

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **226676**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **412894**

(51) Int.Cl.

**H02M 3/335 (2006.01)**

**H01F 27/24 (2006.01)**

**H01F 27/28 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **29.06.2015**

(54)

**Przetwornica izolacyjna**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**02.01.2017 BUP 01/17**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.08.2017 WUP 08/17**

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(y) wynalazku:

**CEZARY WOREK, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**recz. pat. Adam Pawłowski**

**PL 226676 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest przetwornica izolacyjna.

Przetwornice DC-DC zapewniające wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe (rzędu pojedynczych, a nawet kilkunastu kV) i są powszechnie stosowane w systemach pomiarowych, w falownikach do zasilania bramek tranzystorów pracujących na wysokim potencjale oraz w systemach, w których oddzielenie galwaniczne obwodów związane jest z bezpieczeństwem maszyn i ludzi. Obszary zastosowań obejmują pracę w strefach zagrożonych wybuchem, medycynę, awionikę, elektronikę przemysłową, itp.

Z publikacji amerykańskich zgłoszeń patentowych nr US 2010 0 026 095, nr US 2011 0 278 927 znane są wielowyjściowe przetwornice izolacyjne zawierające transformatory, do których przyłączone są stopnie wyjściowe, jak również sposób regulacji napięcia wyjściowego, w którym uniemożliwia się wzrost napięcia gdy napięcie wyjściowe osiąga wartość progową. Rozwiązanie to wykorzystuje układy sterowanych prostowników wyjściowych co w znacznym stopniu komplikuje układ i z tego powodu jego praktyczne wykorzystanie ogranicza się do układów o dużych mocach wyjściowych. Dodatkowo transformator wyjściowy oparty na pojedynczym rdzeniu ma klasyczną budowę i w związku z tym trudno jest osiągnąć wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe oraz małe pojemności pasożytnicze pomiędzy wejściem a wyjściem przetwornicy.

Z publikacji patentu amerykańskiego nr US 6 373 736 znana jest przetwornica izolacyjna zawierająca planarny transformator, który obejmuje wielowarstwową płytkę z obwodem drukowanym zawierającą uzwojenia pierwotne i wtórne rozmieszczone współosiowo po dwóch stronach płytki, jak również rdzeń umieszczony w obrębie uzwojeń. Planarny transformator wyjściowy pozwala na wysoki poziom integracji, niemniej trudno jest osiągnąć w nim wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe oraz małe pojemności pasożytnicze pomiędzy wejściem a wyjściem przetwornicy.

Z publikacji amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US 2004 0 179 383 znana jest przetwornica wielowyjściowa zawierająca podłoże półprzewodnikowe z uformowanym na nim półprzewodnikowym układem scalonym, cienkowarstwowym elementem magnetycznym oraz kondensatorem. Niedogodnością takiego rozwiązania jest możliwość wykorzystania go praktycznie wyłącznie w układach scalonych, a przez małe odległości izolacyjne jego odporność na przebicia napięciowe jest niewielka.

Z publikacji amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US 2013 0 300 210 znany jest nadawczy układ rezonansowy, który zawiera kondensator połączony szeregowo z uzwojeniem nadawczym oraz odbiorczy układ rezonansowy, który zawiera kondensator połączony szeregowo z uzwojeniem odbiorczym. Niedogodnością takiego rozwiązania jest duży stopień komplikacji, który praktycznie eliminuje możliwość zastosowania go w układach małej mocy.

Z publikacji amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US 2014 0 177 291 znany jest samowzbudzalny konwerter typu push-pull, który zawiera układ Royer'a, w którym dodatkowo zastosowano induktor włączony pomiędzy terminal nadawczy układu Royer'a a środkową część uzwojeń pierwotnych transformatora, przy czym indukcyjność wspomnianego induktora wynosi mniej niż 1/10 indukcyjności jednego z uzwojeń pierwotnych transformatora. Dedykowany jest on do układów małej mocy, jednak transformator wyjściowy oparty jest na pojedynczym rdzeniu i ma klasyczną budowę, a w związku z tym trudno jest osiągnąć wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe oraz małe pojemności pasożytnicze pomiędzy wejściem a wyjściem przetwornicy. Dodatkowo, ze względu na samowzbudny charakter pracy układu poziom emisji zaburzeń elektromagnetycznych jest w nim wysoki.

Z publikacji amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US 2014 0 354 384 znany jest rdzeń magnetyczny transformatora, który zawiera zamknięty pierścień, w którym można wyróżnić część grubą i część cienką. Część cienka osiąga nasycenie magnetyczne przed nasyceniem części grubej, gdy obydwie są wzbudzone tymi samymi rosnącymi polami magnetycznymi. Rozwiązanie to ma podobne wady do opisanego powyżej, choć poprawiono w nim sprawność energetyczną w szerszym zakresie zmian obciążenia.

Z publikacji patentu amerykańskiego nr US 5 442 534 znana jest przetwornica zawierająca dwie nieizolowane pętle sprzężenia zwrotnego, jedną po stronie pierwotnej do regulacji względem zmian napięcia wyjściowego, a drugą po stronie wtórnej do regulacji względem zmian prądu obciążenia, wynalazek rozwiązanie to wykorzystuje odseparowane układy sterowników po stronie pierwotnej i wtórnej, co w znacznym stopniu komplikuje układ i z tego powodu jego praktyczne wykorzystanie

ogranicza się do układów o dużych mocach wyjściowych. Dodatkowo, transformator wyjściowy oparty na pojedynczym rdzeniu ma klasyczną budowę i w związku z tym trudno jest osiągnąć wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe oraz małe pojemności pasożytnicze pomiędzy wejściem a wyjściem przetwornicy.

Istniejące konstrukcje przetwornic izolacyjnych wymagają dalszych usprawnień. W szczególności, celowym byłoby opracowanie przetwornicy izolacyjnej zapewniającej wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem i poszczególnymi wyjściami oraz pomiędzy poszczególnymi wyjściami. Dodatkowo wskazane byłoby zapewnić możliwość pracy przetwornicy, szczególnie z małymi mocami, bez pętli sprzężenia zwrotnego z obwodów wyjściowych, tzn. bez bloku izolacji galwanicznej, w celu obniżenia kosztów produkcji przetwornicy oraz zapewnić niski poziom emisji zaburzeń elektromagnetycznych.

Przedmiotem wynalazku jest przetwornica izolacyjna DC-DC do przetwarzania napięcia stałego wejściowego na napięcie stałe wyjściowe, zawierająca falownik do przetwarzania napięcia stałego wejściowego na napięcie zmienne, układ kształtujący napięcie zmienne i układ prostujący ukształtowane napięcie zmienne na napięcie stałe wyjściowe. Przetwornica charakteryzuje się tym, że układ kształtujący zawiera moduł izolacyjny, zawierający: obwód magnetyczny wejściowy zawierający kształtkę ferromagnetyczną wejściową, na którą nawinięte jest uzwojenie wejściowe przyłączone do kształtowanego napięcia zmiennego; obwód magnetyczny wyjściowy zawierający kształtkę ferromagnetyczną wyjściową, na którą nawinięte jest uzwojenie wyjściowe połączone z układem prostującym, przy czym kształtka ferromagnetyczna wyjściowa jest odizolowana elektrycznie od kształtki magnetycznej wejściowej; przy czym obwód magnetyczny wejściowy jest sprzęgnięty z obwodem magnetycznym wyjściowym za pomocą uzwojenia sprzęgającego, które jest nawinięte na kształtkę magnetyczną wejściową i kształtkę magnetyczną wyjściową z zachowaniem odległości pomiędzy uzwojeniem sprzęgającym a uzwojeniem wejściowym, kształtką magnetyczną wejściową, kształtką magnetyczną wyjściową i uzwojeniem wyjściowym nie mniejszych niż odległość izolacyjna; przy czym współczynnik sprzężenia  $k$  pomiędzy uzwojeniem wejściowym a uzwojeniem wyjściowym jest mniejszy niż 0,75.

Korzystnie, moduł izolacyjny zawiera ponadto co najmniej jeden dodatkowy obwód wyjściowy zawierający dodatkową kształtkę ferromagnetyczną wyjściową, na którą nawinięte jest dodatkowe uzwojenie wyjściowe przyłączone do dodatkowych zacisków wyjściowych przetwornicy, przy czym dodatkowa kształtka ferromagnetyczna wyjściowa jest odizolowana elektrycznie od kształtki magnetycznej wejściowej, a obwód magnetyczny wejściowy jest sprzęgnięty z dodatkowym obwodem magnetycznym wyjściowym za pomocą dodatkowego uzwojenia sprzęgającego, które jest nawinięte na dodatkową kształtkę magnetyczną wejściową i kształtkę magnetyczną wyjściową z zachowaniem odległości izolacyjnych pomiędzy dodatkowym uzwojeniem sprzęgającym a uzwojeniem wejściowym, kształtką magnetyczną wejściową, dodatkową kształtką magnetyczną wyjściową i dodatkowym uzwojeniem wyjściowym

Korzystnie, przetwornica jest przetwornicą wielowyjściową, zawierającą co najmniej jeden dodatkowy moduł izolacyjny połączony szeregowo z pierwszym modułem izolacyjnym.

Korzystnie, kształtka ferromagnetyczna wejściowa i/lub co najmniej jedna kształtka ferromagnetyczna wyjściowa zawiera szczelinę.

Korzystnie, współczynnik sprzężenia  $k$  pomiędzy uzwojeniem wejściowym a uzwojeniem wyjściowym jest mniejszy niż 0,4.

Korzystnie, do uzwojenia wyjściowego przyłączony jest równolegle kondensator rezonansowy.

Korzystnie, przetwornica jest przetwornicą typu push-pull, w której moduł izolacyjny jest przyłączony w przekątnej półmostka zawierającego parę kluczy tranzystorowych przyłączonych do układu sterownika do sterowania kluczami.

Korzystnie, przetwornica jest przetwornicą zaporową typu flyback, w której moduł izolacyjny jest przyłączony z jednej strony do jednego z zacisków napięcia wejściowego a z drugiej poprzez klucz tranzystorowy do drugiego zacisku napięcia wejściowego, przy czym klucz tranzystorowy przyłączony jest do układu sterownika do sterowania kluczem.

Korzystnie, przetwornica jest półmostkową przetwornicą rezonansową, w której moduł izolacyjny jest przyłączony w przekątnej półmostka zawierającego parę kluczy tranzystorowych jako indukcyjny element reaktancyjny szeregowego obwodu rezonansowego, w którym elementami pojemnościowymi są kondensatory  $i$ , i która zawiera układ sterownika do sterowania przyłączonymi do niego kluczami tranzystorowymi.

