

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

21161

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:
G01R 33/022 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2010 - 22724**

(22) Přihlášeno: **18.05.2010**

(47) Zapsáno: **09.08.2010**

(73) Majitel:

České vysoké učení technické v Praze - fakulta elektrotechnická, Praha, CZ

(72) Původce:

Janošek Michal Ing., Dolní Podluží, CZ
Ripka Pavel prof. Ing. CSc., Řevnice, CZ

(74) Zástupce:

Ing. Hana Dušková, Na Kočově 180, Chotutice, 28103

(54) Název užitého vzoru:

Zapojení feromagnetické sondy pro měření gradientu magnetického pole

CZ 21161 U1

Zapojení feromagnetické sondy pro měření gradientu magnetického pole

Oblast techniky

Řešení se týká feromagnetické sondy určené k přesnému měření gradientu prvního řádu magnetických polí ve zpětnovazebním kompenzačním režimu, přičemž může být simultánně měřena i homogenní část těchto polí. S jedinou sondou je tak možné zkonstruovat gradiometr i magnetometr v kompenzačním režimu.

Dosavadní stav techniky

Feromagnetické sondy jsou využívány při přesných měřeních slabých magnetických polí v různých společenských oblastech - v kosmickém výzkumu, v medicínských a bezpečnostních aplikacích a také například jako senzor pro navigaci. Feromagnetické sondy mají stále nejlepší parametry jako je absolutní přesnost, rozlišitelnost, linearita, šum, z celé skupiny magnetických senzorů při nekryogenních podmínkách, nicméně jsou vždy limitovány minimální velikostí, kdy dojde k degradaci parametrů.

Princip činnosti feromagnetické sondy je založen na střídavé saturaci feromagnetického jádra tzv. budicím polem a na detekci změn toku způsobených externím, tedy měřeným, magnetickým polem. Externí magnetické pole je tedy modulováno ve střídavém toku ve feromagnetickém jádře. Feromagnetické sondy existují v rovnoběžné nebo kolmé konfiguraci, kde slovo konfigurace značí relativní směr mezi budicím polem a polem měřeným. Rovnoběžný typ feromagnetické sondy ve své podstatě sestává z budicí cívky, navinuté kolem feromagnetického jádra a snímací cívky navinuté tamtéž, zatímco kolmý typ feromagnetické sondy využívá střídavého proudu tekoucího podélně feromagnetickým jádrem, respektive jeho nemagnetickým sub-jádrem, tvořícího budicí pole kolmé k poli měřenému, a stejné snímací cívky vinuté podél jádra. Pro zvýšení lineárního rozsahu feromagnetické sondy a pro zlepšení některých parametrů, jako je linearita, teplotní závislost citlivosti nebo offsetu, se zavádí kompenzační zpětná vazba. Ta pomocí samostatné kompenzační cívky nebo kombinované snímací/ kompenzační cívky vytváří pole působící proti poli měřenému, tj. feromagnetická sonda pak pracuje jako nulový detektor ve zpětnovazební smyčce.

Běžný gradiometr s feromagnetickou sondou využívá dvě samostatné senzorové hlavice, buď s jedním senzorem, nebo ortogonálním tripletem těchto senzorů. V tomto případě typicky pracují jednotlivé feromagnetické senzory v kompenzační zpětné vazbě. Tzv. gradiometrická báze, která je vzdáleností mezi jednotlivými senzorovými hlavicemi, ovlivňuje rozlišitelnost a šum měření magnetického gradientu a zároveň udává míru přiblížení naměřeného údaje k magnetickému gradientu, který je lokální veličinou vyjádřenou jako derivace funkce průběhu magnetického pole v bodě. Obecně je gradient magnetického pole tenzor 2. řádu, se složkami $\partial B_i / \partial x_j$, kde i a j jsou složky souřadného systému. V případě běžného gradiometru se samostatnými hlavicemi, které jsou tvořeny ortogonálními tripletami senzorů, jsou měřeny všechny nezávislé složky gradientu magnetického pole.

