



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

255425

(11)

(B1)

(51) Int. Cl.⁴

G 01 R 33/12

(22) Přihlášeno 23 09 85

(21) PV 6784-85

(40) Zveřejněno 16 07 87

(45) Vydáno 15 11 88

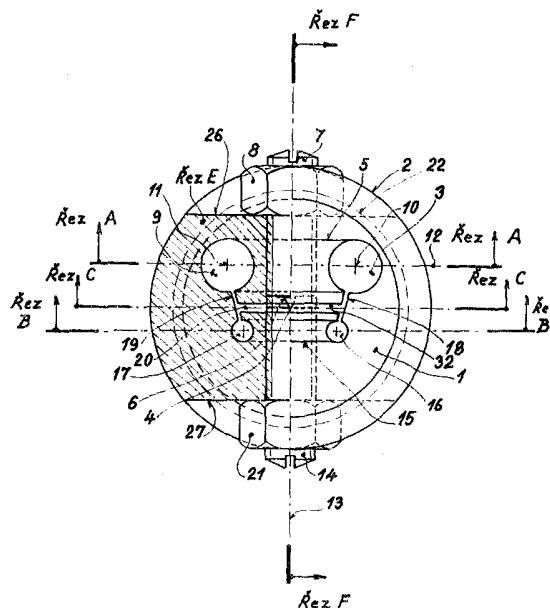
(75)

Autor vynálezu

PETŘÍČEK VÁCLAV ing. CSc., PRAHA

(54) Vysokofrekvenční toroidální čidlo supravodivého kvantového magnetometru

Zařízení se týká vědního oboru výzkumu měření magnetického pole s nízkou intenzitou s využitím supravodivého kvantového magnetometru s příslušným čidlem, jako je tomu například při měření jaderné magnetické rezonance, detekce částic, ve fyzice při termometrii, v geologii, v lékařství atd. Řeší se problém potlačení rušivých signálů, které doprovázejí aktivní signál, a problematika dokonalého vnitřního stínění čidla vůči vnějším elektromagnetickým polím. Podstata spočívá v tom, že v těle toroidálního čidla supravodivého kvantového magnetometru, vytvořeného supravodivou indukční smyčkou elektricky uzavřenou supravodivým slabým přechodem a zhotoveného z jediného kusu supravodivého materiálu, jsou upraveny v rovinách rovnoběžných se svislou osou těla dvě dutiny tvaru O, které jsou symetrické k rovině kolmé k rovinám dutin tvaru O a procházejí osou těla čidla. Svislá, sobě odpovídající ramena obou dutin jsou symetricky propojena rovinnými štěrbinami opět propojenými rovinnou štěrbinou, rovnoběžnou s dutinami tvaru O. Do jedné dutiny tvaru O je vložena válcová signální cívka, do druhé válcová budicí cívka. Zapuštěná čela těla čidla jsou uzavřena šroubovými zátkami s průchodkami pro přívody cívek. Kolmo k ose těla čidla je otvor, do něhož je vložen slabý supravodivý přechod hrotového typu.



Obr. 1

Vynález se týká vysokofrekvenčního toroidálního čidla supravodivého kvantového magnetometru, sestávajícího ze supravodivé indukční smyčky elektricky uzavřené supravodivým slabým přechodem.

K měření velmi malých hodnot magnetických indukcí, řádově 10^{-11} T a méně se používá supravodivého kvantového magnetometru, pro jehož čidlo se užívá supravodivé indukčnosti, zapojené do serie se supravodivým spínačem, označovaným v odborné literatuře jako tak zvaný slabý přechod.

Největšího rozšíření dosáhlo symetrické provedení čidla, vytvořeného dvěma paralelně zapojenými indukčnostmi se společným hrotovým kontaktem. Spolehlivost takového zařízení je dána spolehlivostí hrotového kontaktu, který je vůbec nejchoulostivějším prvkem magnetometru. Ostří hrotu mívá poloměr jeden mikrometr, takže jeho výroba je dosti pracná, seřizování kontaktu vyžaduje značnou trpělivost a při hromadné výrobě není nastavení kontaktů dostatečně reprodukovatelné. Vlivem jemnosti hrotu dochází u čistě kovového kontaktu k jeho poškození při otřesech, vibracích a náhlých tepelných změnách. Vlastní kontakt je vytvořen mezi čistě kovovou plochou jednoho šroubu a hrotem druhého šroubu. Tepelné cykly vyvolávají nepříznivé dilatace materiálu a manipulace s čidlem při pokojové teplotě zvyšuje škodlivý vliv atmosféry na kontakty.

V poslední době se významnou měrou zvýšila stabilita kontaktu čidla po zavedení nového způsobu úpravy kontaktu. Podle tohoto způsobu se na kontaktu s ploškou vytvoří vrstvička kysličníku, do kterého se hrot při seřizování čidla zapíchne. Vrstva kysličníku pak chrání kontakt před poškozením. Takto seřizené čidlo vydrží pracovat bezporuchově i několik let.

Dosud známé konstrukce dvouděrových čidel, to znamená čidel, která jsou vytvořena dvěma paralelně zapojenými smyčkami, mají hlavní nevýhodu, která spočívá v poměrně velké indukčnosti, přičemž navíc nejsou - přes největší snahu - zcela dokonale odstíněna proti vlivu vnějšího rušivého pole. Tak zvaná toroidní čidla, která představují čidla s jednou indukční smyčkou a která tvoří vlastní konstrukční skupinu, jsou z výrobních důvodů vytvořena ze dvou demontovatelných částí. Toroidní čidla mají sice dobré vlastní stínicí účinky, ale přístup k vazebním cívkám není možný bez demontáže těchto dvou dílů a tudíž bez porušení nastavení hrotového kontaktu, tvořícího slabý přechod. Tato skutečnost je značnou nevýhodou tohoto druhu jinak dobrého čidla, které má malou indukčnost ve srovnání s dvouděrovým čidlem a tedy i větší citlivost.

Příkladem a ukázkou provedení čidla SQUID kvantového magnetometru je čidlo podle čs. autorského osvědčení čísl. 179 578, které je vytvořeno ze střední části tvaru kruhové destičky, ze dvou postranních válcových částí, přilehlých z obou stran ke střední válcové části, a ze zařízení pro dokonalé mechanické a supravodivé spojení všech tří částí. Přitom střední část tvaru kruhové destičky je vytvořena z elektrického izolantu, například ze slídy, skla, keramiky nebo kovu, který je při provozní teplotě čidla v rozsahu od 4 K do 20 K nesupravodivý, například ze zlata nebo z mědi. Symetricky ke středu destičky jsou provedeny dva indukční otvory, to znamená indukční smyčky. Jedna strana střední části, tj. rovinná plocha kruhové destičky, je opatřena tenkou vrstvou, která je supravodivá při provozní teplotě čidla a která je zhotovena například z niobu nebo olova.

