

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **239302**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **427583**

(51) Int.Cl.

H02M 3/335 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **29.10.2018**

(54) **Przekształtnik rezonansowy DC-DC o przełączanych kondensatorach
i zredukowanej liczbie aktywnych łączników**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
04.05.2020 BUP 10/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
22.11.2021 WUP 34/21

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(y) wynalazku:

ROBERT STALA, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Małgorzata Geissler

PL 239302 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest przekształtnik rezonansowy DC-DC o przełączanych kondensatorach, o zredukowanej liczbie aktywnych łączników. Rozwiązaniem jest topologia układu do przekształcania energii elektrycznej ze źródła o napięciu i prądzie stałym na energię o napięciu i prądzie stałym, projektowany dla szerokiego zakresu obciążeń i zredukowanej liczbie elementów półprzewodnikowych, w stosunku do znanych rozwiązań.

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.

W fazie ładowania kondensatorów prąd płynie ze źródła przez przełączane kondensatory i połączone z nimi łączniki półprzewodnikowe, a w fazie rozładowania przełączanych kondensatorów prąd płynie ze źródła przez szeregowo połączone kondensatory przełączane oraz obwód wyjściowy i łączniki półprzewodnikowe konfigurujące takie połączenie elementów.

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 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. Na wyjściu ma łącznik wyjściowy górny i kondensator wyjściowy górny, stanowiący wyjście znanego układu. Ponadto w gałęzi ujemnego biegunu 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.

Z opisu patentowego PL 225082 pod tytułem Sposób sterowania rezonansowego przekształtnika DC-DC o przełączanych kondensatorach, znany jest układ złożony z komórek, w których znajduje się kondensator i łączniki półprzewodnikowe umożliwiające wzajemne łączenie komórek szeregowo lub równoległe ze źródłem, w cyklach ładowania kondensatorów lub zasilania odbiornika. Według opisanego sposobu wybiera się komórki aktywne w liczbie niezbędnej do uzyskania wymaganego napięcia wyjściowego i w cyklu ładowania, w każdej z komórek aktywnych, za pomocą łącznika ładowania górnego przełącza się kondensator tak iż ładuje się on ze źródła napięcia zasilania. Następnie, w cyklu rozładowania, za pomocą łącznika rozładowania, łączy się kondensatory komórek aktywnych szeregowo ze źródłem napięcia zasilania i doładowuje się kondensator wyjściowy, natomiast nie przełącza się kondensatorów w komórkach nie aktywnych. Na komórki aktywne wybiera się komórki od strony wyjścia przekształtnika.

Znany jest też z opisu patentowego PL 227999 przekształtnik rezonansowy DC-DC o przełączanych kondensatorach. Składa się on z gałęzi, z których każda zawiera szeregowo połączony górny łącznik, kondensator przełączany i dolny łącznik przy czym górne łączniki są przyłączone do dodatniego bieguna, a dolne łączniki do ujemnego bieguna. Pomiedzy dodatnim biegunem a węzłem między kondensatorem przełączanym i dolnym łącznikiem w pierwszej gałęzi, ma włączony dławik i łącznik wejściowy. Pomiedzy węzłem między górnym łącznikiem i kondensatorem przełączanym w ostatniej gałęzi, a dodatnim biegunem ma włączony łącznik wyjściowy, za którym ma kondensator wyjściowy. Ponadto ma połączenie bezpośrednie galwaniczne węzła między górnym łącznikiem i kondensatorem przełączanym jednej gałęzi z węzłem między kondensatorem przełączanym i dolnym łącznikiem kolejnej gałęzi. Przekształtnik, równoległe do kondensatorów przełączanych ma dołączone diody skierowane katodą do węzła między kondensatorem przełączanym i łącznikiem górnym.

Celem rozwiązania jest uzyskanie przekształtnika energii elektrycznej podwyższającego napięcie, w którym wzmocnienie napięcia jest analogiczne jak w znanych rozwiązaniach, jednak przy wykorzystaniu mniejszej liczby elementów półprzewodnikowych.

