PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:
310 310
(13) Druh dokumentu: **B6**
(51) Int. Cl.:
A61N 2/02 (2006.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

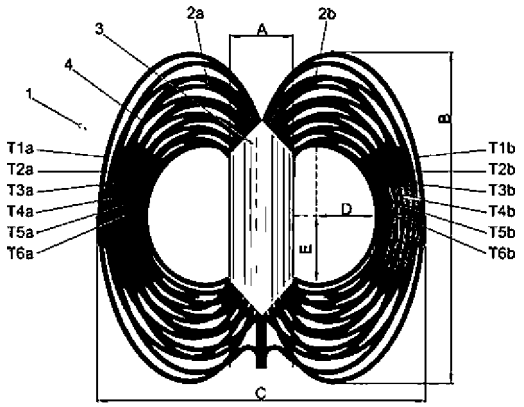
(21) Číslo přihlášky: **2021-67**
(22) Přihlášeno: **15.02.2021**
(40) Zveřejněno: **24.08.2022**
(Věstník č. 34/2022)
(47) Uděleno: **02.01.2025**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **12.02.2025**
(Věstník č. 7/2025)

(56) Relevantní dokumenty:
CN 202 961 527 U; CN 208 492 993 U; US 2018 280 711 A1.

(73) Majitel patentu:
DEYMED Diagnostic s.r.o., Hronov, CZ
(72) Původce:
Ing. Miroslav Moravec, Hronov, CZ
(74) Zástupce:
H&P Patents s.r.o., Na Florenci 1332/23, 110 00 Praha 1, Nové Město

(54) Název vynálezu:
Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci

(57) Anotace:
Cívka (1) pro transkraniální magnetickou stimulaci je použitelná zvláště výhodně pro repetitivní transkraniální magnetickou stimulaci rTMS. Tato cívka (1) má vinutí rozdělené do dvou symetrických polovin, levé poloviny (2a) a pravé poloviny (2b) uspořádaných vedle sebe a přitisknutých k sobě, kde vinutí každé poloviny (2a, 2b) stimulační cívky (1) je tvořeno sestavou závitů (T) z vodiče, přičemž tato stimulační cívka (1) má jednu stranu (5) určenou pro provádění stimulace. Každá polovina (2a, 2b) vinutí je tvořena alespoň třemi patry (L1 až Ln), kde n odpovídá počtu pater, na sobě uspořádaných závitů (T1 až Tm), kde m odpovídá počtu závitů v daném patře, vodiče, přičemž každé patro (L1 až Ln) je tvořeno skupinou závitů vodiče. Všechna patra (L1 až Ln) každé jedné poloviny (2a, 2b) vinutí jsou zapojena sériově a mají stejný směr otáčení vodiče, avšak tento směr otáčení je u každé poloviny (2a, 2b) vinutí opačný pro zajištění shodného směru proudu, procházejícího závity (T1 až Tm) vinutí, ve středové oblasti (3) v obou polovinách (2a, 2b) vinutí. Závity (T1 až Tm) vodiče jsou v každém patře (L1 až Ln) vinutí uspořádány ve tvaru elipsy, přičemž elipsa alespoň vnějšího závitu má poměr poloměrů poloos v rozmezí od 0,3 do 1,0, přičemž závity vodiče vinutí jsou uspořádány do středové oblasti, v níž jsou uspořádány těsně vedle sebe, a do zpětné oblasti, ve které jsou alespoň v oblasti obou vzájemně protilehlých vzdálenějších vrcholů elipsy od sebe oddálené o mezeru o velikosti alespoň polovinu nejmenšího z rozměrů průřezu vodiče.



CZ 310310 B6

Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci

Oblast techniky

Vynález se týká cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci v neurofyziologii a, zvláště výhodně, pro repetitivní transkraniální magnetickou stimulaci (rTMS) v psychiatrii.