Tyto gradiometry mají následující nevýhody. Gradiometrická báze je limitována určitou minimální vzdáleností, která je řádově v desítkách cm, danou především vzájemným ovlivňováním senzorů pracujících ve zpětnovazebním kompenzačním režimu kdy kompenzační pole jednoho působí na senzor druhý. Částečným řešením je využití kompenzačního proudu jedné sondy i pro sondu druhou, gradientní čtení je pak získáno z nekompenzovaného signálu druhé sondy. Aproximace magnetického gradientu je v těchto případech velmi hrubá. Pokud je gradiometr využíván k potlačení rušivých polí při měření bodových zdrojů (magnetické nanočástice v medicíně), neumožňuje délka báze účinně potlačit blízké zdroje rušení. Gradiometrická báze by pak měla být minimálně tak velká, jako je vzdálenost od měřeného zdroje, jak bylo ukázáno v Merayo, Petersen, Nielsen, Primdahl, Brauer, A portable single axis magnetic gradiometer, Sensors and Actuators A: Physical, Volume 93, Issue 3, October 2001, str. 185-196. Úhlová

odchylka mezi senzorovými hlavicemi navíc ovlivňuje chybu měření magnetického gradientu respektive parazitní citlivost na homogenní pole, a klade tak požadavky na velmi stabilní uchycení senzorů, především pro krátké gradiometrické báze.

Druhým typem gradiometru s feromagnetickou sondou je tzv. „single-core fluxgate gradiometer“, tj. gradiometr s jedinou feromagnetickou sondou respektive s jediným jádrem, umožňující snížit gradiometrickou bázi pod 10 cm a zachovat nízkou úroveň šumu. Takovýto gradiometr měří gradient magnetického pole $\partial B_j / \partial j$, kde j je jedna z os souřadné soustavy. Principem je použití dvou nebo více snímacích cívek obklopujících feromagnetické jádro sondy s rozestupem definujícím gradiometrickou bázi a použití buď samostatných bloků elektroniky nebo antisériového zapojení těchto cívek a jediné elektroniky tak, aby byla ve výsledku potlačena odezva na pole homogenní a získána odezva na pole gradientního charakteru. Gradiometry tohoto typu byl realizovány s feromagnetickou sondou s tyčinkovým nebo oválným jádrem. Tyto gradiometry pracovaly v nekompenzovaném režimu a měřily zároveň gradient i homogenní složku pole. Mají však následující nevýhody. Současné typy mají velkou parazitní citlivost na homogenní pole, tj. s perfektně homogenním polem není odezva gradiometru nulová. Kvůli otevřené smyčce jak pro homogenní, tak pro gradientní pole jsou parametry nestabilní, citlivost a linearita je malá, což způsobuje omezenou použitelnost těchto gradiometrů.

Jedno možné provedení „single-core“ gradiometru je popsáno v patentu US 5130654, Mermelstein, Marc D., Magnetolelastic amorphous metal ribbon gradiometer, kde tyčové jádro je piezoelektricky buzeno a k určení gradientu jsou použity dva samostatné bloky elektroniky připojené k jednotlivým cívkám.

Další možné řešení je popsáno v Pavel Ripka, Petr Navrátil, Fluxgate sensor for magnetopneumometry, Sensors and Actuators A: Physical, Volume 60, Issues 1-3, Proceedings of Eurosensors X, May 1997, str. 76-79. Podstatou tohoto řešení je využití oválného jádra „race-track“ a několika cívek zapojených antisériově s jediným blokem elektroniky. Nevýhodou obou předchozích řešení byla parazitní citlivost na homogenní pole a značná nestabilita parametrů daná funkcí v otevřené smyčce.

Případná kompenzace gradientu magnetického pole, nutná pro uzavření kompenzační smyčky gradiometru, dosud nebyla navržena. Nejpodstatnějším problémem je nutnost vytvoření gradientního pole s nulovou homogenní složkou tak, aby bylo možné dosáhnout kompenzačního režimu. Při konstrukci cívky by teoreticky bylo možné vycházet z publikované konstrukce v R. Pouladian-Kari: „A new multiconcentric coil arrangement for producing a near-linear gradient of axial magnetic field“ v časopise Measurement Science and Technology 1, 1990, str. 557-559. Nevýhodou tohoto uspořádání jsou však značné rozměry a složitá konstrukce, kdy jsou cívky postupně vrstveny přes sebe a každá jednotlivá cívka má jiný průměr, délku a zároveň i počet závitů. Dalším problémem je dosáhnout správně fungující zpětné vazby.

