejściowego dzielnika kondensatorowego oraz wyposażony w układ sterowania sterujący łącznikami (S1-S7) na podstawie pomiaru parametrów pracy falownika charakteryzuje się tym, że źródło napięcia stałego przyłączone jest równolegle do jednego z trzech kondensatorów dzielnika kondensatorowego, tworząc trzy konfiguracje. W pierwszej konfiguracji źródła napięcia stałego przyłączone jest, równolegle do pierwszego kondensatora, w konfiguracji drugiej źródło napięcia stałego przyłączone jest, do kondensatora drugiego, natomiast w konfiguracji trzeciej źródła napięcia stałego przyłączone jest do kondensatora trzeciego. Dla każdej z trzech konfiguracji zespół równoległego połączenia źródła energii oraz jednego z kondensatorów rozładowywany jest w obwodzie ładowania przełączanego kondensatora, utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników układu wejściowego. Kondensator przełączany rozładowywany jest w obwodzie ładowania pierwszego kondensatora, niezobciążonego źródłem napięcia stałego, utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników. Rozładowany kondensator przełączany ładowany jest w obwodzie ładowania przełączanego kondensatora, utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników układu wejściowego. Kondensator przełączany rozładowywany jest w obwodzie ładowania drugiego kondensatora, niezobciążonego źródłem napięcia stałego, utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników układu wejściowego. Każdy łącznik układu wejściowego połączony jest z odpowiednim wyjściem sterującym układu sterowania.

W pierwszej konfiguracji źródło napięcia stałego przyłączone jest równolegle do kondensatora pierwszego, a w układzie wejściowym łącznik S3 stanowi dioda D1, której anoda połączona jest z drugim zaciskiem wejściowym falownika a katoda z punktem wspólnego połączenia łączników S5 i S7, natomiast łącznik S2 stanowi dioda D2, której katoda połączona jest z zaciskiem z czwartym zaciskiem wejściowym falownika a anoda z wejściem kondensatora przełączanego.

W konfiguracji drugiej źródło napięcia stałego przyłączone jest równolegle do kondensatora drugiego, a w układzie wejściowym łącznik S1 stanowi dioda D1, której anoda połączona jest z pierwszym zaciskiem wejściowym falownika a katoda z wejściami elementu indukcyjnego połączonego szeregowo z kondensatorem przełączanym, natomiast łącznik S2 stanowi dioda D2 której katoda połączona jest z czwartym zaciskiem wejściowym falownika a anoda z wejściem kondensatora przełączanego.

W konfiguracji trzeciej źródło napięcia stałego przyłączone jest równolegle do kondensatora trzeciego, a w układzie wejściowym łącznik S1 stanowi dioda D1, której anoda połączona jest z pierwszym zaciskiem wejściowym falownika a katoda z wejściami elementu indukcyjnego połączonego szeregowo z kondensatorem przełączanym, natomiast łącznik S4 stanowi dioda D2, której anoda połączona jest z punktem wspólnego połączenia wyjść łączników S6 i S7 a katoda połączona jest z trzecim zaciskiem wejściowym falownika.

Wynalazek ujawnia sposób zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego 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, dającej możliwość uzyskania na wejściu czteropoziomowego falownika NPC napięcia trzy razy większego niż napięcie źródła zasilającego falownik oraz topologię układu do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego 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 zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego

falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego w konfiguracji pierwszej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, Fig. 2 przedstawia uproszczony schemat układu do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC, zasilanego z jednego źródła napięcia stałego w konfiguracji drugiej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, Fig. 3 przedstawia uproszczony schemat układu do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego w konfiguracji trzeciej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, Fig. 4 przedstawia uproszczony schemat układu do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego w konfiguracji pierwszej, z wykorzystaniem uproszczonego układu wejściowego według wynalazku, Fig. 5 przedstawia uproszczony schemat układu do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego w konfiguracji drugiej, z wykorzystaniem uproszczonego układu wejściowego według wynalazku, Fig. 6 przedstawia uproszczony schemat układu do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego w konfiguracji trzeciej, z wykorzystaniem uproszczonego układu wejściowego według wynalazku, natomiast Fig. 7 przedstawia uproszczony schemat blokowo-ideowy układu do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego w konfiguracji pierwszej, 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 niezależne źródło energii do systemu falownika czteropoziomowego z dołączonym układem wejściowym, w postaci gałęzi przełączanego kondensatora i zespołu sterowalnych łączników, umożliwiających przepływ prądu ładowania kondensatora przełączanego z dołączonego źródła i rozładowywania go przez kondensatory wejściowego dzielnika kondensatorowego. Sposób sterowania, polega na przekazywaniu energii z dołączonego źródła, do kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego, które nie są połączone z dołączonym źródłem energii. W sytuacji, jeżeli napięcie na kondensatorach niepołączonych ze źródłem, jest odpowiednio niskie to energia do kondensatorów jest przenoszona z dołączonego źródła energii, przy równoczesnym odbiorze energii ze wszystkich kondensatorów przez falownik. Falownik może również szybciej odbierać energię z tego źródła i z kondensatorów niepołączonego ze źródłem. Falownik może wprowadzać niesymetrię obciążenia kondensatorów wejściowych tak, aby uzyskać napięcia na kondensatorach wejściowego dzielnika kondensatorowego zbliżone do wymaganego a ponadto uzyskać optymalne obciążenie źródła oraz optymalny rozkład napięć wejściowych.

Układ do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego wyposażony jest w 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 (4) z dołączonego źródła (6) i rozładowywania go przez kondensatory wejściowego dzielnika kondensatorowego, usytuowanego na wejściu czteropoziomowego falownika NPC, do których nieprzyłączone jest źródło napięcia stałego.

Układ wejściowy zbudowany jest w następujący sposób:

Kondensator przełączany (4) połączony jest szeregowo z elementem indukcyjnym (5) stanowiącym 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 (we 1) z elementem indukcyjnym (5) oraz gałąź druga łączy wejście drugie dzielnika (we 2) z elementem indukcyjnym (5). Gałąź trzecia łączy wejście trzecie dzielnika (we 3) z kondensatorem (4) oraz gałąź czwarta łączy wejście czwarte dzielnika (we 4) 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 wynalazku zrealizowany został układ, w którym źródło napięcia (6) włączone jest pomiędzy wejścia we 1 i we 2, a uproszczony schemat blokowo-ideowy, w którym wykorzystany jest układ wejściowy według patentu P.421777 zawiera fig. 1 natomiast uproszczony schemat blokowo-ideowy, w którym wykorzystany jest układ wejściowy zmodyfikowany według wynalazku zawiera fig. 4, zaś uproszczony schemat całego układu do zwiększenia napięcia wejściowego czteropozomowego falownika NPC zasilanego z jednego źródła napięcia stałego w konfiguracji pierwszej, z wykorzystaniem znanego układu wejściowego, przedstawiony jest na Fig. 7.

W przypadku zasilania kondensatora (2) 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), zamkniętego łącznika S6 zamkniętego łącznika S7 oraz diody D1 zastępującej łącznik 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 (S6), gałęzi przełączalnej, składającego się z kondensatora (4) oraz elementu indukcyjnego (5) zamkniętego łącznika (S5), diody zastępującej S2 – wpiętego pomiędzy zaciski we2 i we3, do których przyłączony jest ładowany kondensator (2).

W przypadku zasilania kondensatora (3) ze źródła (6) wpiętego pomiędzy zaciski we1 i we2, w cyklu ładowania, zestawiany jest obwód identyczny jak obwód ładowania kondensatora (3) dla zasilania kondensatora (2), natomiast obwód rozładowania gałęzi przełączalnej w postaci połączonego z we3 zamkniętego łącznika S4, zamkniętego łącznika (S7) oraz zamkniętego łącznika (S5) i diody zastępującej S2 – wpiętego pomiędzy zaciski we3 i we4, do których przyłączony jest ładowany kondensator (3).