Dosavadní stav techniky

Magnetická stimulace je v neurofyziologii zavedený termín pro stimulaci obecně jakýchkoliv nervových struktur včetně mozku převážně pro diagnostické a výzkumné účely pomocí indukovaného elektrického napětí, které vzniká rychlou změnou silné magnetické indukce v čase. V psychiatrii je tento termín zúžen na stimulaci mozku k terapeutickým účelům, zejména depresí a dalších onemocnění.

Indukované elektrické napětí musí mít dostatečnou intenzitu (řádově desítky V/m a trvat dostatečně dlouhou dobu, řádově desítky až stovky μs) aby došlo k depolarizaci buněčných membrán nervových buněk a tím k vyvolání elektrofyziologické odpovědi. Magnetická stimulace se používá k jednak diagnostickým účelům v neurofyziologii, ale poslední dobou též k terapeutickým účelům v psychiatrii.

Pro účely opakované magnetické stimulace mozku s opakovací frekvencí v řádu jednotek až desítek Hz byl v psychiatrii zaveden pojem repetitivní transkraniální magnetická stimulace (rTMS) a to z důvodu využívání opakované stimulace v různě navržených stimulačních protokolech.

Ještě před několika lety se pro účely repetitivní transkraniální magnetické stimulace (rTMS) používaly standardně nízkofrekvenční protokoly s úrovní stimulace ve výši 80 % motorického prahu s frekvencí v řádu jednotek Hz. Motorický práh lze zjednodušeně chápat jako takovou intenzitu magnetické stimulace, při které dojde k prahovému podráždění motorického kortexu, což se měří objektivně pomocí povrchových elektrod snímající EMG signál ze svalu, který je inervován příslušnou oblastí motorického kortexu anebo vizuálně pozorováním vyvolaného pohybu.

Vzhledem k tomu, že se i při zvyšování celkové intenzity stimulace stále zvyšuje benefit vůči nežádoucím účinkům, začínají se v současné době používat k léčbě deprese i dalších onemocnění protokoly stimulující až 130 % tzv. motorického prahu. Tímto je též možno zkrátit dobu terapie a tím též dochází k většímu rozšíření takto intenzivních protokolů v klinické praxi.

Přesto se ukazuje, že limitujícím faktorem tohoto trendu nejsou ani až tolik neustále se zvyšující nároky na dostatečný výkon magnetických stimulátorů a chlazení stimulačních cívek, nýbrž ochota pacienta akceptovat vedlejší účinky stimulace ve formě nepříjemné a při velmi intenzivních protokolech až bolestivé stimulaci okolních hlavových svalů.

Současný stav vývoje stimulačních cívek lze z hlediska stupně uvedení do praxe rozdělit do třech základních oblastí:

– Komerčně vyráběné stimulační cívky používané v klinické praxi

– Experimentální stimulační cívky pro výzkumné účely

– Fyzikální modely stimulačních cívek

Komerčně vyráběné stimulační cívky:

V současné době se pro účely rTMS terapie používají zejména osmičkové stimulační cívky složené ze dvou kruhových vinutí umístěnými vedle sebe, protože ke stimulaci patřičných struktur kortexu je potřeba, aby vektor indukovaného elektrického napětí (a tím i proudu) byl rovnoběžný s povrchem lebky. To je klasickými kruhovými stimulačními cívkami obtížné zajistit.

Moderní řešení komerčně vyráběných stimulačních cívek využívá překrytí vinutí původně osmičkového tvaru, což částečně omezuje nepříznivé působení bočních laloků magnetického pole na okolní svaly. Fokusace magnetického pole do oblastí motorického kortexu je provedeno částečným naklopením obou částí cívek, což je nejlépe patrno z dokumentu Electric field properties of two commercial figure-8 coils in TMS: calculation of focality and efficiency. *Clinical Neurophysiology 115 1697-1708* (2004), jehož autory jsou Axel Thielscher a Thomas Kammer, a z dokumentu, „Safe exposure distances for transcranial magnetic stimulation based on computer simulations, *Postgraduate Program in Metrology, Pontifi´cia Universidade Cato´ lica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil*“ autorů Iam Palatnik de Sousa, Carlos R. H. Barbosa a Elisabeth CostaMonteiro (2018).

