

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

306 064

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

F15C 1/22 (2006.01)
B01F 3/04 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2014-903**
(22) Přihlášeno: **15.12.2014**
(40) Zveřejněno: **20.07.2016**
(Věstník č. 29/2016)
(47) Uděleno: **08.06.2016**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **20.07.2016**
(Věstník č. 29/2016)

(56) Relevantní dokumenty:

CZ 304 314 B; WO 91/08371 A; US 2007/0295840 A; US 3 311 120 A; DE 25 34 261 A.

(73) Majitel patentu:
Ústav termomechaniky Akademie věd České
republiky v.v.i., Praha, CZ

(72) Původce:
prof. Ing. Václav Tesař, CSc., Praha, CZ

(54) Název vynálezu:
Fluidický oscilátor

(57) Anotace:
Předmětem vynálezu je fluidický oscilátor bez pohyblivých součástí vyvolávající v tekutině jím protékající periodické pulzace tlaku a/nebo rychlosti proudění. Fluidický oscilátor má planární tvar vhodný pro zhotovení např. fotochemickým postupem v tenké desce nebo řezáním laserovým paprskem. Výrobní výhodou na rozdíl od dosud známých provedení fluidických oscilátorů je, že zde nejsou zpětné vazby ve tvaru uzavřených smyček kanálků nebo hadic, které při takovém výrobním postupu je nutné na jejich pozice dodatečně umisťovat. Uspořádání je zejména vhodné pro velmi nízké frekvence generovaných oscilací.

CZ 306064 B6

Fluidický oscilátor

Oblast techniky

5

10

15

20

Předmětem vynálezu je zařízení, které generuje periodické oscilace v tekutině (tedy buď v kapalině, nebo v plynu, ale případně ovšem i ve dvoufázové nebo vícefázové směsi), která tímto zařízením protéká. Jde o zařízení bez součástí, které by se při své funkci pohybovaly nebo byly výrazně deformovány. Takové fluidické oscilátory nacházejí uplatnění v nejrůznějších oborech techniky, kde se pracuje s pulzujícími proudy. Je například známo jejich použití v aerátorech vytvářejících v kapalině velmi malé vzduchové bublinky. Jsou též používány k intenzifikaci přestupu tepla a/nebo hmoty impaktním prouděním, kdy po zavedení oscilací je intenzita přestupu mnohem větší než při stacionárním, časově neměnném proudění. Jsou také známa použití těchto oscilátorů k řízení odtrhávání mezní vrstvy od povrchu obtékaných těles. V tomto případě je fluidický oscilátor umístěn uvnitř takového tělesa a vývod z něj je veden do aktuátorové trysky ústící na povrchu tělesa, a to v takových místech, kde je mezní vrstva proudění kolem tělesa obzvláště citlivá na působící rozruchy. Je pak možné poměrně malými výkonovými úrovněmi výtok z aktuátorové trysky ovlivnit mezní vrstvu tak, aby se potlačila její tendence k odtržení od povrchu tělesa, jaká se projevuje například při překročení určité hodnoty úhlu náběhu tělesa vzhledem ke směru obtékání. Potlačením odtržení se odstraní omezení použitelných úhlů náběhu, a to umožní větší volnost, pokud jde o konstrukci tělesa a rozsah jeho provozních režimů.

Dosavadní stav techniky

25

30

35

40

45

50

55

Pokud je dnes požadováno vyvolání oscilací v proudící tekutině, jsou k tomu používány mechanické oscilátory. Ty jsou obvykle poháněny elektromotorem, který pohybuje nějakou součástkou periodicky zasahující do proudění, popřípadě střídavě měnící průřez tekutinou protékaného kanálu apod. Obvykle jsou otáčky běžných elektromotorů příliš vysoké a vhodná frekvence generovaných pulzací vyžaduje vložit mezi elektromotor a akční součástku oscilátoru mechanický převod, například ozubenými koly. Je zřejmé, že takové oscilátory jsou vesměs natolik rozměrné, těžké, cenově nákladné a náročné na údržbu, že se nakonec možných intenzifikačních výhod dosažitelných oscilacemi z ekonomických důvodů vůbec nevyužívá.

Jako velmi výhodné řešení, zatím ale nové a málo známé, se ukazuje být použití fluidických oscilátorů bez pohyblivých součástí. Ty nezabírají mnoho prostoru, nevyžadují žádnou obsluhu a mají prakticky neomezenou životnost. Hlavně pak jsou výrobně levnější. Současná provedení fluidických oscilátorů sestávají z fluidického bistabilního zesilovače proudového typu opatřeného kanálkem (nebo kanálky) zavádějícím zpětnou vazbu.

Bistabilní zesilovače použité v oscilátorech jsou vesměs založeny na využití Coandova jevu přilnutí tekutinového proudu ke stěně. Nejsou sice příliš známy a rozšířeny, nicméně existují a o jejich principu, uspořádání a funkci lze nalézt dostatečné informace v existující literatuře, např. je jim věnována část „4.4 Switching valves based on the Coanda effect“ na str. 185 až 199 v monografii „Pressure-Driven Microfluidics“, vyd. Artech House Inc., Norwood, MA., U.S.A. Dnes běžná provedení bistabilních zesilovačů proudového typu jsou planární, kdy dutiny oscilátoru jsou vytvořeny vybráním materiálu z rovinné základní desky, například fotochemickým postupem (odleptáním podle fotograficky přenesené masky). Vzniklé dutiny v základní desce sloužící k průtoku tekutiny jsou pak uzavřeny překrytím rovinnou krycí deskou. Tekutina, v níž se generují oscilace, je přiváděna do napájecí trysky vytvořené v základní desce. Z jejího ústí vytéká jako tekutinový proud. Po obou stranách ústí napájecí trysky jsou umístěny symetricky proti sobě ležící přídržné stěny sloužící k tomu, že tekutinový proud k jedné z nich přilne účinkem Coandova jevu. Vzhledem k symetrii uspořádání má proud stejnou možnost přilnout k jedné nebo druhé přídržné stěně. Přilnutí vede ke změně směru proudu, který pak již nemůže proudit v původním přímém směru výtok z napájecí trysky. Jedna přídržná stěna proud vede do prvního výstupního

vývodu, zatímco druhá protilehlá přídržná stěna vede tento proud do druhého výstupního vývodu. Proudění ve známých provedeních fluidických oscilátorů je řízeno řídicími tryskami, které vyúsťují naproti sobě v místech mezi přídržnou stěnou a ústím napájecí trysky. Výtokem tekutiny z řídicí trysky lze překlopit proud vytékající z napájecí trysky od jedné přídržné stěny ke druhé.

Dosud známá provedení fluidických oscilátorů vesměs využívají k vyvození oscilací zpětnou vazbu zavedenou do řídicích trysek bistabilního zesilovače. Známe je například provedení podle patentu US 3 158 166 „Negative Feedback Oscillator“, z roku 1962. Vyznačuje se dvěma zpětnovazebními kanálky. Každý z nich vede po jedné straně zesilovače z výstupního vývodu k řídicí trysce. Vytváří se tak nestabilní situace, kdy tekutinový proud z napájecí trysky osciluje mezi oběma přídržnými stěnami. Frekvence takto generovaných oscilací je závislá, kromě jiných faktorů, zejména na délce zpětnovazebního kanálku. Čím je kanálek delší, tím déle v něm trvá přenos zpětnovazebního signálu a tím déle tedy trvá, než dojde k překlopení od jedné přídržné stěny ke druhé – a tím tedy je delší i perioda oscilací.