Podstata technického řešení

Výše uvedené nevýhody odstraňuje zapojení feromagnetické sondy pro měření gradientu magnetického pole podle předkládaného řešení. Feromagnetická sonda se skládá, tak jako u známých řešení, z feromagnetického jádra libovolného tvaru buď s rovnoběžným, nebo kolmým směrem budičeho pole. Feromagnetické jádro je buď opatřeno budičím vinutím napojeným na blok buzení, nebo je feromagnetické jádro připojeno na blok buzení přímo. Další součástí zapojení je gradientní cívka navinutá kolem feromagnetického jádra, která je spojena s prvním blokem zpracování signálu řízeným prvním fázovým posouvačem propojeným s blokem buzení. Podstatou nového řešení je, že gradientní cívka je umístěna soustředně a souose k feromagnetickému jádru a je vytvořena jako gradientní kompenzační/snímací cívka. Její vinutí má po celé délce stejný průměr a počet závitů na jednotku délky od jednoho okraje feromagnetické sondy lineárně klesá k jejímu středu, kde se smysl vinutí obrací. Od tohoto středu k druhému okraji feromagnetické sondy počet závitů na jednotku délky analogicky stoupá. Gradientní kompenzační/snímací cívka je zároveň spojena s výstupem prvního převodníku U/I , který je připojen na výstup prvního

invertujícího integrátoru. Vstup prvního invertujícího integrátoru je spojen s výstupem signálu z prvního bloku (61) zpracování signálu.

V jednom možném provedení je vinutí gradientní kompenzační/snímací cívky diskretizováno do soustavy úzkých homogenně vinutých sériově spojených sekcí se stejným průměrem a šířkou. Tyto sekce jsou se stejnou roztečí rozmístěny kolem feromagnetického jádra. Vždy dvě proti sobě souose vzhledem ke středu feromagnetické sondy umístěné sekce s opačným smyslem vinutí mají stejný počet závitů, který od jednoho okraje feromagnetické sondy lineárně klesá a k druhému okraji analogicky lineárně stoupá.

V obou uvedených provedeních je pak výhodné, je-li souose a soustředně vzhledem ke gradientní kompenzační/snímací cívce navinuta homogenní kompenzační/snímací cívka. Tato homogenní kompenzační/snímací cívka je spojena s druhým blokem zpracování signálu, jehož řídicí vstup je spojen s výstupem druhého fázového posouvače. Druhý posouvač fáze je propojen s blokem buzení. Tato homogenní kompenzační/snímací cívka je zároveň spojena s výstupem druhého převodníku U/I připojeného na výstup druhého invertujícího integrátoru. Vstup druhého integrátoru je spojen s výstupem signálu z bloku druhého zpracování signálu.

Výhodou nového řešení je fakt, že v kompenzačním režimu je měřen gradient magnetického pole typu $\partial B/\partial j$ a zároveň může být současně měřena homogenní složka tohoto pole. Kompenzačním režimem gradientní kompenzační/snímací cívky se podstatně zvýší citlivost na magnetický gradient, zvýší se linearita senzoru a stabilita parametrů. Simultánní kompenzační režim měření homogenního pole způsobuje podstatné snížení parazitní citlivosti gradientní odezvy na toto homogenní pole, potlačení je 500x lepší než bylo dosaženo v řešení uvedeném v materiálu Pavel Ripka, Petr Navrátil, Fluxgate sensor for magnetopneumometry, Sensors and Actuators A: Physical, Volume 60, Issues 1-3, Proceedings of Eurosensors X, May 1997, str. 76-79. Důvodem je stabilní nulová homogenní, tedy průměrná, složka pole v oblasti feromagnetického jádra, kdy případné nehomogenity jádra tedy již nejsou vnějším polem vybuzeny a nepřispívají tak k falešnému čtení gradientní snímací cívky. Gradientní kompenzační/snímací cívka je snadno vyrobitelná a lze ji externě připevnit k jakémukoliv již existujícímu fluxgate senzoru, kde přidá možnost kompenzačního měření gradientní složky pole.