K fokusaci magnetického pole se rovněž používají stimulační cívky s železným jádrem, které jsou omezeny velikostí magnetické indukce cca 2 Tesla, protože při vyšších intenzitách dochází k saturaci magnetického materiálu jádra cívky.

Další stimulační cívky jsou představeny v dokumentu autorů Samuel Zibman, Gaby S. Pell, Noam Barnea-Ygael, Yiftach Roth, Abraham Zangen (2019) „Application of transcranial magnetic stimulation for major depression: Coil design and neuroanatomical variability considerations, *European Neuropsychopharmacology 1-16.* Tyto stimulační cívky se používají pro účely hloubkové mozkové stimulace. Hloubková mozková stimulace má ale jiné terapeutické využití a tyto cívky též neřeší stimulaci vedlejších hlavových svalů.

V dokumentech „Quantitative assessment of the focality of a double-D coil in the human brain, *Conference: 2017 XXXIInd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science* (2017)“ *autorů* Yuta Kawasaki, Koichi Hosomi, Keita Yamamoto, Shintaro Hara, Yusuke Abe, Youichi Saitoh a Masaki Sekino, a „Novel coil designs for different neurological disorders in transcranial magnetic stimulation (2019)“, *Graduate Theses and Dissertations. 17547;* https://lib.dr.iastate.edu/etd/17547 autora Rastogi Priyam, jsou popsány experimentální stimulační cívky, používané k fokusaci magnetického pole. Tyto stimulační cívky jsou složené ze 4 kruhových částí nebo se stimulační cívka tvaruje do prostoru těsně obepínající hlavu. U těchto tvarů stimulačních cívek ale není popsáno řešení nutné k dosažení dostatečné intenzity stimulace v požadované oblasti při dodržení nízké intenzity mimo tuto oblast.

Výzkumem možností fokusace magnetického pole stimulačních cívek se zabývá několik prací především z univerzitního prostředí, dokument „Minimum-energy Coils for Transcranial Magnetic Stimulation: Application to Focal Stimulation. *Brain Stimulation, 8(1), 124-134.* https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.10.002 autorů L. M. Koponen, J. O., Nieminen a R.J. Ilmoniemi, dále dokument „Advances in transcranial magnetic stimulation technology. *Brain Stimulation,* (2015), *June 165-189 od* Angel V. Peterchev, Zhi-De Deng a Stefan Goetz, dokument „Coil optimisation for transcranial magnetic stimulation in realistic head geometry, *Brain Stimulation 10 795-805*“ (2017) od L.M. Koponen *et al*, dokument „Multi-locus transcranial magnetic stimulation -theory and implementation, *Brain Stimulation 11 849-855“* (2018) rovněž od L.M. Koponen *et al*. a dokument „ A 3-axis coil design for multichannel TMS arrays, *NeuroImage 224“* (2021) od L.I. Navarro de Lara, M. Daneshzand, A. Mascarenas *et al*. Zde popisované modely ale prozatím pracují s tenkými elektrickými vodiči, u kterých jejich průřez nelimituje výsledný tvar stimulační cívky. Nevýhodou takových cívek je, že je nelze použít k nadprahové repetitivní magnetické stimulaci, a to z důvodu jednak velmi rychlého přehřátí vodiče a také z důvodu nutnosti použít magnetického stimulátoru o výkonu, který by

nebylo možno odebrat z běžné elektrické přípojky. Již v současné době používané magnetické stimulátory mají elektrický příkon na hranici možnosti napájecí elektrické sítě, neboť stimulace biologických tkání elektromagnetickou indukcí je energeticky velmi neefektivní.

