

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **233868**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **424119**

(51) Int.Cl.  
**H02M 3/335 (2006.01)**  
**H05H 1/46 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **29.12.2017**

---

(54) **Układ i sposób zasilania reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**01.07.2019 BUP 14/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**31.12.2019 WUP 12/19**

(73) Uprawniony z patentu:  
**POLITECHNIKA LUBELSKA, Lublin, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:  
**PIOTR KRUPSKI, Świerże, PL**  
**HENRYKA DANUTA SRYCZEWSKA,**  
**Lublin, PL**

(74) Pełnomocnik:  
**rzec. pat. Maciej Nowicki**

---

**PL 233868 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie i sposób zasilania reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem.

Dotychczas znane i stosowane są w obróbce mieszanin gazowo cieczowych i gazowych rozwiązania reaktorów plazmowych z wyładowaniem ślizgającym się.

Z opisu zgłoszenia patentowego nr US2012/0090985 (A1) znany jest reaktor plazmy nierównowagowej z wyładowaniem łukowym, służący do przetwarzania mieszanin gazowych. Reaktor ten posiada elektrody o kształcie noży zwięzające się w kierunku przepływu gazu procesowego. Jako zasilanie zastosowano źródło napięcia stałego z dołączoną szeregowo rezystancją.

Dokument patentowy nr US2009/0236215 (A1) ujawnia reaktor plazmowy ze ślizgającym się wyładowaniem, służący do prowadzenia reakcji chemicznych w gazach i cieczach. Reaktor ten posiada elektrody o kształcie nożowym, rozbieżnym w kierunku przepływu obrabianej mieszaniny. W opisywanym reaktorze występuje system zawieszania składowej cieczowej w postaci układu koloidalnego z zastosowanym nośnikiem będącym gazem procesowym. Powstały aerozol podaje się do strefy wyładowczej, gdzie dokonywana jest obróbka plazmochemiczna. Jako źródło wysokiego napięcia dla wyładowania łukowego zastosowano system impulsowy z cewką wysokonapięciową, w której prądem pierwotnym steruje się przy pomocy układu tranzystorowego.

Z artykułu „Organic dye removal from aqueous solution by glidarc discharges” autorstwa R. Burlica, M. J. Kirkpatrick, W. C. Finney R. J. Clark, B. R. Locke, opublikowanego w czasopiśmie *Journal of Electrostatics* w roku 2004, znany jest także reaktor plazmowy z wyładowaniem ślizgającym się, służący do usuwania barwników organicznych z roztworów wodnych. Reaktor wg artykułu także posiada elektrody o łukowatym kształcie nożowym, które wyznaczają strefę wyładowczą. Do strefy tej wprowadza się mieszaninę procesową. Poniżej elektrod występuje naczynie odbiorcze połączone z wylotem, służące do odprowadzania powstałych produktów. Jako źródło wysokiego napięcia dla wyładowania łukowego zastosowany został sieciowy transformator podwyższający.

Duże reaktory z wyładowaniem łukowym dotychczas zasilane były głównie za pomocą układów transformatorowych przedstawionych w opisie patentowym PL180063. Rozwiązania te posiadają duży rozmiar i ciężar układu zasilania, ograniczone możliwości regulacyjne oraz występuje w nich konieczność instalacji dodatkowych systemów zapłonowych.

Natomiast z dokumentu patentowego nr PL 193498 znany jest zasilacz reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym do prowadzenia reakcji chemicznych, zwłaszcza utylizacji toksycznych gazów. Składa się on z czterech jednofazowych transformatorów, z których trzy jednakowe o rdzeniach nasyconych mają uzwojenia pierwotne połączone w gwiazdę i przyłączone do symetrycznej trójfazowej sieci bez przewodu neutralnego, a uzwojenia wtórne połączone w gwiazdę i przyłączone do elektrod plazmotronu. Czwarty transformator ma uzwojenie wtórne przyłączone do punktu neutralnego gwiazdy uzwojeń wtórnych trzech transformatorów i do elektrody zapłonowej reaktora plazmowego, a jego uzwojenie pierwotne przyłączone jest do punktu neutralnego gwiazdy uzwojeń pierwotnych trzech transformatorów. Charakteryzuje się on tym, że poprzez składowe harmoniczne uzyskuje się korzystne parametry przebiegów wyjściowych.

W dokumencie patentowym nr US 4322817 (A) ujawniono topologię przeciwsobnego impulsowego zasilacza, w którym odczep środkowy transformatora podwyższającego dołączony jest do dodatniego bieguna napięcia stałego. Wedle opisu sterowanie prądem pierwotnym odbywa się przy pomocy dwóch bipolarnych łączników tranzystorowych z otwieraniem przeciwsobnym, modulacją szerokości impulsu sterującego i zachowaniem czasów martwych. Obciążenia przyłączane są do strony wtórnej transformatora, po której prostuje się napięcie. Wedle opisu stosuje się pojedynczy pomiar prądu pierwotnego przy pomocy rezystancji w torze masy, na której bada się powstały spadek napięcia.

