RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **237054**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **427585**

(51) Int.Cl.
H02M 3/335 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **29.10.2018**

(54) **Przekształtnik rezonansowy DC-DC o przełączanych kondensatorach z dzielonym wyjściem**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

04.05.2020 BUP 10/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

08.03.2021 WUP 05/21

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(y) wynalazku:

STANISŁAW PIRÓG, Kraków, PL
ROBERT STALA, Kraków, PL
ADAM PENCZEK, Kraków, PL
ZBIGNIEW WARADZYN, Kraków, PL
ANDRZEJ MONDZIK, Kraków, PL
ALEKSANDER SKAŁA, Oświęcim, PL

PL 237054 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest topologia układu przekształtnika rezonansowego DC-DC o przełączanych kondensatorach z dzielonym wyjściem. Układ służy do przekształcania energii elektrycznej ze źródła o napięciu i prądzie stałym na energię o napięciu i prądzie stałym, projektowany dla szerokiego zakresu obciążeń.

Znane są przekształtniki rezonansowe DC-DC składające się z elementów półprzewodnikowych oraz pasywnych, które umożliwiają przekształcanie energii przez ładowanie i rozładowanie kondensatorów w obwodach konfigurowanych przez łączniki półprzewodnikowe.

Z opisu EP 0257810A2 znany jest układ DC-DC w topologii powielacza napięcia złożony z kondensatorów i łączników. W układzie można wyróżnić stopnie, przy czym każdy stopień układu wykorzystuje trzy lub cztery łączniki i jeden kondensator. Kondensatory ładowane są ze źródła przez załączenie odpowiednich łączników w istniejących stopniach i które mogą następnie zostać dołączone do wyjścia układu, co zapewnia, wartość napięcia wyjściowego większą od napięcia wejściowego według współczynnika proporcji, który zawiera liczbę przełączanych kondensatorów podniesioną o jeden.

Z opisu wynalazku P.421657 znany jest przekształtnik rezonansowy DC-DC o przełączanych kondensatorach, który ma co najmniej dwie komórki połączone równolegle złożone z szeregowo połączonego łącznika ładującego górnego, kondensatora przełączanego, łącznika ładującego dolnego i z łącznika rozładowującego włączonego pomiędzy komórkami. Układ na wyjściu ma łącznik wyjściowy górny i kondensator wyjściowy górny, stanowiący wyjście znanego układu. Ponadto w gałęzi ujemnego bieguna napięcia wejściowego, pomiędzy łącznikiem ładującym dolnym przedostatniej komórki a łącznikiem ładującym dolnym ostatniej komórki, włączony jest łącznik pomocniczy, a pomiędzy ujemnym biegunem napięcia wejściowego i ujemnym biegunem kondensatora wyjściowego dolnego włączona jest dioda dolnego obwodu wyjściowego. Zaciski kondensatora wyjściowego dolnego są wyjściem napięciowym dolnym i wraz z zaciskami kondensatora wyjściowego górnego, będącym wyjściem napięciowym górnym, stanowią wyjście napięciowe przekształtnika rezonansowego.

Celem wynalazku jest opracowanie układu przekształtnika rezonansowego DC-DC o przełączanych kondensatorach z wyjściem dzielonym symetrycznie, mającego elementy półprzewodnikowe, zwłaszcza łączniki, oraz elementy pasywne. Wynalazek do znanej części wejściowej, wprowadza nowe rozwiązania między innymi, dające korzystne uzyskanie symetrycznie podzielonego napięcia w części wyjściowej. Wynalazek dotyczy dwóch wersji znanych topologii układów przekształtnika rezonansowego. Układ w wersji pierwszej zawiera na wejściu co najmniej jeden element indukcyjny wejściowy. Pomiędzy szyną dodatnią a szyną ujemną, ma co najmniej jedną komórkę, zawierającą gałąź, która ma połączone szeregowo, kolejno łącznik ładujący górny, węzeł górny, kondensator przełączany, węzeł środkowy, łącznik ładujący dolny dołączony do szyny ujemnej w węźle. Ponadto ma łącznik rozładowujący pomiędzy węzłem środkowym a szyną dodatnią, w pierwszej komórce, zaś pomiędzy węzłem środkowym a węzłem górnym poprzedzającej komórki w pozostałych komórkach. Na wyjściu ma kondensator górny i kondensator dolny, mające wspólny punkt w węźle środkowym wyjściowym. Układ przekształtnika w wersji drugiej w każdej komórce ma element indukcyjny włączony w gałęzi pomiędzy łącznikiem ładującym górnym a kondensatorem przełączanym, natomiast nie ma na wejściu elementu indukcyjnego wejściowego. Pozostałe, elementy połączone są w znanym układzie tak, jak w pierwszym wymienionym przekształtniku.