Korzystnie, przetwornica jest półmostkową przetwornicą rezonansową, w której moduł izolacyjny jest przyłączony w przekątnej półmostka zawierającego parę kluczy tranzystorowych jako indukcyjny element reaktancyjny szeregowego obwodu rezonansowego, w którym elementami pojemnościowymi są kondensatory i, i która zawiera układ sterownika do sterowania przyłączonymi do niego kluczami tranzystorowymi.

Korzystnie, przetwornica jest półmostkową przetwornicą rezonansową z szeregowo-równoległym obwodem rezonansowym, w której pierwszy moduł izolacyjny jest przyłączony w przekątnej półmostka zawierającego parę kluczy tranzystorowych jako indukcyjny element reaktancyjny szeregowo-równoległego obwodu rezonansowego, w którym elementami pojemnościowymi obwodu szeregowego są kondensatory i, natomiast dodatkowy moduł izolacyjny jest przyłączony szeregowo z pierwszym modulem izolacyjnym jako równoległy indukcyjny element reaktancyjnego obwodu rezonansowego, przy czym elementem pojemnościowym równoległego obwodu rezonansowego jest kondensator, a przetwornica zawiera układ sterownika do sterowania przyłączonymi do niego kluczami tranzystorowymi.

Korzystnie, przetwornica jest półmostkową przetwornicą rezonansową, w której układ dopasowania impedancyjnego do dopasowania impedancyjnego modułu izolacyjnego, który to układ dopasowania impedancyjnego podłączony jest do falownika złożonego z zespołu kluczy tranzystorowych oraz do modułu izolacyjnego, przy czym wyjścia modułu izolacyjnego podłączone są do dodatkowych układów dopasowania impedancyjnego oraz do dopasowania impedancyjnego wyjścia modułu izolacyjnego do obciążenia, przy czym przetwornica zawiera układ sterownika do sterowania przyłączonymi do niego kluczami tranzystorowymi.

Korzystnie, przetwornica jest przetwornicą rezonansową, w której układ dopasowania impedancyjnego jest przystosowany do dopasowania impedancyjnego modułu izolacyjnego podłączonego do falownika złożonego z klucza tranzystorowego, dławika oraz elementu pojemnościowego tworzącego układ falownika pracującego w klasie E oraz do modułu izolacyjnego, przy czym wyjścia modułu izolacyjnego podłączone są do dodatkowych układów dopasowania impedancyjnego oraz do dopasowania impedancyjnego wyjścia modułu izolacyjnego do obciążenia, przy czym przetwornica zawiera układ sterownika do sterowania przyłączonym do niego kluczem tranzystorowym.

Rozwiązanie według wynalazku zapewnia wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem i poszczególnymi wyjściami oraz pomiędzy poszczególnymi wyjściami przetwornicy. Dodatkowo zapewnia możliwość pracy przetwornicy bez pętli sprzężenia zwrotnego z obwodów wyjściowych, tzn. bez bloku izolacji galwanicznej (IB). Dzięki temu pętla sprzężenia zwrotnego stabilizuje pracę przetwornicy na podstawie pomiarów parametrów z bloków (CS), (VS) lub obu jednocześnie, pozwalając uniknąć stosowania, szczególnie dla wysokich napięć, kosztowego bloku izolacji galwanicznej IB i pozwala otrzymać ekstremalnie małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem a wyjściem przetwornicy.

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym:

- figura 1 przedstawia pierwszy przykład wykonania modułu izolacyjnego;
- figura 2 przedstawia drugi przykład wykonania modułu izolacyjnego;
- figura 3 przedstawia trzeci przykład wykonania modułu izolacyjnego;
- figura 4 przedstawia czwarty przykład wykonania modułu izolacyjnego;
- figura 5 przedstawia piąty przykład wykonania modułu izolacyjnego;
- figura 6 przedstawia szósty przykład wykonania modułu izolacyjnego;
- figura 7 przedstawia siódmy przykład wykonania modułu izolacyjnego;
- figura 8 przedstawia ósmy przykład wykonania modułu izolacyjnego;
- figura 9 przedstawia pierwszy przykład wykonania układu jednowyjściowej przetwornicy izolacyjnej;
- figura 10 przedstawia drugi przykład wykonania układu jednowyjściowej przetwornicy izolacyjnej;
- figura 11 przedstawia trzeci przykład wykonania układu jednowyjściowej przetwornicy izolacyjnej;
- figura 12 przedstawia pierwszy przykład wykonania układu wielowyjściowej przetwornicy izolacyjnej;
- figura 13 przedstawia drugi przykład wykonania układu wielowyjściowej przetwornicy izolacyjnej;
- figura 14 przedstawia trzeci przykład wykonania układu wielowyjściowej przetwornicy izolacyjnej;
- figura 15 przedstawia czwarty przykład wykonania układu wielowyjściowej przetwornicy izolacyjnej.

Figura 1 przedstawia pierwszy przykład wykonania modułu izolacyjnego IM. Moduł ten zawiera odizolowane elektrycznie od siebie dwie kształtki ferromagnetyczne 121, 123. Kształtki 121, 123 mają kształt toroidalny, owalny lub inny kształt tworzący zamknięty obwód magnetyczny i mogą być wykonane z litych kształtek lub jako złożenie kilku kształtek, przykładowo kształtek typu U i/lub typu I. Moduł zawiera obwód magnetyczny wejściowy MC1 zawierający kształtkę wejściową 121, na którą nawinięte jest uzwojenie wejściowe 111. Ponadto, moduł zawiera obwód magnetyczny wyjściowy zawierający kształtkę wyjściową 123, na którą nawinięte jest uzwojenie wyjściowe 113. Obwód magnetyczny wejściowy jest sprzęgnięty z obwodem magnetycznym wyjściowym MC2 za pomocą uzwojenia sprzęgającego 112. Elementy modułu izolacyjnego IM są dobrane tak, aby współczynnik sprzężenia  $k$  pomiędzy uzwojeniem wejściowym 111 a uzwojeniem wyjściowym 113 był mniejszy niż 0,75, a w układach, w których obwód wtórny i pierwotny jest sprzęgnięty rezonansowo korzystniej mniejszy niż 0,4. Taki współczynnik można uzyskać poprzez rozproszenie pola magnetycznego od uzwojeń 111 do uzwojeń 113 na odpowiednio wysokim poziomie, przykładowo poprzez zastosowanie rdzeni o stosunkowo niedużej przenikalności względnej, przykładowo  $\mu_R < 10$  i/lub odpowiednio nawinąć uzwojenie sprzęgające 112, przykładowo wykonując względnie dużą (rozproszoną) pętlę, tak aby powierzchnia pętli była co najmniej 10-krotnie większa od powierzchni rdzenia.

Ważnym jest, aby odległości:  $d_1$  (pomiędzy uzwojeniem wejściowym 111 a uzwojeniem sprzęgającym 112),  $d_2$  i  $d_3$  (pomiędzy uzwojeniem sprzęgającym 112 a kształtką wejściową 121),  $d_4$  i  $d_5$  (pomiędzy uzwojeniem sprzęgającym 112 a kształtką wyjściową 123) oraz  $d_6$  (pomiędzy uzwojeniem sprzęgającym 112 a uzwojeniem wyjściowym 113) były nie mniejsze niż odległość izolacyjna dla danych warunków pracy przetwornicy, zgodnie z odpowiednimi normami, na przykład IEC 60950-1, IEC 60079-11, IEC 60601 -1, EC 61010-1.

Uzwojenie sprzęgające 112 w przedstawionym tu przykładzie wykonania ma postać ósemki, to znaczy tworzy jeden zwój otaczający kształtkę wejściową 121 i jeden zwój otaczający kształtkę wyjściową 123. Możliwe jest również zastosowanie uzwojeń sprzęgających 112 zawierających wiele zwojów, przy czym liczba zwojów otaczających kształtkę 121 obwodu wejściowego MC1 może być inna niż liczba zwojów otaczających kształtkę 123 obwodu wyjściowego MC2, w zależności od pożądanej charakterystyki modułu izolacyjnego.

Kształtka wejściowa 121 może być taka sama jak kształtka wyjściowa 123 lub kształtki te mogą się różnić od siebie pewnymi parametrami, takimi jak materiał rdzenia, wielkość kształtki, kształt kształtki i inne, w zależności od pożądanych parametrów charakterystyki modułu izolacyjnego.

Uzwojenie wejściowe 111 może być takie samo jak uzwojenie wyjściowe 113 lub uzwojenia te mogą się różnić od siebie pewnymi parametrami, takimi jak ilość zwojów, sposób nawinięcia zwojów i inne, w zależności od pożądanej charakterystyki modułu izolacyjnego.

Figura 2 przedstawia drugi przykład wykonania modułu izolacyjnego. Moduł ten odróżnia się od modułu z fig. 1 tym, że zamiast zamkniętej kształtki wejściowej 121 posiada w obwodzie wejściowym MC1 kształtkę 131 ze szczeliną G. Szczelina G może być szczeliną powietrzną lub wypełnioną materiałem niemagnetycznym. Szczelina G może być szczeliną skupioną (jak przedstawiono na rysunku) lub rozproszoną. Zastosowanie szczeliny G w kształtce wejściowej 131 pozwala wykorzystać cały moduł izolacyjny IM w rezonansowych układach przetwarzania energii, gdzie cały element pełni funkcję induktora rezonansowego i transformatora. Poza tym zastosowanie szczeliny z materiału niemagnetycznego pozwala zmniejszyć straty w rdzeniu magnetycznym.

Figura 3 przedstawia trzeci przykład wykonania modułu izolacyjnego. Moduł ten odróżnia się od modułu z fig. 1 tym, że zamiast zamkniętej kształtki wyjściowej 123 posiada w obwodzie wyjściowym MC2 kształtkę 133 ze szczeliną G. Szczelina G może być szczeliną powietrzną lub wypełnioną materiałem niemagnetycznym. Szczelina G może być szczeliną skupioną (jak przedstawiono na rysunku) lub rozproszoną. Zastosowanie szczeliny G w kształtce wyjściowej 133 ma analogiczne zalety jak podane na fig. 2.