Zpětnovazební kanálky způsobují nepříjemnou výrobní komplikaci. Protože spolu s některými částmi zesilovače musí takové kanálky nutně vytvářet uzavřené smyčky, stane se to, že vybráním materiálu z rovinné desky, například výše zmíněným fotochemickým postupem, vypadnou v základní desce pak ničím již neudržené vnitřní části, tedy ty části nacházející se uvnitř takové uzavřené smyčky. Protože však tyto části jsou důležité pro funkci oscilátoru, musí být do vytvořených dutin zase nazpět vloženy, jejich poloha přesně nastavena a poté musí být připevněny k ostatním částem oscilátoru. Taková výrobní operace se zpravidla provádí manuálně. Vzhledem k nárokům na přesnost a důkladnost fixace vnitřních částí jde o kvalifikovanou práci, jejíž náklady nepříznivě ovlivňují celkovou výrobní cenu oscilátoru. Další komplikace, a to jiného druhu, způsobují zpětnovazební kanálky tehdy, mají-li být fluidickým oscilátorem generovány oscilace s nízkou frekvencí. To se u dnes obvyklých oscilátorů dosahuje zpětnovazebními kanálky o velké délce. Například v článku „No-moving-part hybrid-synthetic actuator“ v časopisu *Sensors and Actuators A*, Vol. 125, str. 159, z roku 2006 je popsán oscilátor tohoto obvyklého typu s bistabilním zesilovačem majícím celkovou délku zhruba 67 milimetrů, u kterého bylo nutné použít pro zpětnou vazbu hadičku o průměru 10 milimetrů a délce 52 metrů – tedy délce zhruba 780krát větší než je délka vlastního zesilovače. O hadičku muselo v tomto případě jít proto, že tak dlouhý zpětnovazební kanál není prakticky reálné zhotovit stejnou fotochemickou výrobní technologií jako vlastní bistabilní zesilovač (tedy jako vyleptaný zpětnovazební kanálek ve stejné desce spolu se zesilovačem, jak tomu je u vysokofrekvenčních fluidických oscilátorů). Kromě této nevýhody výrobní komplikace (zhotovení částí oscilátoru odlišnou výrobní technologií přináší zvýšené výrobní náklady) je také nevýhodou, že je obtížné vůbec najít v mnoha zařízeních dostatečně velký prostor, do kterého by bylo možné umístit takto velmi dlouhou hadici. Žádoucí jsou oscilátory prostorově kompaktní a snadno umístitelné, což ovšem známá provedení s dlouhými zpětnovazebními hadičkami nejsou. Hlavní problém související s nutností dlouhých zpětnovazebních vedení je ale ještě jiný. Jde o to, že řídicí průtoky proudící ve velmi dlouhém kanálu ztrácejí na intenzitě – nepříznivě se zde uplatňuje disipace energie účinkem třecích ztrát při proudění tekutin. V krajním případě vůbec přenesená energie nepostačí k překlopení vychylovaného tekutinového proudu od jedné přídržné stěny ke druhé protilehlé výtokem z řídicí trysky, takže oscilátor nemůže fungovat. Jako důsledek těchto ztrát existuje tedy jistá limitní dolní hodnota frekvence. Oscilace s menší než touto frekvencí není možné v klasickém uspořádání generovat.

Určité zlepšení této situace u nízkofrekvenčních fluidických oscilátorů přináší patent CZ 304 315 o názvu „Jednotka generátoru plynových bublin v kapalině“. Jednou velmi podstatnou částí tam popsané jednotky je právě fluidický oscilátor, a sice takový, že se zcela obejde bez dlouhých zpětnovazebních hadic nebo kanálků. Nízké frekvence se dosahuje dlouhým časovým zpožděním ve vírových komorách. Do vírové komory tekutina vstupuje tangenciálně na obvodu komory a vychází z ní středovým vývodem. Tlakový spád v průběhu každé oscilační periody nejprve narůstá, jak se tekutina v komoře postupně roztáčí a tím se zvětšuje odstředivé zrychlení. Tím se postupně zvětšuje odpor proti průtoku od tangenciálního vtoku do středového vývodu. Po dosažení určité intenzity rotace tento zvětšený odpor způsobí podstatnou změnu charakteru proudění v celé

jednotce. Uspořádání dutin v jednotce podle patentu CZ 304 315 je značně komplikované. Vyznačuje se také přítomností spojovacího kanálku, který nutně vytváří uzavřené smyčky, takže vzniká stejný problém, jaký byl popsán výše. Jak je běžné u fluidických zařízení, i zde jsou dutiny pro průtok tekutiny vytvořeny vybráním materiálu z rovinné desky, například výše zmíněným fotochemickým postupem. U uzavřené smyčky tak vypadnou ze základní desky ničím pak již

5 nedržené vnitřní části nacházející se uvnitř smyčky. Ty pak musí být do vytvořených dutin zase nazpět vloženy a tam fixovány, což oscilátor prodražuje a komplikuje.

Významnou další komplikací pak je celková složitá konfigurace dutin oscilátoru. Složité tvary samozřejmě vedou k větším výrobním nákladům. Oscilátor se obtížněji navrhuje i vyrábí. Složitost je především způsobena tím, že jednotkou podle CZ 304 315 tekutina proudí současně ve dvou paralelních dutinových soustavách, kde tyto soustavy celkem obsahují dvanáct komponent, z nichž bezprostředně pro generování oscilací jich slouží celkem osm. Jsou to v první řadě dvě souběžně protékané trysky, dále ve směru výtoků z těchto trysek dvě dutiny předkomůrek, z

10 nichž každá má dvě přídržné stěny po obou stranách průtoku. Dále jsou to dvě vírové komory a konečně z nich vycházející dva centrální vývody. Další tvarovou a funkční komplikací pak způsobuje to, že každá z obou souběžných dutinových soustav se ještě dělí v předkomůrce do dvou cest, jimiž může tekutina alternativně procházet, přičemž jedna cesta směřuje do vírové komory tangenciálně (což způsobuje, že při průtoku touto cestou dochází ve vírové komoře k rotaci jejího

15 tekutinového obsahu), kdežto druhá cesta směřuje radiálně (tedy bez rotace).

Podstata vynálezu

25 Problém méně složitějšího a méně rozměrného fluidického oscilátoru je řešen výrazně jednodušším kompaktním fluidickým oscilátorem, jehož funkce je založena na principu, který nevyžaduje vytvoření zpětnovazebních kanálkových smyček a má pro průtok tekutiny jen dvě alternativně protékané cesty. Jako u výše zmiňovaných známých provedení jiných fluidických oscilátorů i zde je přívod tekutiny zaveden do trysky ústící mezi dvě proti sobě ležící přídržné stěny, kde se výtokem z trysky vytváří tekutinový proud směřující mezi tyto stěny.

30

V uspořádání podle vynálezu obsahuje fluidický oscilátor dvě vírové komory kruhového tvaru, které mají každá uprostřed vývod generovaného periodicky proměnného průtoku, přičemž dutiny z napájecího přívodu tekutiny do těchto vírových komor obsahují trysku ústící mezi dvě proti

35 sobě ležící přídržné stěny, kde podstatou vynálezu je, že fluidický oscilátor má jedinou dvojici přídržných stěn a ty mají ve směru výtoků z ústí jediné trysky oba své konce přídržných stěn směřovány do na ně navazujících tangenciálních vtoků umístěných po jednom na obvodu každé z obou vírových komor a tyto tangenciální vtoky jsou orientovány kolmo ke směru poloměru vycházejícího ze středu vírové komory.

40

Podle vynálezu může být účelné, aby se mezi oběma vírovými komorami byl dělič, například klínovitého tvaru, zejména se žlábkovitým vybráním na nosu děliče.

V takovém případě může být podle vynálezu účelné, aby vrchol děliče byl od trysky ve větší

45 odlehlosti ve směru osy trysky než je vzdálenost v jaké je hrana na konci přídržné stěny.

Také může být podle vynálezu výhodné, aby do vírové komory vyčníval u konce jedné nebo obou přídržných stěn nos, a sice vyčnívající až za kružnici, která vymezuje kruhový tvar vírové komory.