Także opis patentowy nr US6275391 (B1) ujawnia przekształtnik energoelektroniczny o topologii przeciwsobnej o separowanym galwanicznie obwodzie wtórnym transformatora dopasowującego. W zawartych w opisie przykładach, jako łączniki kluczujące prąd strony pierwotnej, zastosowano tranzystory polowe, jak również tranzystorowe łączniki bipolarne z izolowaną bramką, bocznikowane szybko diodą włączoną przeciwnie do polaryzacji klucza tranzystorowego. Opis patentowy zawiera także sposoby redukcji powstających przepięć komutacyjnych.

W przypadku zasilaczy współpracujących z reaktorami plazmowymi o wyładowaniu ślizgającym się problemem do rozwiązania jest dostarczenie energii elektrycznej o wysokim napięciu do reaktora

w fazie początkowej, celem pokonania wytrzymałości elektrycznej ośrodka dielektrycznego, który stanowi zazwyczaj gaz roboczy w zadanych warunkach wilgotności, ciśnienia i temperatury. Konieczna jest wówczas wysoka przekładnia zwojowa transformatora, aby takie napięcie wystąpiło. Po wstępnej jonizacji wymagane napięcie podtrzymania wyładowania jest znacznie niższe od zapłonowego i przekładnia zwojowa może mieć mniejszą wartość. Dotychczasowe rozwiązania wymagały zastosowania podstawowego przekształtnika zasilającego oraz dodatkowego układu zapłonowego lub dużej przekładni zwojowej transformatora podwyższającego.

Istotą układu zasilania reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem, posiadającego transformator podwyższający z układem sterowania prądem po stronie pierwotnej, według wynalazku jest to, że wejście napięcia stałego połączone jest równolegle z kondensatorem elektrolitycznym połączonym z masą oraz wejście napięcia stałego połączone jest szeregowo z przekładnikiem prądowym, który połączony jest z odczepem środkowym uzwojenia pierwotnego transformatora podwyższającego. Transformator podwyższający połączony jest szeregowo początkiem uzwojenia pierwotnego z kolektorem pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT, który podłączony jest swoim emiterym z masą. Pierwszy przełącznik tranzystorowy IGBT połączony jest od strony złącz kolektor-emiter równolegle z pierwszą diodą, która usytuowana jest anodą w kierunku emitera pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT i masy. Dodatkowo pierwszy łącznik tranzystorowy IGBT połączony jest równolegle z dwiema – pierwszymi szeregowymi diodami transil dwukierunkowymi połączonymi z masą, a także pierwszy łącznik tranzystorowy IGBT połączony jest równolegle z pierwszymi dwójnikami RC, składającym się z pierwszego rezystora połączonego szeregowo z pierwszym kondensatorem, który podłączony jest z masą. Bramka pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT połączona jest poprzez trzecią diodę transil dwukierunkową do masy, oraz bramka pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT połączona jest poprzez piąty rezystor z pierwszym wyjściem sygnału modulacji szerokości impulsu sterownika modulacji szerokości impulsu. Bramka pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT połączona jest dodatkowo poprzez trzeci rezystor z pierwszym łącznikiem tranzystorowym MOSFET od strony drenu, który podłączony jest od strony źródła z anodą trzeciej diody szeregowej, której katoda podłączona jest z wyjściem pierwszego sygnału modulacji szerokości impulsu sterownika modulacji szerokości impulsu. Bramka pierwszego łącznika tranzystorowego MOSFET połączona jest z wyjściem sygnału sterującego z sterownika zapłonowego, zaś transformator podwyższający połączony jest szeregowo końcem uzwojenia pierwotnego z kolektorem drugiego łącznika tranzystorowego IGBT, który podłączony jest swoim emiterym z masą.