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

Zestawiony obwód	Łączniki zamknięte	Łączniki otwarte	Element ładowany
Obwód ładowania zespołu przełączanego ze źródła (6)	S1, S6, S7	S5, S4	C (4)
Obwód rozładowania zespołu przełączanego i ładowania kondensatora 2	S4 ,S6,S5,	S1,S7,	C (2)
Obwód rozładowania zespołu przełączanego i ładowania kondensatora 3	S4,S7,S5	S1,S6,	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 zwrotną, natomiast w miejsce łączników S2 i S3 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 czteropoziomowego, 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 nadzrędnego 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.

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 czteropoziomowy falownik NPC.

Wynalazek znajdzie zastosowanie przede wszystkim w instalacjach łączących farmy fotowoltaiczne z siecią niskich napięć odbierającą energię wytworzoną przez łańcuchy ogniw fotowoltaicznych. Rozwiązanie ujawnione w wynalazku umożliwia 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. Źródło energii,
 - 7. 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_N** – napięcie źródła energii 6
- U₁** – napięcie na kondensatorze 1
- U₂** – napięcie na kondensatorze 2
- U₃** – napięcie na kondensatorze 3
- I_N** – prąd źródła 6
- U_{out}** – napięcie na obciążeniu 7
- I_{out}** – prąd płynący przez obciążenie 7

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC, posiadającego cztery wejścia, pomiędzy które włączony jest dzielnik pojemnościowy, składający się z trzech połączonych szeregowo kondensatorów, do których przyłączony jest układ wejściowy, w postaci zespołu sterowalnych łączników, łączący falownik czteropoziomowy z gałęzią zawierającą kondensator przełączany, który jest ładowany ze źródła napięcia stałego, dołączonego równolegle do jednego z trzech kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego i rozładowywany przez kondensatory wejściowego dzielnika kondensatorowego, do których nie jest przyłączone źródło napięcia stałego, poprzez połączenia zestawiane w układzie wejściowym, w wyniku przełączania łączników sterowalnych **znamienny tym**, że źródło energii stałej, o zmiennej energii maksymalnej dołącza się równolegle do jednego z kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego, mierzy się w sposób ciągły wartości napięć na kondensatorach dzielnika, następnie zestawia się obwód rozładowania źródła zasilającego przez kondensator przełączany, z kolei zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez pierwszy kondensator, wejściowego dzielnika kondensatorowego, niezobciążony źródłem napięcia stałego, po czym zestawia się obwód rozładowania źródła zasilającego przez kondensator przełączany, następnie zestawia się obwód rozładowania kondensatora przełączanego przez drugi kondensator, wejściowego dzielnika kondensatorowego, niezobciążony źródłem napięcia stałego, zaś sekwencję rozładowania źródła napięcia stałego i ładowania obu niezobciążonych kondensatorów wejściowego dzielnika kondensatorowego powtarza się i prowadzi się do osiągnięcia jednakowego napięcia na wszystkich kondensatorach wejściowego dzielnika kondensatorowego przy czym kolejność sekwencji ładowania i rozładowywania kondensatora przełączanego 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 zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC (III), zawierający jedno źródło energii (6) dołączone równolegle do jednego z trzech kondensatorów (1), (2) lub (3) wejściowego dzielnika kondensatorowego (II) połączonych szeregowo i tworzących układ czterech zacisków wejściowych we1, we2, we3 i we4, czteropoziomowego falownika NPC (III) oraz przyłączony do tych zacisków układ wejściowy (I) w postaci zespołu siedmiu sterowalnych łączników (S1–S7), łączący czteropoziomowy falownik NPC (III) z gałęzią zawierającą kondensator przełączany (4), który poprzez odpowiednie przełączanie sterowalnych łączników (S1–S7) zestawia konfigurację połączeń układu wejściowego (I) dla przepływu prądu ładowania kondensatora przełączanego (4) ze źródła napięcia stałego (6) i rozładowywania go przez kondensatory wejściowego dzielnika kondensatorowego (II) oraz wyposażony w układ sterowania sterujący łącznikami (S1–S7) na podstawie pomiaru parametrów pracy falownika **znamienny tym**, że źródło napięcia stałego (6) przyłączone jest równolegle do jednego z trzech kondensatorów (1), (2) lub (3) dzielnika kondensatorowego (II), tworząc trzy konfiguracje, gdzie w pierwszej konfiguracji źródła napięcia stałego (6) przyłączone jest, równolegle do pierwszego kondensatora (1), pomiędzy zaciski we1 i we2, w konfiguracji drugiej źródła napięcia stałego przyłączone jest, do kondensatora drugiego (2) pomiędzy zaciski we2 i we3, natomiast w konfiguracji trzeciej źródła napięcia stałego przyłączone jest do kondensatora trzeciego (3), pomiędzy zaciski we3 i we4, natomiast dla każdej z trzech konfiguracji zespół równoległego połączenia źródła energii (6) oraz jednego z kondensatorów (1), (2) lub (3) 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 pierwszego kondensatora, niezobciążonego źródłem napięcia stałego (6), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1–S7), rozładowany kondensator przełączany (4) ładowany 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 drugiego kondensatora, niezobciążonego źródłem napięcia stałego (6), utworzonym przez przełączenie sterowalnych łączników (S1–S7), z których każdy połączony jest z odpowiednim wyjściem sterującym układu sterowania.