50

Ke generování oscilací se v uspořádání podle vynálezu využívá to, že velikost tlakového spádu na vírové komoře po náhlém přivedení průtoku tekutiny do tangenciálního vtoku je zpočátku malá a postupně narůstá, jak se tekutina ve vírové komoře dostává postupně do rychlejší rotace. Velká hodnota tlakového spádu při rotaci tekutiny je důsledkem snahy po zachování momentu hybnosti (někdy označovaného jako „točivost“). Jak se směrem ke středu vírové komory, kde je

55

vývod, jímž tekutina odtéká, zkracuje rameno rotace, musí se pro zachování točivosti zvětšovat rotační rychlost. V rychle rotující tekutině se pak uplatňují odstředivé síly, které brání proudění tekutiny směrem k vývodu nacházejícímu se ve středu vírové komory. Uvedení tekutiny ve vírové komoře do rotace tím, že tekutina je přiváděna tangenciálním vtokem, probíhá ovšem postupně a s tím postupně narůstá i tlakový spád mezi vtokem do vírové komory a vývodem umístěným ve středu komory. Znamé je využití tohoto jevu postupného, po určitou dobu probíhajícího nárůstu tlaku podle československého autorského osvědčení číslo 202898 ze dne 25. ledna 1979. Jev je tam využit pro úpravu časového průběhu průtoku tekutiny. Podobně je nárůst tlakového spádu na vírových komorách využit v oscilátorové části jednotky podle výše již zmiňovaného dokumentu CZ 304 315, kde každá vírová komora je součástí fluidického aktivního elementu, bistabilního průtok uzavírajícího ventilu, ve kterém je ke změnám charakteru proudění využita v každém z obou těchto ventilů rozváděcí část – předkomůrka se dvěma přídržnými stěnami.

Také ve fluidickém oscilátoru podle vynálezu se využívá Coandův jev přilnutí proudu k přídržným stěnám. K přeskočení proudění od jedné této stěny k protilehlé druhé se využívá jevu označovaného v literatuře jako zátěžové překlopení fluidického proudového zesilovače. Tento jev se vyskytuje u zesilovačů s alternativním přilnutím tekutinového proudu k jedné z dvojice přídržných stěn v důsledku Coandova jevu. Setkává-li se tekutina proudící podél přídržné stěny s narůstajícím přetlakem, může dojít posléze k tomu, že Coandův jev tekutinu u stěny již více neudrží. Pak dojde ke změně charakteru proudění, vyznačujícím se odtržením proudu od přídržné stěny. Protože tekutinový proud nemůže proudit přímo, tedy proti děliči, dojde po zátěžovém odtržení od jedné přídržné stěny k přilnutí ke druhé protilehlé přídržné stěně. Bližší vysvětlení a také praktické využití zátěžového překlopení je popsáno v článku „No-moving-part val ve for automatic flow switching“, uveřejněném v roce 2010 v časopise Chemical Engineering Journal Vol. 162, str. 278.

Jestliže tekutinový proud vytvářený výtokem z trysky přilne účinkem Coandova jevu k jedné ze dvou navzájem protilehlých přídržných stěn, je touto stěnou v uspořádání oscilátoru podle vynálezu veden tangenciálně do jedné z obou vírových komor. V této komoře zpočátku tekutina nerotuje, například tam rotační pohyb byl postupně zastaven třením mezi tekutinou a stěnami vírové komory. Bez rotace je tlakový spád na vírové komoře, tedy mezi tangenciálním vtokem a středovým vývodem, malý. Tekutina proto zpočátku snadno vírovou komorou protéká. Postupně však je zde tekutina uvedena do rotace působením tangenciální složky hybnosti přiváděného proudění. Rychlost rotace se postupně zvyšuje. Přitom se zvětšují i odstředivé síly působící na rotující tekutinu. Tlakový spád na vírové komoře proto narůstá, a to až do té chvíle, kdy dojde k zátěžovému překlopení.

Po překlopení probíhá zcela analogický děj na protilehlé straně oscilátoru. Také zde tangenciálně vstupující tekutina vírové komoře postupně stále rychleji rotuje, což způsobí postupný nárůst tlakového spádu na vírové komoře, až také na této straně dojde k zátěžovému překlopení. Proud přiváděné tekutiny přeskočí a celý děj jak je svrchu popsán se znovu opakuje. Z vývodů umístěných ve středech vírových komor vystupuje tak oscilující průtok tekutiny.

Uspořádání podle vynálezu je obzvlášť výhodné tehdy, je-li požadována generace oscilací o nízké frekvenci. Protože odpadá zpětnovazební vedení, nejsou vůbec nutné zpětnovazební hadice, a tedy odpadají problémy s výrobou a montáží výrobně odlišných komponent. Oscilátor je možné zhotovit celý najednou jedním technologickým postupem. Nejsou potíže, jaké dosud způsobuje umístění dlouhých hadic – oscilátor je rozměrově kompaktní. Odpadají problémy s třecími ztrátami a tím s limitní dolní hodnotou dosažitelné frekvence.

Na rozdíl od dříve známého fluidického oscilátoru který tvoří podstatnou část generátoru plynových bublin v kapalině podle dokumentu CZ 304 315 je u uspořádání podle vynálezu podstatnou výhodou mnohem menší složitost dutin. Zejména je to výhodné tam, kde je oscilátor zhotovován odstraněním materiálu z ploché tenké desky. Nedochází tam k tomu, že by při takovém postupu

výroby z desky vypadly nijak neuchycené části, které by bylo nutné pracně vkládat a polohovat. Také celkový tvar dutin, protože je jednodušší, může být zhotovován rychleji a levněji.

- 5 Pokud je žádoucí dosažení vyšších frekvencí generovaných oscilací, může se nárůst tlakového spádu na vírové komoře zrychlit známými způsoby, jako je zejména volba malých rozměrů komory. Je-li průměr vírové komory menší, nastane nárůst tlakového spádu rychleji.

- 10 Dalším omezujícím faktorem při návrhu fluidického oscilátoru s vírovými komorami pracujícího v režimu vyšších frekvencí je doba nutná k tomu, aby se rotace ve vírové komoře zastavila po zátěžovém překlopení a tedy po zastavení průtoku tangenciálně přitékající tekutiny. Zastavení je zejména způsobeno třením o stěny ve vírové komoře. Toto tření se může zvětšit tvarovými úpravami vlastní komory, jako je třeba zmenšení její výšky – vzdálenosti mezi plochým dnem dutiny a protilehlou horní plochou stěnou nahoře. Komora pak má tvar ploché štěrbiny, což ovšem je i vhodné s ohledem na výrobu oscilátoru v planárním uspořádání. Jsou však také možné tvarové
15 úpravy celého oscilátoru vedoucí k zastavení rotace.

- Následují-li rychle po sobě překlopení vzduchového proudu od jedné přídržné stěny ke druhé, může se stát, že tekutina v komoře ještě rotuje vlivem setrvačnosti po předcházejícím oscilačním cyklu. Aby nebylo nutné se spoléhat pouze na zastavení tohoto rotačního pohybu účinkem třecích
20 ztrát ve vírové komoře, může být provedena taková úprava základní konfigurace dutin oscilátoru, jaká způsobí vtékání tekutiny do komory proti smyslu předchozího tangenciálního vtékání. Tento opačný směr má za následek rychlé brzdění rotace v komoře. Lze hovořit o derotačním průtoku, čímž je míněn malý odebíraný průtok vstupující více či méně tangenciálně do vírové komory proti směru pohybu brzděné ale zatím stále ještě existující rotace.

25

Objasnění výkresů

- 30 Obr. 1 ukazuje příklad provedení oscilátoru podle vynálezu. Jde o planární provedení skládané z rovných desek. Z tohoto provedení obrázek znázorňuje hlavní desku, tedy tu, ve které jsou vytvořeny dutiny pro proudění tekutiny.

- Obr. 2 – ukazuje planární provedení odpovídající případu z obr. 1, kde kromě hlavní desky jsou
35 zobrazeny obě krycí desky.

