

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2017-386

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G01R 33/09 (2006.01)
G01R 33/28 (2006.01)
G01R 33/02 (2006.01)
G01R 33/12 (2006.01)
G01R 33/025 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **30.06.2017**

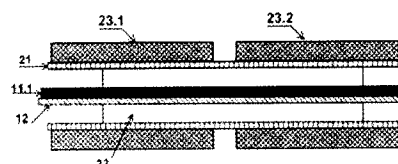
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **30.05.2018**

(Věstník č. 22/2018)

(71) Přihlašovatel:
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6,
Dejvice, CZ

(72) Původce:
Ing. Michal Janošek, Ph.D., Dolní Podluží, CZ
Ing. Mattia Butta, Ph.D., Praha 6, Bubeneč, CZ

(74) Zástupce:
RNDr. Silvie Dokulilová, Ph.D., Bašného 279/51,
623 00 Brno, Kohoutovice



(54) Název přihlášky vynálezu:
Ortogonální feromagnetická sonda

(57) Anotace:
Vynález se týká ortogonální feromagnetické sondy s alespoň jedním feromagnetickým jádrem (11.1, ..., 11.n), přičemž každé z feromagnetických jader je alespoň částečně umístěno uvnitř alespoň jedné snímací cívky (23.1, ..., 23.m). Každé feromagnetické jádro (11.1, ..., 11.n) se přitom alespoň částečně nachází uvnitř prostoru vyplněného výplňovým materiálem (22) tak, že alespoň 50% povrchu každého feromagnetického jádra je v přímém kontaktu s tímto výplňovým materiálem (22), jehož konečný součinitel tepelné vodivosti při 25 °C je větší než 0,1 Wm⁻¹K⁻¹ a jehož konečná tvrdost podle stupnice Shore A při 25 °C je od 5 do 70. Tím je zaručena teplotní homogenizace jádra a minimalizace mechanických napětí působících na jádro; oba tyto problémy v dosavadních řešeních zvyšují šum sondy. Dále je prostor vyplněný výplňovým materiálem (22) v délkovém úseku rovnajícím se alespoň 50% podélného rozměru jádra ohraničen ve směrech kolmých na podélný rozměr jádra alespoň jedním dutým objektem, což zaručí zachování odolnosti vůči vibracím a rozměrovou stálost výplňového materiálu s nízkou tvrdostí.

Ortogonalní feromagnetická sonda

Oblast techniky

Řešení se týká konstrukce jednoosé ortogonalní feromagnetické sondy určené k měření magnetických polí.

Dosavadní stav techniky

Feromagnetická sonda k měření magnetického pole sestává z feromagnetického jádra a několika cívek. Princip činnosti feromagnetické sondy je založen na střídavém buzení feromagnetického jádra takzvaným budícím polem, například z budicí cívky, a na detekci změn toku způsobených externím, tedy měřeným, magnetickým polem, indukovaných ve snímací cívkce. Podrobný popis činnosti feromagnetické sondy a její různá provedení byly popsány například v knize P. Ripka, „Magnetic sensors and magnetometers“, Artech House 2001. Konstrukčně je feromagnetická sonda typicky tvořena feromagnetickým jádrem buzeným buď přímo nebo magnetickým polem z navinuté budicí cívky a snímací cívky, navinuté kolem feromagnetického jádra. Pokud sonda pracuje ve zpětnovazebním kompenzovaném režimu, může být přidána také další kompenzační cívka, souosá s cívkou snímacím, která vytváří kompenzační magnetické pole.

V případě ortogonalní feromagnetické sondy je jednou možností použít cylindrický tvar feromagnetického jádra, kolem kterého je toroidně navinuto feromagnetické jádro, tak jak je uvedeno v patentové přihlášce EP1746430A1. Druhou možností je místo budicí cívky využít k buzení proud tekoucí přímo feromagnetickým materiálem, viz například patent US US2856581 A. Ortogonalní feromagnetickou sondu bez budicí cívky je možné výhodně provozovat s unipolárním buzením, viz Sasada, Orthogonal Fluxgate Mechanism Operated with DC Biased Excitation, Journal of Applied Physics 91, 10 (2002). Unipolární buzení je výhodné pro dosažení velmi nízkého magnetického šumu sondy ($\sim 1\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}@1\text{Hz}$).

Feromagnetické jádro feromagnetické sondy je většinou umístěno v držáku. Jedno z možných provedení je popsáno v užitém vzoru CZ27638 – Feromagnetická sonda.

V případě, kdy se jedná o ortogonální sondu s tyčovým (drátovým) jádrem, je feromagnetické jádro typicky umístěno v ochranné válcové trubičce nebo připevněno k plochému držáku. Pokud se jedná o ortogonální sondu bez budicí cívky, jako ve výše uvedeném případě tyčových či drátových jader, je zároveň toto jádro spojeno vodivě spojeno s externími obvody buzení buď přímo na elektrické vodiče, nebo pomocí vodivých kontaktů na držáku, ke kterým jsou feromagnetické jádro a externí přívody vodivě připojeny. Feromagnetické jádro ortogonální sondy je dále v některých současných provedeních chráněno před oxidací nevodivou tenkou vrstvou, např. polymeru či skla, jak je uvedeno např. v článku autora Mattia Butta, Orthogonal Fluxgates, zveřejněném v roce 2012 v Intech Open Access Publisher, www.intech.com. U paralelní feromagnetické sondy je v některých známých řešeních zcela zalito epoxidem či je v případě leptaných jader ponechána tenká, několik um tlustá vrstva fotorezistu, chránící vyleptané jádro před oxidací, jak je uvedeno např. v článku autora Pavel Ripka, Fluxgate sensor with increased homogeneity, zveřejněném v roce 1990 v časopise IEEE Transactions on Magnetism, číslo 5, ročník 26, str. 2038-2040.