Přehled obrázků na výkresech

Příklady provedení zapojení feromagnetické sondy pro měření gradientu magnetického pole podle předkládaného řešení jsou schematicky uvedeny na přiložených výkresech. Na obr. 1 je uvedeno celé blokové schéma zapojení s gradientní kompenzační/snímací cívkou se spojitým vinutím, na obr. 2 je totéž zapojení s gradientní kompenzační/snímací cívkou, jejíž vinutí je diskretizováno do soustavy úzkých homogenně vinutých sériově spojených sekcí. Na obr. 3 až 6 jsou uvedeny příklady gradientních kompenzačních/snímacích cívek s diskretizovaným vinutím na různých typech jader. Na obr. 7 je vysvětlující graf k funkci zapojení.

Příklady provedení technického řešení

Zapojení feromagnetické sondy pro měření gradientu magnetického pole obsahuje feromagnetickou sondu se speciálně vinutou gradientní cívkou, sloužící pro kompenzaci gradientu magnetického pole.

Jedno možné provedení zapojení feromagnetické sondy pro měření gradientu magnetického pole je uvedeno na obr. 1. Feromagnetická sonda se skládá z feromagnetického jádra 1 libovolného tvaru buď s rovnoběžným, nebo kolmým směrem budicího pole. Feromagnetické jádro 1 může být opatřeno buď budícím vinutím 2 napojeným na blok 9 buzení, nebo je feromagnetické jádro 1 připojeno na blok 9 buzení přímo v případě kolmého směru budicího pole. Kolem feromagnetického jádra 1 je navinuta gradientní cívka, která je spojena s prvním blokem 61 zpracování signálu řízeným prvním fázovým posouvačem 7 propojeným s blokem 9 buzení. První blok 61 zpracování signálu je možné vytvořit různým způsobem. Například může být tvořen zesilovačem

a fázově citlivým usměrňovačem připojeným na výstup prvního fázového posouvače 7. Gradientní cívka je umístěna soustředně a souose k feromagnetickému jádru 1 a je vytvořena jako gradientní kompenzační/snímávací cívka 4, jejíž vinutí má po celé délce stejný průměr a počet závitů na jednotku délky od jednoho okraje feromagnetické sondy lineárně klesá k jejímu středu. Zde se směr vinutí obrací a od tohoto středu k druhému okraji feromagnetické sondy počet závitů na jednotku délky analogicky stoupá. Gradientní kompenzační/snímávací cívka 4 je zároveň spojena s výstupem prvního převodníku U/I 63, který je připojen na výstup prvního invertujícího integrátoru 62, jehož vstup je spojen s výstupem signálu z prvního bloku 61 zpracování signálu.

Gradientní snímávací/kompenzační cívku 4 je možné vyrobit také tak, že její vinutí je diskretizováno do soustavy homogenně vinutých úzkých sériově spojených sekcí, 41, viz obr. 2, se stejným průměrem a rozmístěných se stejnou roztečí kolem feromagnetického jádra 1 tak, že počet závitů těchto dílčích sekcí 41 v soustavě lineárně klesá od kraje senzoru k jeho středu, kde je směr vinutí obrácen a dále počet závitů jednotlivých cívek soustavy analogicky lineárně roste směrem k druhému kraji senzoru. Vždy dvě proti sobě souose vzhledem ke středu feromagnetické sondy umístěné sekce 41 s opačným smyslem vinutí mají stejný počet závitů.

V dalším možném provedení je souose a soustředně vzhledem ke gradientní kompenzační/snímávací cívkce 4 navinuta homogenní kompenzační/snímávací cívka 3, která je spojena s druhým blokem 51 zpracování signálu. Tento druhý blok 51 zpracování signálu může být opět řešen různým způsobem, například analogicky s prvním blokem 61 zpracování signálu ho může tvořit zesilovač a fázově citlivý usměrňovač připojeným na druhého fázového posouvače 8 propojeného s blokem 9 buzení. Tato homogenní kompenzační/snímávací cívka 3 je zároveň spojena s výstupem druhého převodníku U/I 53 připojeného na výstup druhého invertujícího integrátoru 52, jehož vstup je spojen s výstupem signálu z druhého bloku 51 zpracování signálu. Homogenní kompenzační/snímávací cívka 3 může být navinuta přímo na feromagnetické jádro 1 pod gradientní kompenzační/snímávací cívku 4 nebo na tuto gradientní kompenzační/snímávací cívku 4.