Zkušenosti dále ukazují, že omezená elektrická vodivost mědi je za pokojových teplot limitujícím faktorem určující tvarovou konstrukci stimulační cívky za podmínky zajištění možnosti jejího řádného chlazení během delších stimulačních protokolů.

Podstata vynálezu

Výše uvedené nedostatky, včetně nedostatku ve formě nežádoucí stimulace vedlejších struktur nacházející se v bezprostřední blízkosti místa stimulace, překonává nebo alespoň do velké míry potlačuje cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle tohoto vynálezu.

Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle tohoto vynálezu je založena na myšlence jejího rozdělení do dvou základních oblasti: středové a zpětné. Toto rozdělení bylo provedeno z důvodu snazší optimalizace jednotlivých částí, neboť optimalizace celého průběhu vinutí by představovala výrazně komplexnější problém. Na rozdíl od známých cívek pro transkraniální magnetickou stimulaci, kde se na vytváření magnetického pole podílí celá délka vodiče proporcionálně v celé své délce, je díky rozdělení cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci na středovou oblast a na zpětnou oblast možné přistoupit ke každé z obou oblastí odděleně a optimalizovat potřebné charakteristiky, podílející se na vytváření magnetického stimulu. Středová oblast je tvořena co nejtěsněji u sebe uspořádanými závity vodiče jednotlivých pater vinutí cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci pro vytvoření co nejsilnějšího magnetického pole v ohnisku pod jejím středem, přičemž zvláště výhodně jsou závity ve středové oblasti uspořádány v podstatě lineárně, tedy závity zde tvoří alespoň v jedné třetině délky rovnoběžné přímky, zatímco zpětná oblast je optimalizována jednak pro co nejnižší zpětný příspěvek magnetické indukce, aby se nesnižovalo působení střední oblasti, a jednak pro zamezení vytvoření oblastí se silnou stimulací mimo zamýšlené ohnisko, čímž se zamezí vytváření nadměrné a nepříjemné stimulace hlavových svalů. Cílem návrhu cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci podle tohoto vynálezu je, aby se ohnisko magnetického pole, vyvolaného touto cívkou pro transkraniální magnetickou stimulaci, nacházelo v hloubce cca 2 až 3 cm pod stranou určenou pro provádění stimulace. Závity vodiče v jednotlivých patrech jsou tedy ve středové oblasti uspořádány alespoň v části středové oblasti lineárně, tj. rovnoběžně vedle sebe, a těsně na sobě, aby se zajistila jejich co největší hustota a účinnost, přičemž toto lineární uspořádání je s výhodou provedeno v délce alespoň cca 1/3 z delšího průměru elipsy, viz dále, výhodněji v celé své délce. Závity vodiče ve zpětné oblasti jsou upraveny do v podstatě eliptických tvarů, vycházejících ze středové oblasti, přičemž závity mají podíl poloos elipsy, kterou v podstatě tvoří, tedy bez „deformace“ elipsy způsobené lineárním průběhem závitů ve středové oblasti, ve které již tuto elipsu nevytvářejí, v rozmezí od 0,3 do 1, výhodněji od 0,5 do 0,8 a nejvýhodněji od cca 0,6 do 0,7, pro dosažení co největší intenzity stimulace v zamýšleném ohnisku. Vodiče ve středové i zpětné oblasti jsou uspořádány alespoň ve třech patrech umístěných na sobě, přičemž konec vodiče posledního, tj. vnějšího, závitu v jednom patře jedné poloviny vinutí je spojen se vodičem prvního, tj. vnitřního, závitu v následujícím vyšším patře stejné poloviny vinutí. Pro dostatečný efekt sice postačují tři patra, výhodněji má ale cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci patra čtyři nebo pět nebo i více. Rozdělení závitů cívky do alespoň tří pater je též výhodné z důvodu rovnoměrnějšího rozdělení závitů ve zpětné oblasti, což má za následek zvýšení poměru mezi intenzitou magnetického pole v oblasti ohniska a na okrajích cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci. Aby patra nacházející se ve větší vzdálenosti od roviny povrchu měla přibližně shodně umístěné své vlastní ohnisko stimulace, dochází ve zpětné oblasti k postupnému zvětšení rozměrů vinutí jednotlivého patra. Konstrukce cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci podle vynálezu z pater závitů, tvořících poloviny vinutí, s proporcionálně zvětšující se velikostí ve směru od strany určené pro provádění stimulace, tedy tak, jak se zvyšuje jejich vzdálenost od středního stimulového bodu, se zvyšuje poměr