Nevýhodou současných provedení ortogonálních sond s feromagnetickými jádry je způsob umístění jádra v držáku – jádro je ve známých řešeních uloženo v držáku těsně, nebo je uchyceno k držáku letmo či přichyceno bodově, a tak na něj buď působí mechanická napětí vlivem různých roztažností (při těsném uložení nebo zalití do epoxidu) nebo na něj naopak působí vibrace (při letmém uložení či bodovém přichycení). Všechny výše uvedené metody způsobují zvýšení nízkofrekvenčního šumu. Dalším problémem je, že u ortogonální feromagnetické sondy prochází jádrem nebo budicí cívkou nezanedbatelný budicí proud, který způsobuje vlivem nehomogenit tepelných vlastností materiálu a okolí nehomogenní teplotu jádra. Pokud se jedná o sondu pracující s unipolárním buzením tekoucím přímo jádrem sondy, je další podstatnou nevýhodou také Peltierův jev způsobující teplotní gradient podél jádra protékaného elektrickým proudem se stejnosměrnou složkou. Oba tyto tepelné efekty, jak vlivem nehomogenit, tak vlivem Peltierova jevu, přispívají ke zvýšení ultra-nízkofrekvenčního šumu senzoru v oblasti nízkých frekvencí (<1 Hz). Pokud sonda navíc pracuje s více vinutími a slouží k měření gradientu magnetického pole, jsou pak oba tyto tepelné efekty vysoce nežádoucí kvůli jejich nekorelovanosti podél jádra, tj. není je možné gradiometrickým uspořádáním potlačit. Teplotní nehomogenitu by bylo

podobně jako u paralelních sond vyřešit zalitím jádra do teplovodivého epoxidu, velká mechanických napětí však podobně jako tepelné efekty způsobuje zvýšení ultránízkofrekvenčního šumu v oblasti nízkých frekvencí pod 1 Hz. Zalití do epoxidu tedy nepřinese žádné vylepšení a proto se ve stavu techniky pro nízkošumové sondy nepoužívá.

Pokud sonda využívá budicí proud protékající přímo feromagnetickým jádrem, je v současném stavu techniky využíváno k elektrickému vodivému spojení jádra s kontakty buď pomocí mechanického spojení, nebo pomocí vrstvy elektrovodného lepidla či tmelu, případně je feromagnetické jádro přímo připájeno ke kontaktu. Nevýhodou těchto řešení je buď nestálost elektrických vlastností u mechanického kontaktu, nebo velký přechodový odpor při použití lepidel či tmelů, nebo nepříznivé chemické a elektrické vlastností při přímém spojení pájky a feromagnetického materiálu jádra (feromagnetické jádro obsahuje železo a další kovy, například kobalt či chrom, ztěžující či přímo znemožňující pájení). Ve známém řešení v přihlášce EP1746430A1 je tento problém částečně řešen tak, že feromagnetický materiál je elektrolyticky nanesen na měděný drát či pásek, přičemž vodivé spojení pájením je provedeno na konce tohoto drátu, a vrstva feromagnetického materiálu je elektrolyticky nanесena v oblasti mezi těmito konci drátu, ne však na jeho koncích. Nevýhoda tohoto řešení je v omezení na provedení feromagnetického jádra jako elektrolyticky nanесené vrstvy na měděném substrátu. Ve stavu techniky však nejlepší výsledků dosahují naopak feromagnetická jádra tažená v plném profilu z amorfního materiálu, tj. bez měděného substrátu, viz například Sasada, Orthogonal Fluxgate Mechanism Operated with DC Biased Excitation, Journal of Applied Physics 91, 10 (2002). U těch však doposud neexistovalo řešení pro způsob umístění a upevnění jádra do cívky, které by nebylo spojeno se vznikem nežádoucích mechanických napětí či vibrací.

Podstata vynálezu

Výše uvedené nevýhody odstraňuje nové provedení ortogonální feromagnetické sondy sestávající z jednoho či více feromagnetických jader a jedné či více snímacích cívek, případně také jedné či více kompenzačních cívek, kde feromagnetické jádro sondy libovolného tvaru a provedení, které může být připevněno na prvním držáku, je uloženo

ve snímací cívce. Feromagnetické jádro je přitom alespoň na 50% svého povrchu a na 50% své délky zalito výplňovým materiálem s dobrou teplotní vodivostí a nízkou tvrdostí, což vede k výraznému snížení teplotních nehomogenit jádra a zvýšení jeho tepelné setrvačnosti. Na jádro současně nepůsobí nežádoucí mechanická napětí a zároveň je uchycení jádra odolné proti vibracím.

Ortogonální feromagnetická sonda obsahuje alespoň jedno feromagnetické jádro mající podélný rozměr jádra a příčné rozměry jádra, přičemž příčné rozměry jádra se měří kolmo na podélný rozměr jádra. Obsahuje také alespoň jednu snímací cívku. Každé feromagnetické jádro je alespoň částečně umístěno uvnitř alespoň jedné snímací cívky tak, že změna magnetického toku ve feromagnetickém jádře vyvolá indukované napětí v těchto snímacích cívkách, ve kterých je jádro alespoň částečně umístěno. Podstatou vynálezu je, že každé feromagnetické jádro se alespoň částečně nachází uvnitř prostoru vyplněného výplňovým materiálem tak, že alespoň 50% povrchu každého feromagnetického jádra je v přímém kontaktu s tímto výplňovým materiálem, jehož konečný součinitel tepelné vodivosti při 25°C je větší než $0,1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a jehož konečná tvrdost podle stupnice Shore A při 25°C je od 5 do 70. Prostor vyplněný výplňovým materiálem je v délkovém úseku rovnajícím se alespoň 50% podélného rozměru jádra ohraničen ve směrech kolmých na podélný rozměr jádra alespoň jedním dutým objektem. Tento dutý objekt má podélný rozměr dutého objektu a vnitřní rozměry dutiny měřené kolmo na podélný rozměr dutého objektu. Nejmenší vnitřní rozměr dutiny tohoto dutého objektu je ve výše uvedeném délkovém úseku, tedy v délkovém úseku rovnajícím se alespoň 50% podélného rozměru jádra, v němž dutý objekt ohraničuje výplňový materiál, alespoň o 500 μm větší než největší příčný rozměr jádra.

V jednom výhodném provedení je dutým objektem ohraničujícím prostor vyplněný výplňovým materiálem buď přímo alespoň jedna ze snímacích cívek, nebo druhý držák. Tento druhý držák je dutý a jsou na něm připevněny jedna nebo více snímacích cívek tak že každé feromagnetické jádro je alespoň částečně uvnitř dutiny v druhém držáku.

Je výhodné, je-li ortogonální feromagnetická sonda opatřena jednou nebo více dalšími cívkami, přičemž na každé snímací cívce je přímo připevněna alespoň jedna další cívka. Nebo může být ortogonální feromagnetická sonda dále opatřena externím držákem, který je umístěn vně všech snímacích cívek, a všechny další cívky jsou pak umístěny na tomto externím držáku.

magnetické jádro tvar dutého va

netické jádro připevněno na p

edno feromagnetické jádro na

držák je vložen do jedné nebo

e ještě vložen do druhého d
h

etické jádro je v dobrém teple

... který je zároveň uzavřen v o

Obr. 3 představuje v řezu rovinou A1, která je vyznačena v obr. 1 a 2, výhodné provedení uchycení feromagnetického jádra na prvním držáku pomocí připájení měkkou pájkou na elektrolyticky nanesené kontakty na feromagnetickém jádře.