Feromagnetická jádra v sondě mohou být i jiného tvaru a s různou orientací budicího a měřeného pole než jak je ukázáno na obr. 1, kde je znázorněn paralelní typ sondy s oválným jádrem „race-track“. Provedení pro paralelní sondu kruhového tvaru typu Aschenbrenner-Göbau je uvedeno na obr. 3, pro paralelní sondu s jedním jádrem na obr. 4, pro paralelní sondu typu Vacquier na obr. 5 a konečně na obr. 6 je uvedeno provedení pro sondu s budicím polem kolmým k měřenému poli.

Zapojení feromagnetické sondy podle obr. 1 pracuje následujícím způsobem.

Blok 9 buzení vytváří střídavý signál na kmitočtu 2f a f. Signál kmitočtu f je zesílen a je přiveden do budicího vinutí 2 nebo přímo do feromagnetického jádra 1, čímž vyvolá střídavý proud tekoucí budicím vinutím 2 nebo feromagnetickým jádrem 1. Feromagnetické jádro 1 je z principu činnosti feromagnetické sondy tímto proudem periodicky přebuzováno až do saturace feromagnetického materiálu. Blok 9 buzení zároveň poskytuje referenční signál 2f pro bloky detekční elektroniky. Střídavý výstupní signál z gradientní snímávací/kompenzační cívky 4 je přiveden do prvního bloku 61 zpracování signálu který je řízen referenčním signálem z bloku 9 buzení a tento referenční signál je fázově posunut prvním fázovým posouvačem 7. V tomto bloku 61 zpracování signálu je výstupní střídavý signál gradientní kompenzační/snímávací cívky 4 demodulován, například fázově citlivým detektorem na sudé harmonické základního kmitočtu. Výstupem tohoto bloku 61 zpracování signálu je signál úměrný gradientu prvního řádu magnetického pole. Tento signál je dále přiveden na první invertující integrátor 62 a výstup tohoto prvního invertujícího integrátoru 62 je přiveden na první převodník napětí/proud 63. Tento výstupní proud je zpětně přiveden do vinutí gradientní kompenzační/snímávací cívky 4, ve které vytváří gradient magnetického pole s opačným znaménkem, než je gradient měřený, ten je tímto vytvořeným gradientem kompenzován.

Současně může být použit i kompenzační režim pro homogenní část pole. Pak je střídavý výstupní signál z homogenní snímávací/kompenzační cívky 3 přiveden do druhého bloku 51 zpracování signálu, který je řízen referenčním signálem z bloku 9 buzení a tento referenční signál je fázově

posunut druhým fázovým posouvačem 8. V tomto druhém bloku 51 zpracování signálu je výstupní střídavý signál homogenní kompenzační/snímací cívky 3 demodulován, například fázově citlivým detektorem na sudé harmonické základního kmitočtu. Výstupem tohoto druhého bloku 51 zpracování signálu je signál úměrný homogenní složce magnetického pole. Tento signál je dále přiveden na druhý invertující integrátor 52 a výstup tohoto druhého invertujícího integrátoru 52 je přiveden na druhý převodník napětí/proud 53. Tento výstupní proud je zpětně přiveden do vinutí homogenní kompenzační/snímací cívky 3, ve které vytváří homogenní magnetického pole s opačným znaménkem, než je homogenní část pole měřeného, tato část je tímto vytvořeným homogenním polem kompenzována.

Podstatou nového řešení tedy je vytvoření kompenzačního gradientního magnetického pole pomocí gradientní kompenzační/snímací cívky 4 zapojené ve zpětnovazebním obvodu, čímž dojde ke kompenzačnímu režimu feromagnetické sondy. Feromagnetická sonda také může zároveň kompenzovat homogenní složku pole pomocí homogenní kompenzační/snímací cívky 3 v druhé kompenzační zpětnovazební smyčce. Homogenní složkou je z podstaty funkce kompenzované feromagnetické sondy označen aritmetický průměr průběhu magnetického pole přes délku homogenní kompenzační/snímací cívky 3. Jednotlivé průběhy znázorňuje obr. 7, kde I je obecný průběh magnetického pole s gradientním charakterem, II je aritmetický průměr přes délku feromagnetické sondy, III je magnetické pole kompenzované homogenní kompenzační/snímací cívkou 3 a IV je zbylé pole gradientního charakteru, které může již být kompenzováno gradientní kompenzační/snímací cívkou 4.