magnetického pole v zamýšleném ohnisku stimulační cívky k velikosti magnetického pole po krajích cívky a tím zajišťuje jeho směrování magnetického pole do tohoto do ohniska. Podle zvláště výhodného provedení cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci podle vynálezu je rozšiřování jednotlivých závitů každého dalšího patra se v oblasti vrcholů delších poloos elipsy směrem od strany určené pro provádění stimulace je provedeno tak, že krajní body obvodů pořadím od středu odpovídajících závitů jednotlivých pater tvoří přímku svírající úhel přibližně 45 stupňů s rovinou stimulace, jak je to zřejmé například pro vnější závity jednotlivých pater obou polovin vinutí cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci na obr. 4. Taková přímka se dá proložit krajními body obvodů i dalších závitů v jednotlivých patrech, avšak na obr. 4 nejsou vidět.

Aby se zabránilo takovému rozprostření magnetického pole, které by vytvářelo významné oblasti se silným magnetickým polem mimo zamýšlenou oblast, jsou závity vodiče ve zpětné oblasti v rámci jednotlivých pater od bodu jejich oddělení od středové oblasti po stranách rozvolněny uspořádáním v odstupu od sebe, kde tento odstup je největší v oblasti delší poloosy elipsy, ve které závity vodiče probíhají, a je roven přibližně alespoň velikosti poloviny rozměru vodiče, ze kterého jsou závity vytvořeny, výhodně více než jednoho rozměrů vodiče v daném směru, zvláště výhodně v rozmezí od jednoho do tří rozměrů vodiče, přičemž za rozměr vodiče se pro účely této přihlášky rozumí jeho rozměr ve směru rozprostření závitů jednoho patra.

Podle dalšího výhodného uskutečnění má cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle tohoto vynálezu své dvě poloviny vinutí naklopeny směrem od strany určené pro provádění stimulace v úhlu odklonu cca 5 až 20 stupňů od roviny povrchu, s výhodou cca 10 stupňů. Úhel odklonu je zvolen kompromisně tak, aby při příliš vysokém úhlu nedocházelo ke snížení intenzity stimulace v ohnisku a při příliš nízkém úhlu úhel aby se neprojevil negativní vliv na zvýšení intenzity stimulace v postranních oblastech. Výše popsané naklopení v uvedeném rozsahu úhlu odklonu výrazně sníží nežádoucí působení bočních laloků, které by jinak mělo za následek nežádoucí nepříjemnou stimulaci hlavových svalů.

Podle zvláště výhodného uskutečnění cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci podle tohoto vynálezu jsou na straně určené pro provádění stimulace závity ve středové oblasti zvláště výhodně upraveny do v podstatě konkávní prohlubně kulového tvaru s největší hloubkou v rozmezí od 0,5 cm do 1,5 cm, zvláště výhodně pak cca 1 cm pro umožnění přiložit středovou oblast na straně určené pro provádění stimulace k téměř libovolně individuálně tvarované lebce tak, aniž by nedošlo k dolehnutí pokožky hlavy k povrchu cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci na straně určené pro provádění stimulace, tak, aby příspěvek vinutí obou polovin cívek byl v bodě ohniska co možná nejvyšší. Výhodou tohoto provedení oproti plochému provedení středové oblasti je, že zvýší velikosti intenzity stimulace o cca 10 až 15 procent.