Figura 4 przedstawia czwarty przykład wykonania modułu izolacyjnego. Moduł ten odróżnia się od modułu z fig. 1 tym, że zamiast zamkniętych kształtek wejściowej 121 i wyjściowej 123 posiada kształtki wejściową 131 i wyjściową 133 ze szczeliną G. Szczelina G może być szczeliną powietrzną lub wypełnioną materiałem niemagnetycznym. Szczelina G może być szczeliną skupioną (jak przedstawiono na rysunku) lub rozproszoną. Szczeliny G w obydwu kształtkach 131, 133 mogą mieć takie same parametry lub inne parametry, w zależności od pożądanej charakterystyki modułu izolacyjnego. Zastosowanie szczeliny G zapewnia uzyskanie w module izolacyjnym łącznie zalet omówionych dla przykładów wykonania z fig. 2 i 3. Tego typu moduł izolacyjny jest szczególnie korzystny do stosowa-

nia w układach rezonansowych, w których pożądane jest stosowanie modułów izolacyjnych słabo sprzężonych (ang. loosely coupled), w których współczynnik sprzężenia magnetycznego pomiędzy wejściem a wyjściem powinien być mniejszy niż 0,4 (w odróżnieniu od układów silnie sprzężonych (ang. strongly (tightly) coupled), dla których współczynnik  $k$  jest bliski 1. W tego typu rozwiązaniach po stronie wtórnej modułu izolacyjnego, tj. na uzwojeniu wyjściowym kształtki MC2 korzystnie jest zamontować kondensator rezonansowy, aby sprząc rezonansowo obwody rezonansowe po stronie pierwotnej i wtórnej (ang. resonant coupling). Sprzęgnięcie rezonansowe następuje, gdy częstotliwości drgań własnych dwóch elementów/obwodów są zbliżone do siebie. Takie sprzężenie charakteryzuje się tym, że obwody rezonansowe po stronie pierwotnej i wtórnej są zestrojone na równe lub niewiele różniące się częstotliwości.

Analogicznie, kondensatory rezonansowe mogą być montowane w pozostałych modułach izolacyjnych przedstawionych na fig. 1-3, 5-8.

Figura 5 przedstawia piąty przykład wykonania modułu izolacyjnego. Moduł ten odróżnia się od modułu z fig. 1 tym, że ma drugi obwód magnetyczny wyjściowy MC2, zawierający kształtkę wyjściową 125, na którą nawinięte jest uzwojenie wyjściowe 115. Drugi obwód magnetyczny wyjściowy MC2 jest sprzęgnięty z obwodem magnetycznym wejściowym MC1 za pomocą drugiego uzwojenia sprzęgającego 114. Zachowany powinien być przy tym dla wszystkich uzwojeń wyjściowych warunek sprzężenia z uzwojeniem wejściowym, jak omówiono dla przykładu wykonania z fig. 1, tj. aby współczynniki sprzężenia pomiędzy uzwojeniem wejściowym 111 a każdym z uzwojeń wyjściowych 113, 115 był nie większy niż 0,75. Druga kształtka wyjściowa 125 może mieć takie same parametry co pierwsza kształtka wyjściowa 123 lub inne parametry, drugie uzwojenie wyjściowe 125 może mieć takie same parametry co pierwsze uzwojenie wyjściowe 123 lub inne parametry, a ponadto drugie uzwojenie sprzęgające 114 może mieć takie same parametry co pierwsze uzwojenie sprzęgające 112, w zależności od pożądanej charakterystyki modułu izolacyjnego.

Figura 6 przedstawia szósty przykład wykonania modułu izolacyjnego. Moduł ten odróżnia się od modułu z fig. 5 tym, że zamiast zamkniętej kształtki wejściowej 121 posiada w obwodzie wejściowym MC1 kształtkę 131 ze szczeliną G, podobnie jak w przykładzie wykonania z fig. 2. Zastosowanie szczeliny G w kształtce wejściowej 131 ma zalety analogiczne do opisanych dla przykładu z fig. 2.

Figura 7 przedstawia siódmy przykład wykonania modułu izolacyjnego. Moduł ten odróżnia się od modułu z fig. 5 tym, że zamiast zamkniętych kształtek wyjściowych 123, 125 posiada w obwodach wyjściowych MC2, MC3 kształtki 133, 135 ze szczeliną G, podobnie jak w przykładzie wykonania z fig. 3. Zastosowanie szczeliny G w kształtkach wyjściowych 133, 135 ma zalety analogiczne do opisanych dla przykładu z fig. 3.

Figura 8 przedstawia ósmy przykład wykonania modułu izolacyjnego. Moduł ten odróżnia się od modułu z fig. 5 tym, że zamiast zamkniętych kształtek wejściowej 121 i wyjściowych 123, 125 posiada kształtki wejściową 131 i wyjściowe 133, 135 ze szczeliną G, podobnie jak w przykładzie wykonania z fig. 4. Szczeliny G w kształtkach 131, 133, 135 mogą mieć takie same parametry lub inne parametry, w zależności od pożądanej charakterystyki modułu izolacyjnego. Zastosowanie szczelin G zapewnia uzyskanie w elemencie izolacyjnym łącznie zalet omówionych dla przykładów wykonania z fig. 6 i 7.

Możliwe są ponadto inne przykłady wykonania, w zależności od pożądanej charakterystyki modułu izolacyjnego, przykładowo:

- zastosowanie w jednym obwodzie wyjściowym MC2 kształtki zamkniętej, a w innym obwodzie wyjściowym MC3 kształtki ze szczeliną G;
- zastosowanie więcej niż dwóch obwodów wyjściowych.

Moduł izolacyjny ma zastosowanie w przetwornicach DC-DC, których różne przykłady wykonania zostały przedstawione na fig. 9-15. Tego typu przetwornice są przeznaczone do przetwarzania napięcia stałego wejściowego (+E; -E) na napięcie stałe wyjściowe ( $U_{out}$ ). Przetwornice te zawierają falownik do przetwarzania napięcia stałego wejściowego (+E; -E) na napięcie zmienne, które jest kształtowane przez układ kształtujący napięcie zmienne (w postaci transformatora, układu rezonansowego itp.). Ukształtowane napięcie zmienne jest prostowane przez prostownik na napięcie stałe wyjściowe ( $U_{out}$ ). Moduł izolacyjny w tych przetwornicach stosowany jest w ten sposób, że jego uzwojenie wejściowe 111 jest przyłączone do kształtowanego napięcia zmiennego z falownika, natomiast uzwojenie wyjściowe 113 jest przyłączone (pośrednio lub bezpośrednio) do układu prostującego.

Figura 9 przedstawia pierwszy przykład wykonania układu jednowyjściowej przetwornicy izolacyjnej jako półmostkowej przetwornicy push-pull z pojedynczym modułem izolacyjnym. W przetwornicy może być zastosowany dowolny z modułów izolacyjnych przedstawionych na fig. 1-4, szczególnie

korzystne jest zastosowanie modułu izolacyjnego z fig. 1. Preferowane sterowanie – klasyczny PWM z kontrolą prądu w kluczach (ang. *current mode control* lub *current-mode PWM control*).

Zasilacz zawiera zespół kluczy tranzystorowych K1, K2 połączonych w półmostek podłączonych do źródła napięcia zasilającego +E i -E. W przekątnej półmostka przyłączony jest moduł izolacyjny IM1, którego częścią jest obwód magnetyczny wejściowy MC1 i wyjściowy MC2, za pośrednictwem którego, poprzez prostownik R1, do zasilacza przyłączane jest obciążenie oraz kondensatory blokujące CB1, CB2 zabezpieczające układ przez przepływem niepożądanego prądu stałego. Zasilacz zawiera również układ sterownika CD do stabilizacji napięć lub prądów poprzez sterowanie, korzystnie poprzez zmianę wypełnienia sygnałów sterujących kluczami K1, K2 na podstawie sygnałów bloku izolacji galwanicznej IB oraz czujnika prądu CS i czujnika napięcia VS lub dowolnej kombinacji tych sygnałów. Wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem a wyjściami, jak również pomiędzy poszczególnymi wyjściami zapewnia moduł izolacyjny IM1. Odporność na przeciążenia i zwarcia zapewnia czujnik prądu CS, który generuje sygnały dla sterownika CD i umożliwia właściwą reakcję w stanach niepoprawnej pracy przetwornicy np. reakcję na zbyt duży prąd w kluczach tranzystorowych K1 i K2 i/lub w obwodzie głównym modułu izolacyjnego IM1. Z kolei stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa dzięki sygnałom z bloku izolacji galwanicznej IB, który poprzez barierę izolacyjną przesyła informacje z wyjścia układu do sterownika CD. Jeśli nie jest wymagana stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych na wysokim poziomie, oraz aby ograniczyć koszty drogiego bloku izolacji galwanicznej IB, możliwa jest również stabilizacja napięć wyjściowych poprzez czujnik napięcia VS dołączony do dodatkowego uzwojenia pomiarowego nawiniętego na obwód magnetyczny wejściowy MC1. Dzięki takiemu rozwiązaniu stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa poprzez monitorowanie prądów i/lub napięć po stronie pierwotnej modułu izolacyjnego IM1, co jest korzystne aby spełnić wymagania związane z wysokim poziomem izolacji, jak również zapewnić dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem a wyjściami oraz pomiędzy poszczególnymi wyjściami.

Figura 10 przedstawia drugi przykład wykonania układu jednowyjściowej przetwornicy izolacyjnej jako przetwornicy zaporowej (typu flyback) z pojedynczym modułem izolacyjnym. W przetwornicy może być zastosowany dowolny z modułów izolacyjnych przedstawionych na fig. 1-4, szczególnie korzystne jest zastosowanie modułu izolacyjnego z fig. 2. Preferowane sterowanie – klasyczny PWM z kontrolą prądu w kluczach (ang. *current mode control* lub *current-mode PWM control*).

Zasilacz zawiera klucz tranzystorowy K1, przyłączony z jednej strony do źródła napięcia zasilającego -E, a z drugiej do modułu izolacyjnego IM1, którego częścią jest obwód magnetyczny wejściowy MC1 i wyjściowy MC2, za pośrednictwem którego, poprzez prostownik R1, do zasilacza przyłączane jest obciążenie. Moduł izolacyjny IM1 z drugiej strony podłączony jest do źródła napięcia zasilającego +E. Zasilacz zawiera również układ sterownika CD do stabilizacji napięć lub prądów poprzez sterowanie, korzystnie poprzez zmianę wypełnienia sygnału sterującego kluczem K1, na podstawie sygnałów bloku izolacji galwanicznej IB oraz czujnika prądu CS i czujnika napięcia VS lub dowolnej kombinacji tych sygnałów. Wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem a wyjściami, jak również pomiędzy poszczególnymi wyjściami, zapewnia moduł izolacyjny IM1. Odporność na przeciążenia i zwarcia zapewnia czujnik prądu CS, który generuje sygnały dla sterownika CD i umożliwia właściwą reakcję w stanach niepoprawnej pracy przetwornicy, np. reakcję na zbyt duży prąd w kluczu tranzystorowym. Z kolei stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa dzięki sygnałom z bloku izolacji galwanicznej IB, który poprzez barierę izolacyjną przesyła informacje z wyjścia układu do sterownika CD. Jeśli nie jest wymagana stabilizacja napięć lub prądów na bardzo wysokim poziomie, oraz aby ograniczyć koszty drogiego bloku izolacji galwanicznej IB, możliwa jest również stabilizacja napięć wyjściowych poprzez czujnik napięcia VS dołączony do dodatkowego uzwojenia pomiarowego nawiniętego na obwód magnetyczny wejściowy MC1. Dzięki takiemu rozwiązaniu stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa poprzez monitorowanie prądów i/lub napięć po stronie pierwotnej modułu izolacyjnego IM, co jest korzystne aby spełnić wymagania związane z wysokim poziomem izolacji, jak również zapewnić dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem a wyjściami oraz pomiędzy poszczególnymi wyjściami.