Obr. 4 zobrazuje provedení feromagnetického jádra ve tvaru dutého válce s budicí cívkou.

Obr. 5 zobrazuje zkompletovanou sestavu sondy se snímací cívkou na druhém držáku, kdy celý zbývající prostor uvnitř druhého držáku je vyplněn výplňovým materiálem a feromagnetické jádro je v provedení dle obr. 4.

Obr. 6 zobrazuje obdobné provedení jako na obr. 2 v podélném řezu vedeném v místě největšího příčného rozměru feromagnetického jádra. Rozdíl oproti konfiguraci z obr. 2 je v tom, že snímací cívky jsou dvě na společném držáku. Jádro je v obr. 6 v kontaktu s výplňovým materiálem na více než 50% své délky a plochy.

Obr. 7 zobrazuje v podélném řezu vedeném v místě největšího příčného rozměru feromagnetického jádra další možné provedení, kdy dvě jádra jsou umístěna v druhém držáku, na kterém jsou umístěny dvě snímací cívky, a výplňový materiál vyplňuje prostor držáku cívek tak, že jádro je v kontaktu s touto hmotou na více než 50% své délky a plochy.

Obr. 8 představuje obdobné provedení jako obr. 7, opět v podélném řezu vedeném v místě největšího příčného rozměru feromagnetického jádra, s tím, že na snímacích cívkách jsou přímo navinuty další cívky, které výhodně slouží ke zpětnovazební kompenzaci.

Na Obr. 9 je znázorněna sonda s jedním feromagnetickým jádrem v podélném řezu vedeném v místě největšího příčného rozměru feromagnetického jádra v provedení, v němž je kolem snímací cívky navinuta kompenzační cívka na externím držáku. Prostor samonosné snímací cívky je vyplněn výplňovým materiálem tak, že více než 50% délky a plochy feromagnetického jádra je v kontaktu s touto hmotou.

Příklady uskutečnění vynálezu

níže popsaná příkladná uspořádání ukazují pouze některá z možných řešení, která spadají do rozsahu ochrany vynálezu a ilustrují vynálezeckou myšlenku. Jde pouze o vybraná výhodná provedení, která nijak neomezují rozsah ochrany vynálezu. Různé příklady provedení jádra lze tak například kombinovat s různými způsoby jeho uchycení do různých níže popsaných držáků, lze také kombinovat různé tvary držáků pro různá jádra, a to při různých geometriích snímacích a dalších cívek apod. Je-li použit výplňový materiál s vlastnostmi dle nároku 1, všechny tyto kombinace spadají pod rozsah ochrany podle předkládaného vynálezu.

Jedno možné provedení feromagnetické sondy je schematicky uvedeno na Obr. 1. a 2. Obr. 1 znázorňuje první držák 12, k němuž je na dvou měděných kontaktech 13 připájeno feromagnetické jádro 11, v tomto případě tyčové jádro, které má podobu feromagnetického drátu. Sestava feromagnetického jádra 11.1 a prvního držáku 12 je v jednom možném provedení uložena do druhého držáku 21 dle Obr. 2. Druhý držák 21 je v tomto případě proveden jako trubička, která má v jednom výhodném provedení světlost 1 mm. Téměř celý zbývající prostor mezi feromagnetickým jádrem 11.1, prvním držákem 12 a druhým držákem 21 je vyplněn výplňovým materiálem 22. Tento materiál má vysokou tepelnou vodivost a malou tvrdost. Je také výhodné, má-li zároveň i malou tepelnou roztažnost. Uvedené vlastnosti jsou nezbytné pro správné fungování sondy dle předkládaného vynálezu. Disponuje jimi například teplovodivý silikon. Kolem druhého držáku 21 je navinuta snímací cívka 23.1. Je výhodné, je-li tato snímací cívka 23.1 využita i ke zpětnovazební kompenzaci. Těchto cívek může být v jiných provedení více. Počet snímacích cívek ani feromagnetických jader není omezen. V příkladných provedeních jsou pro jednoduchost znázorněny jen varianty s jednou snímací cívkou 23.1 nebo dvěma snímacími cívkami 23.1, 23.2. Při obecném počtu snímacích cívek tyto vícenásobné snímací cívky značíme 23.1, ..., 23.m, kde m je počet snímacích cívek. Obdobně jsou v příkladných provedeních pro jednoduchost znázorněny jen varianty s jedním feromagnetickým jádrem 11.1 nebo dvěma feromagnetickými jádry 11.1, 11.2. Při obecném počtu feromagnetických jader tato vícenásobná feromagnetická jádra značíme 11.1, ..., 11.n, kde je počet feromagnetických jader. Snímací cívka 23.1 či snímací cívky 23.1, ..., 23.n mohou být v jiných provedeních i samonosné, tj. bez druhého držáku 21. První držák 12 může být například frézován ze sklolaminátové desky plošných spojů, o šířce a tloušťce umožňující těsné zasunutí do trubičky druhého držáku 21. Je výhodné, je-li vnitřní prostor druhého držáku 21 vyplněn výplňovým

materiálem 22, například teplovodivým silikonem, již před vložením prvního držáku 12 s feromagnetickým jádrem 11.1, což zajistí téměř kompletní vyplnění prostoru tímto materiálem.

Výhodná možnost uchycení feromagnetického jádra 11.1 na prvním držáku 12 je vyobrazena na Obr. 3 v řezu rovinou A1, která je rovnoběžná na podélnou osu feromagnetického jádra a jejíž poloha je znázorněna v Obr. 1 a 2. Oproti Obr. 1 je zakreslen také výplňový materiál 22, který je zde nepravidelného tvaru. Pro jednoduchost není v Obr. 3 zakreslen dutý objekt, který v provedeních dle předkládaného vynálezu prostorově vymezuje tento výplňový materiál 22. Feromagnetické jádro 11.1 je na svých obou koncích 14 elektrolyticky pokovené a je připevněno na prvním držáku 12 připájením měkkou pájkou 15 elektrolyticky pokovených konců jádra 14 na kontakty 13 na prvním držáku 12, přičemž tvar prvního držáku 12 je uzpůsoben pro vložení do druhého držáku 21. Připájením je kromě mechanického uchycení zároveň docíleno elektrického kontaktu nutného pro připojení externích obvodů buzení jádra. Další výhodou je, že výplňový materiál 22 obklopuje, až na kontakty, celé feromagnetické jádro 11.1.