Objasnění výkresů

Vynález bude snadněji pochopen z následujících příkladů uskutečnění a z připojených výkresů, kde na:

obr. 1 je vyobrazen pohled shora na výhodné uskutečnění cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci podle vynálezu se třemi patry;

obr. 2 je vyobrazen pohled zespodu na cívku pro transkraniální magnetickou stimulaci z obr. 1;

obr. 3 je vyobrazen pohled v perspektivě na polovinu vinutí cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci podobné té z obr. 1, ale s čtyřmi patry;

obr. 4 je vyobrazen pohled ze strany na cívku pro transkraniální magnetickou stimulaci se čtyřmi patry;

obr. 5 je pohled shora na spodní patro cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci z obr. 1.

Příklady uskutečnění vynálezu

Pro lepší pochopení cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci (dále nazývané i jen cívka) podle tohoto vynálezu a budou nyní popsány příklady jejího možného uskutečnění. Současný vynález bude sice dále popsán pomocí konkrétních uskutečnění a s odkazem na určité výkresy, vynález ale není na popsaná uskutečnění omezen, je omezen pouze nároky. Připojené výkresy jsou pouze schematické a nejsou v žádném případě zamýšleny jako omezující vynález na vyobrazená provedení. Na výkresech může být z ilustrativních důvodů velikost některých prvků zveličena a tyto nemusí být nakresleny v měřítku. Rozměry a relativní rozměry neodpovídají skutečným zmenšením. Navíc, i když některá zde popsaná uskutečnění vynálezu mohou zahrnovat jen některé prvky, ale další prvky nikoliv, zatímco tyto jsou zahrnuty do jiných uskutečnění, jsou možné kombinace prvků z různých uskutečnění tak, že spadají do rozsahu vynálezu a tvoří jiná uskutečnění, než jsou zde popsaná, což bude plně pochopitelné pro osoby znalé oboru. Například, všechna uskutečnění nárokovaná v patentových nárocích mohou být použita v jakékoliv kombinaci. Výrazy jako pravá, levá se vztahují výhradně k vyobrazení cívky na výkresech a slouží pouze pro odlišení symetrických částí cívky podle vynálezu. Označení spodní a horní se vztahují k vyobrazení cívky, kde je za spodní stranu považována strana určená pro provádění stimulace, která na obrázcích leží dole. Je tedy zřejmé, že ve skutečnosti bude moci být pravá polovina například vlevo a naopak, stejně tak, v závislosti na prováděné stimulaci, se může spodní strana nacházet nahoře a horní strana dole.

Na obr. 1 je schematicky znázorněn pohled shora na jeden z možných příkladů provedení cívky 1 podle tohoto vynálezu. Na tomto obrázku je středová oblast 3 cívky 1, tvořená příslušnými úseky závitů T1a až T6a a T1b až T6b obou polovin vinutí 2a, 2b vyobrazena pro názornost světlou barvou, zatímco zpětná oblast 4 tvořená zbylými úseky závitů T1 až T6 obou polovin vinutí 2a, 2b je vyobrazena tmavou barvou. Tato barevné odlišení je ale vytvořeno pouze pro jasnější odlišení obou oblastí.