Figura 11 przedstawia trzeci przykład wykonania układu jednowyjściowej przetwornicy izolacyjnej jako półmostkowej przetwornicy rezonansowej z pojedynczym modułem izolacyjnym. W przetwornicy może być zastosowany dowolny z modułów izolacyjnych przedstawionych na fig. 1-4, szczególnie korzystne jest zastosowanie modułów izolacyjnych z fig. 1, 2 lub 3 bez kondensatora rezonansowe-

go C5. Natomiast w przypadku, gdy moduł izolacyjny jest tak skonstruowany, że współczynnik sprzężenia magnetycznego pomiędzy wejściem a wyjściem jest mniejszy niż 0,4, tj. układ jest słabo sprzężony (ang. *loosely coupled*), to korzystnie jest użyć modułu izolacyjnego z fig. 4 z kondensatorem rezonansowym C5, aby sprzężać rezonansowo obwody rezonansowe po stronie pierwotnej i wtórnej (ang. *resonant coupling*). Preferowane sterowanie – klasyczna modulacja częstotliwościowa (ang. *frequency modulation techniques*). Zasilacz zawiera zespół kluczy tranzystorowych K1, K2 połączonych w półmostek i podłączonych do źródła napięcia zasilającego +E i -E. Korzystnie, do każdego kluczy tranzystorowych K1 i K2 są dołączone równolegle kondensatory C3 i C4, to znaczy układ pracuje w klasie DE. W przekątnej półmostka przyłączony jest szeregowy obwód rezonansowy złożony z indukcyjnego elementu reaktancyjnego, na który składa się moduł izolacyjny IM1, którego częścią jest obwód magnetyczny wejściowy MC1 i wyjściowy MC2, za pośrednictwem którego, poprzez prostownik R1, do zasilacza przyłączane jest obciążenie oraz elementy pojemnościowe w postaci kondensatorów C1A i C1B połączonych równolegle. Zasilacz zawiera również układ sterownika CD do stabilizacji napięć lub prądów poprzez sterowanie, korzystnie poprzez zmianę częstotliwości sygnałów sterujących, kluczami K1, K2 na podstawie sygnałów bloku izolacji galwanicznej IB oraz czujnika prądu CS i czujnika napięcia VS lub dowolnej kombinacji tych sygnałów. Wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem a wyjściami, jak również pomiędzy poszczególnymi wyjściami zapewnia moduł izolacyjny IM1. Odporność na przeciążenia i zwarcia zapewnia czujnik prądu CS, który generuje sygnały dla sterownika CD i umożliwia właściwą reakcję w stanach niepoprawnej pracy przetwornicy, np. gdy pojawia się zbyt duży prąd w kluczach tranzystorowych K1 i K2 i/lub w obwodzie rezonansowym. Z kolei stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa dzięki sygnałom z bloku izolacji galwanicznej IB, który poprzez barierę izolacyjną przesyła informacje z wyjścia układu do sterownika CD. Jeśli nie jest wymagana stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych na wysokim poziomie oraz aby ograniczyć koszty drogiego bloku izolacji galwanicznej IB, możliwa jest również stabilizacja napięć wyjściowych poprzez czujnik napięcia VS dołączony do dodatkowego uzwojenia pomiarowego nawiniętego na obwód magnetyczny wejściowy MC1 lub węzła połączenia kondensatorów C1A i C1B. Dzięki takiemu rozwiązaniu stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa poprzez monitorowanie prądów i/lub napięć po stronie pierwotnej modułu izolacyjnego IM1, co jest korzystne aby spełnić wymagania związane z wysokim poziomem izolacji, jak również zapewnić dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem i poszczególnymi wyjściami oraz pomiędzy poszczególnymi wyjściami.

Figura 12 przedstawia pierwszy przykład wykonania układu wielowyjściowej przetwornicy izolacyjnej jako półmostkowej przetwornicy rezonansowej z pojedynczym, wielowyjściowym modułem izolacyjnym. W przetwornicy może być zastosowany dowolny z modułów izolacyjnych przedstawionych na fig. 5-8, szczególnie korzystne jest zastosowanie modułów izolacyjnych z fig. 5, 6 lub 7 bez kondensatorów rezonansowych C5 i C6. Natomiast w przypadku, gdy moduł izolacyjny jest tak skonstruowany że, współczynnik sprzężenia magnetycznego pomiędzy wejściem a wyjściem jest mniejszy niż 0,4, tj. układ jest słabo sprzężony (ang. *loosely coupled*), to korzystnie jest użyć modułu izolacyjnego przedstawionego na fig. 8 z kondensatorami rezonansowymi C5 i C6, aby sprzężać rezonansowo obwody rezonansowe po stronie pierwotnej i wtórnej (ang. *resonant coupling*). Preferowane sterowanie – klasyczna modulacja częstotliwościowa (ang. *frequency modulation techniques*). Zasilacz zawiera zespół kluczy tranzystorowych K1, K2 połączonych w półmostek i podłączonych do źródła napięcia zasilającego +E i -E. Korzystnie, do każdego kluczy tranzystorowych K1 i K2, są dołączone równolegle kondensatory C3 i C4, to znaczy układ pracuje w klasie DE. W przekątnej półmostka przyłączony jest szeregowy obwód rezonansowy złożony z indukcyjnego elementu reaktancyjnego, na który składa się moduł izolacyjny IM1, którego częścią jest obwód magnetyczny wejściowy MC1 i wyjściowe MC2 i MC3, za pośrednictwem którego, poprzez prostowniki R1 i R2, do zasilacza przyłączane są obciążenia oraz elementy pojemnościowe w postaci kondensatorów C1A i C1B które połączone są równolegle. Zasilacz zawiera również układ sterownika CD do stabilizacji napięć lub prądów poprzez sterowanie, korzystnie poprzez zmianę częstotliwości sygnałów sterujących kluczami K1, K2 na podstawie sygnałów bloku izolacji galwanicznej IB, oraz czujnika prądu CS i czujnika napięcia VS lub dowolnej kombinacji tych sygnałów. Wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem a wyjściami, jak również pomiędzy poszczególnymi wyjściami zapewnia moduł izolacyjny IM1. Odporność na przeciążenia i zwarcia zapewnia czujnik prądu CS, który generuje sygnały dla sterownika CD i umożliwia właściwą reakcję w stanach niepoprawnej



pracy przetwornicy, np. reakcję na zbyt duży prąd w kluczach tranzystorowych K1 i K2 i/lub w obwodzie rezonansowym. Z kolei stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa dzięki sygnałom z bloku izolacji galwanicznej IB, który poprzez barierę izolacyjną przesyła informacje z wyjścia układu do sterownika CD. Jeśli nie jest wymagana stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych na wysokim poziomie oraz aby ograniczyć koszty drogiego bloku izolacji galwanicznej IB, możliwa jest również stabilizacja napięć wyjściowych poprzez czujnik napięcia VS dołączony do dodatkowego uzwojenia pomiarowego nawiniętego na obwód magnetyczny wejściowy MC1 lub węzła połączenia kondensatorów C1A i C1B. Dzięki takiemu rozwiązaniu stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa poprzez monitorowanie prądów i/lub napięć po stronie pierwotnej modułu izolacyjnego IM1, co jest korzystne aby spełnić wymagania związane z wysokim poziomem izolacji, jak również zapewnić dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem a wyjściami, jak również pomiędzy poszczególnymi wyjściami.

Figura 13 przedstawia drugi przykład wykonania układu wielowyjściowej przetwornicy izolacyjnej jako półmostkowej przetwornicy rezonansowej z dwoma modułami izolacyjnymi IM1 i IM2. W przetwornicy może być zastosowany dowolny z modułów izolacyjnych przedstawionych na fig. 1-4, szczególnie korzystne jest zastosowanie modułów izolacyjnych z fig. 1, 2 lub 3. Preferowane sterowanie – klasyczna modulacja częstotliwościowa (ang. *frequency modulation techniques*). Zasilacz zawiera zespół kluczy tranzystorowych K1, K2 połączonych w półmostek i połączonych do źródła napięcia zasilającego +E i -E. Korzystnie, do każdego kluczy tranzystorowych K1 i K2, są dołączone równolegle kondensatory C3 i C4, to znaczy układ pracuje w klasie DE. W przekątnej półmostka przyłączony jest szeregowo-równoległy obwód rezonansowy złożony z szeregowego obwodu rezonansowego, na który składa się indukcyjny element reaktancyjny, który zawiera moduł izolacyjny IM1, za pośrednictwem którego, poprzez prostownik R1, do zasilacza przyłączane jest obciążenie, oraz element pojemnościowy w postaci kondensatorów C1A i C1B które są połączone równolegle oraz równoległego obwodu rezonansowego złożonego z indukcyjnego elementu reaktancyjnego, który składa się modułu izolacyjnego IM2, za pośrednictwem którego, poprzez prostownik R2, do zasilacza przyłączane jest obciążenie oraz elementu pojemnościowego w postaci kondensatora C2. Zasilacz zawiera również układ sterownika CD do stabilizacji napięć lub prądów poprzez sterowanie, korzystnie poprzez zmianę częstotliwości sygnałów sterujących kluczami K1, K2 na podstawie sygnałów bloku izolacji galwanicznej IB oraz czujnika prądu CS i czujnika napięcia VS lub dowolnej kombinacji tych sygnałów. Wysoki poziom izolacji, dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem i poszczególnymi wyjściami oraz pomiędzy poszczególnymi wyjściami zapewniają moduły izolacyjne IM1 i IM2. Odporność na przeciążenia i zwarcia zapewnia czujnik prądu CS, który generuje sygnały dla sterownika CD i umożliwia właściwą reakcję w stanach niepoprawnej pracy przetwornicy, np. reakcję na zbyt duży prąd w kluczach tranzystorowych K1 i K2 i/lub w obwodzie rezonansowym. Z kolei stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa dzięki sygnałom z bloku izolacji galwanicznej IB, który poprzez barierę izolacyjną przesyła informacje z wyjścia układu do sterownika CD. Jeśli nie jest wymagana stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych na wysokim poziomie oraz aby ograniczyć koszty drogiego bloku izolacji galwanicznej IB, możliwa jest również stabilizacja napięć wyjściowych poprzez czujnik napięcia VS dołączony do dodatkowego uzwojenia pomiarowego nawiniętego na obwód magnetyczny wejściowy MC1 lub MC2 lub węzła połączenia kondensatorów C1A i C1B lub też czujnika prądu CS. Dzięki takiemu rozwiązaniu stabilizacja napięć lub prądów wyjściowych jest możliwa poprzez monitorowanie prądów i/lub napięć po stronie pierwotnej modułu izolacyjnego IM1 i IM2 co jest korzystne aby spełnić wymagania związane z wysokim poziomem izolacji, jak również zapewnić dużą odporność na przebicia napięciowe i małe pojemności sprzęgające pomiędzy wejściem a wyjściami, jak również pomiędzy poszczególnymi wyjściami.