3. Układ do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC (III), zasilanego jednym źródłem napięcia stałego (6) w konfiguracji pierwszej, według zastrz. 2 **znamienny tym**, że źródło napięcia stałego (6) przyłączone jest równolegle do kondensatora pierwszego (1), pomiędzy zaciski we1 a we2 a w układzie wejściowym łącznik S3 stanowi dioda D1, której anoda połączona jest z zaciskiem we2 a katoda z punktem wspólnego połączenia łączników S5 i S7, natomiast łącznik S2 stanowi dioda D2, której katoda połączona jest z zaciskiem we4 a anoda z wejściem kondensatora przełączalnego (4).
4. Układ do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC (III), zasilanego jednym źródłem napięcia stałego dołączonego (6) w konfiguracji drugiej, według zastrz. 2 **znamienny tym**, że źródło napięcia stałego (6) przyłączone jest równolegle do kondensatora drugiego (2), pomiędzy zaciski we2 i we3 a w układzie wejściowym łącznik S1 stanowi dioda D1, której anoda połączona jest z zaciskiem we1 a katoda z wejściami elementu indukcyjnego (5) połączonego szeregowo z kondensatorem przełączanym (4) natomiast łącznik S2 stanowi dioda D2 której katoda połączona jest z zaciskiem we4 a anoda z wejściem kondensatora przełączanego (4).
5. Układ do zwiększenia napięcia wejściowego czteropoziomowego falownika NPC(III), zasilanego jednym źródłem napięcia stałego (6), w konfiguracji trzeciej, według zastrz. 2 **znamienny tym**, że źródło napięcia stałego (6) przyłączone jest równolegle do kondensatora trzeciego (3), pomiędzy zaciski we3 i we4, a w układzie wejściowym łącznik S1 stanowi dioda D1, której anoda połączona jest z zaciskiem we1 a katoda z wejściami elementu indukcyjnego (5) połączonego szeregowo z kondensatorem przełączanym (4), natomiast łącznik S4 stanowi dioda D2, której anoda połączona jest z punktem wspólnego połączenia wyjść łączników S6 i S7 a katoda połączona jest z zaciskiem we3.