Závity T1a až T6a a T1b až T6b jednotlivých pater L1 až Ln obou polovin vinutí 2a,2b cívky 1 jsou ve vyobrazeném příkladu uskutečnění provedeny z vodiče, kterým je v tomto příkladu uskutečnění kabel typu licna obdélníkového profilu. Číslo „n odpovídá počtu pater, takže pro cívku 1 se třemi patry má tato patra L1 až L3, pro cívku 1 se čtyřmi patry má tato patra L1 až L4 atd. Obdélníkový profil je zvláště výhodný, protože umožní co nejtěsnější uspořádání závitů cívky 1 ve střední oblasti. V daném příkladu uskutečnění má kabel typu licna rozměry 4 mm x 2 mm a je složený ze 160 vzájemně izolovaných vodičů o průměru 0.2 mm. Kabel typu licna je v tomto příkladu uskutečnění použit jednak z důvodu zamezení tvorby vířivých proudů ve vlastním vodiči a jednak z důvodu zamezení negativního vlivu rozdílových smyček při v zakřivení závitů v dané polovině vinutí 2a, 2b. Závity T1a až T6a a T1b až T6b jsou v jednotlivých patrech L1 až Ln cívky 1 provedeny tak, že větší rozměr obdélníkového průřezu kabelu typu licna je orientován ve vertikálním směru, což je patrné např. z obr. 3. Cívka 1 je v tomto příkladu uskutečnění provedena se vzduchovým jádrem, protože je zamýšleno jak její použití pro stimulaci s bifazickým průběhem stimulační intenzity magnetické indukce, tak i pro monofazickou stimulaci, kdy je nutno použít k vyvolání shodné elektrofyziologické odpovědi vyšší intenzity magnetické indukce. Takto vysokou magnetickou indukci by již nemusela být schopna cívka s feromagnetickým jádrem vyvolat. Druhotným důvodem je i možnosti použít cívku v prostředí magnetické rezonance. Provedení cívky 1 se vzduchovým jádrem se sice jeví z výše popsaných důvodů jako výhodnější, neznamená to ale, že by cívka 1 byla na takové provedení omezena. Předpokládá se například použití cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci s feromagnetickým jádrem pro klinické terapeutické účely a podobné. Je ale důležité si uvědomit, že uvedené rozměry použitého kabelu typu licna slouží pouze jako příklad a ne jako omezení. Stejně tak i použití samotného kabelu typu licna je zamýšleno jen jako zvláště výhodné

pro uskutečnění cívky podle vynálezu, ale rozhodně to není zamýšleno jako jediné možné provedení vodiče. Odborník navrhne i další možná provedení. Důležité je si uvědomit, že použitý typ vodiče, ze kterého jsou závity cívky 1 provedeny, tak i použité rozměry kabelu typu licna rozhodně nejsou zamýšleny jako vynález omezující na daný příklad. Dále je důležité zdůraznit, že v uvedených příkladech uskutečnění jsou všechny závity v jednotlivých patrech každé poloviny cívky 1 provedeny z jednoho vodiče a začátky a konce závitů v jednotlivých patrech jsou spojeny tak, aby se ze skupiny závitů vodiče v jednotlivých patrech vytvořily požadovanou jednu polovinu vinutí. Odborníkovi je ale zřejmé, že je možné i jiné provedení, např. vytvořit každou polovinu vinutí z jednoho vodiče, tj. postupně navinout závity jednotlivých pater, takže je nebude potřeba propojovat. Stejně tak je možné vytvořit i závity v jednotlivých patrech z několika samostatných vodičů, které se navzájem propojí, a podobně.

