

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **234412**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **420699**

(22) Data zgłoszenia: **01.03.2017**

(51) Int.Cl.

H02K 44/02 (2006.01)

F04B 37/00 (2006.01)

H02K 44/10 (2006.01)

(54) **Układ elektrod w pompie elektrohydrodynamicznej i sposób jego działania**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

10.09.2018 BUP 19/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

28.02.2020 WUP 02/20

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT MASZYN PRZEPŁYWOWYCH
IM. ROBERTA SZEWAŁSKIEGO POLSKIEJ
AKADEMII NAUK, Gdańsk, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JANUSZ PODLIŃSKI, Gdańsk, PL
MAGDALENA DANOWSKA, Gdańsk, PL
TOMASZ IZDEBSKI, Gdańsk, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Małgorzata Matyka

PL 234412 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ elektrod w pompie elektrohydrodynamicznej (EHD), służący do samoistnego pompowania płynów dielektrycznych, wyposażony w elektrody o różnej konfiguracji i geometrii.

Znana jest z opisu wynalazku US 2008/0131293 A pompa elektrohydrodynamiczna, która napędza płyn, w którym powstają formy zdysocjowanych jonów, poprzez wykorzystanie pola elektrycznego. Płyn jest napędzany w tunelu zawierającym parę elektrod, do których zostało przyłożone wysokie napięcie. Wykorzystano elektrodę drutową zamocowaną wzdłuż osi układu oraz metalową elektrodę w kształcie stożka.

W opisie MD1027 (Y) ujawniono pompę elektrohydrodynamiczną, która zawiera w swojej budowie elektrody drutowe rozciągnięte poprzecznie do osi tunelu. Tunel jest podzielony na części, z których każda sekwencja zawiera parę elektrod emiter-kolektor, pomiędzy którymi znajduje się porowaty dielektryk, którego wysokość jest o 0,5 raza większa od poprzedniego, mierząc w kierunku pompowania płynu. Im większy rozmiar dielektryka tym wielkość porów jest coraz mniejsza.

Z opisu US 2015/0337815A1 znane jest rozwiązanie pompy, wykorzystującej zjawiska elektromagnetyczne oraz elektryczne, w tym elektrohydrodynamiczne, do transportu płynów. Rozwiązanie dotyczy wykorzystania zjawiska fali uderzeniowej wynikającej ze zjawisk termodynamicznych. Urządzenie w kształcie rury, w którym ruch cieczy jest inicjowany poprzez wzbudzenie wynikające z generowania wyładowania między parą elektrod. Rozwiązanie to jednak wykorzystuje tylko transport cieczy.

Z opisu US 2008/0118370A1 znana jest mikropompa EHD, składająca się z zestawów np. 3 elektrod, przy czym każda z trzech elektrod jest podłączona w taki sposób, że sygnał dociera do każdej elektrody kolejno po sobie. Naprzeciw tych elektrod umieszczono elektrodę o stałym napięciu. Rozwiązanie cechuje się tym, że zestawy elektrod są umieszczone bezpośrednio na powłoce z nanorurek węglowych. Kierunek pompowania jest wymuszony przez kolejność dostarczonego sygnału do elektrody.

Podstawę mikropompy stanowi podłoże, np. ze szkła, na którym jest mocowana warstwa izolacji. Urządzenie to wykorzystuje wyładowanie barierowe i jest skomplikowane.

Z opisu JP 2006/158169A znana jest pompa EHD składająca się z uziemionych elektrod zewnętrznych oraz jednej drutowej elektrody podłączonej do źródła wysokiego napięcia. Urządzenie działa na zasadzie generowania dużego pola elektrycznego między elektrodą wysokonapięciową i uziemioną. Układ wyposażony jest w kanały zwrotne płynów oraz odpływy płynów, przy czym osi izolowanych kanałów odpływowych pokrywa się z osią drutowej elektrody wysokonapięciowej. Urządzenie to wykazuje skomplikowaną budowę.

Z opisu US 2003/0206807 znana jest pompa EHD, która w obszarze części pompującej zawiera elektrody podłączone do źródła zasilania wysokiego napięcia o niskim prądzie, do elektrod przyłożone jest stałe napięcie o polaryzacji dodatniej. Rozwiązanie dotyczy 3 konfiguracji wysokonapięciowych elektrod w formie: trzech igieł tworzących w przekroju poprzecznym urządzenia wierzchołki trójkąta foremego, rurki której osi pokrywa się z osią urządzenia pompującego oraz igły, której osi pokrywa się z osią urządzenia i w każdym przypadku uziemionej elektrody okalającej serię lub daną elektrodę.