Drugi łącznik tranzystorowy IGBT połączony jest od strony złącz kolektor-emiter równolegle z drugą diodą, która usytuowana jest anodą w kierunku emitera drugiego łącznika tranzystorowego IGBT. Drugi łącznik tranzystorowy IGBT połączony jest równolegle z dwiema szeregowymi drugimi diodami transil dwukierunkowymi połączonymi do masy. Drugi łącznik tranzystorowy IGBT połączony jest równolegle z dwójnikami RC składającym się z drugiego rezystora połączonego szeregowo z drugim kondensatorem, który podłączony jest do masy. Bramka drugiego łącznika tranzystorowego IGBT połączona jest poprzez czwartą diodę transil dwukierunkową do masy. Bramka drugiego łącznika tranzystorowego IGBT połączona jest poprzez szósty rezystor z wyjściem drugiego sygnału modulacji szerokości impulsu, sterownika modulacji szerokości impulsu do masy. Bramka drugiego łącznika tranzystorowego IGBT połączona jest od strony drenu poprzez czwarty rezystor z drugim łącznikiem tranzystorowym MOSFET, który podłączony jest od strony źródła z anodą czwartej diody. Bramka drugiego łącznika tranzystorowego MOSFET połączona jest z wyjściem sygnału sterującego z sterownika zapłonowego. Przekładnik prądowy połączony jest wyjściem sygnałowym ze sterownikiem zapłonowym oraz ze sterownikiem modulacji szerokości impulsu. Uzwojenie wtórne transformatora podwyższającego połączone jest z reaktorem plazmowym.

Istotą sposobu zasilania reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem, według wynalazku jest to, że ze sterownika modulacji szerokości impulsu, poprzez rezystor, ładuje się bramkę pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT, przez co otwiera się łącznik i przesyła się prąd z wejścia napięcia stałego poprzez odczep środkowy uzwojenia pierwotnego transformatora podwyższającego do początku uzwojenia pierwotnego, przez co za pośrednictwem zmiennego strumienia magnetycznego wytwarza się napięcie w uzwojeniu wtórnym transformatora podwyższającego. Za pomocą przetwornika prądowego mierzy się prąd płynący poprzez odczep środkowy uzwojenia pierwotnego transformatora podwyższającego.

W przypadku, gdy zmierzony całkowany prąd pełnokresowy jest mniejszy od 1,6 jałowego prądu pierwotnego, ze sterownika zapłonowego wysyła się sygnał sterujący o wysokim napięciu i ładuje

się bramki obydwu łączników tranzystorowych MOSFET, przez co w chwili kiedy za pomocą pierwszego sygnału sterującego  $y$  ze sterownika modulacji szerokości impulsu, rozładowuje się bramkę pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT sumuje się wówczas prądy gałęziowe w piątym i trzecim rezystorze, przewodząc zwiększony prąd rozładowania bramki pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT i poprzez szybkie rozładowanie bramki pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT wywołuje się znaczną stromość prądu płynącego przez początek uzwojenia pierwotnego transformatora podwyższającego, przez co za pośrednictwem szybkozmiennego strumienia magnetycznego w uzwojeniu wtórnym transformatora podwyższającego, doindukowuje się napięcie zapłonowe do napięcia podstawowego wytworzonego w uzwojeniu wtórnym. Dodatkowo, poprzez łącznik tranzystorowy IGBT, połączony z uzwojeniem pierwotnym i pierwszą diodą równoległą, doprowadza się do rezonansu napięcia w obrębie uzwojenia pierwotnego, który tłumii się za pomocą pierwszego dwójnika RC złożonego z pierwszego rezystora i pierwszego kondensatora, zaś składową napięciową niebezpieczną dla łącznika tranzystorowego odcina się przy pomocy gałęzi równoległej, złożonej z dwukierunkowych diod transil, w której właściwą charakterystykę odcinania otrzymuje się metodą charakterystyki łączonej.

W przypadku, gdy zmierzony prąd przekracza 1,6 jałowego prądu pierwotnego to, ze sterownika zapłonowego wysyła się sygnał sterujący z o niskim napięciu, którym rozładowuje się bramki obydwu łączników tranzystorowych MOSFET, przez co w chwili kiedy za pomocą sygnału sterującego ze sterownika modulacji szerokości impulsu  $S1$ , rozładowuje się bramkę łącznika tranzystorowego IGBT i wówczas prąd rozładowania przewodzi się z bramki jedynie poprzez piąty rezystor, zachowując wydłużony czas przerywania prądu w uzwojeniu pierwotnym i po przerwaniu prądu płynącego poprzez początek uzwojenia pierwotnego transformatora podwyższającego, zachowuje się czas martwy a następnie ze sterownika modulacji szerokości impulsu poprzez szósty rezystor ładuje się bramkę drugiego łącznika tranzystorowego IGBT, przez co otwiera się łącznik i przesyła się prąd z wejścia prądu stałego poprzez odczep środkowy uzwojenia pierwotnego do końca uzwojenia pierwotnego transformatora podwyższającego za pośrednictwem drugiego łącznika tranzystorowego IGBT do masy, przez co za pośrednictwem zmiennego strumienia magnetycznego, wytwarza się napięcie w uzwojeniu wtórnym transformatora podwyższającego o przeciwnej polaryzacji, zaś za pomocą przetwornika prądowego ponownie mierzy się prąd płynący poprzez odczep środkowy uzwojenia pierwotnego transformatora podwyższającego.