Przekształtnik rezonansowy DC-DC, według wynalazku, ma połączone równolegle komórki zawierające półprzewodnikowe łączniki ładowujące i rozładowujące oraz elementy pasywne. Wejście jest dołączane do źródła napięcia stałego, a napięcie wyjściowe odbierane na kondensatorze wyjściowym. W szynie dodatniej napięcia, przed gałęzią kondensatora wyjściowego włączony jest łącznik wyjściowy. Istotą układu jest to, że od strony wejścia ma co najmniej jeden zespół złożony z komórki pierwszego rodzaju i komórki drugiego rodzaju, a jako ostatnią ma komórkę pierwszego rodzaju. Komórka pierwszego rodzaju składa się z gałęzi zawierającej elementy pasywne, najkorzystniej szeregowo z dławikiem i kondensatorem, i z gałęzi zawierającej półprzewodnikowy łącznik rozładowujący, dołączone wspólnie poprzez łącznik ładowujący dolny do szyny pośredniej. Komórka drugiego rodzaju ma gałąź z elementami pasywnymi, najkorzystniej dławikiem i kondensatorem, dołączoną bezpośrednio do szyny ujemnej. Ponadto w szynie dodatniej pomiędzy gałęziami komórki pierwszego rodzaju włączone są łączniki ładowujące górne pierwsze. Przed komórką drugiego rodzaju czyli pomiędzy gałęziami komórki pierwszego rodzaju i komórki drugiego rodzaju włączone są łączniki ładowujące górne drugie. Pomiedzy szyną pośrednią a szyną ujemną włączony jest łącznik pośredni ładowania. Kondensator wyjściowy włączony jest pomiędzy szynę dodatnią i szynę ujemną napięcia.

Możliwym jest zastąpienie w komórkach pierwszego rodzaju łączników ładowujących dolnych łącznikami pośrednimi pierwszymi i dołączenie każdego z nich bezpośrednio do szyny ujemnej, a usunięcie szyny pośredniej i łącznika pośredniego.

Układ, według wynalazku, umożliwia przekształcanie energii przez cykliczne ładowanie i rozładowanie kondensatorów przełączanych w obwodach konfigurowanych za pomocą łączników półprzewodnikowych. W cyklu ładowania kondensatorów przełączanych komórek pierwszego rodzaju prąd płynie ze źródła do komórki pierwszej od strony źródła, a do pozostałych kondensatorów komórek pierwszego rodzaju z kondensatorów poprzedzających je komórek drugiego rodzaju. Kondensator komórki drugiego rodzaju, najbliższej od strony źródła ładowany jest ze źródła połączonego szeregowo z kondensatorem pierwszej komórki pierwszego rodzaju. Kondensatory pozostałych komórek drugiego rodzaju oraz kondensator wyjściowy ładowane są z kondensatora poprzedniej komórki drugiego rodzaju połączonego szeregowo z kondensatorem poprzedniej komórki pierwszego rodzaju.

W proponowanym rozwiązaniu bardzo korzystna jest redukcja liczby niezbędnych elementów do realizacji przekształtnika energii elektrycznej, co zwłaszcza przy dużej ilości gałęzi w układzie, znacznie obniża jego koszt. Przykładowo w układzie o wzmocnieniu napięciowym równym 8, proponowany w niniejszym zgłoszeniu wynalazek umożliwia redukcję liczby niezbędnych tranzystorów z 8 na 4, co jest istotną korzyścią w stosunku do znanego rozwiązania.

Przekształtnik rezonansowy DC-DC w przykładowych rozwiązaniach przedstawiono na rysunku. Fig. 1 jest schematem blokowym układu w przykładzie 1. Fig. 2 jest schematem blokowym układu w przykładzie 2. Fig. 3 i 4 są schematami ideowymi objaśniającymi sposób sterowania przekształtnika.