Przepływ elektrohydrodynamiczny (EHD) można wywołać stosując wyładowanie koronowe. Wyładowanie to powstaje gdy wytworzy się wystarczająco dużą różnicę potencjału elektrycznego pomiędzy elektrodami. Można to uzyskać np. poprzez przyłożenie wysokiego napięcia do jednej z elektrod oraz uziemienie drugiej. Aby uzyskać wyładowanie koronowe przynajmniej jedna z elektrod musi posiadać krawędź o małej krzywiznie (ostre zakończenie). Duży gradient pola elektrycznego w pobliżu ostrza elektrody wywołuje jonizację gazu otaczającego tę elektrodę, a następnie wywołuje rozwój wyładowania koronowego. Na wytworzone jony gazu działa siła elektrostatyczna, która wywołuje dryf jonów w kierunku drugiej elektrody. Jony te zderzając się z neutralnymi cząstkami gazu, przekazują im część swojego pędu, w rezultacie czego pojawia się tzw. przepływ elektrohydrodynamiczny. Elektroda posiadająca ostre zakończenie (od której rozwija się wyładowanie) jest nazywana elektrodą ulotową, natomiast elektroda do której poruszają się jony nazywana jest elektrodą zbiorczą.

Jeśli elektroda ulotowa jest na wyższym potencjale niż elektroda zbiorcza (np. jest zasilana napięciem o polaryzacji dodatniej, a elektroda zbiorcza jest uziemiona), to uzyskujemy dodatnie wyładowanie koronowe, co oznacza, że w przestrzeni międzyelektrodowej występują głównie jony dodatnie. Jeśli natomiast elektroda ulotowa jest na niższym potencjale niż elektroda zbiorcza (np. jest uziemiona, a elektroda zbiorcza jest zasilana napięciem o polaryzacji dodatniej), to uzyskujemy ujemne wyładowa-

nie koronowe, co oznacza, że w przestrzeni międzyelektrodowej występują głównie jony ujemne. Występowanie dużej ilości jonów w rejonie wyładowania koronowego powoduje, że wszelkie zanieczyszczenia znajdujące się w gazie, np. cząstki pyłu, ulegają naładowaniu. Gdy cząstka nagromadzi duży ładunek elektryczny zaczyna poruszać się (pod wpływem siły elektrostatycznej) w kierunku elektrody zbiorczej i osadza się na niej. Osadzanie się cząstek pyłu w pompie EHD jest niekorzystnym zjawiskiem, ponieważ warstwa pyłu na elektrodzie zbiorczej zaburza/osłabia wyładowanie koronowe.

Jeśli układ elektrod w pompie EHD wygeneruje asymetryczne pole elektryczne to wytworzony przepływ EHD wywoła przepływ gazu w pewnym kierunku, czyli pojawi się elektrohydrodynamiczne pompowanie gazu. Wykorzystanie zjawiska EHD nie wymaga dodatkowego wymuszania ruchu cząsteczek poprzez stosowanie wentylatorów, ponieważ prędkość przepływu płynu można regulować układem elektrod i wartością przykładanego napięcia. Brak ruchomych części mechanicznych przekłada się na cichą pracę urządzenia, zwiększa również jego niezawodność ze względu na mniejszą awaryjność.

Celem wynalazku jest układ elektrod w pompie elektrohydrodynamicznej (EHD), służący do wymuszania przepływu płynów, który wyeliminuje niedogodności znanych dotychczas tego rodzaju urządzeń oraz pozwoli na uzyskanie wysokiej skuteczności pracy, maksymalne wykorzystanie całkowitej objętości urządzenia poprzez wyeliminowanie elementów w przekroju urządzenia, występujące w innych rozwiązaniach.