Průřez supravodivé vrstvy mezi indukčními otvory je zúžen nebo zeslaben a tvoří můstek, supravodivý při provozní teplotě čidla. Případně je napříč tohoto supravodivého můstku upraven proužek z kovu, který je při provozní teplotě čidla od 4 K do 20 K nesupravodivý a který je zhotoven například ze zlata nebo mědi. Každá z obou postranních částí čidla je zhotovena z kovu supravodivého při provozní teplotě čidla, například z niobu nebo z olova.

Zařízení pro dokonalé mechanické a supravodivé spojení všech částí čidla je vytvořeno pouzdrem z trubky, zhotovené z kovu supravodivého při provozní teplotě čidla, například z niobu nebo z olova, do níž jsou všechny části čidla zalisovány.

Nedostatky a nevýhody popsaných konstrukcí čidla odstraňuje do značné míry konstrukce čidla supravodivého kvantového magnetometru podle autorského osvědčení č. 215 517, které je vytvořeno supravodivou indukční smyčkou elektricky uzavřenou supravodivým slabým přechodem. Tělo tohoto čidla je zhotoveno ze supravodivého materiálu, v němž je upravena dutina ve tvaru U, jehož ramena jsou propojena rovinnou štěrbinou. Mezi rameny dutiny ve tvaru U jsou upraveny kolmo na rovinnou štěrbinu dva sousední otvory pro vložení supravodivého slabého přechodu. Čela těla čidla jsou zapuštěna. Dutina, vzniklá zapuštěním čela, nad spojovací dutinou obou dalších ramen dutiny tvaru U, je opatřena závitem pro šroubovou zátku a drážkou pro šroubovák. Do prvního delšího ramena dutiny tvaru U je vložena jednak budicí cívka, jednak část závitu signálové cívky, jejíž zbylé závity jsou vloženy do druhého delšího ramene dutiny tvaru U a do kratší spojovací dutiny obou ramen dutiny tvaru U. - Při první alternativě je supravodivý slabý přechod vytvořen šroubem s hrotem a šroubem s plochým čelem. Oba šrouby opatřené drážkou jsou zašroubovány do sousedních otvorů se závity v těle čidla. - Při druhé alternativě je supravodivý slabý přechod vytvořen například z tyčinky pokryté supravodivou tenkou vrstvou, uprostřed jejíž délky je upraven supravodivý můstek se submikronovými rozměry.

Otvory v těle čidla, do nichž je vložen supravodivý slabý přechod, odpovídají svým tvarem a rozměry průřezu tyčinky tvořící supravodivý slabý přechod, takže tenká supravodivá vrstva na nosné části supravodivého slabého přechodu je v supravodivém kontaktu s tělem čidla.

Toto popsané čidlo má řadu výhod: především má menší indukčnost, vyšší citlivost, dokonalejší stínění proti vnějšímu rušivému poli a při srovnání s toroidním čidlem má snadný přístup k budicí i signálové cívce bez porušení hrotového kontaktu, to znamená bez porušení jeho seřízení. Tato výhoda je velmi důležitá s ohledem na potřebu nastavit přizpůsobení čidla různým typům gradientometru.

Nevýhody popsaných známých typů čidla jsou z velké části odstraněny toroidálním čidlem podle čsl. autorského osvědčení č. 234 788. Toto toroidální čidlo supravodivého kvantového magnetometru je vytvořeno supravodivou indukční smyčkou elektricky uzavřenou supravodivým slabým přechodem. Čidlo má tělo zhotoveno z jediného kusu supravodivého materiálu, v němž je upravena jedna dutina tvaru O. Dvě svislá a dvě vodorovná spojovací ramena dutiny tvaru O jsou navzájem propojena rovinnou štěrbinou a v prostoru omezeném dutinou tvaru O jsou v těle čidla upraveny dva sousední otvory kolmé na rovinu dutiny tvaru O, do nichž je vložen supravodivý slabý přechod. Obě čela těla čidla jsou zapuštěna a dutiny nad čely jsou opatřeny závity pro šroubové zátky, opatřené otvory pro klíč a průchodkou pro přívody jednak k signální cívce, jednak k budicí cívce.

Tyto cívky jsou do dutiny tvaru O vloženy celkem třemi různými způsoby. Toto čidlo má následující výhodu kromě výhod již dříve uvedených - a tou je podstatné zvýšení citlivosti vlivem řádově stonásobně vyššího potlačení různých externích vlivů následkem použité druhé šroubové zátky a vlivem konstrukční úpravy obou zátek, to znamená vytvořením příruby na každé zátky. Tím se dosáhne odstranění nebezpečí, že utažením zátky se poruší seřízení supravodivého slabého přechodu. Taktéž se uplatňuje vliv nového uspořádání obou válcových cívek, signální a budicí, zejména pak úprava jejich přívodů v průchodech ve šroubových zátkách.

Otvory v průchodech, to znamená jejich tvar a velikost zaručují, že při maximálním stínícím účinku je zajištěna spolehlivá ochrana izolace přívodů k cívkám proti mechanickému poškození, zejména při montáži. Rozdělení přívodů cívek a provlečení dvěma šroubovými zátkami snižuje induktivní vazbu a zabraňuje přenos rušivých signálů ze signálového do budicího obvodu. Kromě toho se dosahuje zkrácení přívodů signálové cívky, což taktéž přispívá k potlačení rušivých vlivů.

Jiné známé toroidální čidlo má tvar válce složeného ze dvou polovin, jejichž styčné plochy jsou v rovině kolmé k ose válce. V této rovině je upravena toroidální dutina, do níž jsou vloženy obě cívky, to znamená signálová a budicí. V ose válce je upraven supravodivý

slabý přechod, přičemž v jedné části je upraven šroub s hrotem a ve druhé části šroub s plochým čelem. Obě poloviny válcového čidla jsou spolu spojeny buď šrouby nebo difúzním svárem. Cívky se do toroidální dutiny vkládají buď před montáží nebo pomocným otvorem, jehož osa je tečnou ke kružnici procházející středem toroidálního čidla a ležící v rovině styčných ploch obou polovin čidla. Tato konstrukce toroidálního čidla má několik závažných nevýhod. Především tuhost čidla spojovaného šrouby je nedokonalá; difúzní svařování je zase omezeno pouze na vysoce specializovaná pracoviště. Dodatečné zásahy do cívek jsou buďto vyloučeny nebo u čidel s otvorem pro vkládání cívek je utěsnění tohoto pomocného otvoru velice obtížné.

Souhrnně lze charakterizovat vpředu popsaný stav známé techniky těmito nevýhodami a nedostatky: především je to nižší spolehlivost, která je dána spolehlivostí hrotového kontaktu supravodivého spinače, označovaného jako slabý přechod, který patří k nejchoulostivějším prvkům magnetometru, i když se v poslední době podařilo významnou měrou zvýšit stabilitu kontaktu slabého přechodu po zavedení nového způsobu úpravy kontaktu oksyličováním. Dále je to nedokonalé odstínění proti vlivu vnějšího rušivého pole.