P r z y k ł a d 1

Przekształtnik pomiędzy szyną dodatnią 8 i szyną ujemną 9 napięcia wejściowego, ma połączone równolegle komórki zawierające półprzewodnikowe łączniki ładowujące i rozładowujące oraz elementy pasywne. Wejście jest dołączane do źródła napięcia stałego u_{in} , a napięcie wyjściowe u_{out} odbierane jest na kondensatorze wyjściowym 7. W szynie dodatniej 8, przed gałęzią z kondensatorem wyjściowym 7 włączony jest łącznik wyjściowy 2c. Układ od strony wejścia ma jeden zespół złożony z komórki pierwszego rodzaju I i komórki drugiego rodzaju II, a jako ostatnią ma komórkę pierwszego rodzaju I. Komórka pierwszego rodzaju I składa się z gałęzi zawierającej jako elementy pasywne dławik 1 i kondensator przełączany pierwszy 4a, i z gałęzi zawierającej półprzewodnikowy łącznik rozładowujący 5 dołączone wspólnie poprzez łącznik ładowujący dolny 3 do szyny pośredniej 10. Komórka drugiego rodzaju II ma gałąź zawierającą dławik 1 i kondensator przełączany drugi 4b, dołączoną bezpośrednio do szyny ujemnej 9. Ponadto w szynie dodatniej 8 pomiędzy gałęziami komórki pierwszego rodzaju I włączone są łączniki ładowujące górne pierwsze 2a. Przed komórką drugiego rodzaju czyli pomiędzy gałęziami komórki pierwszego rodzaju I i komórki drugiego rodzaju II, włączone są łączniki ładowujące górne drugie 2b. Pomiedzy szyną pośrednią 10 a szyną ujemną 9 włączony jest łącznik pośredni 6 ładowania. Kondensator wyjściowy włączony jest pomiędzy szynę dodatnią 8 i szynę ujemną 9.

P r z y k ł a d 2

W tym przykładzie w komórkach pierwszego rodzaju I łączniki ładowujące dolne 3 zastąpione zostały łącznikami pośrednimi pierwszymi 6" i połączone bezpośrednio do szyny ujemnej 9. Usunięta została szyna pośrednia 10 i łącznik pośredni 6.

Celem objaśnienia działania przekształtnika, według wynalazku, przedstawiono rozwiązanie, pokazane na fig. 3 i 4, w którym przekształtnik ma jeden zespół komórek pierwszego i drugiego rodzaju oraz jako ostatnią ma komórkę pierwszego rodzaju.

Ze źródła o napięciu stałym 50 V dołączonego do wejścia układu u_{in} , po załączeniu łączników półprzewodnikowych, pośredniego 6, ładujących górnych pierwszych 2a; oraz łączników ładujących dolnych 3, ładowane są kondensatory przełączane pierwsze 4a w komórkach pierwszego rodzaju I ze źródła w przypadku pierwszej komórki pierwszego rodzaju lub z kondensatora w komórce drugiego rodzaju II w przypadku drugiej komórki pierwszego rodzaju. Po zakończeniu ładowania kondensatorów przełączanych, wyłączany jest łącznik pośredni 6 oraz łączniki górne pierwsze 2 i łączniki ładujące dolne 3. Z opóźnieniem wymaganym dla zastosowanych elementów półprzewodnikowych załączane będą łączniki rozładowujące 5, oraz łącznik wyjściowy 2c. Od tego momentu może nastąpić rozładowanie połączonych szeregowo kondensatorów przełączanych pierwszych 4a w komórkach pierwszego rodzaju I i równoczesne ładowanie kondensatorów przełączanych drugich 4b w komórkach drugiego rodzaju II ze źródła napięcia wejściowego u_{in} oraz kondensatora wyjściowego 7. Napięcie wyjściowe układu jest zbliżone do wartości proporcjonalnej do 2^n liczby przełączanych kondensatorów oraz napięcia wejściowego: $U_{out} = 2^n U_{in}$. W tym przykładzie napięcie na wyjściu przekształtnika wyniesie około 200 V.

W tabeli poniższej pokazano zastosowane w przykładzie wykonania elementy i zmierzone napięcia. Elementy stosowane w innych wykonaniach, również według wynalazku, pokazano w ostatniej kolumnie tabeli.

oznaczenie	nazwa użyta w opisie	zastosowany element	inne możliwe elementy
1	element o charakterze indukcyjnym	dławiki o indukcyjności kilku mikrohenrów	
2a 2b 2c 3	łącznik ładujący górny pierwszy łącznik ładujący górny drugi łącznik wyjściowy łącznik ładujący dolny	dioda szybka	tranzystor lub tyrysttor
4a 4b	kondensator przełączany pierwszy kondensator przełączany drugi	kondensatory foliowe	kondensatory ceramiczne
5 6	łącznik rozładowujący łącznik pośredni	tranzystory MOSFET	tranzystor IGBT, SiC, GaN, tyrysttor,
6''	łącznik pośredni pierwszy	tranzystory MOSFET	tranzystor IGBT, SiC, GaN, tyrysttor
7	kondensator wyjściowy	foliowe i elektrolityczne	kondensatory ceramiczne
u_{in}	napięcie stałe o wartości 50 V		
u_{out}	napięcie stałe o wartości ok. 350 V		