Istotą rozwiązania według wynalazku jest geometria elektrod oraz ich konfiguracja w taki sposób, że układ składa się z co najmniej jednej pary elektrod o znacznej różnicy potencjałów, pozwalającej na wygenerowanie wyładowania koronowego, zamocowanych naprzeciw siebie, z pewnym przesunięciem, przy czym jedna z elektrod w danej parze jest elektrodą ulotową, która może być podłączona do zasilania o napięciu stałym lub zmiennym o polaryzacji zarówno ujemnej jak i dodatniej. Różnica napięć występujących na elektrodach musi równać się co najmniej wartości progowej umożliwiającej uzyskanie wyładowania koronowego. Korzystne jest stosowanie co najmniej 2 par elektrod, a ich ilość może być nieograniczona. Elektrody są mocowane bezpośrednio do materiału dielektrycznego, korzystne jest stosowanie elektrod płaskich. Według wynalazku krawędzie elektrod skierowane w stronę wlotu urządzenia są gładkie i zabezpieczone materiałem dielektrycznym uniemożliwiającym rozwój wyładowania koronowego (w przypadku pierwszej elektrody nie jest wymagane izolowanie krawędzi materiałem nieprzewodzącym), natomiast krawędzie elektrod skierowane w stronę wylotu urządzenia są zakończone ostrzami, przy czym ostatnia elektroda nie musi posiadać ostrzy. Zastosowanie takich elektrod powoduje, że każda z elektrod (poza pierwszą i ostatnią) może stać się zarówno elektrodą ulotową jak i zbiorczą, ponieważ wyładowanie koronowe może się rozwijać zarówno od elektrody wysokonapięciowej do uziemionej, jak i od uziemionej do wysokonapięciowej.

Dla ciągu kilku elektrod uzyskuje się ciąg kolejnych wyładowań, na przemian, od elektrody wysokonapięciowej do uziemionej i od uziemionej do wysokonapięciowej. W ten sposób uzyskuje się ciąg wyładowań koronowych o przeciwnej polaryzacji, tj. dodatniej oraz ujemnej, które charakteryzują się generacją dużej ilości jonów odpowiednio dodatnich oraz ujemnych. Dzięki temu pył zawieszony w przepompowywanym gazie jest ładowany na przemian dodatnimi i ujemnymi jonami, które się neutralizują i cząstka pyłu nie uzyskuje dużego ładunku. W efekcie siła elektrostatyczna kierująca pył do elektrody zbiorczej jest niewielka i mniej pyłu osadza się na elektrodzie zbiorczej.

Przedmiotem wynalazku jest układ elektrod w pompie elektrohydrodynamicznej, gdzie elektrody w sąsiadujących warstwach są przesunięte względem siebie.

Układ gdzie krawędzie elektrod od strony wlotu pompy są gładkie, a w kierunku wylotu pompy są zakończone ostrzami.

Układ gdzie każda z elektrod, poza pierwszą i ostatnią, może być jednocześnie elektrodą ulotową i elektrodą zbiorczą.

Układ gdzie umieszcza się nieograniczoną liczbę elektrod.

Układ gdzie elektrody są płaskie, korzystnie gdy ostrza są skierowane ku kolejnej elektrodzie zbiorczej.

Układ gdzie wielkość poszczególnych elektrod może być różna.

Układ gdzie wszystkie części są stałe.

Układ, który posiada minimum dwie warstwy, korzystnie nieograniczoną liczbę warstw.

Sposób działania układu elektrod zdefiniowanego powyżej gdzie:

- jedna elektroda w danej parze jest elektrodą ulotową,
- podłączone do niej zasilanie powoduje, że pomiędzy parą elektrod pojawia się wyładowanie koronowe,

- wyładowanie powoduje jonizację cząsteczek gazu i powstaje plazma,
- jony poruszają się zgodnie z kierunkiem linii pola elektrycznego,
- jony zderzają się z cząsteczkami gazu powodując ich uporządkowany ruch w postaci przepływu gazu.

Zaletą wynalazku jest wysoka skuteczność pompowania oraz obniżone zanieczyszczenie elektrod.

Określenie stosowane powyżej oraz w opisie i zastrzeżeniach patentowych, ma następujące znaczenie:

Materiał dielektryczny – oznacza dowolny materiał nieprzewodzący prądu.