- Obr. 3 – ukazuje alternativní příklad provedení oscilátoru podle vynálezu, a sice zase hlavní desku, u které ale na rozdíl od obr. 1 je provedena tvarová úprava děliče ležícího proti ústí trysky. Tato úprava slouží k rychlejšímu zastavení rotace po právě proběhlém překlopení průtoku.

- 40 Obr. 4 – ukazuje vypočítané trajektorie tekutiny v oscilátoru, a to pro v případě provedení dle obrázku 3.

- Obr. 5 – zachycuje hlavní desku pro jiné provedení. Vyznačuje se jinou úpravou pro stejný účel
45 zastavení rotace.

- Obr. 6 – ukazuje vypočítané trajektorie tekutiny v oscilátoru provedeného podle obrázku 5.

- Obr. 7 – ukazuje hlavní desku experimentálně vyšetřovaného provedení. Jde o nízkofrekvenční
50 oscilátor pracující se vzduchem, pro nějž byly zjištěny laboratorní výsledky zachycené na následujících obrázcích obr. 8 až 10.

- Obr. 8 – ukazuje příklad v laboratoři naměřeného časového průběhu okamžitých hodnot rychlosti výtoku z jednoho vývodu z vírové komory u provedení z obr. 7.

Obr. 9 – ukazuje příklad rychlostního spektra vyhodnoceného z naměřených hodnot u provedení z obr. 7.

Obr. 10 – ukazuje pro provedení z obr. 7 naměřený příklad závislosti dominantní spektrální složky na průtoku vzduchu oscilátorem.

Příklady uskutečnění vynálezu

10

Příklad 1

Tento příklad provedení oscilátoru podle vynálezu je znázorněn na dvou obrázcích, a to na dvou obrázcích, a to na obr. 1 a obr. 2. Tyto obrázky zachycují základní provedení dutin pro proudění tekutiny, která se při průtoku v těchto dutinách dostává do samobuzených oscilací. Jde o planární provedení, kde dutiny pro proudění tekutiny jsou vytvořeny v tenké hlavní desce 10. Ta je znázorněna na obr. 1. Dutiny hlavní desky 10 jsou uzavřeny shora a zespodu krycími deskami připevněnými k hlavní desce 10, jak ukazuje obr. 2 v expandovaném pohledu. V svrchní krycí desce 20 je otvor 21 vstupu tekutiny. Ve spodní krycí desce 30 jsou dva vývody, první vývod 31 a druhý vývod 32. Těmi se vyvádí ven dva generované oscilující průtoky.

Tvar dutin v hlavní desce 10 je symetrický a sice tak, že horní strana hlavní desky 10 na obr. 1 je zrcadlovým obrazem dolní strany hlavní desky 10 (na obrázku jsou zrcadlové obrazy poněkud zkresleny perspektivním znázorněním). Ke vstupu tekutiny do dutin oscilátoru je určen napájecí přívod i na levé straně obrázku obr. 1. Na něj navazuje tryska 2. Od ní ještě více doprava jsou proti sobě umístěné přídržné stěny, a to první přídržná stěna 3 na obrázku dole a nad ní druhá přídržná stěna 4. Až do prostoru vymezeného nahoře a dole oběma přídržnými stěnami 3 a 4 zasahuje dělič 5. První přídržná stěna 3 je určena pro vedení tekutiny po výtoku z trysky 2 do prvního tangenciálního vtoku 6, jenž vede do první vírové komory 8. Zcela podobně druhá přídržná stěna 4 je určena pro vedení tekutiny do druhého tangenciálního vtoku 7 a dále do druhé vírové komory 9. Obě vírové komory 8, 9 jsou dutiny kruhového tvaru, v jejichž středu jsou oba vývody, první vývod 31 a druhý vývod 32.

Na obr. 2 jsou kromě hlavní desky 10 a znázorněny obě dvě krycí desky 20, 30, které všechny tři jsou při výrobě oscilátoru k sobě pevně spojeny. Tekutinou, pro níž bylo provedení v tomto příkladu konstruováno, byl vzduch. Připevněním krycích desek 20, 30 k hlavní desce 10 se vytvořily uzavřené dutiny umožňující průtok vzduchu bez úniku do atmosféry. Vstup 21 tekutiny je napojený na zdroj přiváděného tlakového vzduchu. Ten proudí do trysky 2, z jejíhož ústí vytéká jako vzduchový proud. Ten má vzhledem k tvarové symetrii oscilátoru stejnou možnost přilnout účinkem Coandova jevu buď k první přídržné stěně 3, nebo ke druhé přídržné stěně 4. Přilnutí vede ke změně směru proudu, který nemůže proudit v původním přímém směru výtoku z trysky 2 – ostatně tak proudit nemůže již také proto, že tam je dělič 5. Vezměme situaci, kdy proud přilne k první přídržné stěně 3. Ta proud vede do prvního tangenciálního vtoku 6 a skrze ten vzduch vstupuje do první vírové komory 8, kde vyvolá rotaci a tím postupně se zvyšující odpor proti průtoku. Tak se dosáhne až hodnoty při níž Coandův jev proud vzduchu u první přídržné stěny 3 neudrží. Dojde k zátěžovému překlopení, po kterém proud vytékající z trysky 2 přilne ke druhé přídržné stěně 4, neboť se tam setkává s menším odporem proti průtoku. Druhým tangenciálním vtokem 7 pak vzduch proudí do druhé vírové komory 9, v níž až do té doby byl vzduch v podstatě více méně v klidu. Po vtoku vzduchu do ní druhým tangenciálním vtokem 7 dochází zase zde k růstu tlakového spádu. Mezitím se třením o velké plochy horní a spodní rovné stěny krycích desek 20, 30 uvnitř první vírové komory 8 rotace v této první vírové komoře 8 prakticky zastaví, neboť probíhá již pouze setrvačností a překonávaný třecí odpor proti rotaci je velký. Ovšem v tomto stavu se postupně zvětšuje překonávaný tlakový spád na druhé vírové komoře 9 až se zde dosáhne hodnoty vedoucí k zátěžovému překlopení. Proud vytékající z trysky 2 se vrátí a přilne

zase k první přídržné stěně 3. Ta zase proud vede do prvního tangenciálního vtoku 6 a odtud do první vírové komory 8. Děj se tak periodicky opakuje.

5 Příklad 2

Jde o provedení s vytvářením aktivní derotace, tedy zastavování rotace ve vírové komoře, na rozdíl od pouze pasivního spoléhání na disipování kinetické energie třením. To umožní rychleji po sobě následující překlápění proudu vzduchu od první přídržné stěny 3 ke druhé přídržné stěně 4 a naopak. Příklad provedení je znázorněn na obrázcích, obr. 3 a obr. 4. Uspořádání hlavní desky 10 na obr. 3 v zásadě odpovídá tomu, které je znázorněno v předcházejícím příkladu na obr. 1. I zde je tvar dutin symetrický, horní strana odpovídá zrcadlovému obrazu dolní strany. Ke vstupu tekutiny do těchto dutin v hlavní desce 10 je určen napájecí přívod i na levé straně, stejně jako na obr. 1. Na napájecí přívod 1 navazuje tryska 2. Na obr. 3 je zejména znázorněno, jak po obou stranách trysky 2 je schod 22. Ten je i u provedení z obr. 1 a obr. 2, ale nyní na obr. 3 je lépe patrný. Schod 22 vede ke snadnějšímu zátěžovému překlápění. Od něj více doprava na obr. 3 jsou proti sobě umístěné přídržné stěny 3, 4 sloužící k vedení tekutiny do tangenciálních vtoků 6, 7 a na ně navazujících vírových komor 8, 9 zcela stejně, jak již bylo popsáno výše. Na první pohled patrnou výraznou odlišností mezi obr. 1 a obr. 4 je u tohoto druhého příkladu provedení krátký dělič 55, který nezasahuje jako na obr. 1 až do prostoru mezi přídržné stěny 3, 4 ale ponechává velmi široký např. druhý tangenciální vtok 7 mezi vrcholem krátkého děliče 55 a hranou 77.