Významnou nevýhodou u toroidálních čidel - jinak výhodných pro dobré stínící účinky, pro menší indukčnost a větší citlivost - je demontáž dílů čidla a porušení nastaveného hrotového kontaktu v případě potřeby zásahu do cívek. Kromě toho umístění budicí a signálové cívky do společné dutiny je nevýhodné jednak z hlediska vazby mezi nimi, neboť rušivé vysokofrekvenční signály přenášené z antény do signálové cívky mohou interferovat s budicím kmitočtem v budicí cívce, jednak při požadavku větší hodnoty indukčnosti signálové cívky by pro tuto cívku nestačil daný objem v čidle; zvětšením průměru dutiny by se mohla překročit nejvyšší přípustná hodnota, při níž by vlastní šum čidla překryl kvantování magnetického toku a tak i vyřadil čidlo z činnosti.

Nevýhody všech vpředu popsaných dosud známých typů čidla jsou v největší míře sníženy nebo dokonce zcela odstraněny vynálezem vysokofrekvenčního toroidálního čidla supravodivého kvantového magnetometru, sestávajícího ze supravodivé indukční smyčky elektricky uzavřené supravodivým slabým přechodem a vytvořeného z válcového těla, zhotoveného z jediného kusu supravodivého materiálu, jehož čela jsou zapuštěna a dutiny nad těmito čely jsou opatřeny závity pro šroubové zátky, opatřené na vnějších čelech jednak alespoň dvěma otvory pro klíč, jednak alespoň jednou průchodkou, a uprostřed válcového těla čidla jsou upraveny dva sousedé otvory, jejichž společná osa je v rovině osy těla čidla a je k této ose kolmá, přičemž do jednoho z těchto dvou sousedých otvorů opatřených závity je zašroubován šroub s hrotem a do druhého otvoru je zašroubován šroub se zabroušenou čelní plochou, oba tyto šrouby tvoří supravodivý slabý přechod a jsou zajištěny maticemi, jež se opírají o rovinné zabroušené plochy na obou stranách povrchu válcového těla čidla.

Podstata čidla podle vynálezu spočívá v tom, že ve válcovém těle čidla je upravena v rovině rovnoběžné s jeho osou jednak první dutina tvaru O, do níž je vložena válcová signální cívka, přičemž tato první dutina tvaru O sestává ze dvou ramen rovnoběžných s osou válcového těla čidla a ze dvou ramen v rovinách kolmých k ose válcového těla čidla, propojujících konce ramen rovnoběžných s osou válcového těla čidla, jednak druhá dutina tvaru O, do níž je vložena válcová budicí cívka. Druhá dutina tvaru O je v rovině rovnoběžné s rovinou první dutiny tvaru O a sestává rovněž ze dvou ramen rovnoběžných s osou válcového těla čidla a ze dvou ramen v rovinách kolmých k ose válcového těla čidla, propojujících konce ramen rovnoběžných s osou válcového těla čidla.

První dutina tvaru O a druhá dutina tvaru O mají společnou rovinu symetrie, jež prochází osou válcového těla čidla a je kolmá k rovinám obou dutin tvaru O. Ramena rovnoběžná s osou válcového těla čidla a náležející první dutině tvaru O jsou propojena s odpovídajícími rameny rovnoběžnými s osou válcového těla čidla a náležejícími druhé dutině tvaru O rovinnými štěrbinami, jež jsou umístěny rovnoběžně s osou válcového těla čidla a symetricky k rovině symetrie první dutiny tvaru O a druhé dutiny tvaru O a jež jsou vzájemně propojeny rovinnou štěrbinou, rovnoběžnou s rovinami první dutiny tvaru O a druhé dutiny tvaru O a procházející

osou válcového těla čidla, přičemž hrotový kontakt supravodivého slabého přechodu, to znamená hrot šroubu v kontaktu s čelní plochou šroubu je umístěn v rovinné štěrbině procházející osou válcového těla čidla.

Podle vynálezu jsou vývody válcové signální cívky provlečeny průchodkou v horní šroubové zátce a vývody válcové budicí cívky jsou provlečeny průchodkou v dolní šroubové zátce.

Podle vynálezu je tloušťka rovinné štěrbiny v ose válcového těla čidla v rozsahu od 0,1 mm do 0,3 mm a tloušťka rovinné štěrbiny propojující rameno první dutiny tvaru O válcové signální cívky s ramenem druhé dutiny tvaru O válcové budicí cívky je v rozsahu od 0,1 mm do 0,25 mm.

Konstrukce čidla podle vynálezu přináší následující výhody využití. Zvýšení citlivosti čidla vyžaduje zvětšení hodnoty L indukčnosti signálové cívky a tudíž zvětšení prostoru, to znamená dutiny v těle čidla. Protože signálová cívka u čidla podle vynálezu není umístěna ve společném prostoru s budicí cívkou, nedochází k porušení podmínky pro velikost hodnoty L_s indukčnosti čidla, definované vztahem $L_s < 2 \times 10^{-8}$ henry. Přestože čidlo podle vynálezu má více dutin nežli například čidlo podle autorského osvědčení č. 215 517 nebo toroidní čidlo supravodivého kvantového magnetometru podle autorského osvědčení číslo 234 788 nedochází ke zhoršení vlastností ve srovnání s uvedenými čidly, ale naopak citlivost čidla podle vynálezu a jeho vysokofrekvenční stínící účinek mezi budicí a signálovou cívkou jsou výrazně vyšší.

Navíc kromě toho je důležitá skutečnost, že velikost čidla podle vynálezu zůstává zachována přesto, že vnitřek čidla je z technologického hlediska komplikovaný. Další výhodou čidla podle vynálezu je možnost v případě potřeby rozměry čidla zvětšit, aniž by toto zvětšení vedlo ke zhoršení jeho citlivosti a všeobecné funkce. Vlivem výrazného zlepšení přenosu magnetického toku signálu do čidla podle vynálezu a vlivem jeho velmi dobrého stínícího účinku je možno rozšířit využitelnost čidla na další vědní obory, to znamená například na astronomii.

Podstata vynálezu je v dalším vysvětlena na příkladu jeho provedení pomocí připojených výkresů, na nichž je znázorněno: na obr. 1 - pohled na čidlo ve směru osy jeho válcového těla a řez rovinou kolmou na tuto osu, na obr. 2 - pohled na čidlo ve směru osy jeho válcového těla se zašroubovanou zátkou a další řez rovinou kolmou na tuto osu, na obr. 3 - pohled na úplné čidlo ve směru kolmém na osu válcového těla čidla, ve směru osy slabého supravodivého přechodu, a řezy rovinami rovnoběžnými s osou válcového těla čidla, na obr. 4 - pohled na čidlo ve směru kolmém na osu slabého supravodivého přechodu a řez rovinou procházející osou válcového těla čidla a osou slabého supravodivého přechodu, na obr. 5 - uspořádání válcové signálové cívky a válcové budicí cívky v příslušných dutinách ve válcovém těle čidla.