Jak bylo uvedeno, gradientní cívka je využita pro zjednodušení výroby jako cívka snímací i kompenzační. Gradientní charakter snímacího vinutí pouze zesiluje gradientní charakter měřeného pole a výstupní napětí je tak stále přímo úměrné magnetickému gradientu, stejně tak touto cívkou vytvořené gradientní pole je přímo úměrné proudu tekoucímu touto cívkou.

Pro správnou funkci obou nezávislých zpětných vazeb je nutné vzít v úvahu nedokonalosti obou cívek, tedy homogenní kompenzační/snímací cívky 3 i gradientní kompenzační/snímací cívky 4 způsobené tolerancemi při výrobě a při jejich vzájemném sestavení. Z toho plyne nemožnost pracovat v kompenzačním režimu gradientní smyčky, kdy jedna zpětná vazba ovlivňuje druhou, je nutné eliminovat složku indukovaného napětí způsobenou těmito nedokonalostmi. Toho je dosaženo nezávisle proměnnou fází detektoru v druhé, gradientní zpětnovazební smyčce, která je při reálných podmínkách vždy odlišná od fáze detektoru v homogenní zpětnovazební smyčce. Vzhledem k rozdílným fázím indukovaného signálu v gradientní kompenzační/snímací cívce 4 a homogenní kompenzační/snímací cívce 3 lze, na úkor snížení citlivosti, docílit správného fungování gradientní zpětné vazby.

35 Průmyslová využitelnost

Zapojení feromagnetické sondy pro měření gradientu magnetického pole najde uplatnění v mnoha oblastech techniky jako je medicína, letecké / kosmické a bezpečnostní aplikace, kde je třeba měřit lokální zdroje magnetického pole a zároveň potlačit rušivá vzdálená magnetická pole, případně měřit přímo magnetický gradient jako veličinu.

40

N Á R O K Y N A O C H R A N U

1. Zapojení feromagnetické sondy pro měření gradientu magnetického pole, kde feromagnetická sonda se skládá z feromagnetického jádra (1) libovolného tvaru buď s rovnoběžným nebo kolmým směrem budícího pole, kde feromagnetické jádro (1) je buď opatřeno budícím vinutím (2) napojeným na blok (9) buzení nebo je feromagnetické jádro (1) připojeno na blok (9) buzení přímo, a z gradientní cívky navinuté kolem feromagnetického jádra (1), která je spojena s prvním