Jak se při funkci oscilátoru uplatňuje tato úprava krátkého děliče 55, naznačují trajektorie pohybu tekutiny na obr. 4. Byly vyhodnoceny numerickým řešením rovnic proudění pro případ, kde na počátku děje byla v obou vírových komorách 8, 9 tekutina v klidu a nastalo proudění tekutiny vedené druhou přídržnou stěnou 4. Na levé straně obr. č. 4 je stupnice odstínů šedi odpovídající k nim přiřazeným hodnotám rychlosti. Trajektorie jsou na obr. 4 zachyceny ve stupních šedivé barvy, která podle této stupnice odpovídá lokálním rychlostem proudění. Je odtud patrné, že jak množství tekutiny, tak i její rychlosti jsou v první vírové komoře 8 mnohem menší než ve druhé vírové komoře 9. V obou vírových komorách 8, 9 tekutina rotuje, ovšem podstatně intenzivnější je rotace ve druhé vírové komoře 9, protože přímo do ní míří proud vzduchu vedený přilnutím ke druhé přídržné stěně 4. Smysly rotace v obou vírových komorách 8, 9 jsou shodné, a sice na obr. 4 jde v obou případech po rotaci proti směru hodinových ručiček. Že vůbec k nějakému rotačnímu pohybu dochází i v první vírové komoře 8 je právě způsobeno tím, že určitá vnější část proudění sledujícího druhou přídržnou stěnu 4 naráží na vrchol krátkého děliče 55. Tento vrchol je tvarován tak, že obrací dopadající proudění a směřuje jej do první vírové komory 8. Protože na vnějším okraji proudění (tedy nižším okraji na obr. 4) které sleduje druhou, přídržnou stěnu 4 dochází k intenzivnímu transportu hybnosti, má tato část proudění v místech druhého tangenciálního vtoku menší rychlost. Tato rychlost dále klesá při obrácení směru proudění a také se zmenšuje třením o vrchol krátkého děliče 55. Aerodynamický odpor proti průtoku druhou vírovou komorou 9 je tedy větší, zatímco odpor proti průtoku první vírovou komorou 8 je menší. Dojde tedy na straně druhé vírové komory 9 dříve k zátěžovému překlápění. Vzduchový proud přeskočí a směřuje do první vírové komory 8, kde se setkává s menším aerodynamickým odporem. Jakmile však do první vírové komory 8 vstoupí, v okamžicích kdy proudění sleduje první přídržnou stěnu 3, setkává se v první vírové komoře 8 ještě se zbytkovou rotací opačného smyslu proti směru hodinových ručiček. Tu postupně zastavuje, ale s tímto zastavováním rotace se zmenšuje odstředivý efekt a průtok první vírovou komorou 8 je tak ještě snazší. Po určité době se zde rotace vůbec zastaví. Teprve potom převládne v první vírové komoře 8 postupně se urychlující rotace ve směru pohybu hodinových ručiček. Tento smysl rotace se také díky tvaru vrcholu krátkého děliče 55 začíná uplatňovat i ve druhé vírové komoře 9, kde se ovšem střetává se zbytkem původní opačné rotace, která ještě probíhá v důsledku setrvačnosti. Teprve postupně se zastavuje a tím klesá tlakový spád na druhé vírové komoře 9, zatímco naopak na první vírové komoře 8 tlakový spád roste. Tak se postupně vytvářejí podmínky pro zpětné zátěžové překlápění a tak se celý cyklus zase opakuje. Střídající se smysly rotace způsobující komplikovanější charakter děje než u

provedení na obr. 1 a 2 a je na konstruktérovi oscilátoru v jakém směru tyto komplikující jevy využije.

5 Příklad 3

Další tvarovou úpravu, také dosahující derotační efekt zabrzdnění zbytkové rotace, ukazují obr. 5 a 6. Jde o uspořádání jinak shodné s výše popsáním uspořádáním z obr. 3 s krátkým děličem 55, ale je zde navíc tvarová úprava obvodu vírových komor. Na obr. 5 je znázorněno provedení hlavní desky 10 a na dalším obr. 6 jsou zachyceny trajektorie tekutiny v oscilátoru, vyhodnocené opět numerickým řešením rovnic proudění. Tvarová úprava dutin v hlavní desce 10 má v tomto příkladu provedení také za cíl potlačit zbytkovou rotaci, která by ještě probíhala v neaktivní vírové komoře v důsledku setrvačnosti tekutiny. Při úpravě tvaru jde o to, aby tvary stěn dutin vedly jak v aktivní tak neaktivní vírové komoře 8, 9 k rotaci stejného smyslu, čímž se v neaktivní vírové komoře 8, 9 vyvolá po její aktivaci požadované zabrzdnění s následující změnou rotace. To způsobuje na obr. 5 patrný výstupek označovaný jako nos 707. Ten vyčnívá do každé vírové komory 8, 9 za kružnici 99 vymezující kruhový tvar stěny vírové komory 8, 9. Jak ukazují výsledky výpočtu na obr. 6, tekutina odražená od vrcholu krátkého děliče 55 na nos 707 naráží. Tím se jednak zbrzdí – takže ze stupnice šedi na obr. 6, která naznačuje lokální rychlosti proudění, jsou v neaktivní první vírové komoře 8 patrné rychlosti velmi malé – jednak se tím deformuje tvar proudnic. Ten je také patrný z obr. 6. Při rotaci v aktivní vírové komoře (na obr. 6 tedy ve druhé vírové komoře 9) tento nos 707 velký vliv nemá, ale v neaktivní první vírové komoře 8 způsobuje nesymetrické proudění o jakém je známo, že generuje podstatně slabší odstředivé účinky.

25

Příklad 4

V tomto příkladu šlo o to dosáhnout při celkově nevelkých rozměrech značně nízké frekvence generovaných oscilací průtoku vzduchu, a sice frekvencí menších než 10 Hz. V zásadě je použito uspořádání zcela podobné jako na obr. 1, ale s relativně většími průměry obou vírových komor. Tvar dutin, v nichž probíhá proudění tekutiny, kterou je i v tomto příkladě vzduch, je patrný z obr. 7. Je tam nakreslena hlavní deska 10 s první vírovou komorou 8, druhou vírovou komorou 9, s napájecím příívodem 1 a s tryskou 2. Relativně větší průměry obou vírových komor, 8, 9 jsou patrné v porovnání s obr. 1. Konkrétně při šířce 3 mm ústí trysky 2 měly obě vírové komory 8, 9 na obr. 7 průměr 100 mm.

Ve shodě s obr. 7 byl zhotoven model, který byl vyšetřován v laboratoři. Na obr. 7 je hlavní deska 10 tohoto modelu opatřena šestnácti dírami pro šrouby 101, jaké mají ve shodných místech i obě krycí desky 20 a 30 (obr. 2). To umožňuje, aby všechny součástky tohoto modelu byly spolu rozebíratelně spojeny šrouby. To je u laboratorních modelů vhodné, zatímco u provedení z obr. 1, 3 a 5 šlo o provozní provedení s nerozebíratelným spojením všech součástek.