Figura 14 przedstawia trzeci przykład wykonania układu wielowyjściowej przetwornicy izolacyjnej, która działa na zasadzie zbliżonej do przetwornicy opisanej na fig. 12 a podstawową różnicą jest przystosowanie jej do pracy z wysokimi częstotliwościami i uzupełnienie jej schematu o układy dopasowania impedancyjnego MN1, MN2, MN3, niezbędne do wysokosprawnego przenoszenia mocy w układach pracy powyżej jednego megaherca. Układ dopasowania impedancyjnego MN1 dopasowuje impedancyjnie pojedynczy, wielowyjściowy moduł izolacyjny IM1 do falownika złożonego z zespołu kluczy tranzystorowych K1, K2 połączonych w półmostek. Z kolei układy dopasowania impedancyjnego MN2 i MN3 dopasowują impedancyjnie odpowiednie wyjścia modułu izolacyjnego IM1 do obciążeń.

Figura 15 przedstawia czwarty przykład wykonania układu wielowyjściowej przetwornicy izolacyjnej, która działa na zasadzie zbliżonej do przetwornicy opisanej na fig. 14, a jedyną różnicą jest

zastosowanie zamiast falownika złożonego z zespołu kluczy tranzystorowych K1, K2 połączonych w półmostek i pracującego w klasie DE układu opartego o pojedynczy klucz K1 i dławik CH1 pracujący w klasie E.

Wykaz oznaczeń

IM, IM1, IM2 – moduły izolacyjne,

MC1, MC2, MC3, ..., MCn – obwód magnetyczny,

d1, d2, d3, d4, d5, d6 – odległość izolacyjna,

K1, K2 – klucze tranzystorowe,

CD – sterownik przetwornicy,

CS – czujnik prądu,

VS – czujnik napięcia,

IB – blok izolacji galwanicznej,

R1, R2 – prostowniki,

Uout, Uout1, Uout2 – napięcie wyjściowe,

CB1, CB2 – kondensatory blokujące,

C1A, C1B, C2 – elementy pojemnościowe obwodu rezonansowego,

C3, C4 – elementy pojemnościowe układu falownika pracującego w klasie DE lub klasie E,

MN1, MN2, MN3 – układ dopasowania,

+E, -E – bieguny źródła napięcia zasilającego,

CH1 – dławik.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Przetwornica izolacyjna DC-DC do przetwarzania napięcia stałego wejściowego na napięcie stałe wyjściowe, zawierająca falownik do przetwarzania napięcia stałego wejściowego na napięcie zmienne, układ kształtujący napięcie zmienne i układ prostujący ukształtowane napięcie zmienne na napięcie stałe wyjściowe, **znamienna tym**, że układ kształtujący zawiera moduł izolacyjny (IM), zawierający:
  - obwód magnetyczny wejściowy (MC1) zawierający kształtkę ferromagnetyczną wejściową (121, 131), na którą nawinięte jest uzwojenie wejściowe (111) przyłączone do kształtowanego napięcia zmiennego;
  - obwód magnetyczny wyjściowy (MC2) zawierający kształtkę ferromagnetyczną wyjściową (123, 133), na którą nawinięte jest uzwojenie wyjściowe (113) połączone z układem prostującym, przy czym kształtka ferromagnetyczna wyjściowa (123, 133) jest odizolowana elektrycznie od kształtki magnetycznej wejściowej (121, 131);
  - przy czym obwód magnetyczny wejściowy (MC1) jest sprzęgnięty z obwodem magnetycznym wyjściowym (MC2) za pomocą uzwojenia sprzęgającego (112), które jest nawinięte na kształtkę magnetyczną wejściową (121, 131) i kształtkę magnetyczną wyjściową (123, 133) z zachowaniem odległości (d1-d6) pomiędzy uzwojeniem sprzęgającym (112) a uzwojeniem wejściowym (111), kształtką magnetyczną wejściową (121, 131), kształtką magnetyczną wyjściową (123, 133) i uzwojeniem wyjściowym (113) nie mniejszych niż odległość izolacyjna;
  - przy czym współczynnik sprzężenia k pomiędzy uzwojeniem wejściowym (111) a uzwojeniem wyjściowym (113) jest mniejszy niż 0,75.
2. Przetwornica według zastrz. 1, **znamienna tym**, że moduł izolacyjny (IM) zawiera ponadto co najmniej jeden dodatkowy obwód wyjściowy (MC3) zawierający dodatkową kształtkę ferromagnetyczną wyjściową (125, 135), na którą nawinięte jest dodatkowe uzwojenie wyjściowe (115) przyłączone do dodatkowych zacisków wyjściowych (Uout2) przetwornicy, przy czym dodatkowa kształtka ferromagnetyczna wyjściowa (125, 135) jest odizolowana elektrycznie od kształtki magnetycznej wejściowej (121, 131), a obwód magnetyczny wejściowy (MC1) jest sprzęgnięty z dodatkowym obwodem magnetycznym wyjściowym (MC3) za pomocą dodatkowego uzwojenia sprzęgającego (114), które jest nawinięte na dodatkową kształtkę magnetyczną wejściową (121, 131) i kształtkę magnetyczną wyjściową (125, 135) z zachowaniem odległości izolacyjnych (d1-d6) pomiędzy dodatkowym uzwojeniem sprzęgającym (114) a uzwojeniem wejściowym (111), kształtką magnetyczną wejściową (121, 131),

- dotadkową kształtką magnetyczną wyjściową (125, 135) i dodatkowym uzwojeniem wyjściowym (115).
3. Przetwornica według zastrz. 1, **znamienna tym**, że jest przetwornicą wielowyjściową, zawierającą co najmniej jeden dodatkowy moduł izolacyjny (IM2) połączony szeregowo z pierwszym modulem izolacyjnym (IM1).
  4. Przetwornica według dowolnego z zastrz. 1-3, **znamienna tym**, że kształtka ferromagnetyczna wejściowa (131) i/lub co najmniej jedna kształtka ferromagnetyczna wyjściowa (133, 135) zawiera szczelinę (G).
  5. Przetwornica według dowolnego z zastrz. 1-4, **znamienna tym**, że współczynnik sprzężenia k pomiędzy uzwojeniem wejściowym (111) a uzwojeniem wyjściowym (113) jest mniejszy niż 0,4.
  6. Przetwornica według zastrz. 5, **znamienna tym**, że do uzwojenia wyjściowego (113) przyłączony jest równolegle kondensator rezonansowy (C5).
  7. Przetwornica według dowolnego z zastrz. 1-6, **znamienna tym**, że jest przetwornicą typu push-pull, w której moduł izolacyjny (IM1) jest przyłączony w przekątnej półmostka zawierającego parę kluczy tranzystorowych (K1, K2) przyłączonych do układu sterownika (CD) do sterowania kluczami (K1, K2).
  8. Przetwornica według dowolnego z zastrz. 1-6, **znamienna tym**, że jest przetwornicą zaporową typu flyback, w której moduł izolacyjny (IM1) jest przyłączony z jednej strony do jednego z zacisków napięcia wejściowego a z drugiej poprzez klucz tranzystorowy (K1) do drugiego zacisku napięcia wejściowego, przy czym klucz tranzystorowy (K1) przyłączony jest do układu sterownika (CD) do sterowania kluczem (K1).
  9. Przetwornica według dowolnego z zastrz. 1-6, **znamienna tym**, że jest półmostkową przetwornicą rezonansową, w której moduł izolacyjny (IM1) jest przyłączony w przekątnej półmostka zawierającego parę kluczy tranzystorowych (K1, K2) jako indukcyjny element reaktancyjny szeregowego obwodu rezonansowego, w którym elementami pojemnościowymi są kondensatory (C1A) i (C1B), i która zawiera układ sterownika (CD) do sterowania przyłączonymi do niego kluczami tranzystorowymi (K1, K2).
  10. Przetwornica według dowolnego z zastrz. 1-6, **znamienna tym**, że jest półmostkową przetwornicą rezonansową, w której moduł izolacyjny (IM1) jest przyłączony w przekątnej półmostka zawierającego parę kluczy tranzystorowych (K1, K2) jako indukcyjny element reaktancyjny szeregowego obwodu rezonansowego, w którym elementami pojemnościowymi są kondensatory (C1A) i (C1B), i która zawiera układ sterownika (CD) do sterowania przyłączonymi do niego kluczami tranzystorowymi (K1, K2).
  11. Przetwornica według dowolnego z zastrz. 3-6, **znamienna tym**, że jest półmostkową przetwornicą rezonansową z szeregowo-równoległym obwodem rezonansowym, w której pierwszy moduł izolacyjny (IM1) jest przyłączony w przekątnej półmostka zawierającego parę kluczy tranzystorowych (K1, K2) jako indukcyjny element reaktancyjny szeregowo-równoległego obwodu rezonansowego, w którym elementami pojemnościowymi obwodu szeregowego są kondensatory (C1A) i (C1B), natomiast dodatkowy moduł izolacyjny (IM2) jest przyłączony szeregowo z pierwszym modulem izolacyjnym (IM1) jako równoległy indukcyjny element reaktancyjnego obwodu rezonansowego, przy czym elementem pojemnościowym równoległego obwodu rezonansowego jest kondensator (C2), a przetwornica zawiera układ sterownika (CD) do sterowania przyłączonymi do niego kluczami tranzystorowymi (K1, K2).
  12. Przetwornica według dowolnego z zastrz. 2-6, **znamienna tym**, że jest półmostkową przetwornicą rezonansową, w której układ dopasowania impedancyjnego (MN1) do dopasowania impedancyjnego modułu izolacyjnego (IM1), który to układ dopasowania impedancyjnego (MN1) podłączony jest do falownika złożonego z zespołu kluczy tranzystorowych (K1, K2) oraz do modułu izolacyjnego (IM1), przy czym wyjścia modułu izolacyjnego (IM1) podłączone są do dodatkowych układów dopasowania impedancyjnego (MN2) oraz (MN3) do dopasowania impedancyjnego wyjścia modułu izolacyjnego (IM1) do obciążenia, przy czym przetwornica zawiera układ sterownika (CD) do sterowania przyłączonymi do niego kluczami tranzystorowymi (K1, K2).
  13. Przetwornica według dowolnego z zastrz. 2-6, **znamienna tym**, że jest przetwornicą rezonansową, w której układ dopasowania impedancyjnego (MN1) jest przystosowany do dopa-

sowania impedancyjnego modułu izolacyjnego (IM1) podłączonego do falownika złożonego z klucza tranzystorowego (K1), dławika (CH1) oraz elementu pojemnościowego (C3) tworzącego układ falownika pracującego w klasie E oraz do modułu izolacyjnego (IM1), przy czym wyjścia modułu izolacyjnego (IM1) podłączone są do dodatkowych układów dopasowania impedancyjnego (MN2) oraz (MN3) do dopasowania impedancyjnego wyjścia modułu izolacyjnego (IM1) do obciążenia, przy czym przetwornica zawiera układ sterownika (CD) do sterowania przyłączonym do niego kluczem tranzystorowym (K1).