Na obr. 1 je v pravé polovině znázorněn pohled na zapuštěné horní čelo 1 válcového těla 2 čidla; v tomto pohledu je patrné první rameno 3 rovnoběžné s osou 4 válcového těla 2 čidla, příslušné první dutině 5 tvaru O. Osa 4 prochází hrotem 6 na šroubu 7 s drážkou a stavěcí maticí 8. Druhé rameno 9 rovnoběžné s osou 4 a příslušné první dutině 5 tvaru O je patrné z levé poloviny obr. 1, na níž je znázorněn řez E válcového těla 2 čidla v rovině kolmé k jeho ose 4 a jdoucí osou šroubů 7 a 14. Osy 10, 11 ramen 3, 9 první dutiny 5 tvaru O jsou rovnoběžné s osou 4 těla 2 čidla a určují rovinu 12 první dutiny 5 tvaru O, rovnoběžnou s osou 4. Svislá rovina 13 procházející osou 4 a osou slabého supravodivého přechodu, to znamená osou šroubu 7 a šroubu s čelní plochou 14, je rovinou symetrie první dutiny 5 tvaru O a druhé dutiny 15 tvaru O s rameny 16, 17 rovnoběžnými s osou 4 těla 2 čidla.

Osy ramen 16, 17 druhé dutiny 15 tvaru O určují rovinu druhé dutiny 15 tvaru O, rovnoběžnou s osou 4 těla 2 čidla. Jsou tedy roviny obou dutin 5, 15 tvaru O navzájem rovnoběžné. Sobě odpovídající ramena 3, 16 a 9, 17 obou dutin 5, 15 tvaru O jsou navzájem propojena rovinnými štěrbinami 18, 19, rovnoběžnými s osou 4 válcového těla 2 čidla a uspořádanými

symetricky k rovině 13, procházející osou 4. Kromě toho jsou obě rovinné štěrbiny 18, 19 propojeny vzájemně rovinnou štěrbinou 20, kolmou na rovinu 13 symetrie obou dutin 5, 15 tvaru O a rovinných štěrbin 18, 19. Kovinná štěrbina 20 je omezena rovinnými plochami 32 a 36, které jsou patrné na obr. 3 v řezu C a na obr. 4 v řezu F. Šrouby 7 a 14 jsou zašroubovány do závitu ve válcovém těle 2 čidla a pomocí matic 8 a 21 zajištěny. Matice 8, 21 se opírají o zabroušené rovinné plochy 26 a 27.

Na obr. 1 jsou naznačeny roviny řezů, patrných na dalších obrazech. Řezy A, B a C jsou patrné na obr. 3, řez F je patrný na obr. 4. Rovina řezu E je patrná na obr. 3.

Na obr. 2 je na pravé straně znázorněn pohled ve směru osy 4 válcového těla 2 čidla na vnější plochu šroubové zátky 23 zašroubované v dutině nad zapuštěným horním čelem 1 válcového těla 2 čidla. Na tomto pohledu je patrný jeden otvor 24 pro klíč, pro zašroubování zátky 23 a průchodka 25 pro přívody k cívce uložené v dutině ve tvaru O. Na levé straně obrazu je znázorněn řez D podle obr. 3 v rovině kolmé k ose 4 válcového těla čidla a sice v úrovni horního propojovacího vodorovného ramene mezi svislými rameny 16, 17 druhé dutiny 15 ve tvaru O. Na obraze jsou dále znázorněny: osa 4, svislá ramena 3, 9 první dutiny 5 tvaru O, dále rovinná štěrbina 20 v ose 4 a rovinné štěrbiny 18, 19, jež propojují ramena 3, 9 s rameny 16, 17 obou dutin 5, 15, ve tvaru O. Pro úplnost je označena rovina 13 symetrie dutin 5, 15 tvaru O a obrys válcového těla 2 čidla.

Na obr. 3 je jednak znázorněn pohled na válcové tělo 2 čidla ve směru osy šroubů 7 a 14, jednak jsou znázorněny řezy A, B, C souhlasně s obr. 1. Horní zátka 23 je zašroubována pomocí závitu 22 do vnitřní dutiny ve válcovém těle 2 čidla. Obdobně dolní zátka 44 s průchodkou 43 mezi spodním čelem 28 zátky 23 a horním zapuštěným čelem 29 válcového těla 2 čidla je rovinná štěrbina 30. V řezu A je patrné jedno svislé rameno 9 první dutiny 5 tvaru O dle obr. 1 a horní vodorovné rameno 31, jež propojuje rameno 9 s ramenem 3 dle obr. 1 a 2. V řezu C podle obr. 1 je na obr. 3 patrný pohled na rovinnou plochu 32 za štěrbinou 20, zobrazenou v obr. 1. V řezu B dle obr. 1 je patrný pohled do dutiny svislého ramene 17 druhé dutiny 15 tvaru O a taktéž je patrná rovinná štěrbina 19, jež propojuje svislé rameno 17 druhé dutiny 15 tvaru O se svislým ramenem 9 první dutiny 5 tvaru O. V řezu B je taktéž patrné vodorovné dolní propojovací rameno 33 druhé dutiny 15 tvaru O. V pravé dolní části obr. 3 je v pohledu patrná matice 21 na šroubu 14 s drážkou a zabroušená dosedací rovinná plocha 27, o níž se opírá matice 21. Osa 4 válcového těla 2 čidla je označena v horní části obr. 3.

Na obr. 4 je znázorněn pohled na válcové tělo 2 čidla ve směru roviny procházející osou 4 a rovinnou štěrbinou 20, to znamená ve směru roviny řezu C. Souhlasně s obr. 1 je znázorněn řez F, to znamená řez rovinou symetrie 13 válcového těla čidla. Na obraze je vyznačena osa 4 válcového těla 2 čidla, horní a dolní šroubové zátky 23, 44, průchodky 25 a 43 v horní a dolní šroubové zátce, štěrbina 30 mezi spodním čelem 28 horní zátky 23 a horním zapuštěným čelem 29 válcového těla 2 čidla, matice 21 se šroubem 14 a zabroušená rovinná plocha 27. Dále je patrná první dutina 5 tvaru O, to znamená její horní vodorovné rameno 31, její dolní vodorovné rameno 34 a čárkovaně jsou označena v zákrytu její obě svislá ramena 3 a 9. Podobně je patrná z řezu F druhá dutina 15 tvaru O, to znamená její horní vodorovné rameno 35, její dolní vodorovné rameno 33 a čárkovaně jsou označena v zákrytu její obě svislá ramena 16 a 17. V ose 4 válcového těla 2 čidla je v řezu patrná rovinná štěrbina 20, rovinná plocha 32 za štěrbinou 20 a rovinná plocha 36 před štěrbinou 20.