Wykaz oznaczeń

I komórka pierwszego rodzaju

II komórka drugiego rodzaju

1. element o charakterze indukcyjnym – dławik
2. a – łącznik ładujący górny pierwszy (w komórkach pierwszego rodzaju)
b – łącznik ładujący górny drugi (przed komórkami drugiego rodzaju)
c – wyjściowy
3. łącznik ładujący dolny
4. kondensator przełączany
a – pierwszy (w komórkach pierwszego rodzaju)
b – drugi (w komórkach drugiego rodzaju)
5. łącznik rozładowujący
6. łącznik pośredni
- 6" łącznik pośredni pierwszy
7. kondensator wyjściowy
8. szyna dodatnia
9. szyna ujemna
10. szyna pośrednia

U_{in} wejście napięciowe (źródło)/ napięcie wejściowe

U_{out} wyjście napięciowe przekształtnika /napięcie wyjściowe

Zastrzeżenia patentowe

1. Przekształtnik rezonansowy DC-DC o przełączanych kondensatorach i zredukowanej liczbie aktywnych łączników mający połączone równolegle komórki, które zawierają półprzewodnikowe łączniki ładujące i rozładowujące oraz elementy pasywne, w którym ostatnia gałąź zawiera jeden kondensator wyjściowy, a w szynie dodatniej, przed gałęzią kondensatora wyjściowego włączony jest łącznik wyjściowy, **znamienny tym**, że od strony wejścia ma co najmniej jeden zespół złożony z komórki pierwszego rodzaju (I) i komórki drugiego rodzaju (II), a na wyjściu jako ostatnią ma komórkę pierwszego rodzaju (I), przy czym komórka pierwszego rodzaju (I) składa się z gałęzi zawierającej elementy pasywne (1; 4a) i z gałęzi zawierającej łącznik rozładowujący (5) dołączone wspólnie poprzez łącznik ładujący dolny (3) do szyny pośredniej (10), komórka drugiego rodzaju (II) ma gałąź z elementami pasywnymi (1; 4b) dołączoną bezpośrednio do szyny ujemnej (9), ponadto przekształtnik w szynie dodatniej (8) pomiędzy gałęziami komórki pierwszego rodzaju (I) ma łączniki ładujące górne pierwsze (2a) a przed komórką drugiego rodzaju ma łączniki ładujące górne drugie (2b), zaś pomiędzy szyną pośrednią (10) a szyną ujemną (9) włączony jest łącznik pośredni (6), natomiast kondensator wyjściowy (7) włączony jest pomiędzy szynę dodatnią (8) i szynę ujemną (9).
2. Przekształtnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że elementami pasywnymi w gałęzi komórki pierwszego rodzaju (I) jest element o charakterze indukcyjnym (1) oraz kondensator przełączany pierwszy (4).
3. Przekształtnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że elementami pasywnymi w gałęzi komórki drugiego rodzaju (II) jest element o charakterze indukcyjnym (1) oraz kondensator przełączany drugi (4b).
4. Przekształtnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w każdej komórce pierwszego rodzaju (I) łącznikiem ładującym dolnym jest łącznik pośredni pierwszy (6") dołączony bezpośrednio do szyny ujemnej (9).