Rysunki

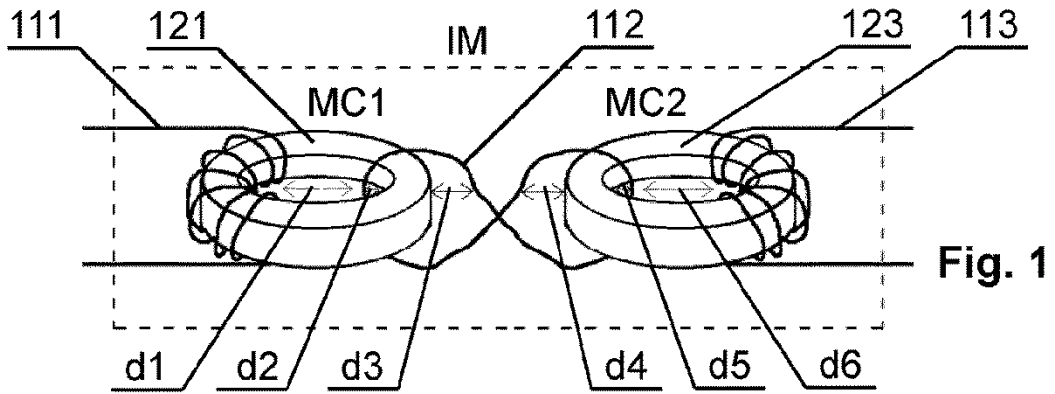


Fig. 1

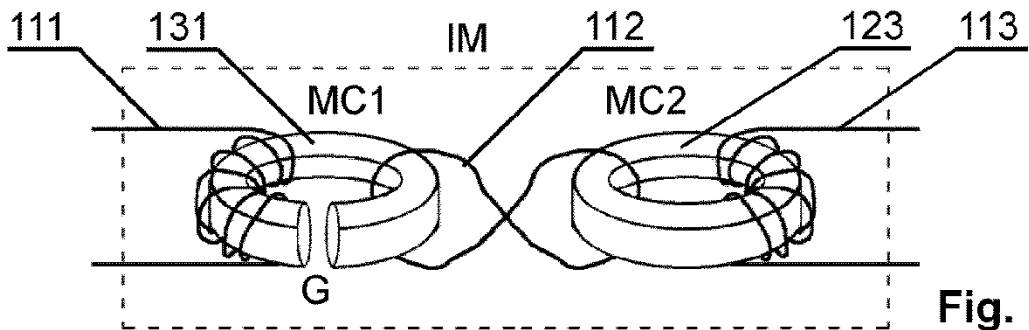


Fig. 2

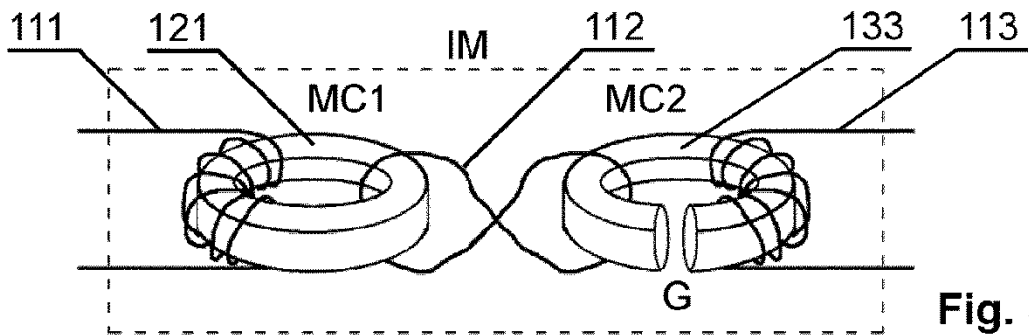


Fig. 3

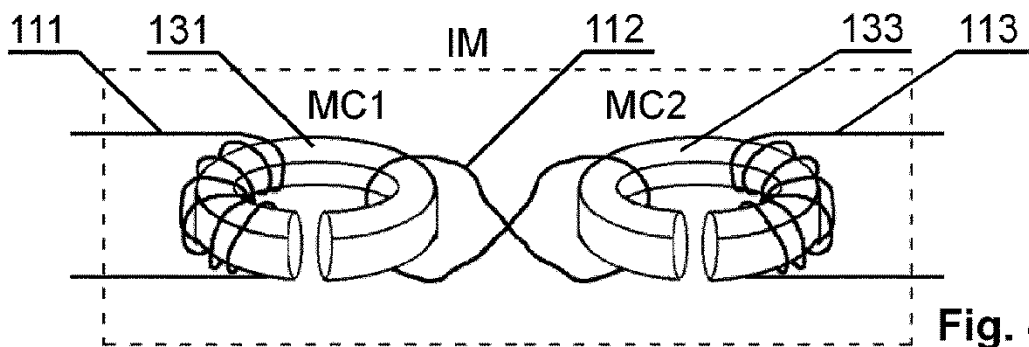


Fig. 4

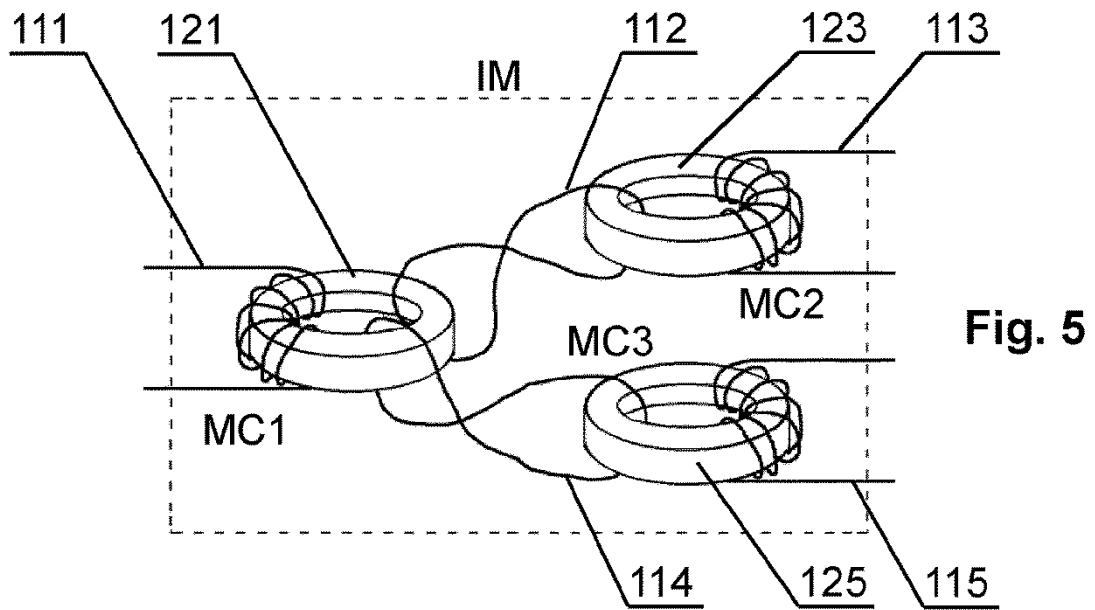


Fig. 5

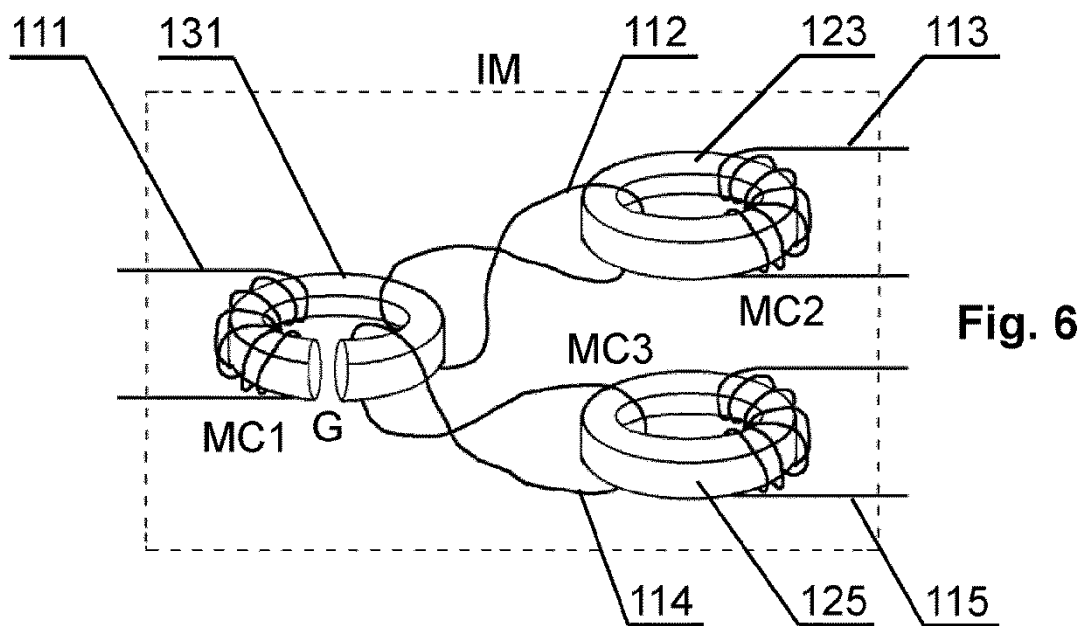
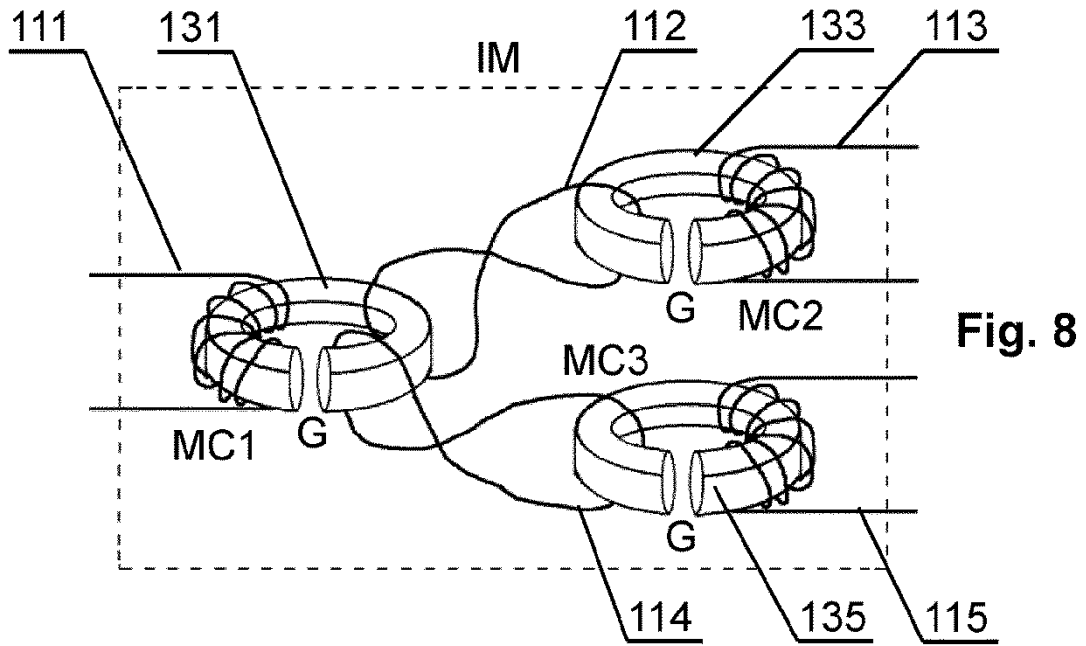
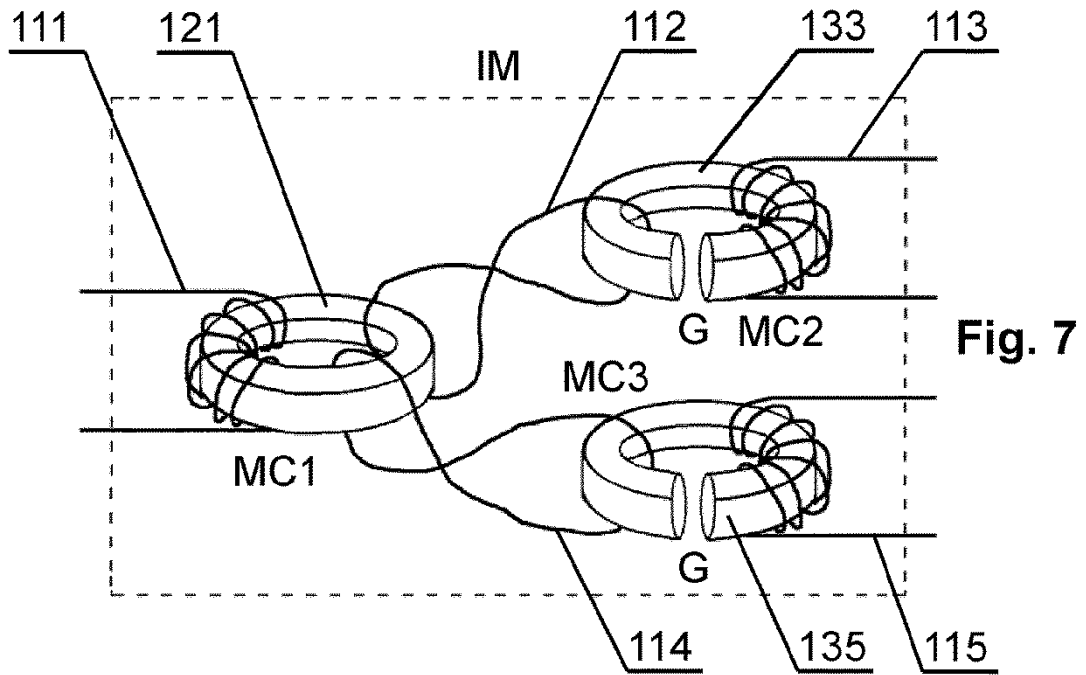