Na následujícím obr. 8 je jako příklad výsledků získaných při laboratorním vyšetřování generovaných oscilací zachycen osciloskopický záznam okamžitých rychlostí proudění měřených anemometrem se žhaveným drátkem. Sonda anemometru byla při tomto vyšetřování umístěna ve výstupu jedné z vírových komor. Měření bylo provedeno při průtoku procházejícího vzduchu $389 \cdot 10^{-6}$ krychlových metrů za sekundu přiváděného do trysky 2. Elektrický signál ze sondy byl zpracován v anemometru, převeden zde na hodnotu rychlosti, a zaveden do osciloskopu, na jehož obrazovce se tak zobrazovaly takové průběhy, jaké zde ukazuje obr. 8. Na vodorovné ose je v tomto diagramu čas (v sekundách) ve kterém bylo provedeno měření rychlosti a na svislé ose je pak je naměřená okamžitá rychlost (v metrech za sekundu). Protože sonda anemometru byla z praktických důvodů umístěna v místech, kde proudění vzduchu vykazovalo výrazné turbulentní fluktuace, je na obr. 8 patrný značný rozptyl hodnot. Nicméně jednotlivé průtokové pulzy jsou zřetelně patrné a je též vidět, že se opakují s naprostou pravidelností. To podává důkaz o tom, že oscilátor podle vynálezu skutečně funguje tak, jak je uváděno výše v jeho popisu. Bez tohoto

experimentálního důkazu by z celkového uspořádání bez pohyblivých součástí a celkem jednoduchými tvary nebyla generace oscilací zřejmá.

Na dalším obr. 9 je z výsledků měření provedených na tomtéž vyšetřovaném modelu vyhodnocený příklad spektra generovaných oscilací. Spektrum bylo získáno Fourierovou analýzou naměřených rychlostí jaké jsou na obr. 8. Bylo ale vyhodnoceno při jiné hodnotě procházejícího průtoku, rovné $278 \cdot 10^{-6}$ krychlových metrů vzduchu za sekundu. Z toho, jak rychle se na obr. 8 dějí skokové změny okamžitých hodnot rychlosti je zřejmé, že odpovídající frekvence chaotických turbulentních oscilací jsou velmi vysoké, a to tak, že jsou zcela mimo oblast zájmu pro provoz nízkofrekvenčního oscilátoru. Pro posouzení vlastností oscilátoru podle vynálezu je tato okolnost důležitá. Pokud by v nějaké aplikaci vysokofrekvenční turbulentní šum způsoboval komplikace, je zřejmé, že při jeho podstatně jiném umístění ve spektru jej lze snadno odstranit, a sice odfiltrováním vysokofrekvenčních složek spektra. Naproti tomu v oblasti zájmu, tedy při nízkých frekvencích – řekněme v tomto případě do 15 Hz – jsou zřetelně v diagramu na obr. 9 patrné tři dominantní frekvenční složky. Naprosto převládá základní frekvence f_1 . Obě dvě zbývající složky f_2 a f_3 jsou jejími jednoduchými celočíselnými násobky. Dominantní postavení základní složky o frekvenci f_1 je patrné z obr. 8, kde je přes vynesené okamžité hodnoty rychlosti nakreslen vypočtený harmonický průběh odpovídající základní frekvenci f_1 . Ta zde má oproti obr. 9 poněkud nižší hodnotu $f_1 = 5.45$ Hz. Dominance této základní frekvenční složky je na obr. 8 zřejmá, ostatní složky ve spektru jsou podružné.

Konečně na posledním obr. 10 jsou graficky vyneseny důležité údaje o vlastnostech oscilátoru podle vynálezu, a sice zase platné pro příklad provedení, jehož hlavní deska 10 je naznačena na obr. 7. Je tam diagram závislosti základní frekvence f_1 generovaných oscilací na hodnotě průtoku vzduchu, jak tato závislost byla nalezena u laboratorně vyšetřovaného modelu. Z diagramu je patrné, jaké typické frekvence oscilací se s tímto příkladem provedení oscilátoru dají dosahovat volbou procházejícího průtoku vzduchu. Průběh závislosti při vyšších průtocích zcela odpovídá známým průběhům s konstantním Strouhalovým číslem, jak jsou obvyklé u aerodynamických oscilací, kterých se neúčastní mechanické pohyblivé součástky. Značná část rozsahu laboratorních měření byla zřejmě podle obr. 10 provedena v situacích, kdy se režim konstantnosti Strouhalova čísla teprve ještě ustaloval.

Průmyslová využitelnost

Oscilátor podle vynálezu najde uplatnění v celé řadě oborů techniky, z nichž jako příklad lze uvést použití v aerátorech vytvářejících v kapalině velmi malé vzduchové bublinky. Další uplatnění ke při intenzifikaci přestupu tepla a/nebo hmoty prováděného impaktním prouděním.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Fluidický oscilátor se dvěma vírovými komorami kruhového tvaru, které mají každá uprostřed vývod generovaného periodicky proměnného průtoku tekutiny, přičemž dutiny napájecího přívodu tekutiny do těchto vírových komor obsahují trysku ústící mezi dvě proti sobě ležící, navzájem vůči sobě skloněné přídržné stěny,

vyznačující se tím, že fluidický oscilátor má jedinou dvojici přídržných stěn (3, 4) a ty mají ve směru výtoku z ústí jediné trysky (2) oba své konce přídržných stěn (3, 4) směřovány do na ně navazujících tangenciálních vtoků (6, 7) umístěných po jednom na obvodu každé z obou vírových komor (8, 9) a tyto tangenciální vtoky (6, 7) jsou orientovány kolmo ke směru poloměru vycházejícího ze středu vírové komory (8, 9).

2. Oscilátor podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že mezi vírovými komorami (8, 9) a jejich tangenciálními vtoky (6, 7) je umístěn dělič (5, 55).

5 3. Oscilátor podle nároku 2, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že vrchol krátkého děliče (55) je ve směru osy trysky (2) od jejího ústí ve větší odlehlosti než v jaké je hrana (77) na konci přídržné stěny (3, 4).

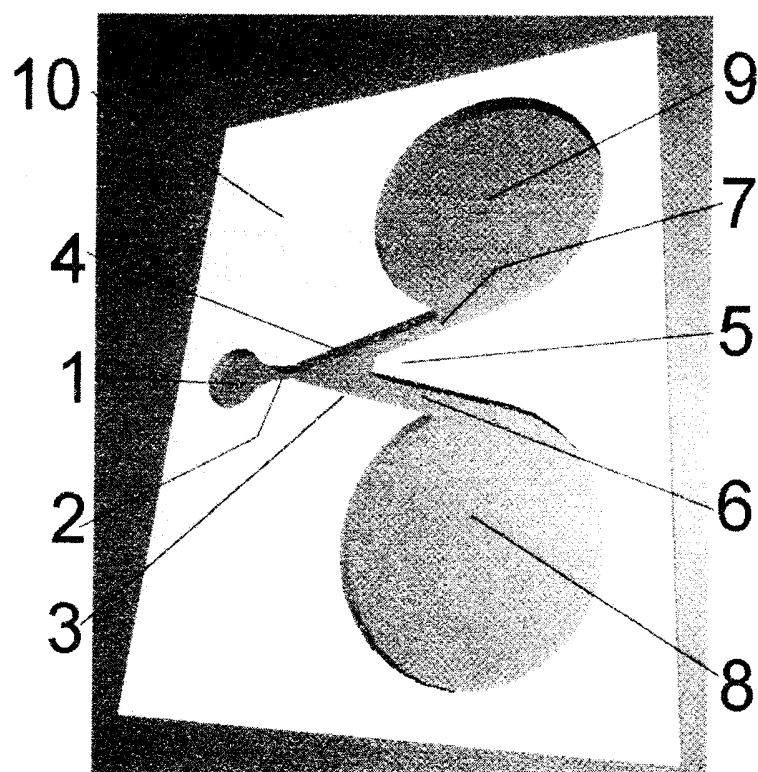
10 4. Oscilátor podle nároku 3, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že dále obsahuje nos (707) vyčnívající u konce přídržné stěny (3, 4) do vírové komory (8, 9) až za kružnici vymezující kruhový tvar (99) vírové komory (8, 9).