W przypadku, gdy zmierzony prąd jest mniejszy od 1,6 jałowego prądu pierwotnego to, ze sterownika zapłonowego wysyła się sygnał sterujący z o wysokim napięciu, który ładuje się bramki obydwu łączników tranzystorowych MOSFET, przez co w chwili kiedy za pomocą drugiego sygnału sterującego ze sterownika modulacji szerokości impulsu, rozładowuje się bramkę drugiego łącznika tranzystorowego IGBT sumuje się wówczas prądy gałęziowe w piątym rezystorze i trzecim rezystorze przewodząc zwiększony prąd rozładowania bramki drugiego łącznika tranzystorowego IGBT i poprzez szybkie rozładowanie bramki drugiego łącznika tranzystorowego IGBT, wywołuje się znaczną stromość prądu płynącego przez koniec uzwojenia pierwotnego transformatora podwyższającego, przez co za pośrednictwem szybkozmiennego strumienia magnetycznego w uzwojeniu wtórnym transformatora podwyższającego, doindukowuje się napięcie zapłonowe do napięcia podstawowego wytworzonego w uzwojeniu wtórnym. Dodatkowo, poprzez drugi łącznik tranzystorowy IGBT, połączony z uzwojeniem pierwotnym i równoległą drugą diodą, doprowadza się do rezonansu napięcia w obrębie uzwojenia pierwotnego, który tłumii się za pomocą drugiego dwójnika RC złożonego z drugiego rezystora i drugiego kondensatora. Składową napięciową niebezpieczną dla łącznika tranzystorowego odcina się przy pomocy gałęzi równoległej, złożonej z drugich dwukierunkowych diod transil, w której właściwą charakterystykę odcinania otrzymuje się metodą charakterystyki łączonej.

W przypadku, gdy zmierzony prąd przekracza 1,6 prądu jałowego prądu pierwotnego to ze sterownika zapłonowego wysyła się sygnał sterujący z o niskim napięciu, który rozładowuje się bramki obydwu łączników tranzystorowych MOSFET, przez co w chwili kiedy za pomocą sygnału sterującego ze sterownika modulacji szerokości impulsu rozładowuje się bramkę drugiego łącznika tranzystorowego IGBT i wówczas prąd rozładowania przewodzi się z bramki jedynie poprzez szósty rezystor, zachowując wydłużony czas przerywania prądu w uzwojeniu pierwotnym, a tym samym zmniejszając stromość prądu w uzwojeniu pierwotnym i ograniczając wartość napięcia zapłonowego.

Korzystnym skutkiem zastosowania wynalazku jest uproszczenie układu zasilania reaktora plazmowego z wyładowaniem ślizgającym się przy jednoczesnej automatyzacji systemu zapłonu.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest uwidoczony na rysunku, który przedstawia schemat układu.