Istotą wynalazku w obu przypadkach jest to, że węzeł ostatniej komórki połączony jest z dodatnią okładką kondensatora wyjściowego górnego za pośrednictwem łącznika wyjściowego górnego, a węzeł dolny ostatniej komórki jest połączony z ujemną okładką kondensatora wyjściowego dolnego za pośrednictwem łącznika wyjściowego dolnego. Ponadto węzeł środkowy łączników gałęzi łącznika dzielnika górnego i wyjściowego dolnego, jest połączony z węzłem środkowym wyjściowym w gałęzi kondensatorów wyjściowego górnego i wyjściowego dolnego. Elementy układu są dobrane symetrycznie. Łącznik dzielnika górny i łącznik dzielnika dolny mają takie same parametry, łącznik wyjściowy górny i łącznik wyjściowy dolny mają takie same parametry, kondensator wyjściowy górny i kondensator wyjściowy dolny, mają takie same parametry.

Taka topologia wyjściowej części przekształtnika może być stosowana również do innych, ekwiwalentnych układów przekształtników rezonansowych DC-DC o przełączanych kondensatorach.

Dzięki symetrycznie dzielonemu napięciu wyjściowemu przekształtniki, według wynalazku, mogą zasilać klasyczne trójpoziomowe falowniki typu NPC.

Zaletami układów, jest również to, że uzyskuje się większe wzmocnienie napięciowe niż w przypadku znanych topologii przekształtnika o przełączanych kondensatorach, zbudowanych jedynie z komórek, jakie opisane zostały powyżej, przy porównywalnej liczbie zastosowanych elementów, lub uzyskuje się wymagane wzmocnienie napięciowe przy mniejszej ilości zastosowanych elementów.

Ponadto w przypadku użycia tranzystorów jako łączniki dzielnika wyjściowego zaletą układu jest połączenie emiterów lub źródeł użytych tranzystorów z potencjałem emiterów lub źródeł tranzystorów ładujących w gałęziach z kondensatorami przełączanymi. Dzięki temu tranzystory mogą być sterowane sygnałem bramkowym odniesionym do emiterów i w tym przypadku mogą wykorzystywać wspólne źródło napięcia dla wzmacniaczy impulsów bramkowych. Dla zasilania wszystkich wzmacniaczy impulsów bramkowych w układzie można wykorzystać jedno źródło napięcia i zasilanie bootstrapowe części tranzystorów.

Przekształtnik rezonansowy DC-DC w przykładowych rozwiązaniach przedstawiono na rysunku. Fig. 1 jest schematem blokowym układu w wersji pierwszej, a fig. 2 w wersji drugiej. Fig. 3 i 4 są schematami ideowymi objaśniającymi cykle pracy przekształtnika na przykładzie odpowiadającym wersji pierwszej rozwiązania.