Rysunki

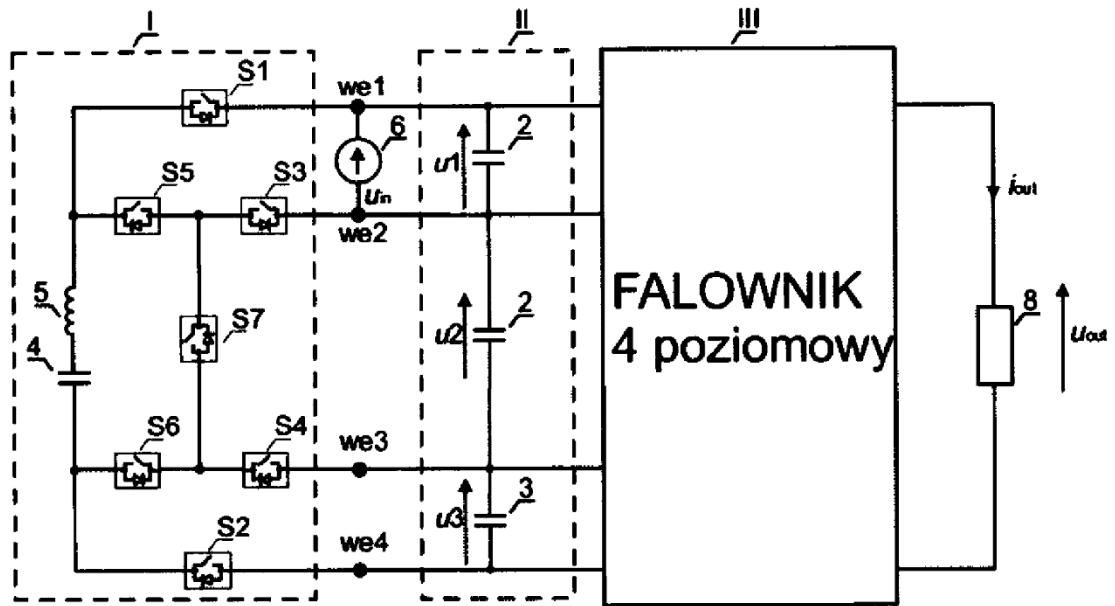


Fig.1

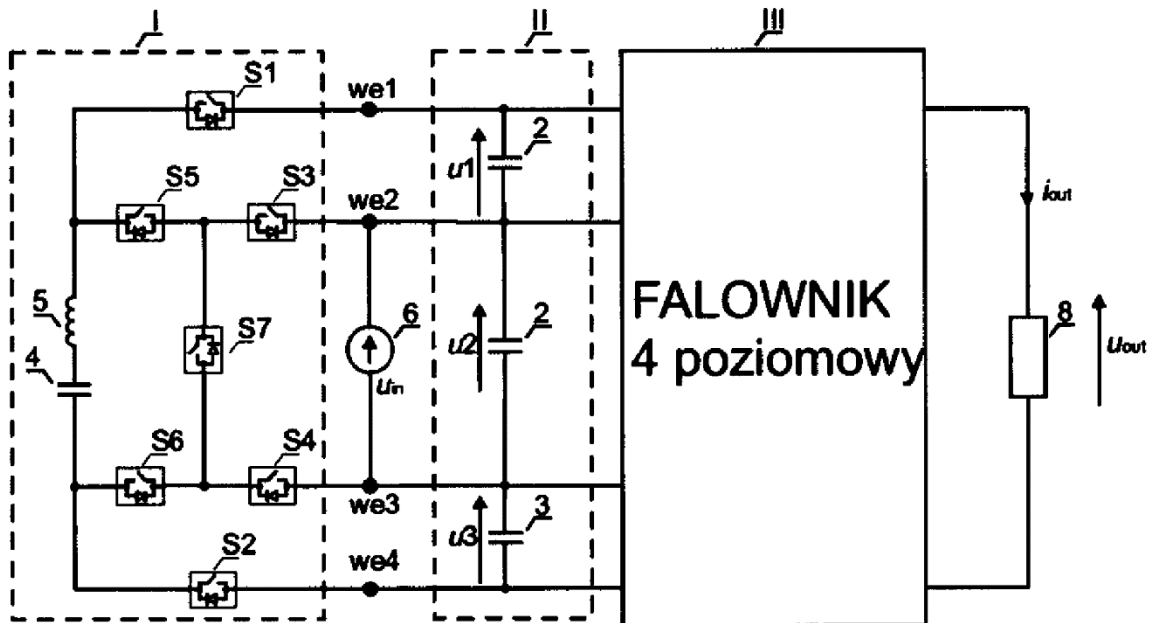