Układ zasilania reaktora plazmowego w przykładzie wykonania jako obwód elektryczny, na którym umieszczono wejście napięcia stałego 1 przeznaczone do doprowadzania napięcia z zakresu 250–350 V, do którego podłączono kondensator elektrolityczny 2 złożony z czterech kondensatorów 350  $\mu\text{F}$  napięciu przebicia 450 V oraz kondensatora poliestrowego o pojemności 2,2  $\mu\text{F}$  i napięciu przebicia 630 V. Kondensator elektrolityczny 2 połączono z przetwornikiem prądowym 3. Zastosowano przetwornik prądowy z efektem Halla o zakresie od -25 A do 25A, napięciu probierczym 4,3 kV paśmie DC-250 kHz dokładności 1%. Zastosowano transformator podwyższający 5 na rdzeniu U-U o szerokości kolumny 28 mm, grubości kolumny 16 mm, szerokości okna 35 mm i wysokości całkowitej okna 96 mm, wysokości całkowitej rdzenia 152 mm i szerokości całkowitej rdzenia 92 mm. Materiał rdzenia stanowił ferryt mocy 3C90. Uzwojenie pierwotne o liczbie zwojów 2 x 58 zw. wykonane było z podwójnie izolowanego drutu nawojowego, miedzianego, skręconego w splot licowy z czterech drutów o średnicy 1 mm. Odczep środkowy znajdował się w połowie liczby zwojowej. Uzwojenie wtórne wykonane z drutu miedzianego średnicy 0,35 mm w podwójnej izolacji. Uzwojenia umieszczono na karkasach z płyty szklano-epoksydowej o grubości 1 mm. Jako łączniki tranzystorowe IGBT 7a i 7b zastosowano tranzystory bipolarne z bramką izolowaną o maksymalnym napięciu blokowania kolektor-emiter 1200 V, maksymalnym napięciu bramka-emiter 15 V, prądzie maksymalnym ciągłym kolektora 15 A, impulsowym prądzie kolektora 60 A i pojemności wejściowej 1600 pF. Łączniki tranzystorowe IGBT 7a, 7b bocznikowano diodami 8a, 8b o maksymalnym prądzie ciągłym 5 A, prądzie udarowym maksymalnym 55 A, napięciu maksymalnym otwarcia 810 mV, maksymalnym napięciu wstecznym 1200 V i czasie włączania 48 ns. Między kolektorem i emitern łączników tranzystorowych 7a i 7b umieszczono po dwie diody transil dwukierunkowe 9a, 9b, 1,5 kW dla każdego z łączników tak, że uzyskane napięcie przebicia wyniosło 1020 V, przy zachowaniu upływności prądowej 1  $\mu\text{A}$  i maksymalnym prądzie impulsowym równym 2 A. Do łączników tranzystorowych IGBT 7a, 7b dołączono także przeciwprzepięciowe dwójniki RC złożone z rezystora 10a – dla łącznika 7a oraz rezystora 10b – dla łącznika 7b oraz kondensatorów, odpowiednio 11a i 11b. Jako rezystory 10a i 10b dobrano rezystory metalizowane o rezystancji 21,8  $\Omega$  mocy 25 W. Jako kondensatory 11a i 11b zastosowano kondensatory poliestrowe o pojemności 1000 pF napięciu maksymalnym 2 kV i wytrzymałości impulsowej 50 kV/ $\mu\text{s}$ . Między bramką każdego z łączników tranzystorowych IGBT 7a, 7b i masą zastosowano diody transil 12a, 12b o strukturze dwukierunkowej i napięciu przebicia 15 V. Bramki łączników tranzystorowych IGBT 7a, 7b podłączono ze sterownikiem modulacji szerokości impulsu poprzez rezystory 16a, 16b o rezystancji 20  $\Omega$ . Dodatkowo bramki te połączono ze sterownikiem modulacji szerokości impulsu poprzez gałęzie złożone szeregowo z rezystora 13a, łącznika tranzystorowego MOSFET 14a, diody 15a dla łącznika tranzystorowego 7a oraz rezystora 13b, łącznika tranzystorowego MOSFET 14b, diody 15b odpowiednio dla łącznika tranzystorowego 7b. Jako rezystory 13a i 13b zastosowano rezystory metalizowane o rezystancji 4,7  $\Omega$ . Łączniki tranzystorowe MOSFET 14a z kanałem typu N o napięciu maksymalnym dren-źródło 50 V maksymalnym prądzie drenu 14 A i rezystancji w stanie przewodzenia 330 m $\Omega$ . Łączniki tranzystorowe 14a, 14b od strony źródła połączono odpowiednio poprzez diody 15a, 15b o dopuszczalnym prądzie ciągłym 3 A, napięciu maksymalnym 400 V oraz czasie odzyskiwania zdolności zwarciowej 50 ns.

Sposób zasilania reaktora plazmowego przeanalizowano na przykładowym układzie, w którym do wejścia napięcia stałego 1 przykładano napięcie stałe o wartości 325 V, napięcie filtrowano w kondensatorze elektrolitycznym 2 a następnie poprzez przetwornik prądowy 3 doprowadzono do odczepu środkowego uzwojenia pierwotnego 4 transformatora podwyższającego 5. Jednocześnie, ze sterownika modulacji szerokości impulsu S1, wysyłano do bramki łącznika tranzystorowego IGBT 7a zmienny sygnał modulacji o szerokości impulsu  $y$ , częstotliwości 14820 Hz, przebiegu prostokątnym, współczynnika wypełnienia 46%, amplitudzie 12V i fazie 0°. W ten sposób doprowadzono do otwarcia łącznika tranzystorowego IGBT 7a i przepuszczano prąd poprzez początek uzwojenia pierwotnego 4 do masy, wytwarzając strumień magnetyczny w rdzeniu transformatora podwyższającego 5. Strumień magnetyczny indukował w uzwojeniu wtórnym napięcie wyznaczone poprzez wartość przekładni transformatora podwyższającego 5. Jednocześnie, przy pomocy przetwornika prądowego 3, mierzono prąd w odczepie środkowym uzwojenia pierwotnego i sygnał prądowy przesyłano do sterownika zapłonowego S2. Po czasie 28,3  $\mu\text{s}$  przerwano przepływ prądu i zachowując czas martwy, te same czynność przeprowadzano odpowiednio dla gałęzi łącznika tranzystorowego IGBT 7b tak, że ze sterownika modulacji szerokości impulsu S1 wysyłano do bramki łącznika tranzystorowego IGBT 7b drugi zmienny sygnał modulacji szerokości impulsu  $y'$  o częstotliwości 14820 Hz, przebiegu prostokątnym, współczynnika wypełnienia 46%, amplitudzie 12 V i fazie 180°. W ten sposób doprowadzono do otwarcia łącznika tranzystorowego IGBT 7b i przepuszczano prąd poprzez koniec uzwojenia pierwotnego 4 do masy, wytwarzając