Opis figur:

Fig. 1 – przedstawia przykładowy wygląd elektrod z ostrzami na jednej krawędzi

Fig. 2 – przedstawia schemat (przekrój podłużny) pompy EHD opartej na dwuwarstwowej konfiguracji elektrod

Fig. 3 – przedstawia schemat (przekrój podłużny) pompy EHD opartej na wielowarstwowej konfiguracji elektrod

Fig. 4 – przedstawia schemat (przekrój podłużny i poprzeczny) pompy EHD według przykładu 1

Fig. 5 – przedstawia schemat (przekrój podłużny i poprzeczny) pompy EHD według przykładu 2

Fig. 6 Zależność prędkości przepływu pompowanego powietrza od napięcia przyłożonego do elektrod wg wynalazku (Przykład 2)

Przykładowy kształt elektrod został przedstawiony na fig. 1. Korzystnie gdy ostre końce elektrody są zwrócone w kierunku kolejnej elektrody przeciwległej, przesuniętej w kierunku wylotu urządzenia (elektrody, do której będzie się rozwijało wyładowanie koronowe). Schemat urządzenia opartego na prostej, dwuwarstwowej konfiguracji przedstawiono na fig. 2. Przedstawiona konfiguracja może zostać rozszerzona o nieskończoną ilość warstw, czyli elektrod umieszczonych pomiędzy ścianami urządzenia (wykonanymi z materiału dielektrycznego), co zostało przedstawione na fig. 3. W takim wypadku elektrody w poszczególnych warstwach mogą mieć różne przesunięcia.

Wielkość elektrod może być różna, przy czym korzystnie jest aby długość elektrody (od zaokrąglonego końca do ostrzy), była jak najmniejsza, ale nie ograniczająca jednoczesnego funkcjonowania elektrody jako zbiorczej i ulotowej, tj. aby płaska część elektrody (w pobliżu zaokrąglonego końca) pracowała jako zbiorcza, natomiast ostro zakończona część elektrody pracowała jako ulotowa.

Wynalazek ilustrują następujące przykłady wykonania, nie stanowiące jego ograniczenia.

Przykład 1

Układ elektrod w pompie elektrohydrodynamicznej, stanowiący przedmiot wynalazku, uwidocznił na rysunku, na którym Fig. 4 przedstawia przekrój podłużny i poprzeczny, gdzie umieszczono siedem elektrod (1.1–1.4 oraz 2.1–2.3) o długości 50 mm. Elektrody zostały wykonane ze stali nierdzewnej o grubości 1 mm. Elektrody (2.1–2.3) zostały połączone ze źródłem wysokiego napięcia (2) stałego o polaryzacji dodatniej, natomiast elektrody (1.1–1.4) zostały uziemione. W przedstawionym przykładzie elektrody były zamocowane bezpośrednio na materiale dielektrycznym (1) [płyta z poli(metakrylanu metylu)] o grubości 10 mm, po przeciwnych stronach urządzenia. Poszczególne pary elektrod (pomiędzy którymi zachodziło wyładowanie koronowe) były przesunięte względem siebie w taki sposób, że początek kolejnej elektrody (gładka krawędź) był przesunięty w stronę wylotu o 20 mm od końca elektrody poprzedniej (krawędź z ostrzami). W tym przykładzie zastosowano sześć elektrod (1.1–1.3, 2.1–2.3) płaskich z ostrzami skierowanymi wzdłuż osi danej elektrody oraz jedną elektrodę (1.4) płaską bez zaostrzonych końców. Odległość h_1 między materiałem dielektrycznym wynosiła 40 mm. Szerokość tunelu d_1 wynosiła 120 mm. Długość tunelu l_1 wynosiła 510 mm.

Przykład 2

Układ elektrod w pompie elektrohydrodynamicznej, stanowiący przedmiot wynalazku, uwidocznił na rysunku, na którym Fig. 5 przedstawia przekrój podłużny i poprzeczny, gdzie umieszczono pięć elektrod (1.1–1.3, 2.1–2.2) o długościach 10 mm (1.1), 30 mm (2.1, 2.2), 40 mm (1.2), 50 mm (1.3). Elektrody zostały wykonane z taśmy miedzianej o grubości 0,05 mm. Elektrody (2.1, 2.2) zostały połączone ze źródłem wysokiego napięcia (2) stałego o polaryzacji ujemnej, natomiast elektrody (1.1–1.3) były elektrodami uziemionymi. W przedstawionym przykładzie elektrody były zamocowane bezpośrednio na materiale dielektrycznym (1) – warstwa poliimidowa o grubości 0,3 mm, po przeciwnych stronach urządzenia i przesunięte względem siebie w taki sposób, że początek kolejnej elektrody był przesunięty o pewną odległość w stosunku do poprzedniej elektrody, gdzie poszczególne przysunięcia wynosiły: $k_{1.1} \rightarrow p_{2.1} = 15$ mm; $k_{2.1} \rightarrow p_{2.1} = -0,5$ mm; $k_{1.2} \rightarrow p_{2.2} = 10$ mm; $k_{2.2} \rightarrow p_{1.3} = 0$ mm, przy czym