Fig.2

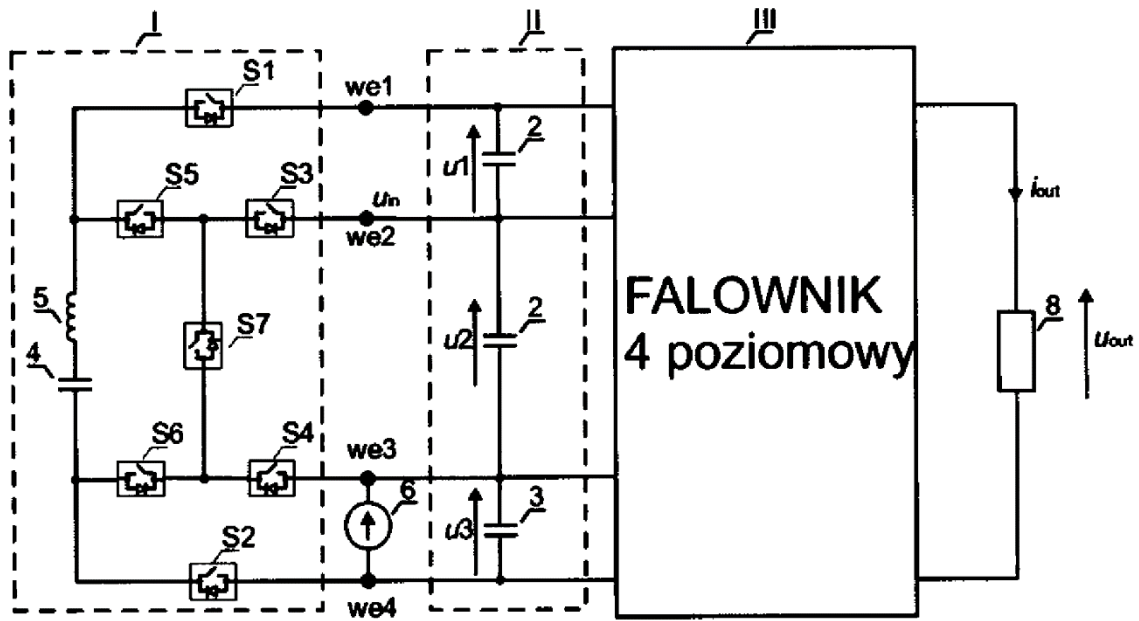


Fig.3