w ten sposób przeciwny strumień magnetyczny w rdzeniu transformatora podwyższającego 5. Strumień magnetyczny indukował napięcie wtórne o przeciwnej polaryzacji. Czynność tę powtarzano nieprzerwanie. Jednocześnie, przy pomocy przetwornika prądowego 3, mierzono prąd w odczepie środkowym uzwojenia pierwotnego 4 i sygnał prądowy ponownie przesyłano do sterownika zapłonowego S2.

Prąd jałowy uzwojenia pierwotnego 4 wyniósł 0,72 A, a czas jego przerywania 5  $\mu$ s. Podczas przerywania prądu wytworzono napięcie krótkotrwałe na poziomie 6,2 V dla jednego zwoju uzwojenia wtórnego 6. Następnie ze sterownika zapłonowego S2 przesłano sygnał stałonapięciowy o napięciu 12 V trwający przez 264,4  $\mu$ s (około czterech okresów pracy przekształtnika) do łączników tranzystorowych MOSFET 14a, 14b i dokonano ich otwarcia. Poprzez otwarcie łączników tranzystorowych MOSFET 14a, 14b zwiększono stromość prądu wyłączenia w uzwojeniu pierwotnym transformatora tak, że czas jego wyłączenia nie przekroczył 1,7  $\mu$ s i uzyskano krótkotrwałe napięcie zapłonowe na poziomie 9,07 V dla jednego zwoju uzwojenia wtórnego 6. Czynności powtarzano cyklicznie, a jako prąd graniczny dla sterownika zapłonowego S2 ustalono wartość 1,15 A. Jeżeli prąd mierzony w przetworniku prądowym przekraczał wartość 1,15 A, co występowało po zapłonie reaktora plazmowego 17, przesłano sygnał stałonapięciowy o napięciu 0 V do łączników tranzystorowych MOSFET 14a, 14b i dokonano ich zamknięcia. Poprzez zamknięcie łączników tranzystorowych MOSFET 14a, 14b przywracano poprzednią stromość prądu wyłączenia w uzwojeniu pierwotnym transformatora podwyższającego 5, przez co zmniejszano wartość napięcia doindukowywanego. Jeżeli prąd mierzony w przetworniku prądowym nie przekraczał wartości 1,15 A, co występowało w przypadku braku zapłonu reaktora plazmowego 17, przesyłano sygnał stałonapięciowy o napięciu 12 V do łączników tranzystorowych MOSFET 14a, 14b i dokonywano ich ponownego otwarcia, celem ponownego zwiększenia stromości prądu uzwojenia pierwotnego i uzyskania zapłonu. Czynności te powtarzano.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Układ zasilania reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem, posiadający, transformator podwyższający z układem sterowania prądem po stronie pierwotnej, **znamienny tym**, że wejście napięcia stałego (1) połączone jest równolegle z kondensatorem elektrolitycznym (2) połączonym z masą oraz wejście napięcia stałego (1) połączone jest szeregowo z przekładnikiem prądowym (3), który połączony jest z odczepem środkowym uzwojenia pierwotnego (4) transformatora podwyższającego (5), zaś transformator podwyższający (5) połączony jest szeregowo początkiem uzwojenia pierwotnego (4) z kolektorem pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT (7a), który podłączony jest swoim emiterem z masą, z kolei pierwszy przełącznik tranzystorowy IGBT (7a) połączony jest od strony złącz kolektor-emiter równolegle z pierwszą diodą (8a), która usytuowana jest anodą w kierunku emitera pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT (7a) i masy oraz pierwszy łącznik tranzystorowy IGBT (7a) połączony jest równolegle z dwiema – pierwszymi szeregowymi diodami transil dwukierunkowymi (9a) połączonymi z masą, a także pierwszy łącznik tranzystorowy IGBT (7a) połączony jest równolegle z pierwszymi dwójnikami RC, składającym się z pierwszego rezystora (10a) połączonego szeregowo z pierwszym kondensatorem (11a), który podłączony jest z masą; dodatkowo bramka pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT (7a) połączona jest poprzez trzecią diodę transil dwukierunkową (12a) do masy, oraz bramka pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT (7a) połączona jest poprzez piąty rezystor (16a) z pierwszym wyjściem sygnału modulacji szerokości impulsu (y) sterownika modulacji szerokości impulsu (S1) zaś bramka pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT (7a) połączona jest dodatkowo poprzez trzeci rezystor (13a) z pierwszym łącznikiem tranzystorowym MOSFET (14a) od strony drenu, który podłączony jest od strony źródła z anodą trzeciej diody szeregowej (15a), której katoda podłączona jest z wyjściem pierwszego sygnału modulacji szerokości impulsu (y) sterownika modulacji szerokości impulsu (S1), przy czym bramka pierwszego łącznika tranzystorowego MOSFET (14a) połączona jest z wyjściem sygnału sterującego (z) sterownika zapłonowego (S2), zaś transformator podwyższający (5) połączony jest szeregowo końcem uzwojenia pierwotnego (4) z kolektorem drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b), który podłączony jest swoim emiterem z masą, z kolei drugi łącznik tranzystorowy IGBT (7b) połączony jest od strony złącz kolektor-emiter równolegle z drugą diodą (8b), która usytuowana jest anodą w kierunku emitera drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) oraz drugi łącznik tranzystorowy