końce elektrod były zwrócone w kierunku wylotu urządzenia. W tym przykładzie zastosowano cztery elektrody (1.1–1.2, 2.1–2.2) płaskie z ostrzami skierowanymi do kolejnej elektrody (ostrza odchyłone o 60° od osi elektrody) oraz elektrodę (1.3) płaską bez ostrzy. Odległość h_2 między ściankami z materiału dielektrycznego wynosiła 30 mm. Szerokość tunelu d_2 wynosiła 80 mm. Długość tunelu l_2 wynosiła 200 mm. Skuteczność pompowania powietrza pompą elektrohydrodynamiczną wykonaną zgodnie z powyższym opisem została pomierzona anemometrem. Średnia prędkość przepływu generowanego dla poszczególnych wartości napięcia przykładanego do elektrod została przedstawiona na Fig. 6.

Oznaczenia stosowane w opisie:

- 1.1, 1.2, 1.n – elektrody w warstwie pierwszej;
- 2.1, 2.2, 2.n – elektrody w warstwie drugiej;
- m – kolejne warstwy (1.1, 2.1, m.n);
- n – kolejna elektroda w danej warstwie (1.1, 2.1, m.n);
- 1 – materiał dielektryczny;
- 2 – złącze, do którego przykładano wysokie napięcie;
- k_i – koniec i-tej elektrody;
- p_i – początek i-tej elektrody;
- ➡ – oznacza kierunek generowanego przepływu EHD.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ elektrod w pompie elektrohydrodynamicznej **znamienny tym**, że elektrody w sąsiadujących warstwach są przesunięte względem siebie.
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że krawędzie elektrod od strony wlotu pompy są gładkie, a w kierunku wylotu pompy są zakończone ostrzami.
3. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że każda z elektrod, poza pierwszą i ostatnią, może być jednocześnie elektrodą ulotową i elektrodą zbiorczą.
4. Układ według zastrz. 1–3, **znamienny tym**, że umieszcza się nieograniczoną liczbę elektrod.
5. Układ według zastrz. 1–4, **znamienny tym**, że elektrody są płaskie, korzystnie gdy ostrza są skierowane ku kolejnej elektrodzie zbiorczej.
6. Układ według zastrz. 1–5, **znamienny tym**, że wielkość poszczególnych elektrod może być różna.
7. Układ według zastrz. 1–6, **znamienny tym**, że wszystkie części są stałe.
8. Układ według zastrz. 1–7, **znamienny tym**, że posiada co najmniej dwie warstwy, przy czym może posiadać nieograniczoną liczbę warstw.
9. Sposób działania układu elektrod zdefiniowanego w zastrz. 1, gdzie:
 - jedna elektroda w danej parze jest elektrodą ulotową,
 - połączone do niej zasilanie powoduje, że pomiędzy parą elektrod pojawia się wyładowanie koronowe,
 - wyładowanie powoduje jonizację cząsteczek gazu i powstaje plazma,
 - jony poruszają się zgodnie z kierunkiem linii pola elektrycznego,
 - jony zderzają się z cząsteczkami gazu powodując ich uporządkowany ruch w postaci przepływu gazu.