Jiný příklad provedení ortogonální feromagnetické sondy je uveden na Obr. 4 a 5. Kolem feromagnetického jádra 11.1 tvaru dutého válce je toroidně navinuta budící cívka 33 – viz Obr. 4. Duté válcové feromagnetické jádro 11.1 je umístěno v druhém držáku 21, jehož světlost je ve výhodném provedení 1 mm, kolem něhož je navinuta snímací cívka 23.1. Prostor mezi feromagnetickým jádrem 11.1 spolu s budící cívkou 33 a druhým držákem 21 je téměř zcela vyplněn výše uvedeným výplňovým materiálem 22, přičemž výplňovým materiálem 22 je navíc vyplněna i dutá část válcového feromagnetického jádra 11.1. V tomto provedení není feromagnetické jádro 11.1 přichyceno k prvnímu držáku, tj. jádro je uvnitř druhého držáku 21 uchyceno letmo. Je opět výhodné, je-li vnitřní prostor druhého držáku 21 vyplněn výplňovým materiálem 22 již před vložením feromagnetického jádra 11.1 s budící cívkou 33, což zajistí téměř kompletní vyplnění prostoru tímto výplňovým materiálem 22.

Na Obr. 6 je v podélném řezu vedeném v místě největšího příčného rozměru feromagnetického jádra 11.1 vyznačeno další možné provedení s dvěma snímacími cívkami 23.1 a 23.2 a prvním držákem 12, kdy opět sestava feromagnetického jádra 11.1 a prvního držáku 12 je uložena do druhého držáku 21 a druhý držák 21 je v tomto

případě proveden jako trubička. Prostor mezi feromagnetickým jádrem a druhým držákem 21 je vyplněn výplňovým materiálem 22, a to tak, že je jím pokryto více jak 50% délky i více než 50% povrchu jádra. Kolem druhého držáku 21 jsou navinuty dvě snímací cívky 23.1, 23.2, což je možné využít například pro měření gradientu magnetického pole. Je výhodné, jsou-li tyto snímací cívky 23.1, 23.2 využity i ke zpětnovazební kompenzaci.

Na Obr. 7 je v podélném řezu vedeném v místě největšího příčného rozměru sondy vyznačeno další možné provedení s dvěma feromagnetickými jádry 11.1, 11.2 ve tvaru válce s příčným rozměrem, tedy tloušťkou 100 μm , a dvěma snímacími cívkami 23.1, 23.2. Jádra jsou tentokrát v druhém držáku 21 uložena přímo, tj. bez prvního držáku 12. Druhý držák 21 je proveden jako dutý kvádr s dutinou s pravidelným čtvercovým průřezem, příčné rozměry dutiny jsou 1 x 1 mm. Prostor mezi každým feromagnetickým jádrem 11.1, 11.2 a druhým držákem 21 je vyplněn výplňovým materiálem 22 kolem feromagnetických jader, a to tak, že je jím pokryto více jak 50% délky i více než 50% povrchu jádra. Kolem druhého držáku 21 jsou navinuty dvě snímací cívky 23.1, 23.2, což je možné využít například pro měření gradientu magnetického pole. Je výhodné, jsou-li tyto snímací cívky 23.1, 23.2 využity i ke zpětnovazební kompenzaci.

Na Obr. 8 je v podélném řezu vedeném v místě největšího příčného rozměru sondy vyznačeno provedení s dvěma feromagnetickými jádry 11.1, 11.2 a dvěma snímacími cívkami 23.1, 23.2 a dvěma dalšími cívkami 24.1, 24.2, které výhodně slouží ke zpětnovazební kompenzaci. Jádra jsou v druhém držáku 21 uložena přímo, tj. bez prvního držáku. Druhý držák 21 je proveden jako trubička. Prostor mezi každým feromagnetickým jádrem a druhým držákem 21 je vyplněn výplňovým materiálem 22 tak, že je jím pokryto více jak 50% délky i více než 50% povrchu každého feromagnetického jádra. Kolem druhého držáku 21 jsou navinuty dvě snímací cívky 23.1, 23.2, což je možné využít například pro měření gradientu magnetického pole. Kolem těchto cívek jsou navinuty dvě další cívky 24.1 a 24.2. Je výhodné, jsou-li tyto další cívky 24.1 a 24.2 využity ke zpětnovazební kompenzaci.

Na Obr. 9 je v podélném řezu vedeném v místě největšího příčného rozměru sondy vyznačeno provedení s jedním feromagnetickým jádrem ve tvaru válce s příčným rozměrem, tedy tloušťkou 100 μm a dostatečně hustě navinutou samonosnou snímací cívkou 23.1 s vnitřní světlostí 1 mm. Jádro je opět umístěno bez držáku přímo v

samonosné snímací cívice 23.1, prostor mezi jádrem a snímací cívkou 23.1 je vyplněn výplňovým materiálem 22 tak, že je pokryto více jak 50% délky i povrchu jádra. Kolem snímací cívky je umístěn externí držák 25 a na něm je navinuta další cívka 24.1, která výhodně slouží jako cívka kompenzační.

Dalších cívek může být i větší počet, typicky stejný počet, jako počet snímacích cívek. Není-li použit externí držák 25, každá z dalších cívek může být navinuta na jedné ze snímacích cívek, tedy např. v konfiguraci s jednou snímací cívkou 23.1 je na ní navinuta jedna další cívka 24.1, v konfiguraci se dvěma snímacími cívkami 23.1 a 23.2 je na snímací cívice 23.1 navinuta další cívka 24.1 a na snímací cívice 23.2 je navinuta další cívka 24.2, jak je ukázáno v **obr. 8**.

Feromagnetické jádro má ve výhodných provedeních například tvar například tyčinky, pásku nebo dutého válečku. Příčný rozměr jádra nebo největší příčný rozměr jádra v případě jádra s nehomogenním tvarem je typicky 100 μm , jádro může být ale i jiných rozměrů, pokud tyto rozměry umožní jeho vsunutí do druhého držáku 21 a/nebo do snímacích cívek 23.1, ..., 23.m při zajištění dostatečné tloušťky výplňového materiálu. Jádro je vždy umístěno ve snímací cívice tak, aby změna magnetického toku v jádře vyvolala indukované napětí ve snímací cívice, která je charakterizována jako více jednotlivých závitů obepínajících plochu S , kterou uzavírají, a normálou definující orientaci této plochy S . U cívky s pravidelnými rozměry, například solenoidu, je většinou normála k ploše S totožná s osou této cívky. Rozměr jádra, který je alespoň přibližně rovnoběžný s normálou této plochy, je pak podélným rozměrem jádra. V drtivé většině případů je tento podélný rozměr jádra zároveň podélným i geometricky, například jím může být délka tyčinky či pásku nebo výška dutého válce. Může však nastat situace, kdy má jádro například tvar plného kruhu majícího průměr 1 mm s výškou (či tloušťkou) materiálu 100 μm (takové jádro může být vyrobeno elektrolytickým nanášením na vodivý kruhový terč). V tomto případě je pak podélným rozměrem jádra ten rozměr, který je rovnoběžný s normálou definující orientaci plochy S snímací cívky.