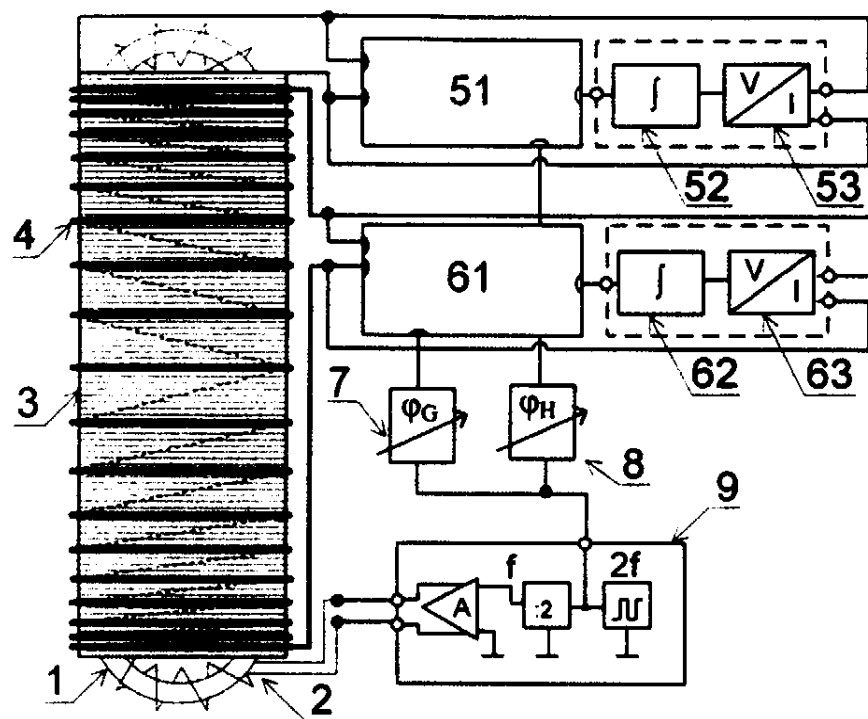
blokem (61) zpracování signálu řízeným prvním fázovým posouvačem (7) propojeným s blokem (9) buzení, **vyznačující se tím**, že gradientní cívka je umístěna soustředně a souose k feromagnetickému jádru (1) a je vytvořena jako gradientní kompenzační/snímací cívka (4), jejíž vinutí má po celé délce stejný průměr a počet závitů na jednotku délky od jednoho okraje feromagnetické sondy lineárně klesá k jejímu středu, kde se smysl vinutí obrací a od tohoto středu k druhému okraji feromagnetické sondy počet závitů na jednotku délky analogicky stoupá, přičemž tato gradientní kompenzační/snímací cívka (4) je zároveň spojena s výstupem prvního převodníku U/I (63), připojeného na výstup prvního invertujícího integrátoru (62), jehož vstup je spojen s výstupem signálu z prvního bloku (61) zpracování signálu.

2. Zapojení feromagnetické sondy podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vinutí gradientní kompenzační/snímací cívky (4) je diskretizováno do soustavy úzkých homogenně vinutých sériově spojených sekcí (41) se stejným průměrem a šířkou, které jsou se stejnou roztečí rozmístěny kolem feromagnetického jádra (1), přičemž vždy dvě proti sobě souose vzhledem ke středu feromagnetické sondy umístěné sekce (41) s opačným smyslem vinutí mají stejný počet závitů, který od jednoho okraje feromagnetické sondy lineárně klesá a k druhému okraji analogicky lineárně stoupá.

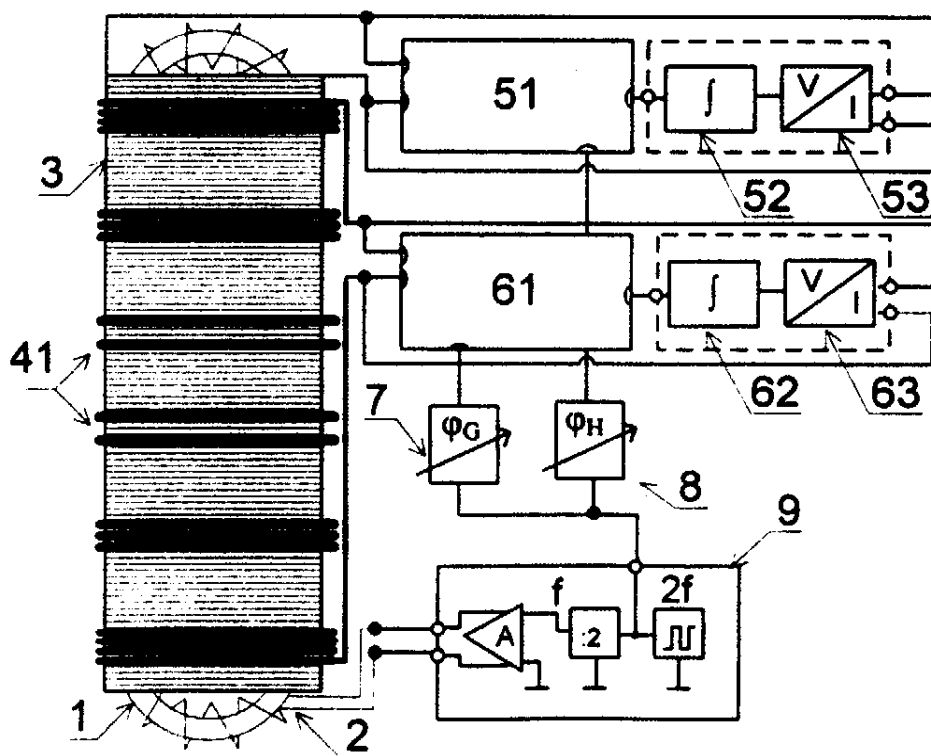
3. Zapojení feromagnetické sondy podle kteréhokoli z nároků 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že souose a soustředně vzhledem ke gradientní kompenzační/snímací cívce (4) je navinuta homogenní kompenzační/snímací cívka (3), která je spojena s druhým blokem (51) zpracování signálu, jehož řídicí vstup je spojen s výstupem druhého fázového posouvače (8) propojeného s blokem (9) buzení, přičemž tato homogenní kompenzační/snímací cívka (3) je zároveň spojena s výstupem druhého převodníku U/I (53) připojeného na výstup druhého invertujícího integrátoru (52), jehož vstup je spojen s výstupem signálu z druhého bloku (51) zpracování signálu.