P r z y k ł a d 1

W pierwszej wersji układ ma na wejściu jeden element indukcyjny wejściowy 1. Pomiędzy szyną dodatnią 9 a szyną ujemną 10 ma trzy jednakowe komórki I. Komórka taka zawiera gałąź, która ma połączone szeregowo, kolejno łącznik ładujący górny 2, węzeł górny W1, kondensator przełączany 4, węzeł środkowy W2, łącznik ładujący dolny 3 dołączony do szyny ujemnej 10 w węźle dolnym W3. Ponadto w pierwszej komórce, położonej za elementem indukcyjnym wejściowym 1, ma łącznik rozładowujący 5 pomiędzy węzłem środkowym W2 a szyną dodatnią 9. W pozostałych komórkach łącznik rozładowujący 5 jest włączony pomiędzy węzłem środkowym W2 a węzłem górnym W1 poprzedzającej komórki. Na wyjściu układ ma kondensator górny 8a i kondensator dolny 8b, mające wspólny punkt w węźle środkowym wyjściowym W5. Węzeł W1 ostatniej komórki I połączony jest z dodatnią okładką kondensatora wyjściowego górnego 8a za pośrednictwem łącznika wyjściowego górnego 7a. Węzeł dolny W3 ostatniej komórki I jest połączony z ujemną okładką kondensatora wyjściowego dolnego 8b za pośrednictwem łącznika wyjściowego dolnego 7b. Ponadto węzeł środkowy łączników W4 w gałęzi łączników dzielnika górnego 6a i dolnego 6b jest połączony z węzłem środkowym wyjściowym W5 w gałęzi kondensatora wyjściowego górnego 8a i kondensatora wyjściowego dolnego 8b. Elementy układu są dobrane symetrycznie, odpowiednio, łącznik dzielnika dolny 6a i łącznik dzielnika górny 6b mają takie same parametry, łącznik wyjściowy dolny 7a i łącznik wyjściowy 7b górny mają takie same parametry oraz kondensator wyjściowy górny 8a i kondensator wyjściowy dolny mają takie same parametry.

P r z y k ł a d 2

W drugiej wersji przekształtnik w gałęzi każdej komórki pomiędzy łącznikiem ładującym górnym 2 a kondensatorem przełączanym 4 ma włączony element indukcyjny 11, natomiast nie ma na wejściu elementu indukcyjnego wejściowego 1. Pozostałe, elementy połączone są w układzie tak, jak w pierwszym wymienionym przekształtniku.

Działanie układu polega na takim sterowaniu, aby uzyskać cykliczne ładowanie kondensatorów w komórkach, pokazane na fig. 3, a następnie ich rozładowanie do kondensatora wyjściowego górnego lub dolnego, pokazane na fig. 4 i fig. 5. Symetryczne napięcie wyjściowe będzie zachowane w przypadku doładowywania kondensatora górnego 8a i kondensatora dolnego 8b najkorzystniej w naprzemiennych cyklach, przez sterowanie łączników dzielnika górnego 6a i dolnego 6b.

W przykładowych układach, jako element indukcyjny wejściowy 1 i element indukcyjny 11 zostały zastosowane dławiki o indukcyjności kilku mikrohenrów. Jako kondensatory zastosowano kondensatory foliowe o pojemnościach mikrofaradowych. Jako łączniki ładujące dolne 3, łączniki rozładowujące 5 oraz łączniki dzielnika górnego 6a i dzielnika dolnego 6b zastosowano tranzystory MOSFET, takie jak SIR872 dla łączników rozładowujących 5. Jako łączniki ładujące górne 2 oraz łączniki wyjściowe górny 7a i dolny 7b zastosowano półprzewodnikowe diody szybkie VB60170. Przy napięciu wejściowym U_{in} wynoszącym 50 V uzyskano napięcie wyjściowe U_{out} będące 8-krotnością napięcia wejściowego U_{in}. Napięcie wyjściowe U_{out}, stanowiące sumę napięcia górnego U_{out1} na kondensatorze górnym 8a i napięcia dolnego U_{out2} na kondensatorze dolnym 8b wyniosło około 400 V.