Příčné rozměry jádra jsou pak rozměry kolmé na podélný rozměr jádra a typicky definují průřez či tloušťku jádra, ta však nemusí být podél celého jádra konstantní.

Jak je vidět z obr. 2, 5 a 6 až 9, výplňový materiál 22 je vždy v přímém kontaktu s feromagnetickým jádrem 11.1, ..., 11.n. Je potřeba, aby tento kontakt byl zajištěn na

alespoň 50% povrchu feromagnetického jádra 11.1, ..., 11.n. Feromagnetické jádro 11.1, ..., 11.n se přitom alespoň částečně nachází uvnitř prostoru vyplněného výplňovým materiálem 22. Výplňový materiál 22 se ve výhodném provedení plní do dutého objektu, který ho prostorově vymezuje, v tekutém nebo pastovitém stavu, přičemž jde o materiál v čase tuhnoucí. Výplňový materiál 22 musí splňovat následujícími parametry: konečná tepelná vodivost, kterou rozumíme tepelnou vodivost po vytuhnutí, je při 25°C lepší než $0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, konečná tvrdost při 25°C, kterou rozumíme tvrdost po vytuhnutí, je v jednotkách stupnice Shore A mezi 5 a 70. Je zároveň výhodné, je-li konečný lineární koeficient tepelné roztažnosti výplňového materiálu při 25°C, čímž opět myslíme jeho hodnotu po vytuhnutí, menší než $1000 \text{ ppm} \cdot \text{K}^{-1}$. Nízká tvrdost výplňového materiálu 22 je důležitá pro zamezení vzniku nepříznivých mechanických napětí vlivem různých teplotních roztažností materiálu feromagnetického jádra 11.1, ..., 11.n, držáků 12, 21 a uvedeného výplňového materiálu 22. Je-li vrstva tohoto výplňového materiálu 22 dostatečně hmotná, z empirické zkušenosti o tloušťce minimálně 500 μm , je pak možné homogenizovat teplotu feromagnetického jádra 11.1, ..., 11.n, které je kovové, a tedy je dobrým vodičem tepla, a zároveň toto teplo v materiálu akumulovat, tj. zvýšit setrvačnost a tím přesunout rozsah reakcí na změny teploty směrem k nižším frekvencím. Z příkladu na Obr. 3 je zřejmé, že uvedený minimální rozměr 500 μm , tedy celková tloušťka výplňového materiálu 22, je dán součtem rozměrů t_{m1} a t_{m2} , které nemusí být shodné.

Zároveň je však nutné pro dosažení tvarové stálosti a odolnosti proti vibracím u výplňového materiálu 22 s takto nízkou tvrdostí po vytuhnutí tento materiál ohraničit, uzavřít ho prostorově – provedení na Obr. 3 samo o sobě nedostačuje. Prostor, ve kterém je umístěn výplňový materiál 22, je proto v délkovém úseku rovnajícím se alespoň 50% podélného rozměru feromagnetického jádra 11.1, ..., 11.n ohraničen ve směrech kolmých na podélný rozměr tohoto jádra alespoň jedním dutým objektem, což je vyznačeno na Obr. 2, a Obr. 5 v izometrickém pohledu a na Obr. 6 až Obr. 9 v řezu. Tento dutý objekt má podélný rozměr dutého objektu a vnitřní rozměry dutiny měřené kolmo na podélný rozměr dutého objektu. Podélným rozměrem dutého objektu přitom rozumíme největší rozměr dutého objektu měřený ve směru rovnoběžném nebo přibližně rovnoběžném s podélným rozměrem feromagnetického jádra 11.1, ..., 11.n. Nejmenší vnitřní rozměr dutiny tohoto dutého objektu na tomto délkovém úseku je alespoň o 500 μm větší než největší příčný rozměr feromagnetického jádra 11.1, ...,

11.n. Způsoby ohraničení výplňového materiálu 22 samonosnou snímací cívkou 23.1, ..., 23.m nebo druhým držákem 21 jsou popsány výše. Je výhodné, je-li feromagnetické jádro 11.1, ..., 11.n připevněno k prvnímu držáku 12, například pájením, a výsledná sestava je vložena do druhého držáku 21, který je například ve tvaru trubičky, a vnitřní prostor druhého držáku 21 je zalit výše uvedeným výplňovým materiálem 22 tak, že alespoň 50%, lépe však celý povrch feromagnetického jádra je v kontaktu s tímto materiálem. Nejvýhodnější ale je, když je jádro obklopeno výplňovým materiálem 22 v maximální možné míře a výplňový materiál 22 vyplňuje co největší objem.

Tyto parametry a způsob provedení výplňového materiálu už zajišťují přijatelné snížení nežádoucích tepelných efektů i mechanických napětí. V této konfiguraci tedy dochází k nejvýraznějšímu snížení ultra-nízkofrekvenčního šumu v oblasti nízkých frekvencí pod 1 Hz.

Bylo experimentálně prokázáno na konkrétním provedení přímo buzené ortogonální feromagnetické sondy s válcovým jádrem z amorfního materiálu o délce 40 mm a tloušťce 100 μm , že šum na frekvencích mezi 0,01 a 0,1 Hz poklesl až na jednu třetinu oproti stavu techniky. V tomto případě byl použit jako výplňový materiál silikon s konečnou tvrdostí po vytuhnutí Shore A 39 a tepelnou vodivostí přibližně $0,2 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$, který byl ohraničen keramickou trubičkou se světlostí 5 mm, která sloužila jako držák snímací cívky. Snímací cívka byla na keramické trubičce navinuta po celé délce feromagnetického jádra a veškerý vnitřní prostor keramické trubičky byl vyplněn výše uvedeným výplňovým materiálem.

Feromagnetické jádro 11.1, ..., 11.n je umístěno do sobě příslušné snímací cívky 23.1, ..., 23.m částečně nebo v nejvýhodnějším provedení úplně. V jednom výhodném provedení je feromagnetické jádro 11.1, ..., 11.n umístěno do snímací cívky 23.1, ..., 23.m tak, že podélný rozměr feromagnetického jádra 11.1, ..., 11.n leží na podélné ose snímací cívky 23.1, ..., 23.m, případně je s ní alespoň přibližně rovnoběžný. Podstatné ale je, aby vzájemná pozice feromagnetického jádra 11.1, ..., 11.n a jemu příslušné snímací cívky 23.1, ..., 23.m byla taková, aby změna magnetického toku ve feromagnetickém jádře 11.1, ..., 11.n vyvolala indukované napětí v příslušné snímací cívkce 23.1, ..., 23.m. To znamená, že úhel, který svírá osa každé snímací cívky 23.1, ..., 23.m s podélným rozměrem feromagnetického jádra 11.1, ..., 11.n příslušného dané snímací cívkce, musí ležet ve zdola uzavřeném a shora otevřeném intervalu od 0° do 90° .