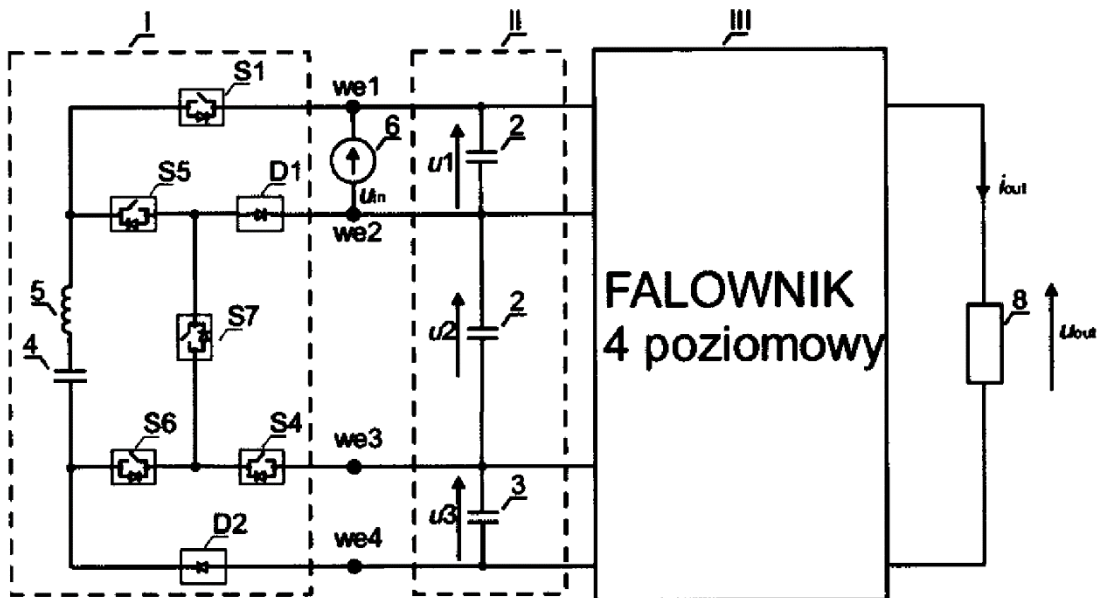


Fig.4

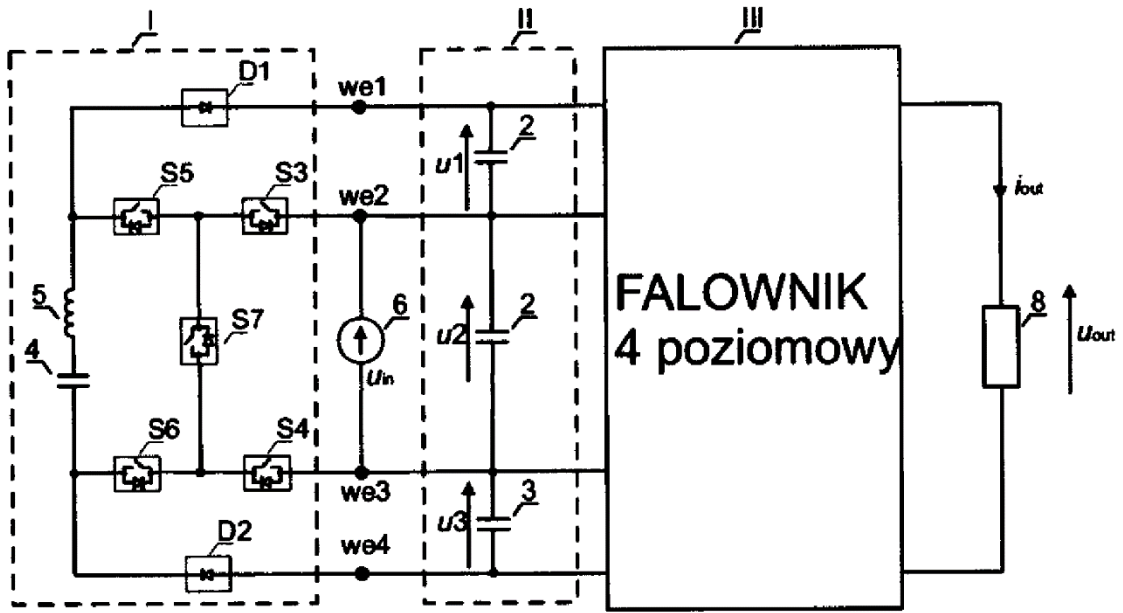


Fig.5