Na obr. 5 je v levé části znázorněna první dutina 5 tvaru O s vloženou válcovou signální cívkou 37, jejíž vývody 36, 39 jsou provlečeny průchodkou 25 v horní šroubové zátce 23. Na obr. 5 jsou označena dále obě svislá ramena 3, 9 první dutiny 5 tvaru O a její obě vodorovná ramena 31, 34. V pravé části obr. 5 je znázorněna druhá dutina 15 tvaru O s vloženou válcovou budicí cívkou 40, jejíž vývody 41, 42 jsou provlečeny průchodkou 43 v dolní šroubové zátce 44. Dále jsou označena obě svislá ramena 16, 17 druhé dutiny 15 tvaru O a její obě vodorovná ramena 33, 35.

Splnění požadavku, aby bylo dosaženo maximální citlivosti čidla, je nutné splnit následující podmínky: první podmínkou je, aby indukčnost L_A antény a indukčnost S signálové cívky sobě odpovídaly, to znamená, aby byly přibližně sobě rovné. Druhou podmínkou je, aby plocha antény a tím také hodnota indukčnosti signálové cívky byla dostatečně velká, čímž se zajistí dostatečně velký signál přiváděný do čidla. Třetí podmínkou je, aby hodnota L_S indukčnosti čidla byla menší než asi 2×10^{-8} henry, což vyplývá ze vztahu $L_S < \Phi_0^2 / 4KT$ při provozní teplotě $T = 4$ kelviny. V tomto výrazu znamená hodnota Φ_0 kvantum magnetického toku, k je Boltzmanova konstanta a T je teplota v kelvinech. Pokud je hodnota L_S větší než 2×10^{-8} henry, šum maskuje kvantování a funkce čidla zaniká.

Uvedený výraz $L_S \Phi_0^2 / KT$ se obdrží z požadavku, aby střední hodnota čtverce toku magnetického šumu, tedy hodnota Φ_N^2 , byla menší než čtverec poloviční hodnoty kvanta magnetického toku $(\Phi_0/2)^2$, tedy $\Phi_N^2 < (\Phi_0/2)^2$. Přitom platí, že $\Phi_N = L_S \cdot I_N$, kde L_S je hodnota indukčnosti čidla, I_N je hodnota šumového proudu. Dále vyplývá, že střední hodnota čtverce toku magnetického šumu Φ_N^2 se rovná hodnotě $L_S \cdot I_N^2$, kde L_S je střední hodnota čtverce šumového proudu. Energie magnetického šumu, nahromadění v indukčnosti L_S čidla je rovna hodnotě $L_S \cdot I_N^2 = K \cdot T$. Jednoduchou úpravou se získá z tohoto vztahu rovnice $L_S \cdot I_N^2 = K \cdot T \cdot L_S = \Phi_N^2$. Dosazením nerovnosti $\Phi_N^2 < (\Phi_0/2)^2$ do vztahu $K \cdot T \cdot L_S = \Phi_N^2$ vznikne nerovnost $K \cdot T \cdot L_S < (\Phi_0/2)^2$ čili $L_S < \Phi_0^2 / 4K \cdot T$. Vysokofrekvenční vazba mezi dutinami pro signálovou a budicí cívku má být co nejmenší. Potom lze dosáhnout toho, aby hodnota indukčnosti signálové cívky byla velká a přitom neovlivňovala hodnotu L_S indukčnosti čidla, na kterou je vázána signálová cívka. Velikost vysokofrekvenční vazby mezi dutinami obou cívek lze řídit velikostí souvislé rovinné štěrbin, vytvořené v tělese čidla mezi oběma systémy dutin, do nichž jsou vloženy cívky signálová a budicí.