25

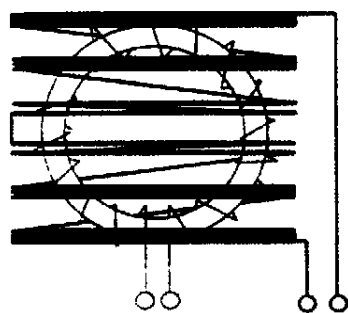
2 výkresy



OBR.1



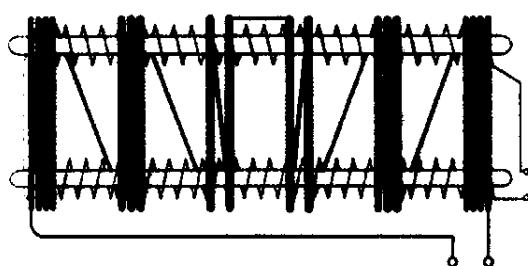
OBR.2



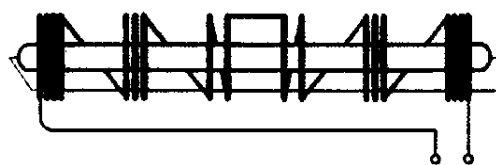
OBR.3



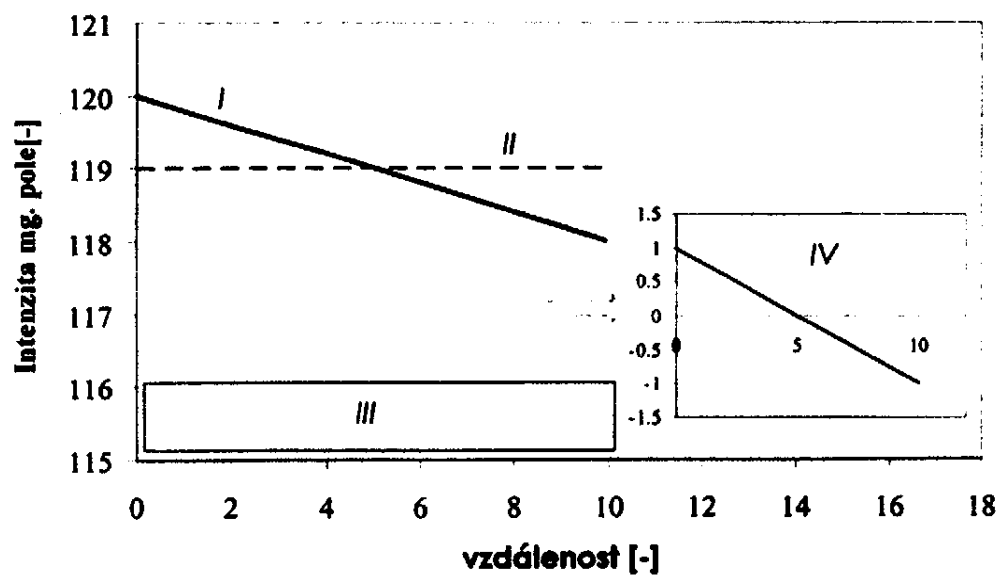
OBR.4



OBR.5



OBR.6



OBR.7

Konec dokumentu