Rysunki

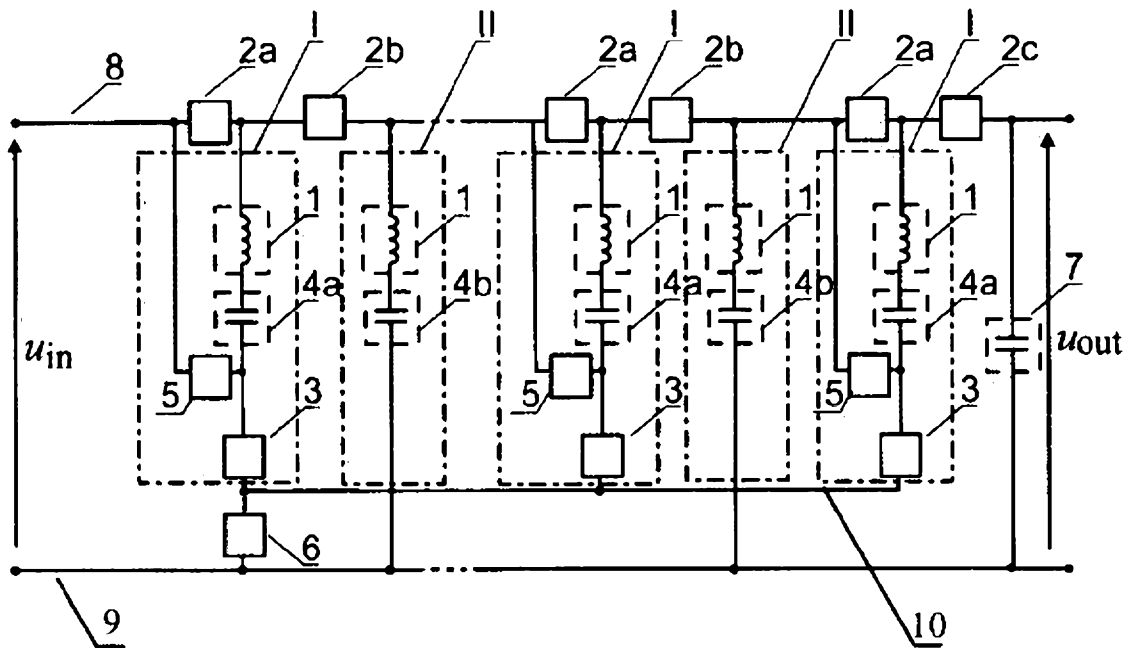


Fig 1.

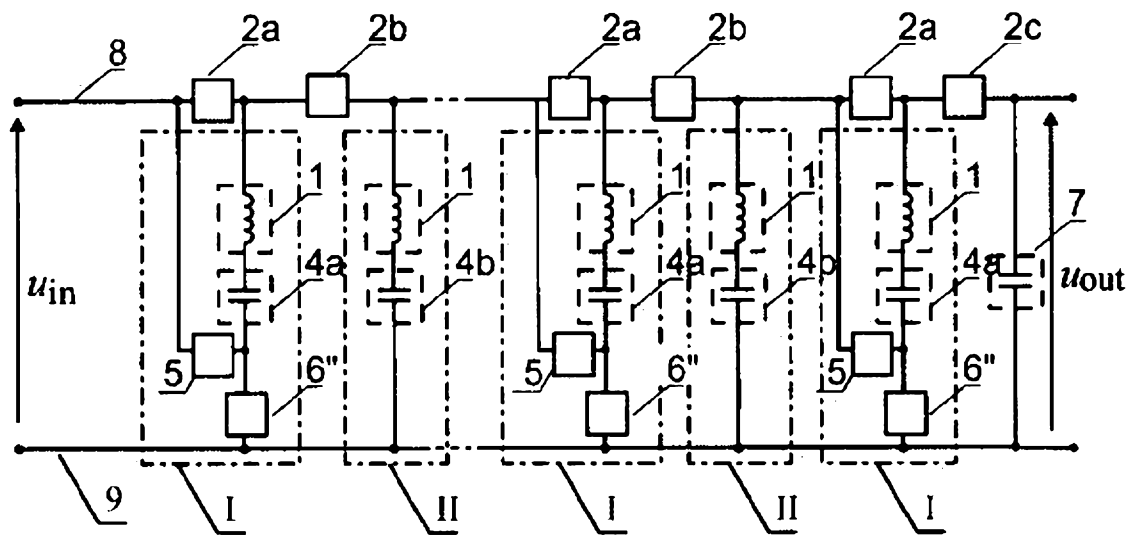


Fig 2.