P R E D M Ě T V Y N Á L E Z U

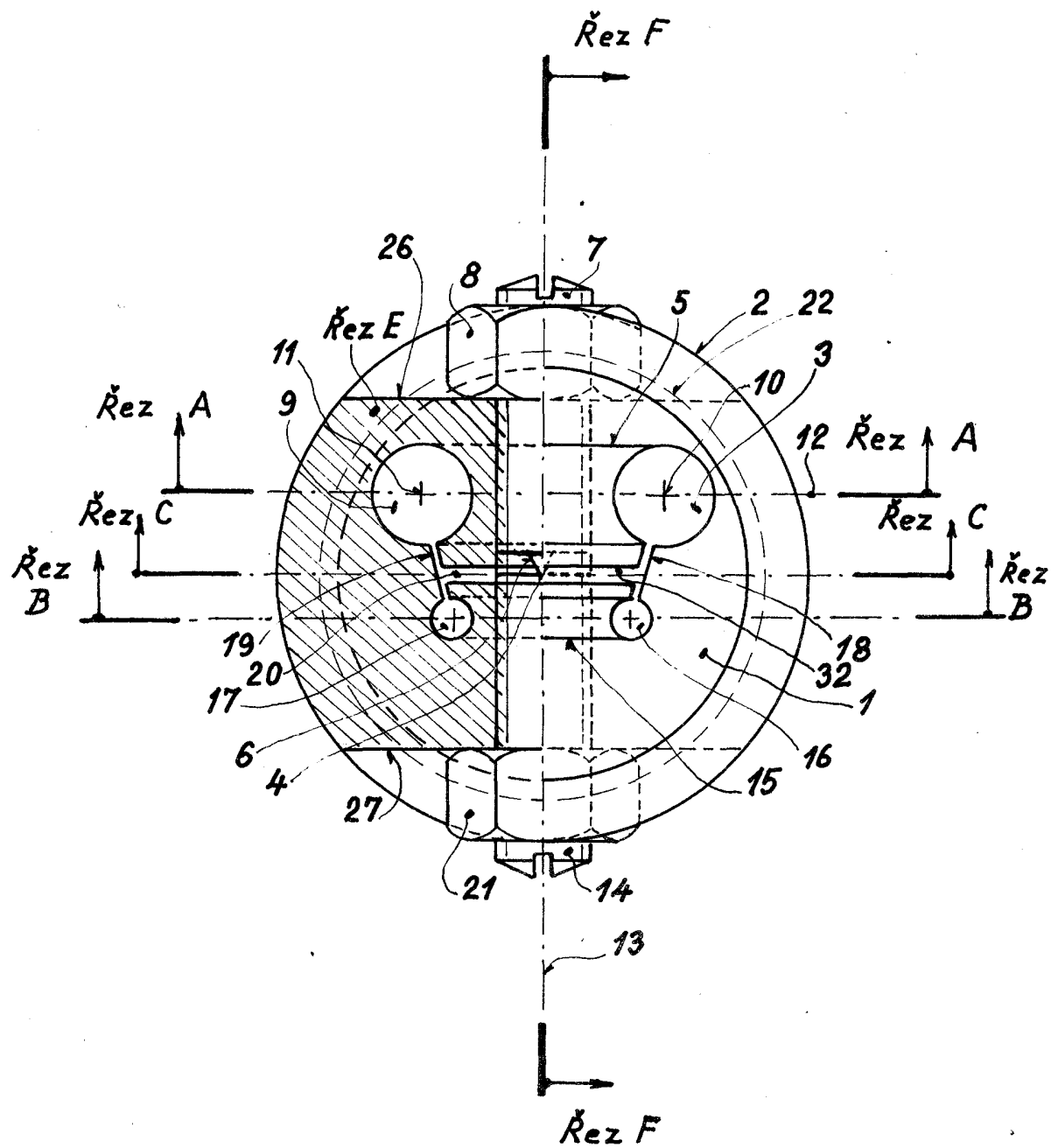
1. Vysokofrekvenční toroidální čidlo supravodivého kvantového magnetometru, sestávající ze supravodivé indukční smyčky elektricky uzavřené supravodivým slabým přechodem, vytvořené z válcového těla, zhotoveného z jediného kusu supravodivého materiálu, jehož čela jsou zapuštěna a dutiny nad těmito čely jsou opatřeny závity pro šroubové zátky, opatřené na vnějších čelech jednak alespoň dvěma otvory pro klíč, jednak alespoň jednou průchodkou, a uprostřed válcového těla čidla jsou upraveny dva sousední otvory, jejichž společná osa je v rovině osy těla čidla a je k této ose kolmá, přičemž do jednoho z těchto dvou sousedních otvorů opatřených závity je zašroubován šroub s hrotem a do druhého otvoru je zašroubován šroub se zabroušenou čelní plochou, oba tyto šrouby tvoří supravodivý slabý přechod a jsou zajištěny maticemi, jež se opírají o rovinné zabroušené plochy na obou stranách povrchu válcového těla čidla, vyznačené tím, že ve válcovém těle (2) čidla je upravena v rovině rovnoběžné s jeho osou (4) jednak první dutina (5) tvaru O, do níž je vložena válcová signální cívka (37), přičemž tato první dutina (5) tvaru O sestává ze dvou ramen (3, 9) rovnoběžných s osou (4) válcového těla (2) čidla a ze dvou ramen (31, 34) v rovinách kolmých k ose (4) válcového těla (2) čidla, propojujících konce ramen (3, 9) rovnoběžných s osou (4) válcového těla (2) čidla, jednak druhá dutina (15) tvaru O, do níž je vložena válcová budicí cívka (40), přičemž tato druhá dutina (15) tvaru O je v rovině rovnoběžné s rovinou první dutiny (5) tvaru O a sestává rovněž ze dvou ramen (16, 17) rovnoběžných s osou (4) válcového těla (2) čidla a ze dvou ramen (33, 35) v rovinách kolmých k ose (4) válcového těla (2) čidla, propojujících konce ramen (16, 17) rovnoběžných s osou (4) válcového těla (2) čidla, přitom první dutina (5) tvaru O a druhá dutina (15) tvaru O mají společnou rovinu (13) symetrie, jež prochází osou (4) válcového těla (2) čidla a je kolmá k rovinám obou dutin (5, 15) tvaru O, ramena (3, 9) rovnoběžná s osou (4) válcového těla (2) čidla a náležející první dutině (5) tvaru O jsou propojena s odpovídajícími rameny (16, 17), rovnoběžnými s osou (4) válcového těla (2) čidla a náležejícími druhé dutině (15) tvaru O, rovinnými štěrbinami (18, 19), jež jsou umístěny rovnoběžně s osou (4) válcového těla (2) čidla a symetricky k rovině (13) symetrie první dutiny (5) tvaru O a druhé dutiny (15) tvaru O a jež jsou vzájemně propojeny rovinnou štěrbinou (20), rovnoběžnou s rovinami první dutiny (5) a druhé dutiny (15) tvaru O a procházející osou (4) válcového těla (2) čidla, přičemž hrotový kontakt supravodivého slabého

přechodu, to znamená hrot (6) šroubu (7) v kontaktu s čelní plochou šroubu (14), je umístěn v rovinné štěrbině (20) procházející osou (4) válcového těla (2) čidla.

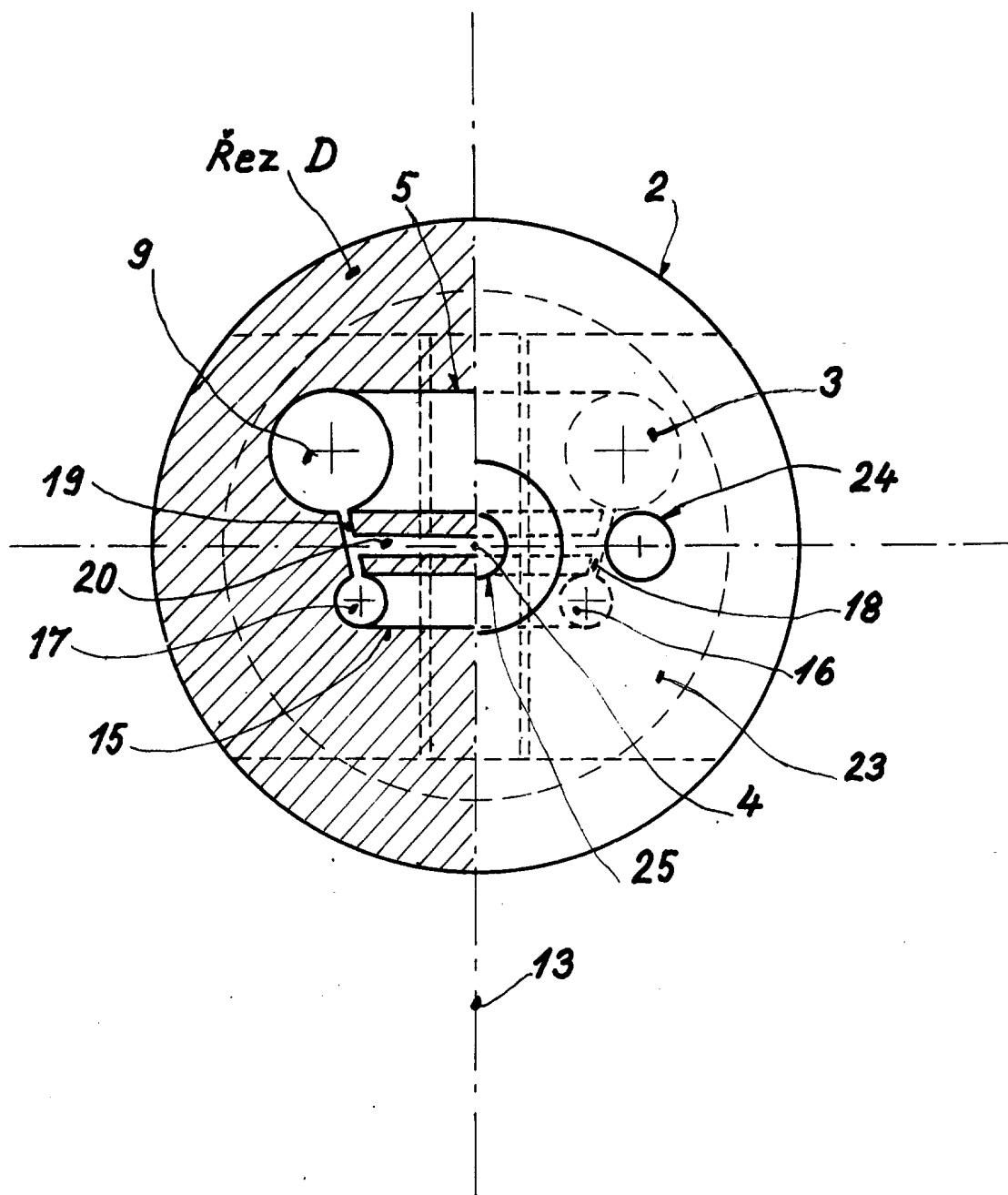
2. Vysokofrekvenční toroidální čidlo podle bodu 1 vyznačené tím, že vývody (38, 39) válcové signální cívky (37) jsou provlečeny průchodkou (25) v horní šroubové zátce (23) a vývody (41, 42) válcové budicí cívky (40) jsou provlečeny průchodkou (43) v dolní šroubové zátce (44).