Zastrzeżenia patentowe

1. Przekształtnik rezonansowy DC-DC o przełączanych kondensatorach z dzielonym wyjściem, mający elementy półprzewodnikowe, zwłaszcza łączniki, oraz elementy pasywne, połączone w układzie zawierającym na wejściu co najmniej jeden element indukcyjny wejściowy, oraz pomiędzy szyną dodatnią a szyną ujemną co najmniej jedną komórkę, zawierającą gałąź, która ma połączone szeregowo, kolejno, łącznik ładujący górny, węzeł górny, kondensator przełączany, węzeł środkowy, łącznik ładujący dolny dołączony do szyny ujemnej w węźle dolnym oraz łącznik rozładowujący pomiędzy węzłem środkowym a szyną dodatnią, w pierwszej komórce, zaś pomiędzy węzłem środkowym a węzłem górnym poprzedzającej komórki w pozostałych komórkach, natomiast na wyjściu ma kondensator górny i kondensator dolny, mające wspólny punkt w węźle środkowym wyjściowym, **znamienny tym**, że węzeł górny (W1) ostatniej komórki (I) połączony jest z dodatnią okładką kondensatora wyjściowego górnego (8a) za pośrednictwem łącznika wyjściowego górnego (7a), a węzeł dolny (W3) ostatniej komórki (I) jest połączony z ujemną okładką kondensatora wyjściowego dolnego (8b) za pośrednictwem łącznika wyjściowego dolnego (7b), ponadto węzeł środkowy łączników (W4) w gałęzi łączników dzielnika (6a; 6b) jest połączony z węzłem środkowym wyjściowym (W5) w gałęzi kondensatorów wyjściowych (8a; 8b), przy czym łącznik dzielnika górny (6a) i łącznik dzielnika dolny (6b) mają takie same parametry, łącznik wyjściowy górny (7a) i łącznik wyjściowy dolny (7b) mają takie same parametry, kondensator wyjściowy górny (8a) i kondensator wyjściowy dolny (8b) mają takie same parametry.
2. Przekształtnik rezonansowy DC-DC o przełączanych kondensatorach z symetrycznie dzielonym wyjściem, mający elementy półprzewodnikowe, zwłaszcza łączniki, oraz elementy pasywne, połączone w układzie zawierającym pomiędzy szyną dodatnią a szyną ujemną co najmniej jedną komórkę, zawierającą gałąź, która ma połączone szeregowo kolejno łącznik ładujący górny, węzeł górny, element indukcyjny, kondensator przełączany, węzeł środkowy, łącznik ładujący dolny dołączony do szyny ujemnej w węźle dolnym oraz łącznik rozładowujący pomiędzy węzłem środkowym a szyną dodatnią, w pierwszej komórce, zaś pomiędzy węzłem środkowym a węzłem górnym poprzedzającej komórki w pozostałych komórkach, natomiast na wyjściu ma kondensator wyjściowy górny i kondensator wyjściowy dolny, mające wspólny punkt w węźle środkowym wyjściowym, **znamienny tym**, że węzeł górny (W1) ostatniej komórki (I) połączony jest z dodatnią okładką kondensatora wyjściowego górnego (8a) za pośrednictwem łącznika wyjściowego górnego (7a), a węzeł dolny (W3) ostatniej komórki (I) jest połączony z ujemną okładką kondensatora wyjściowego dolnego (8b) za pośrednictwem łącznika wyjściowego dolnego (7b), ponadto węzeł środkowy łączników (W4) w gałęzi łączników dzielnika (6a; 6b) jest połączony z węzłem środkowym wyjściowym (W5) w gałęzi kondensatorów wyjściowych (8a; 8b), przy czym łącznik dzielnika górny (6a) i łącznik dzielnika dolny (6b) mają takie same parametry, łącznik wyjściowy górny (7a) i łącznik wyjściowy dolny (7b) mają takie same parametry, kondensator wyjściowy górny (8a) i kondensator wyjściowy dolny (8b) mają takie same parametry.