15

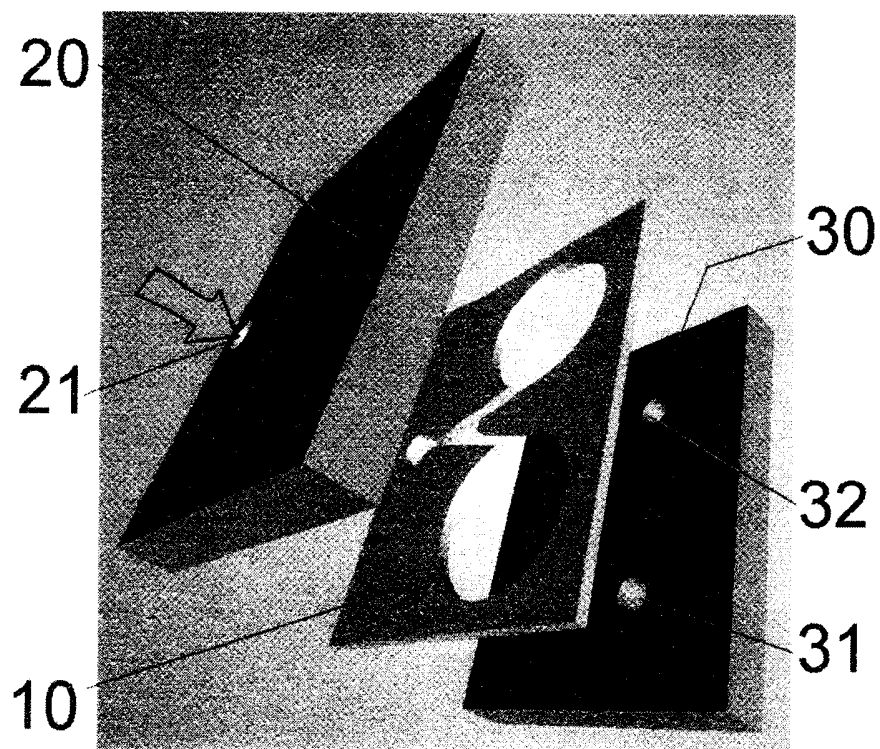
6 výkresů

20 Seznam vztahových značek:

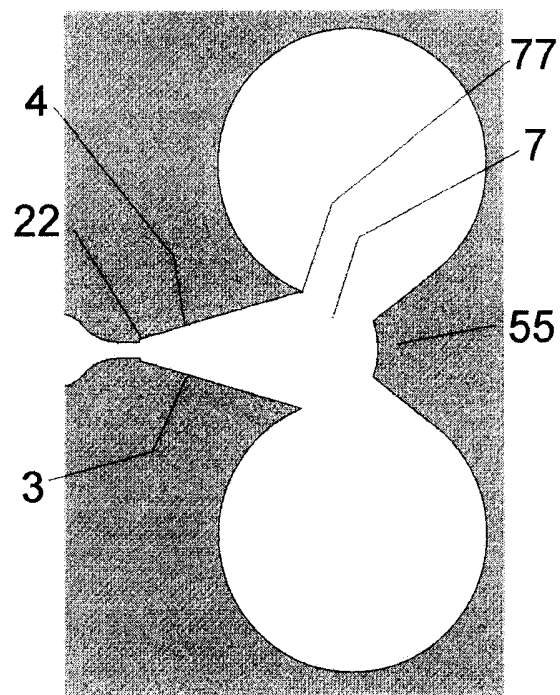
- 1 ... napájecí přívod
- 2 ... tryska
- 3 ... první přídržná stěna
- 4 ... druhá přídržná stěna
- 25 5 ... dělič
- 6 ... první tangenciální vtok
- 7 ... druhý tangenciální vtok
- 8 ... první vírová komora
- 9 ... druhá vírová komora
- 30 10 ... hlavní deska
- 20 ... svrchní krycí deska
- 21 ... vstup tekutiny
- 22 ... schod
- 30 ... spodní krycí deska
- 35 31 ... první vývod
- 32 ... druhý vývod
- 55 ... krátký dělič
- 77 ... hrana
- 99 ... kružnice vymezující kruhový tvar
- 40 101 ... díry pro šrouby
- 707 ... nos