Dutým objektem, který prostorově omezí výplňový materiál 22, je v jednom příkladném provedení v případě dostatečné viskozity výplňového materiálu 22 a dostatečné hustoty vinutí snímací cívky 23.1, ..., 23.m přímo tato snímací cívka, jak je znázorněno na Obr. 9, kde je snímací cívka 23 samonosná. V jiných výhodných provedeních je dutým objektem, který prostorově omezí výplňový materiál 22, druhý držák 21. Na tomto druhém držáku jsou pak připevněny snímací cívky 23.1, ..., 23.m, a to buď tak, že jsou na druhém držáku 21 navinuty, nebo jiným způsobem. Zařízení může však fungovat i tak, že některé z feromagnetických jader 11.1, ..., 11.n je vsunuto do některé ze snímacích cívek 23.1, ..., 23.m samostatně, tj. bez prvního držáku 12. Jsou tedy možná provedení, v nichž je z držáků přítomen pouze první držák 12, pouze druhý držák 21, současně oba držáky 12 i 21 nebo žádný držák v případě, že jádro je uloženo letmo ve snímací cívkě 23.1, ..., 23.m. Jsou-li přítomny oba uvedené držáky, je provedení prvního držáku 12 s výhodou přizpůsobeno tak, aby podélný rozměr feromagnetického jádra 11.1, ..., 11.n byl alespoň přibližně rovnoběžný s podélným rozměrem či osou druhého držáku 21, přičemž osa tohoto držáku 21 v nejvýhodnějším provedení splývá s osou snímací cívky 23.1, ..., 23.m.

Nejmenší vnitřní průměr příslušné snímací cívky 23.1, ..., 23.m a/nebo vnitřní rozměr dutiny druhého držáku 21 (tj. světlost v případě dutého válce) musí být z logiky věci dán součtem největšího příčného rozměru (tj. tloušťky) feromagnetického jádra 11.1 a minimální celkové tloušťky výplňového materiálu, která byla empiricky stanovena jako $500\ \mu\text{m}$. Například je-li feromagnetické jádro 11.1 ve tvaru válce, je jeho tloušťka (příčný rozměr), tedy průměr válce, typicky mezi 50 a 150 μm . Pak je v tomto konkrétním případě nejmenší vnitřní průměr snímací cívky 23.1, ..., 23.m a/nebo nejmenší vnitřní rozměr dutiny druhého držáku 21 (tj. světlost v případě dutého válce) roven součtu celkové tloušťky výplňového materiálu a tloušťky jádra, tj. nejmenší vnitřní rozměr dutiny je typicky mezi 550 a 650 μm . Konkrétní příklad je vyobrazen na Obr. 7 - tloušťka jádra je značena t_j a vnitřní rozměr dutiny, respektive světlost druhého držáku 21 (například vnitřní průměr válce u válcového držáku) je označen rd . Vnitřní rozměr dutiny rd je pak dán součtem tloušťky jádra t_j a celkové tloušťky materiálu $tm = tm_1 + tm_2$. V případě, že jsou feromagnetické jádro 11.1 nebo feromagnetická jádra 11.1, 11.2 souosá s držákem 21, jak je naznačeno na Obr.7, platí zároveň rovnost $tm_1 = tm_2$.

Materiál prvního držáku 12 i druhého držáku 21 je libovolný neferomagnetický, s výhodou se použije materiál s velkou tepelnou vodivostí a malou roztažností,

například keramika či speciální technické plasty. Druhý držák 21 může mít tedy například formu keramické trubičky.

Pro vodivé spojení feromagnetického jádra s externími obvody je zároveň výhodné, je-li feromagnetické jádro na jeho koncích elektrolyticky pokoveno vrstvou mědi, a tyto konce jsou zapájeny ke kontaktům na držáku či přímo k elektrickým vodičům, čímž je docíleno definovaného, tepelně a chemicky stabilního elektrického kontaktu. Je pak výhodné, je-li toto elektricky vodivé spojení feromagnetického jádra s kontakty zároveň jediným mechanickým spojením s držákem. Pak je výplňový materiál, až na tyto dva elektrické kontakty, po zalití ve styku téměř s celým povrchem feromagnetického jádra.

Ve výhodném provedení je snímací cívka nebo snímací cívky 23.1, ..., 23.m použity i pro zpětnovazební kompenzaci, a to tak, že jsou jako ve známých řešeních připojeny jak k detekčním obvodům elektroniky, kde je zpracován snímáný signál, tak i k výstupu kompenzační zpětné vazby, kde je generován kompenzační proud pro kompenzaci měřeného magnetického pole. V jiném možném provedení je výše uvedená zpětnovazební kompenzační cívka vytvořena jako další cívka nebo cívky 24.1, ..., 24.k, kde k je počet těchto dalších cívek, navinuté buď přímo na příslušné snímací cívky 23.1, ..., 23.m, nebo na libovolně provedený externí držák 25 tak, že další cívky 24.1, ..., 24.k jsou souosé se sobě příslušnými snímacími cívkami 23.1, ..., 23.m.

V jiném možném provedení je kolem feromagnetického jádra 11.1 navinuto více snímacích cívek, např. dvou cívek 23.1, 23.2, které jsou řazeny jedna za druhou ve směru podélného rozměru feromagnetického jádra, tak jak je znázorněno na obr. 6, přičemž kolem těchto snímacích cívek nebo kolem externího držáku 25, který tyto snímací cívky obklopuje, mohou být umístěny další cívky 24.1, 24.2, tak jak je popsáno v předchozím odstavci. Snímacích cívek i dalších cívek může být i větší počet než dvě od každého druhu. V obdobné sestavě může být uvnitř více snímacích cívek, např. snímacích cívek 23.1, 23.2, zařazeno i více feromagnetických jader, např. feromagnetická jádra 11.1, 11.2. Některá z takových možných uspořádání jsou na obr. 7 a 8. Tato uspořádání s více snímacími cívkami pak umožňují měření gradientu magnetického pole prvního či vyšších řádů dle počtu cívek.

Ortogonalní feromagnetická sonda najde využití v geofyzice, bezpečnostních a vojenských aplikacích a všude tam, kde je třeba měřit složky vektoru magnetického pole s velmi nízkým šumem v oblastech ultra-nízkých frekvencí (pod 1 Hz).