Fig. 6



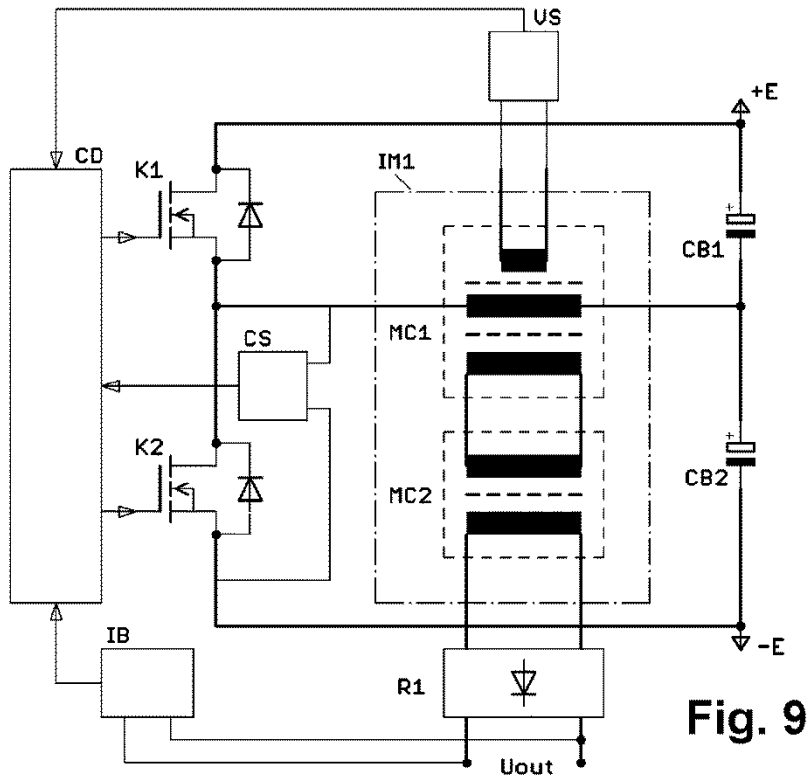


Fig. 9

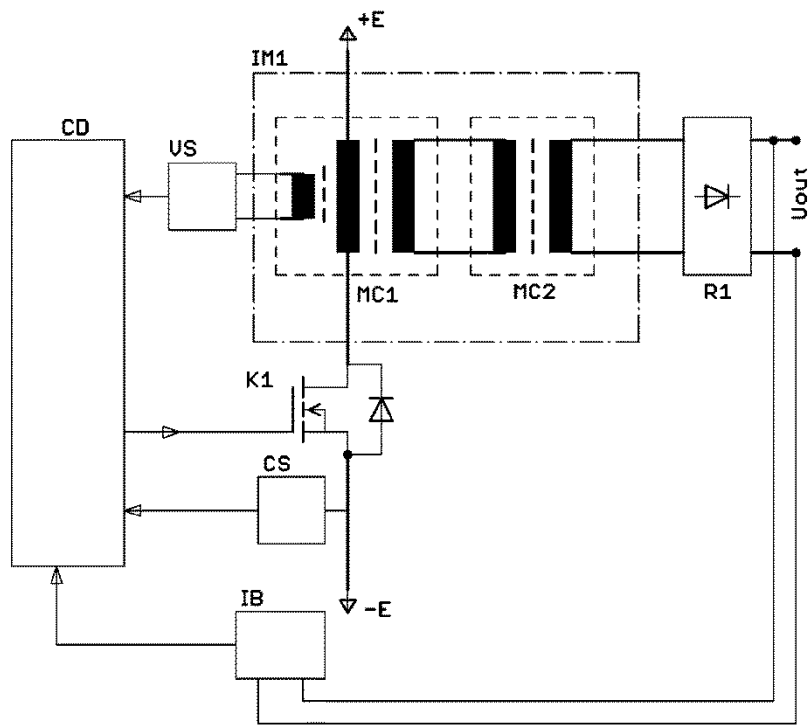


Fig. 10



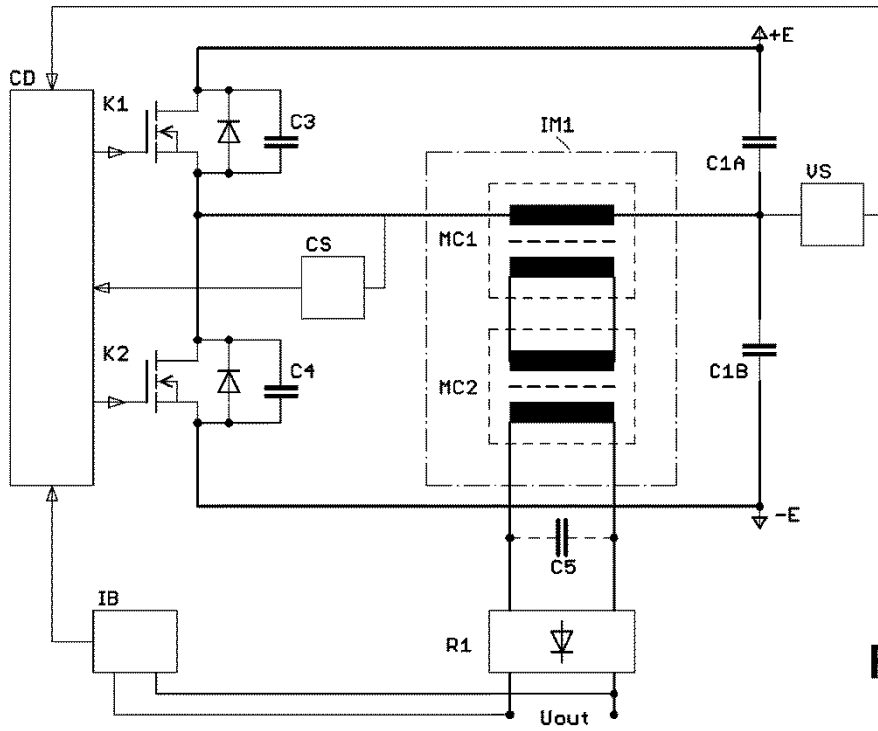


Fig. 11