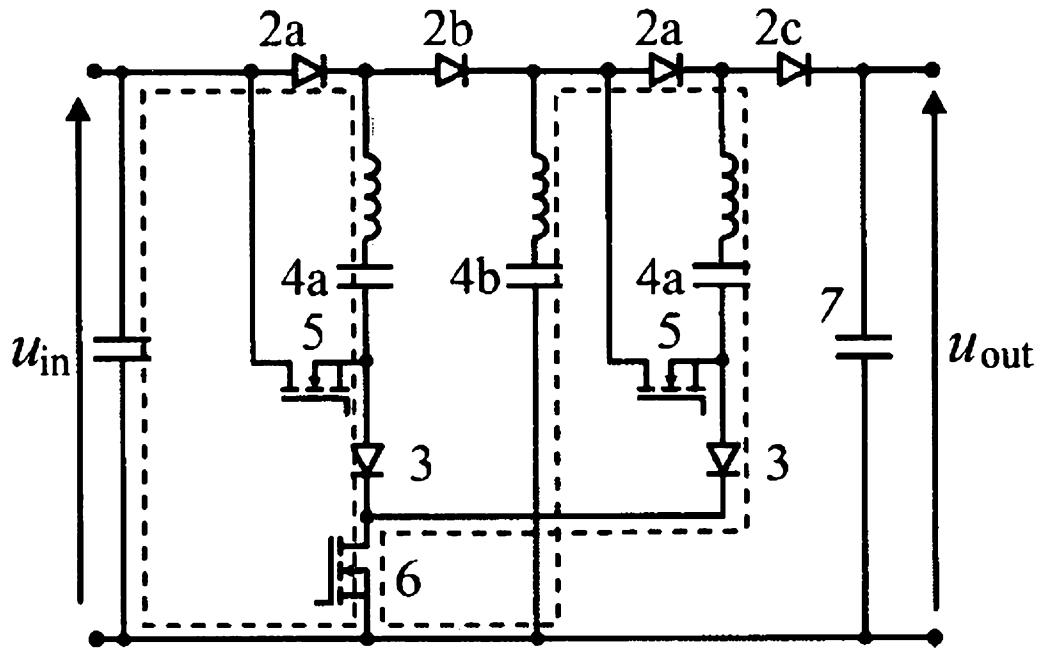


Fig 3.

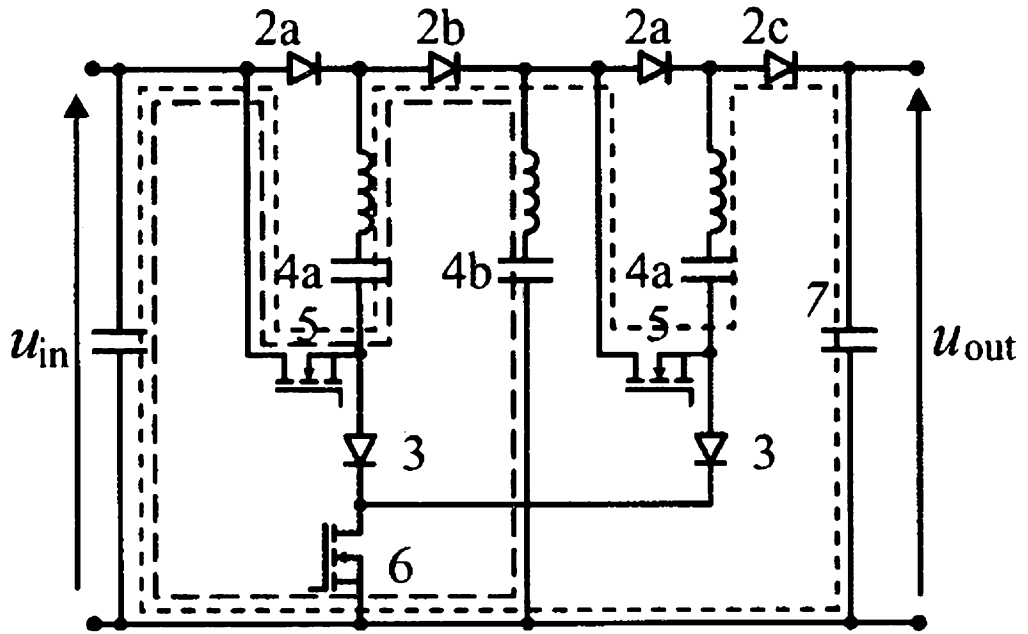


Fig 4