Rysunki

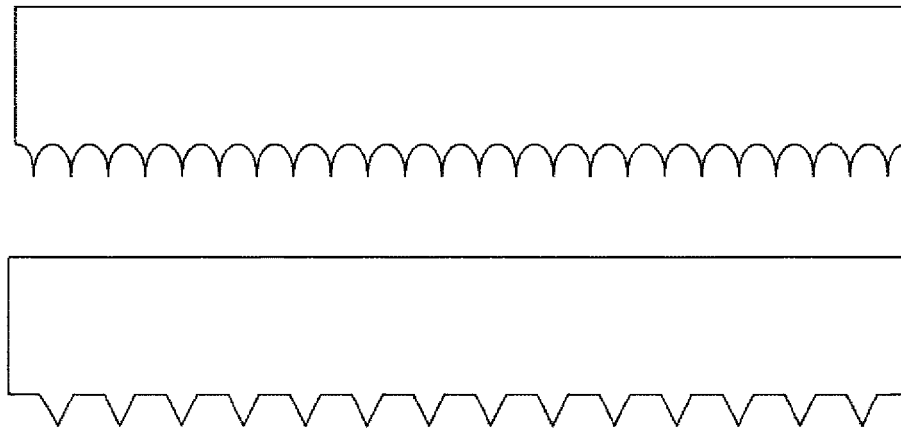


Fig.1

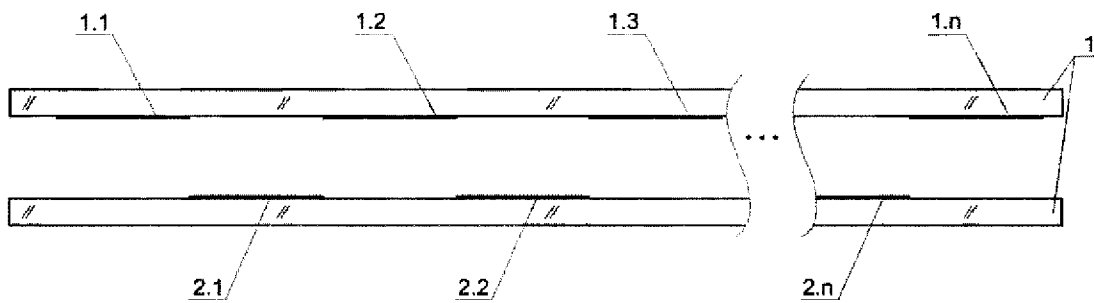


Fig.2

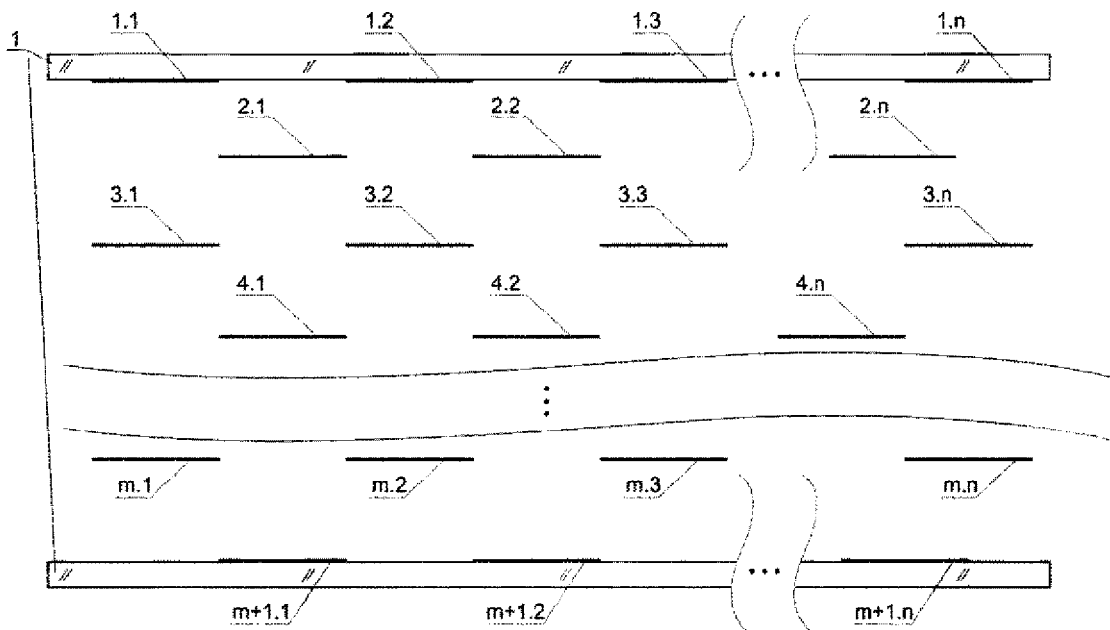