Seznam vztahových značek

11.1, ..., 11.n – feromagnetická jádra, kde n je počet jader

12 – první držák

13 – kontakty

14- konce feromagnetického jádra

15 – pájka

21 – druhý držák

22 – výplňový materiál

23.1, ..., 23.m – snímací cívky, kde m je počet cívek

24.1, ..., 24.k – další cívky, kde k je počet dalších cívek

25 – externí držák

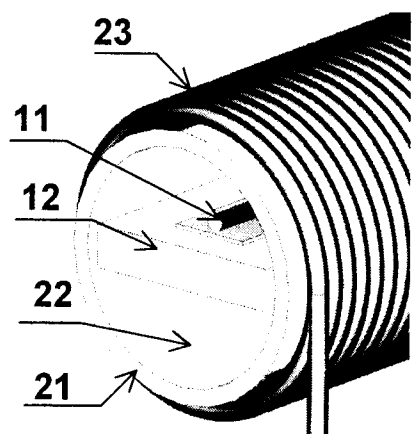
33 – budící cívka

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Ortogonální feromagnetická sonda obsahující alespoň jedno feromagnetické jádro (11.1,..., 11.n), kde n je počet jader, mající podélný rozměr jádra a příčné rozměry jádra měřené kolmo na podélný rozměr jádra a alespoň jednu snímací cívku (23.1,..., 23.m), kde m je počet snímacích cívek, přičemž každé feromagnetické jádro (11.1,..., 11.n) je alespoň částečně umístěno uvnitř alespoň jedné snímací cívky (23.1,..., 23.m) tak, že změna magnetického toku ve feromagnetickém jádře (11.1,...,11.n) vyvolá indukované napětí v těch snímacích cívkách (23.1,..., 23.m), ve kterých je jádro (11.1,...,11.n) alespoň částečně umístěno, **vyznačující se tím, že** každé feromagnetické jádro (11.1, ...11.n) se alespoň částečně nachází uvnitř prostoru vyplněného výplňovým materiálem (22) tak, že alespoň 50% povrchu každého feromagnetického jádra je v přímém kontaktu s tímto výplňovým materiálem (22), jehož konečný součinitel tepelné vodivosti při 25°C je větší než $0,1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ a jehož konečná tvrdost podle stupnice Shore A při 25°C je od 5 do 70, přičemž tento prostor vyplněný výplňovým materiálem (22) je v délkovém úseku rovnajícím se alespoň 50% podélného rozměru jádra ohraničen ve směrech kolmých na podélný rozměr jádra alespoň jedním dutým objektem majícím podélný rozměr dutého objektu a vnitřní rozměry dutiny měřené kolmo na podélný rozměr dutého objektu, přičemž nejmenší vnitřní rozměr dutiny tohoto dutého objektu je v tomto délkovém úseku alespoň o 500 μm větší než největší příčný rozměr feromagnetického jádra (11.1,..., 11.n).
2. Ortogonální feromagnetická sonda podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** dutým objektem ohraničujícím prostor vyplněný výplňovým materiálem (22) je buď přímo jedna ze snímacích cívek (23.1,..., 23.m), nebo druhý držák (21), který je dutý a na němž jsou připevněny jedna nebo více snímacích cívek (23.1,..., 23.m) tak, že každé feromagnetické jádro (11.1,...,11.n) je alespoň částečně uvnitř dutiny v druhém držáku (21).
3. Ortogonální feromagnetická sonda podle nároku 1 nebo 2, vyznačující se tím, že je opatřena jednou nebo více dalšími cívkami (24.1, ...,24.k), kde k je počet dalších cívek, přičemž na každé snímací cívkě (23.1,..., 23.m) je přímo připevněna alespoň jedna další cívka (24.1,..., 24.k), kde k je počet dalších

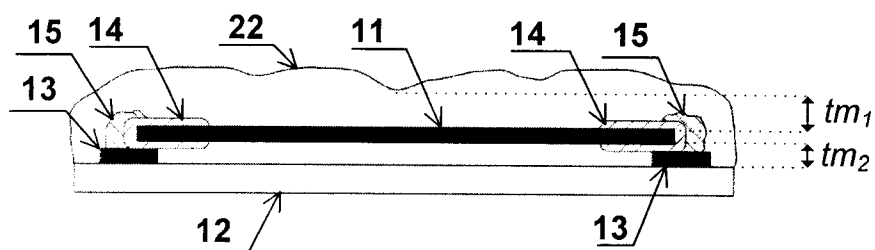
cívek, nebo je ortogonální feromagnetická sonda dále opatřena externím držákem (25), který je umístěn vně všech snímacích cívek (23.1,..., 23.m), a všechny další cívky (24.1, ..., 24.k) jsou umístěny na tomto externím držáku (25).

4. Ortogonální feromagnetická sonda podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že alespoň jedno feromagnetické jádro (11.1,..., 11.n) má tvar tyčinky nebo pásku.
5. Ortogonální feromagnetická sonda podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že alespoň jedno feromagnetické jádro (11.1,..., 11.n) má tvar dutého válce.
6. Ortogonální feromagnetická sonda podle kteréhokoli z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje první držák (12), přičemž alespoň jedno feromagnetické jádro (11.1,..., 11.n) je připevněno na tomto prvním držáku (12).
7. Ortogonální feromagnetická sonda dle nároku 6, **vyznačující se tím**, že alespoň jedno feromagnetické jádro (11.1,..., 11.n) je na svých koncích (14) elektrolyticky pokovené a je připevněno na prvním držáku (12) připájením měkkou pájkou (15) těchto konců (14) na kontakty (13) vytvořené na tomto prvním držáku (12).