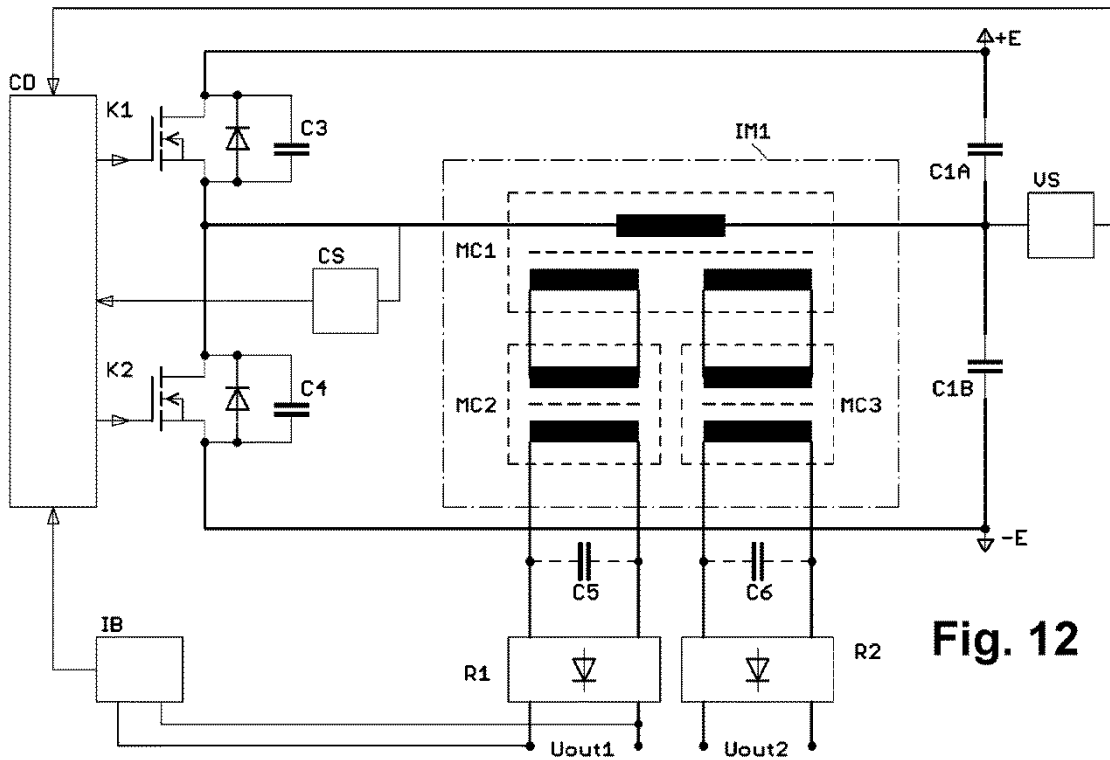


Fig. 12

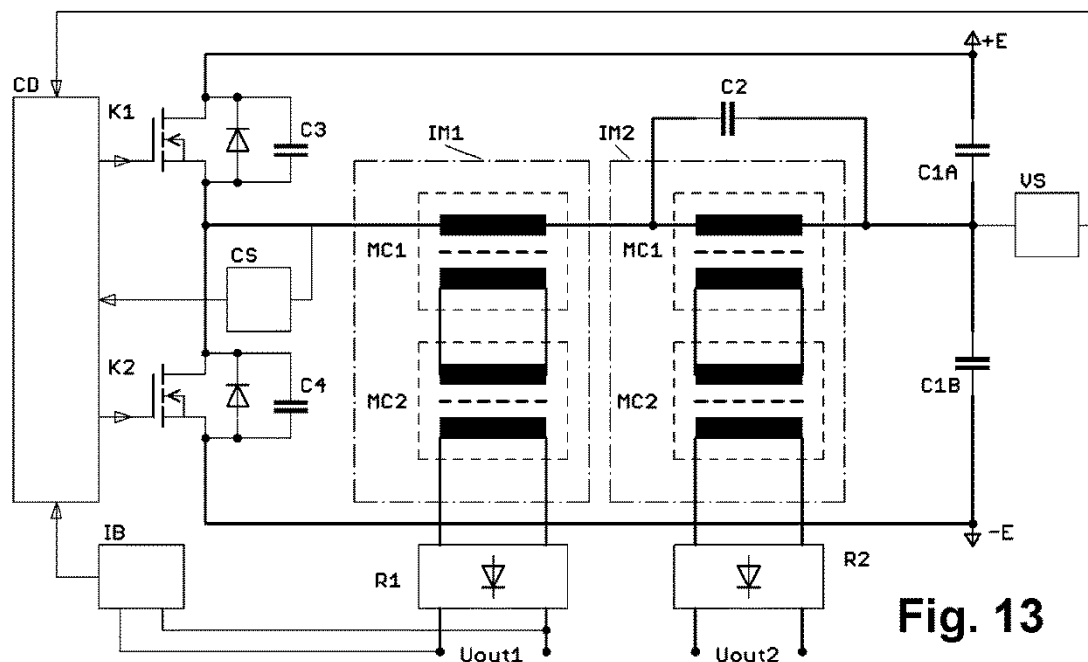


Fig. 13

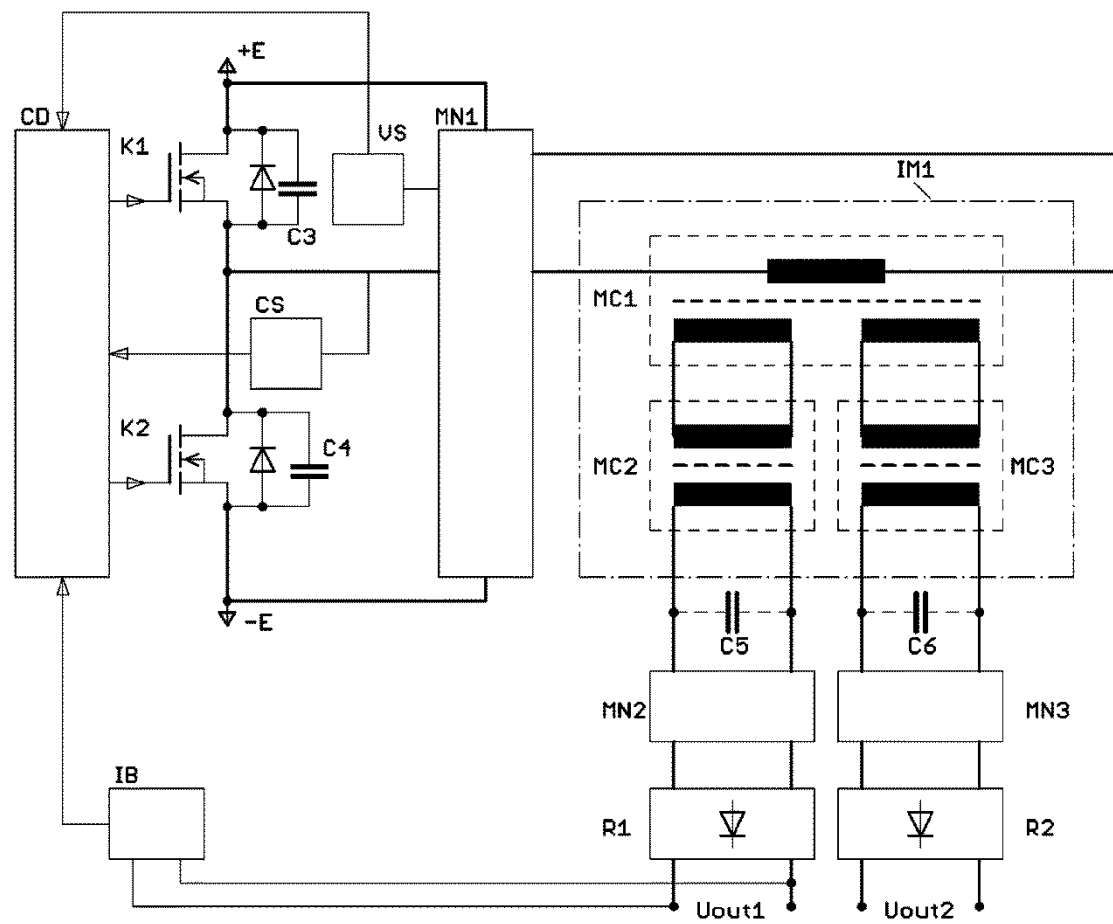


Fig. 14

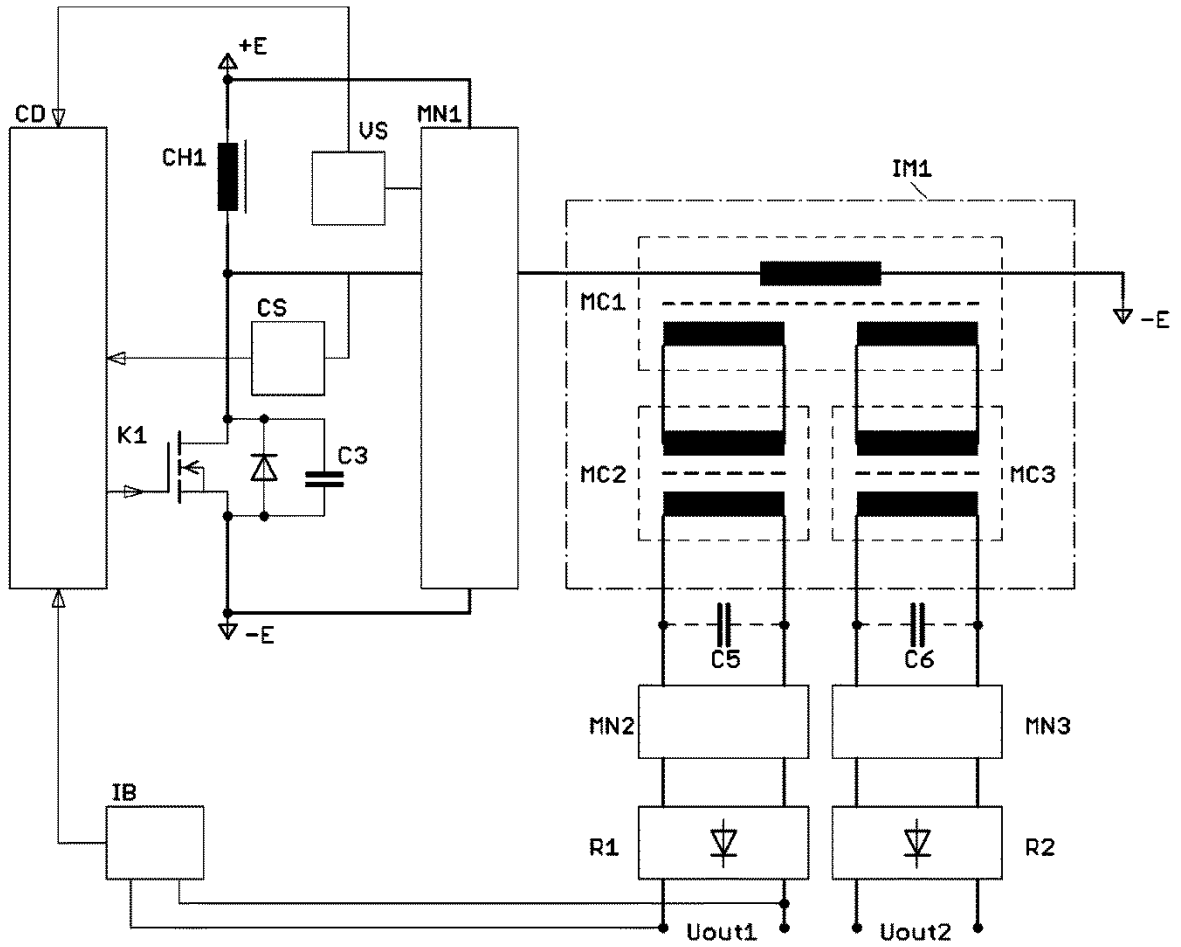


Fig. 15