Wykaz oznaczeń

I	komórka
1	element indukcyjny wejściowy
11	element indukcyjny
2	łącznik ładujący górny
3	łącznik ładujący dolny
4	kondensator przełączany
5	łącznik rozładowujący
6a	łącznik dzielnika górny
6b	łącznik dzielnika dolny
7a	łącznik wyjściowy górny
7b	łącznik wyjściowy dolny
8b	kondensator górny
8b	kondensator dolny

9 szyna dodatnia
10 szyna ujemna
W1 węzeł górny (w komórce)
W2 węzeł środkowy (w komórce)
W3 węzeł dolny (w komórce)
W4 węzeł środkowy łączników
W5 węzeł środkowy wyjściowy
U_{in} napięcie wejściowe
U_{out1} napięcie wyjściowe górne
U_{out2} napięcie wyjściowe dolne
U_{out} napięcie wyjściowe

Rysunki

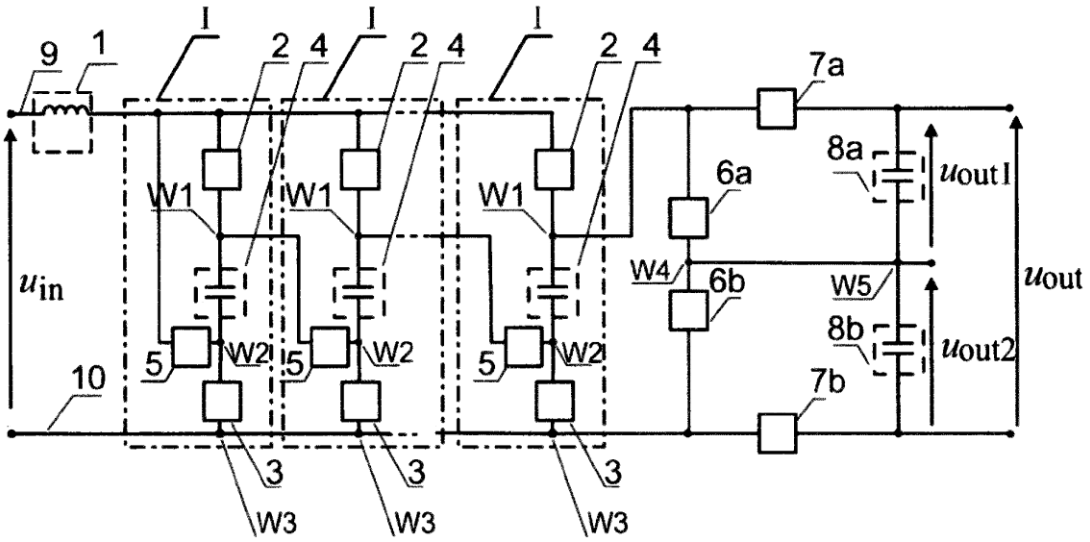

Fig. 1

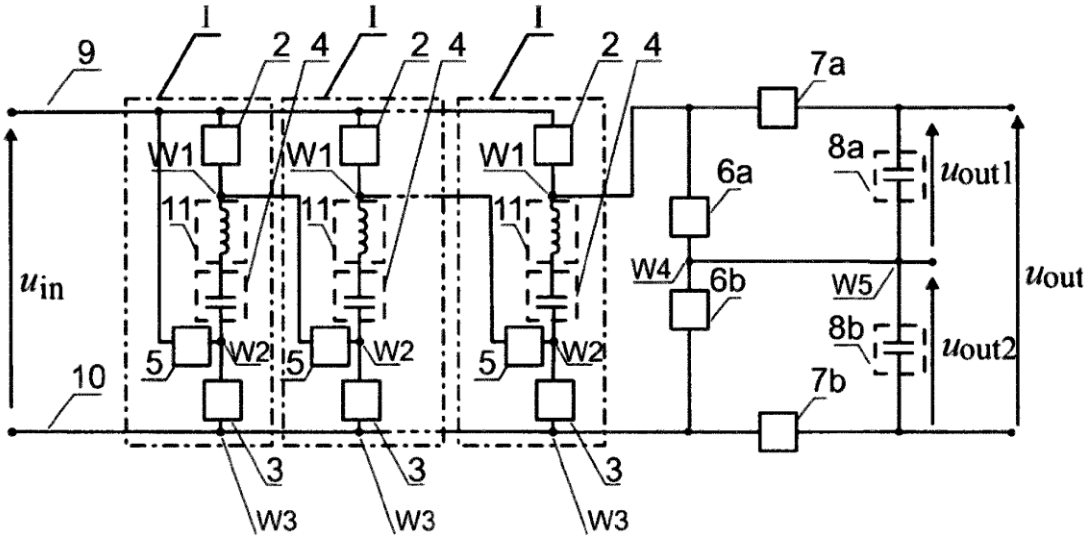

Fig. 2

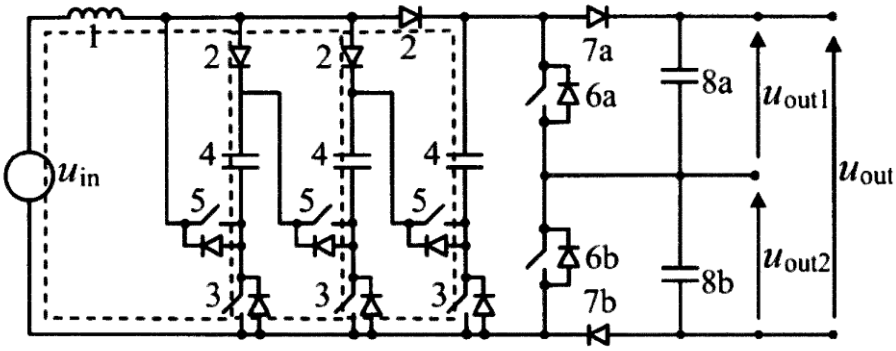

Fig. 3

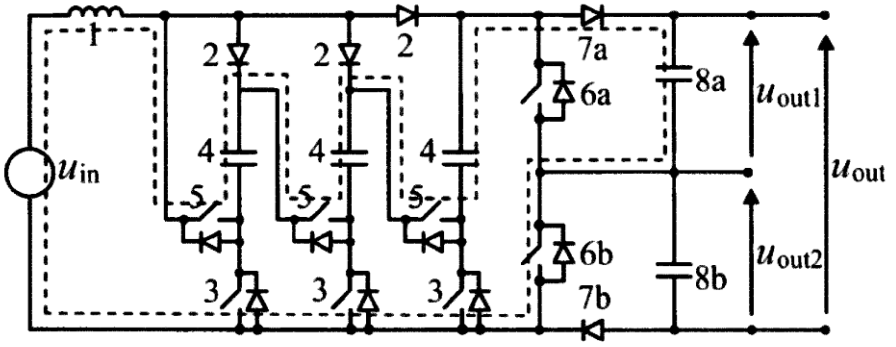

Fig. 4

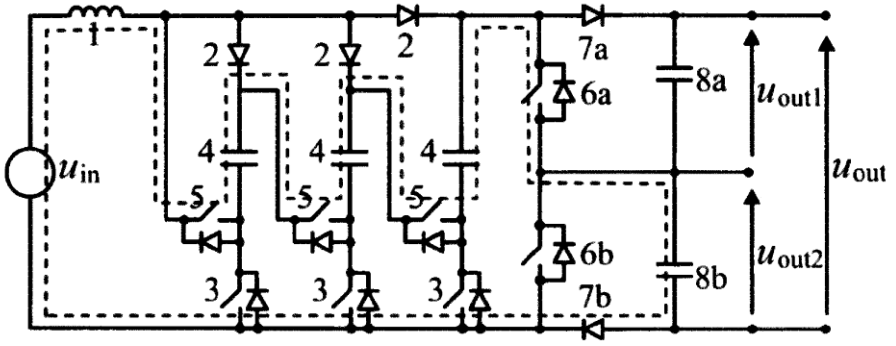

Fig. 5