3. Vysokofrekvenční toroidální čidlo podle bodů 1 a 2 vyznačené tím, že tloušťka rovinné štěrbiny (20) v ose válcového těla (2) čidla je v rozsahu od 0,1 mm do 0,3 mm, tloušťka rovinné štěrbiny (18, 19) propojující rameno (3, 9) první dutiny (5) tvaru O válcové signální cívky (37) s ramenem (16, 17) druhé dutiny (15) tvaru O válcové budicí cívky (40) je v rozsahu od 0,1 mm do 0,25 mm.

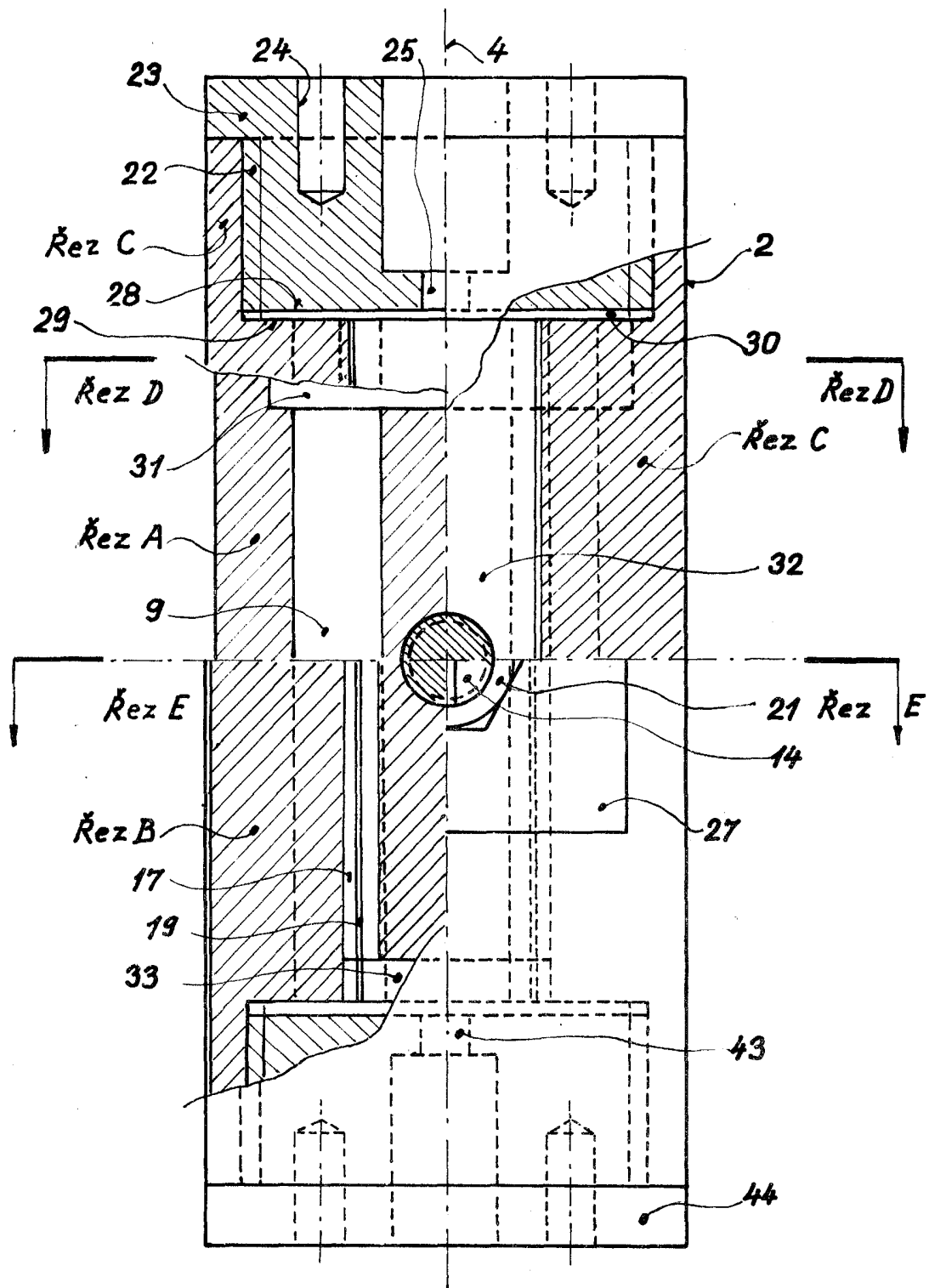
5 výkresů



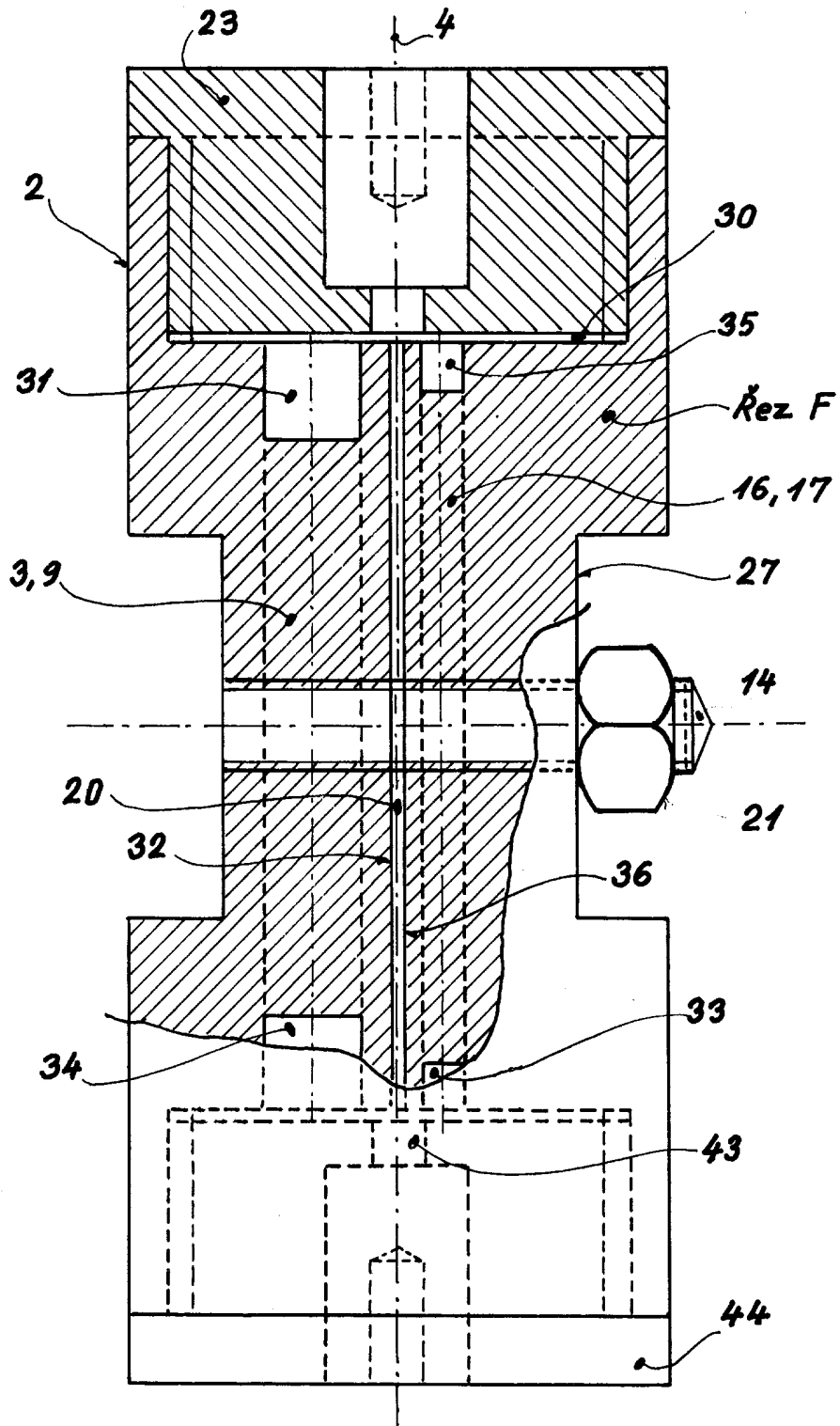
Obr. 1

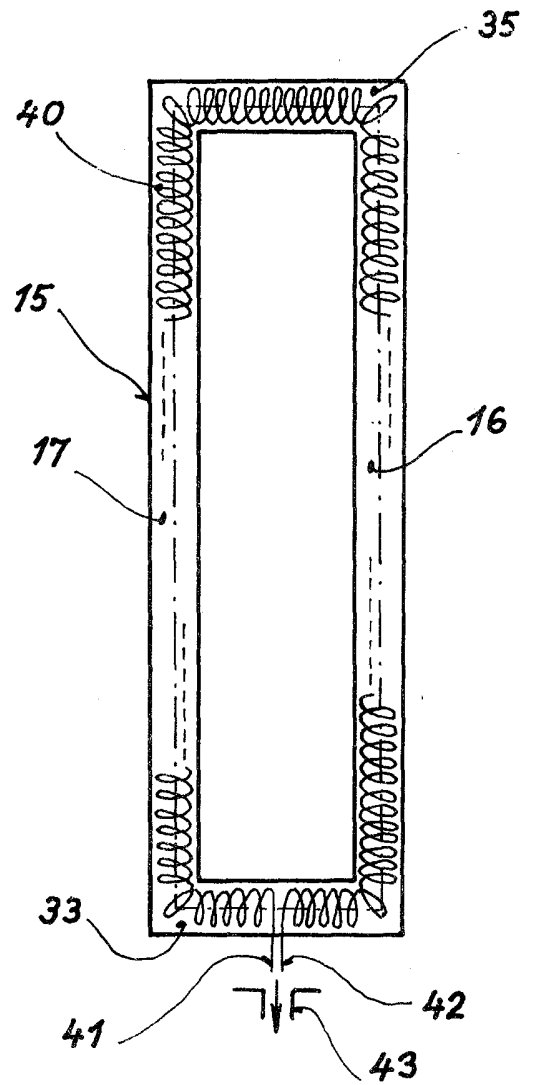
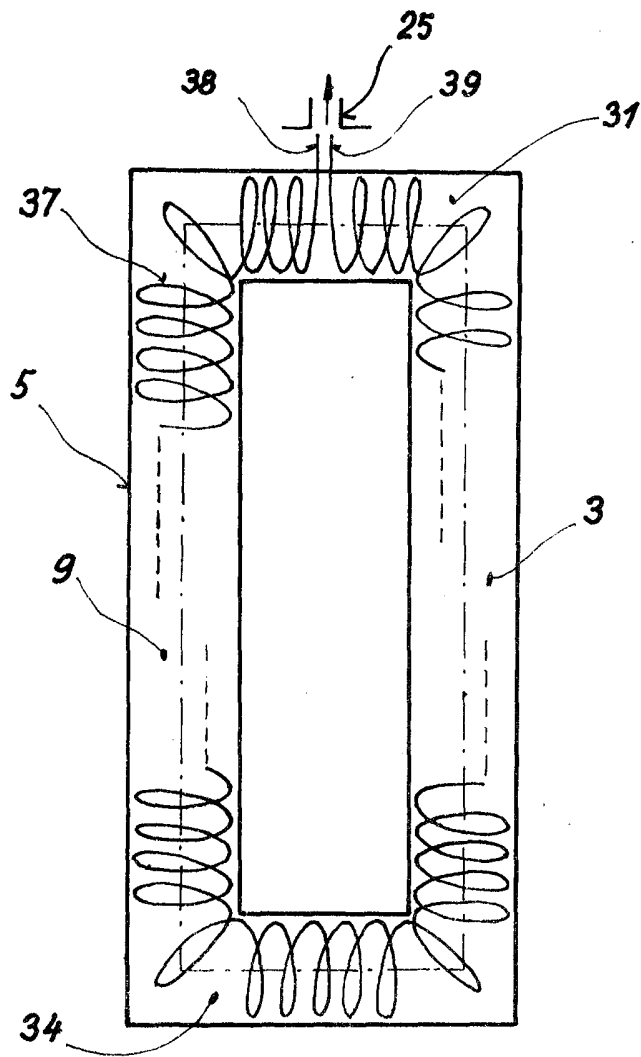


Obr. 2



Obr. 3

*Obr. 4*



Obr. 5