Fig.3

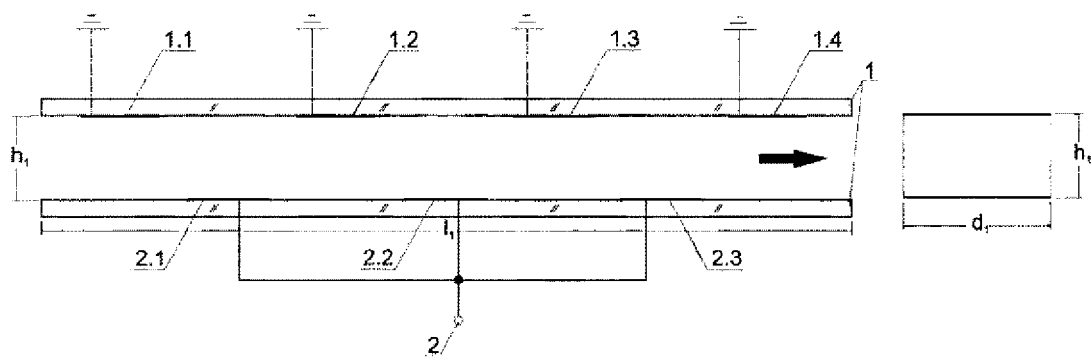


Fig.4

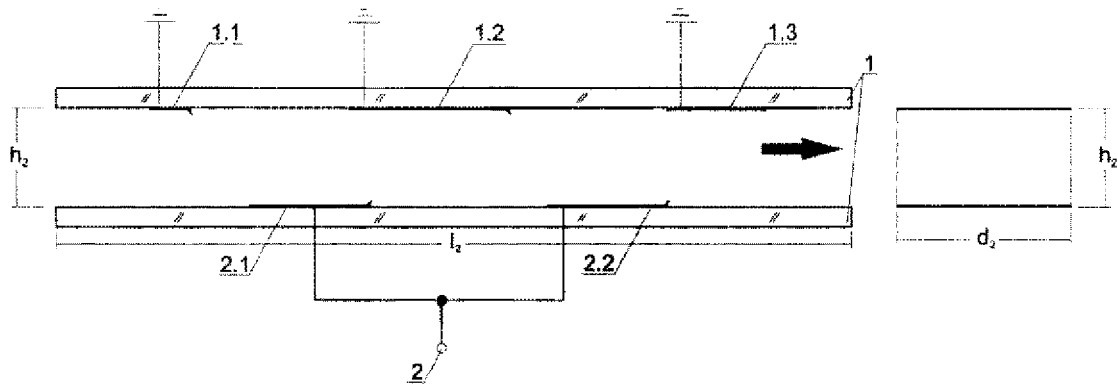


Fig.5

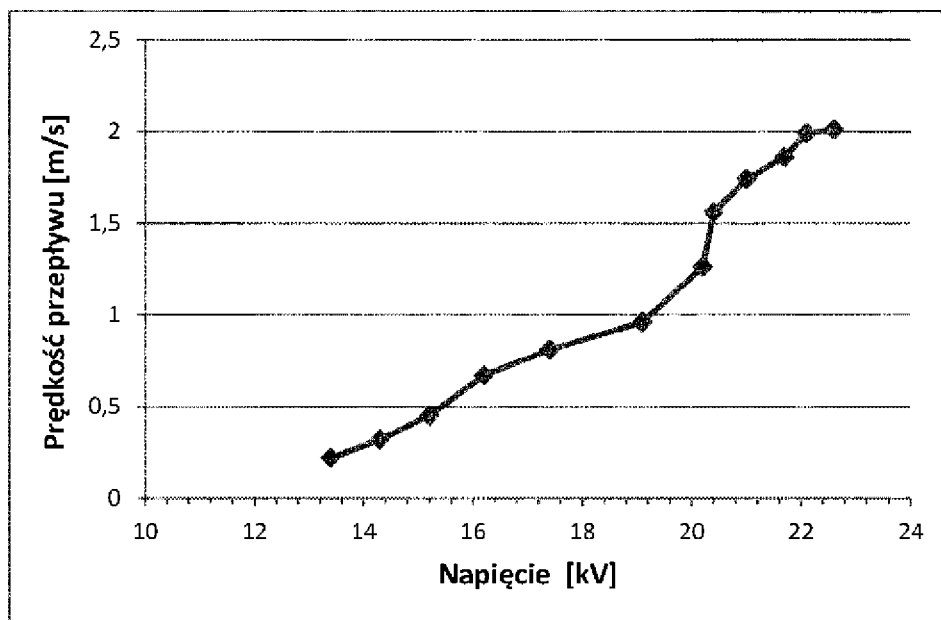


Fig.6