- IGBT (7b) połączony jest równolegle z dwiema szeregowymi drugimi diodami transil dwukierunkowymi (9b) połączonymi do masy a także drugi łącznik tranzystorowy IGBT (7b) połączony jest równolegle z dwójnikiem RC składającym się z drugiego rezystora (10b) połączanego szeregowo z drugim kondensatorem (11b), który podłączony jest do masy, dodatkowo bramka drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) połączona jest poprzez czwartą diodę transil dwukierunkową (12b) do masy oraz bramka drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) połączona jest poprzez szósty rezystor (16b) z wyjściem drugiego sygnału modulacji szerokości impulsu ( $y$ ), sterownika modulacji szerokości impulsu (S1) do masy, zaś bramka drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) połączona jest od strony drenu poprzez czwarty rezystor (13b) z drugim łącznikiem tranzystorowym MOSFET (14b), który podłączony jest od strony źródła z anodą czwartej diody (15b), przy czym bramka drugiego łącznika tranzystorowego MOSFET (14b) połączona jest z wyjściem sygnału sterującego ( $z$ ) sterownika zapłonowego (S2), natomiast przekładnik prądowy (3) połączony jest wyjściem sygnałowym ( $i$ ) ze sterownikiem zapłonowym (S2) oraz ze sterownikiem modulacji szerokości impulsu (S1), zaś uzwojenie wtórne (6) transformatora podwyższającego (5) połączone jest z reaktorem plazmowym (17).
2. Sposób zasilania reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem **znamienny tym**, że ze sterownika modulacji szerokości impulsu (S1) poprzez rezystor (16a) ładuje się bramkę pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT (7a) przez co otwiera się łącznik i przesyła się prąd z wejścia napięcia stałego (1) poprzez odczep środkowy uzwojenia pierwotnego (4) transformatora podwyższającego (5) do początku uzwojenia pierwotnego (4), przez co za pośrednictwem zmiennego strumienia magnetycznego wytwarza się napięcie w uzwojeniu wtórnym (6) transformatora podwyższającego (5) oraz za pomocą przetwornika prądowego (3) mierzy się prąd płynący poprzez odczep środkowy uzwojenia pierwotnego (4) transformatora podwyższającego (5)
- i w przypadku gdy zmierzony scałkowany prąd pełnookresowy jest mniejszy od 1,6 jałowego prądu pierwotnego to ze sterownika zapłonowego (S2) wysyła się sygnał sterujący ( $z$ ) o wysokim stanie napięciowym i ładuje się bramki obydwu łączników tranzystorowych MOSFET (14a i 14b) przez co w chwili kiedy za pomocą pierwszego sygnału sterującego ( $y$ ) ze sterownika modulacji szerokości impulsu (S1) rozładowuje się bramkę pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT (7a) sumuje się wówczas prądy gałęziowe w piątym rezystorze (16a) i trzecim rezystorze (13a) przewodząc zwiększony prąd rozładowania bramki pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT (7a) i poprzez szybkie rozładowanie bramki pierwszego łącznika tranzystorowego IGBT (7a) wywołuje się znaczną stromość prądu płynącego przez początek uzwojenia pierwotnego (4) transformatora podwyższającego (5) przez co za pośrednictwem szybkozmiennego strumienia magnetycznego w uzwojeniu wtórnym (6) transformatora podwyższającego (5) doindukowuje się napięcie zapłonowe do napięcia podstawowego wytworzonego w uzwojeniu wtórnym (6), dodatkowo poprzez łącznik tranzystorowy IGBT (7a), połączony z uzwojeniem pierwotnym (4) i pierwszą diodą równoległą (8a) doprowadza się do rezonansu napięcia w obrębie uzwojenia pierwotnego (4), który tłumii się za pomocą pierwszego dwójnika RC złożonego z pierwszego rezystora (10a) i pierwszego kondensatora (11a), zaś składową napięciową niebezpieczną dla łącznika tranzystorowego odcina się przy pomocy gałęzi równoległej, złożonej z dwukierunkowych diod transil (9a) w której właściwą charakterystykę odcinania otrzymuje się metodą charakterystyki łączonej,
- a w przypadku gdy zmierzony prąd przekracza 1,6 prądu jałowego prądu pierwotnego to ze sterownika zapłonowego (S2) wysyła się sygnał sterujący ( $z$ ) o niskim stanie napięciowym i rozładowuje się bramki obydwu łączników tranzystorowych MOSFET (14a i 14b) przez co w chwili kiedy za pomocą sygnału sterującego ( $y$ ) ze sterownika modulacji szerokości impulsu (S1) rozładowuje się bramkę łącznika tranzystorowego IGBT (7a) i wówczas prąd rozładowania przewodzi się z bramki jedynie poprzez piąty rezystor (16a) zachowując wydłużony czas przerywania prądu w uzwojeniu pierwotnym (4) i po przerwaniu prądu płynącego przez początek uzwojenia pierwotnego (4) transformatora podwyższającego (5) zachowuje się czas martwy i następnie ze sterownika modulacji szerokości impulsu (S1) poprzez szósty rezystor (16b) ładuje się bramkę drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) przez co otwiera się łącznik i przesyła się prąd z wejścia prądu stałego (1) poprzez odczep środkowy uzwojenia