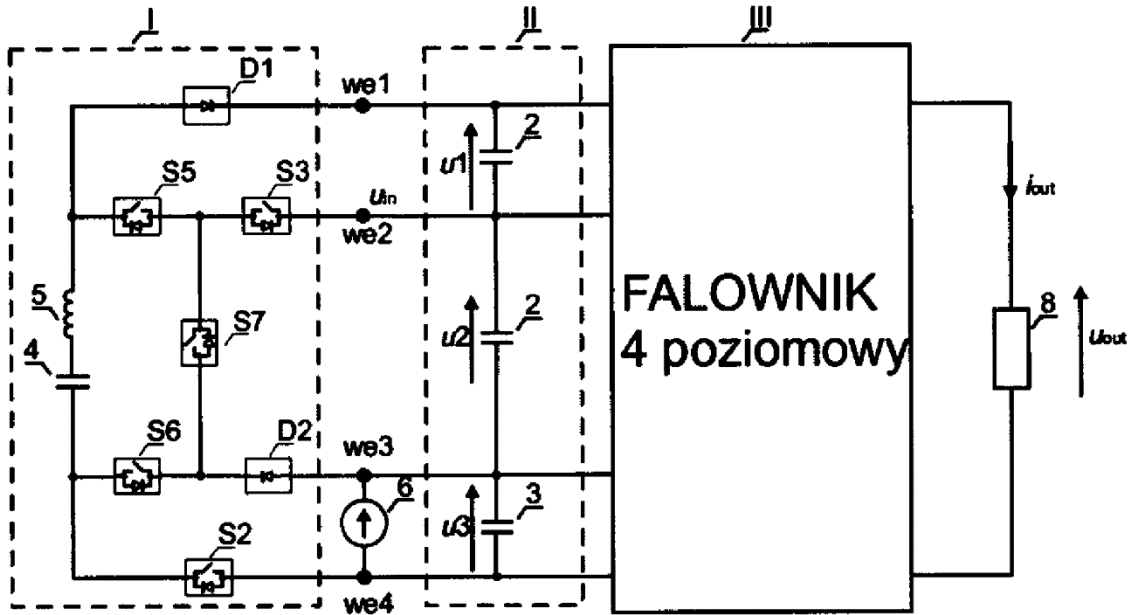


Fig.6

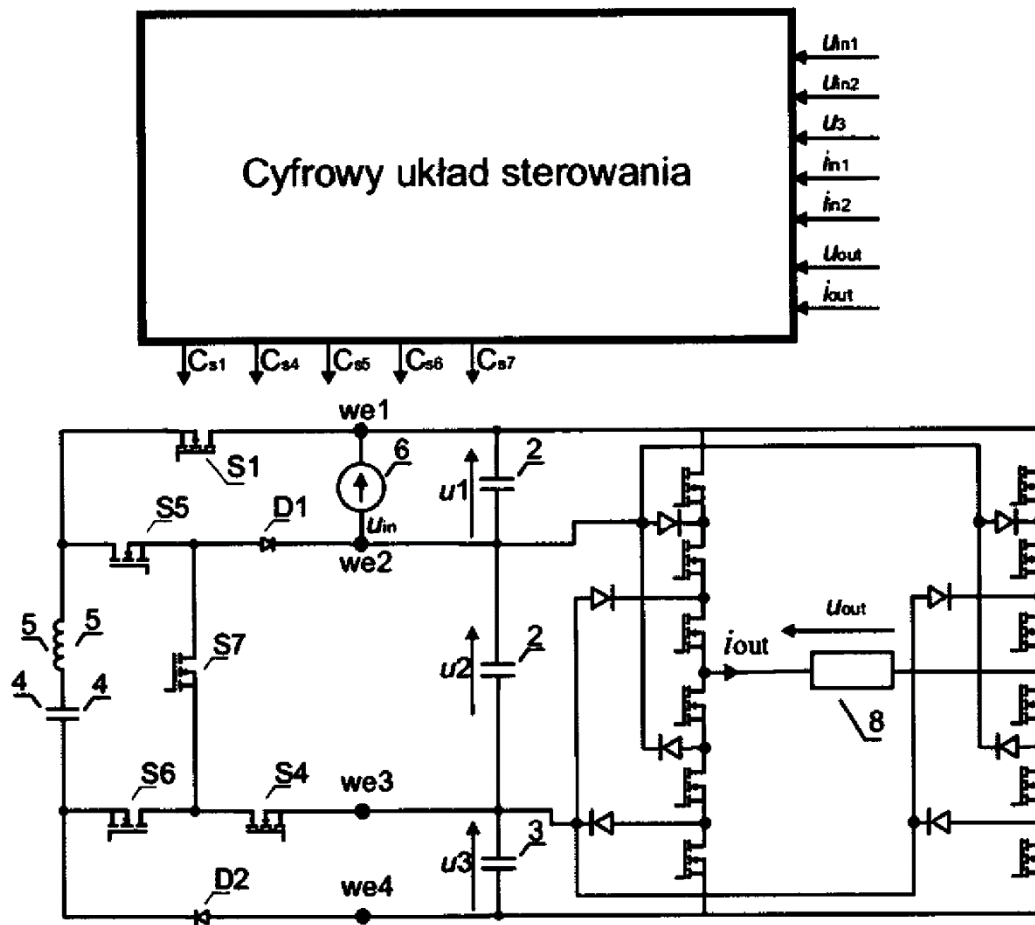


Fig.7