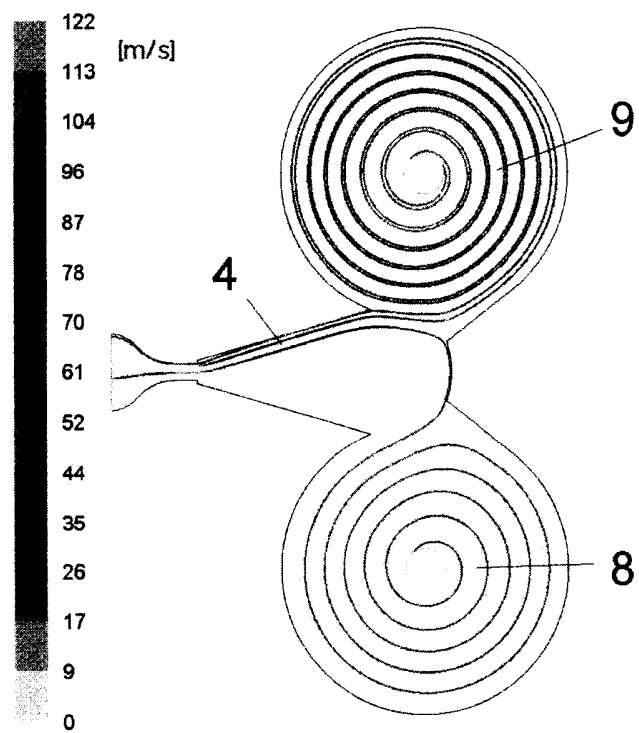
Obr. 1



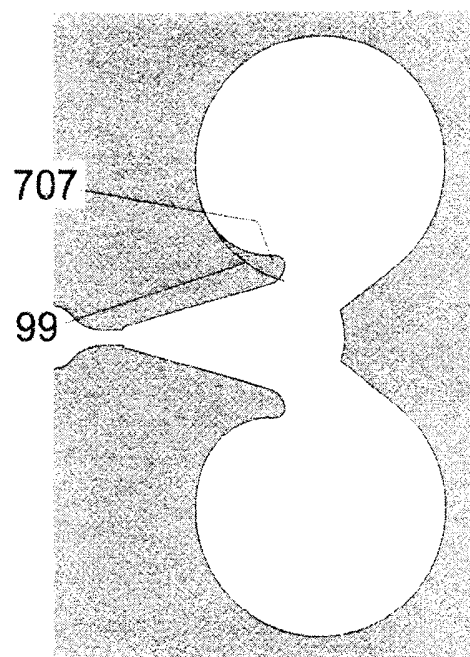
Obr. 2



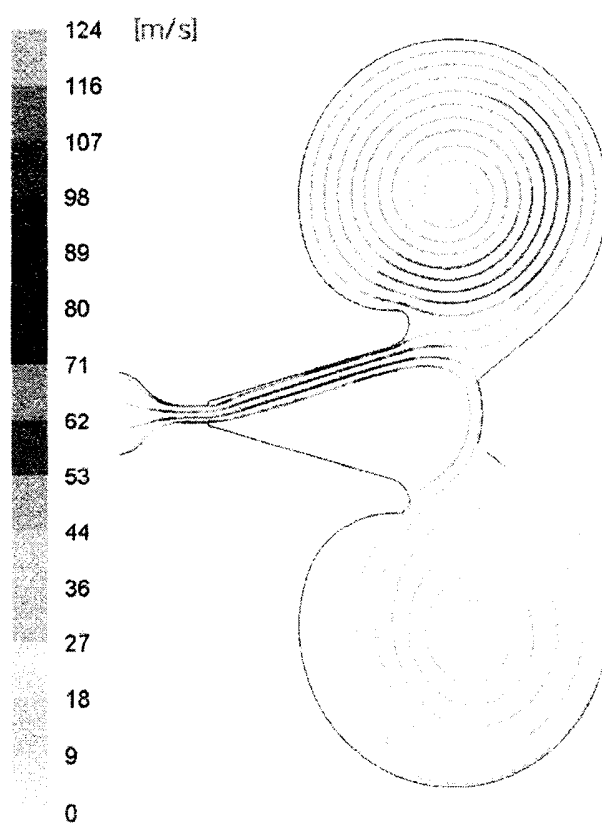
Obr. 3



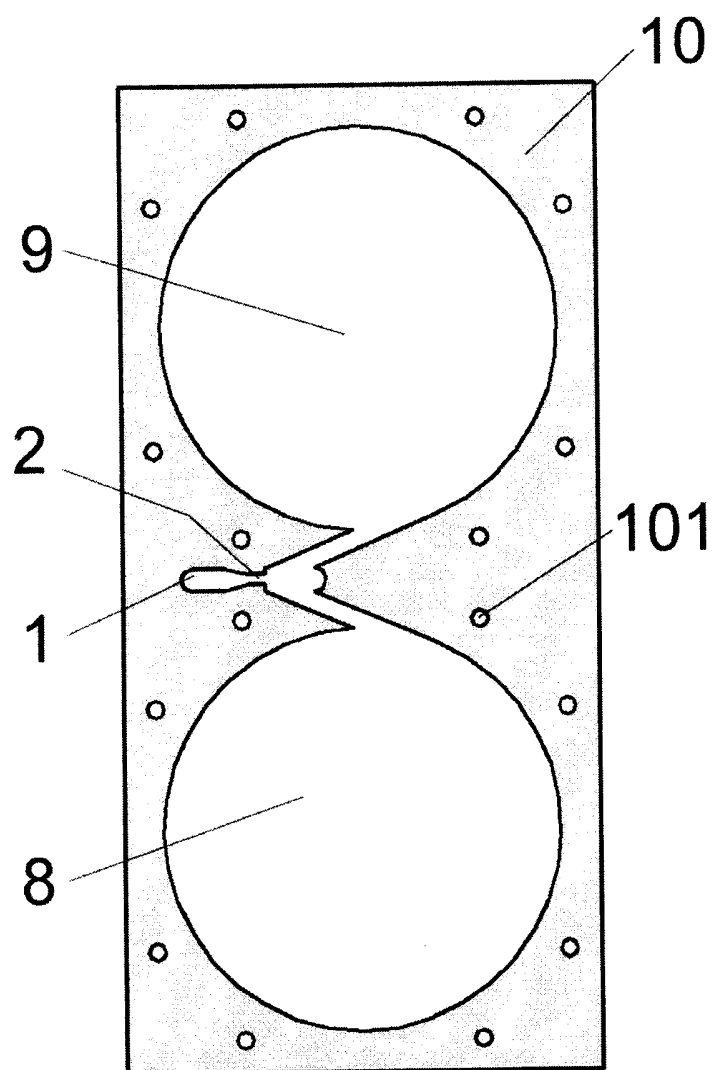
Obr. 4



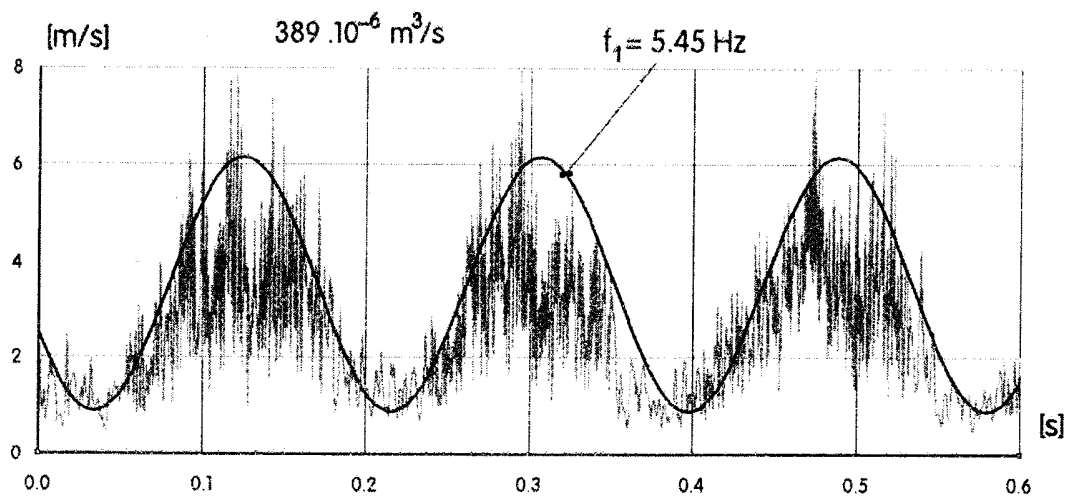
Obr. 5



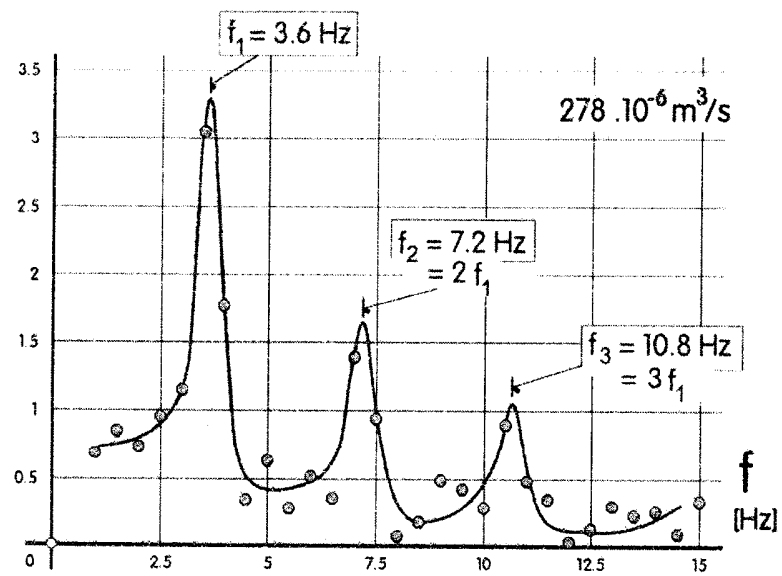
Obr. 6



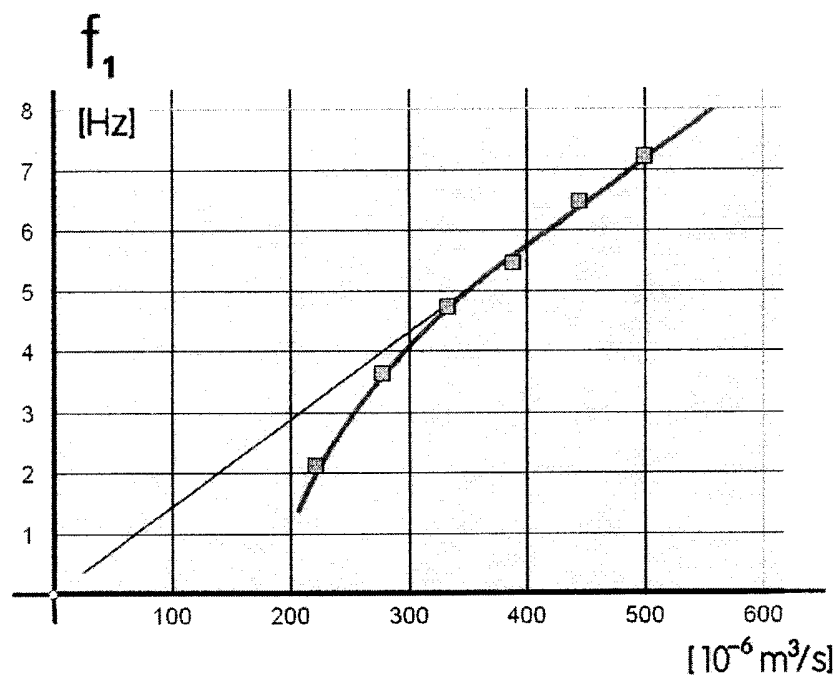
Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10

Konec dokumentu