pierwotnego do końca uzwojenia pierwotnego (4) transformatora podwyższającego (5) za pośrednictwem drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) do masy, przez co za pośrednictwem zmiennego strumienia magnetycznego wytwarza się napięcie w uzwojeniu wtórnym (6) transformatora podwyższającego (5) o przeciwnej polaryzacji zaś za pomocą przetwornika prądowego (3) ponownie mierzy się prąd płynący poprzez odczep środkowy uzwojenia pierwotnego (4) transformatora podwyższającego (5) i w przypadku gdy zmierzony prąd jest mniejszy od 1,6 jałowego prądu pierwotnego to ze sterownika zapłonowego (S2) wysyła się sygnał sterujący (z) o wysokim stanie napięciowym i ładuje się bramki obydwu łączników tranzystorowych MOSFET (14a i 14b) przez co w chwili kiedy za pomocą drugiego sygnału sterującego (y') ze sterownika modulacji szerokości impulsu (S1) rozładowuje się bramkę drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) sumuje się wówczas prądy gałęziowe w piątym rezystorze (16b) i trzecim rezystorze (13b) przewodząc zwiększony prąd rozładowania bramki drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) i poprzez szybkie rozładowanie bramki drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) wywołuje się znaczną stromość prądu płynącego przez koniec uzwojenia pierwotnego (4) transformatora podwyższającego (5) przez co za pośrednictwem szybkozmiennego strumienia magnetycznego w uzwojeniu wtórnym (6) transformatora podwyższającego (5) doindukowuje się napięcie zapłonowe do napięcia podstawowego wytworzonego w uzwojeniu wtórnym (6), dodatkowo poprzez drugi łącznik tranzystorowy IGBT (7b), połączony z uzwojeniem pierwotnym (4) i równoległą drugą diodą (8b) doprowadza się do rezonansu napięcia w obrębie uzwojenia pierwotnego (4), który tłumii się za pomocą drugiego dwójnika RC złożonego z drugiego rezystora (10b) i drugiego kondensatora (11b), zaś składową napięciową niebezpieczną dla łącznika tranzystorowego odcina się przy pomocy gałęzi równoległej, złożonej z drugich dwukierunkowych diod transil (9b), w której właściwą charakterystykę odcinania otrzymuje się metodą charakterystyki łączonej, zaś w przypadku gdy zmierzony prąd przekracza 1,6 prądu jałowego prądu pierwotnego to ze sterownika zapłonowego (S2) wysyła się sygnał sterujący (z) o niskim stanie napięciowym i rozładowuje się bramki obydwu łączników tranzystorowych MOSFET (14a i 14b) przez co w chwili kiedy za pomocą sygnału sterującego (y) ze sterownika modulacji szerokości impulsu (S1) rozładowuje się bramkę drugiego łącznika tranzystorowego IGBT (7b) i wówczas prąd rozładowania przewodzi się z bramki jedynie poprzez szósty rezystor (16b), zachowując wydłużony czas przerywania prądu w uzwojeniu pierwotnym (4) a tym samym zmniejszając stromość prądu w uzwojeniu pierwotnym (4) ograniczając wartość napięcia zapłonowego.



Rysunek