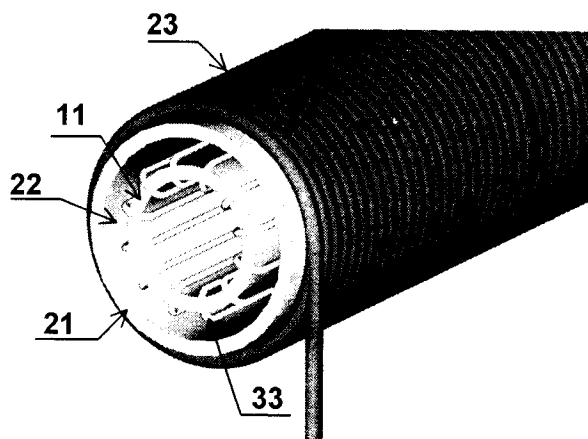


Obr. 2

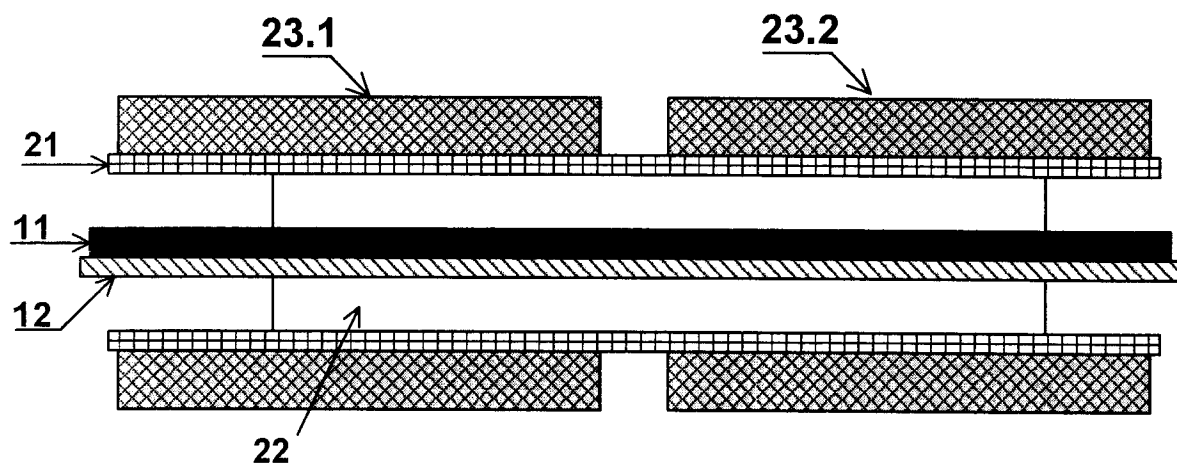
Řez A1



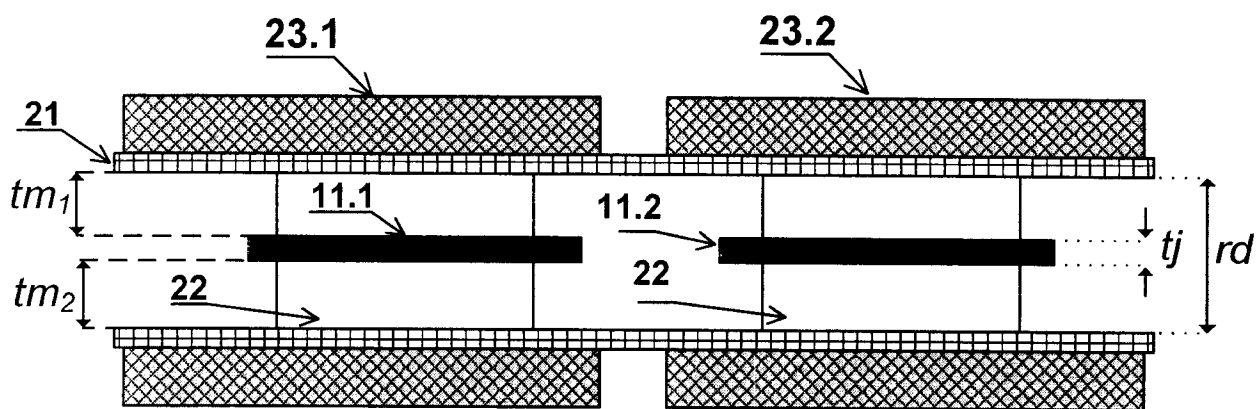
Obr. 3



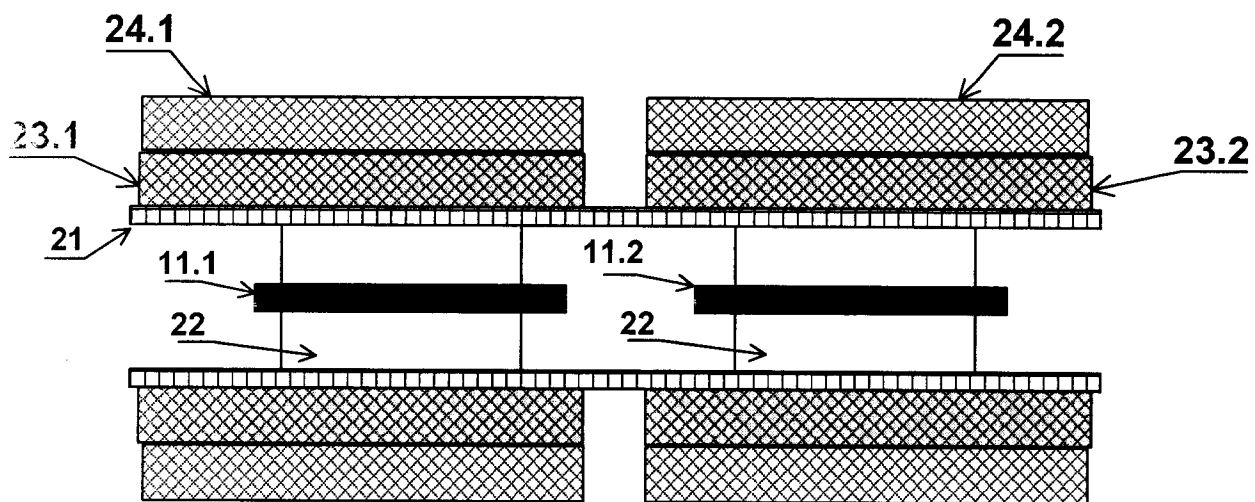
Obr.5



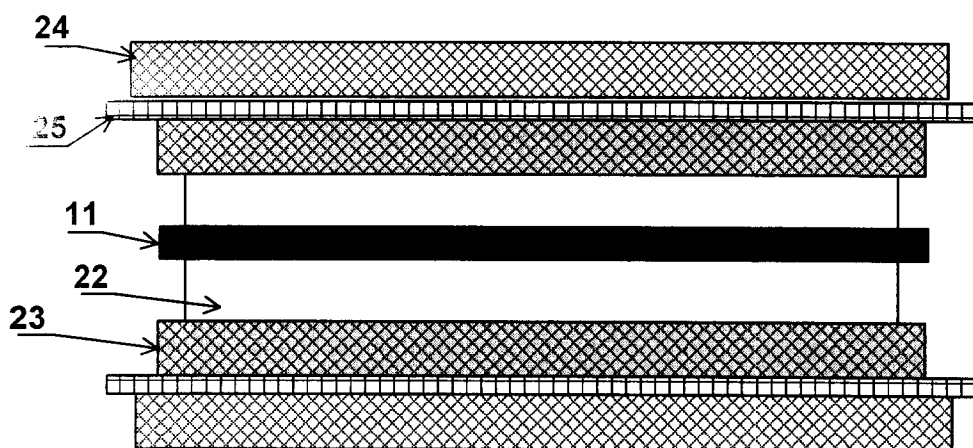
Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9