Cívka v příkladu uskutečnění na obr. 1 a 2 má vinutí složené z celkem tří pater L1 až L3 závitů a má následující rozměry: výška B cívky 1 je 125 mm, šířka C cívky 1, tedy šířka obou polovin 2a, 2b vinutí cívky 1 vedle sebe a to včetně středové oblasti 3, je 124 mm, šířka A středové oblasti 3 cívky 1, ve které jsou závity jednotlivých pater L1 až L3 obou polovin vinutí uspořádány co nejtěsněji na sobě, je 24 mm, délka D představuje délku kratší poloosy elipsy vnitřního závitu T5b zpětné oblasti 4 spodního patra L1 cívky 1, tedy závitu, který je nejblíže středu cívky 1, je 20 mm a délka E delší poloosy elipsy uvedeného vnitřního závitu T5b zpětné oblasti 4 spodního patra L1 cívky 1 je cca. 23 mm. Ve spodním prvním patře L1 každé z obou polovin 2a, 2b vinutí cívky 1, tedy v patře, jehož spodní strana tvoří stranu 5 určenou pro provádění stimulace, je uspořádáno pět závitů T1a až T5a a T1b až T5b vodiče, kterým je výše uvedený kabel typu licna. Závity T1a až T5a a T1b až T5b vodiče jsou ve středové oblasti 3 uspořádány co nejtěsněji jeden vedle druhého a jsou zde v podstatě v celé délce, jak je to možné, vzájemně rovnoběžné, zatímco ve zpětné oblasti 4 jsou uspořádány v podstatě ve tvaru elipsy, přičemž alespoň v oblasti obou vzájemně protilehlých vzdálenějších vrcholů elipsy, tedy v oblasti vrcholů delší poloosy uvedené elipsy, jsou vodiče od sebe oddálené o mezeru o velikosti alespoň poloviny nejmenšího z rozměrů průřezu vodiče, čímž je mezi jednotlivými závity vytvořeno rozvolnění, jak je to zřetelné na obr. 2, respektive obr. 5. V dalších patrech cívky 1, tedy v patrech L2 a L3, je uspořádáno vždy šest závitů T1a až T6a a T1b až T6b vodiče v jednom patře, přičemž tyto závity T1a až T6a a T1b až T6b jsou ve středové oblasti uspořádány co nejtěsněji u sebe a jsou lineární, stejně části závitů T1a až T5a a T1b až T5b patra L1, zatímco ve zpětné oblasti jsou rozvolněny a směrem vzhůru se rozšiřují, jak je to zřejmé z obr. 4. Rozestoupení mezi jednotlivými závity je zde až na vzdálenost tří rozměrů vodiče. Příslušné závity T1a až T6a a T1b až T6b ve zpětné oblasti v jednotlivých patrech L1 až L3 jsou provedeny se zvětšujícím se poměrem poloměrů os elipsy. Poloměry os závitů T1a až T5a a T1b až T5b, resp. T1a až T6a a T1b až T6b v jednotlivých patrech L1 až L3 jsou uvedeny v tabulce č. 1. Jak je z tabulky zřejmé, poměry poloměrů os elipsy např. u závitu č. T1a v jednotlivých patrech jsou stejné i přes zvětšování velikostí obou poloměrů elips tohoto závitu ve vyšších patrech cívky tak, aby se zajistilo rozšiřování jednotlivých pater v úhlu cca. 45 stupňů. Je ale možné vytvořit cívku, u které se budou tyto poměry více či méně odlišovat.

Na obr. 2 je pohled na cívku 1 z obr. 1 odspodu s tím rozdílem, že různými odstíny jsou zde odlišeny příslušné závity. Závity T1a až T6a a T1b až T6b v jednotlivých patrech L1 až L3. Světlou barvou jsou zde označeny závity T1a až T5a a T1b až T5b spodního patra L1, středně šedou závity T1a až T6a a T1b až T6b prostředního (druhého) patra L2 a tmavou barvou závity T1a až T6a a T1b až T6b horního patra L3.

Tabulka 1

	Patro I	Patro II	Patro III	Patro IV
Závit T1	0,55	0,55	0,55	0,55
Závit T2	0,62	0,62	0,62	0,62
Závit T3	0,69	0,69	0,69	0,69
Závit T4	0,76	0,76	0,76	0,76
Závit T5	0,83	0,83	0,83	0,83
Závit T6	–	0,90	0,90	0,90

Zamýšlené ohnisko cívky 1 pro transkraniální magnetickou stimulaci (dále bude nazývané již jen cívka) se nachází v hloubce cca 2 až 3 cm od spodního povrchu závitů T1a až T5a a T1b až T5b vodiče vinutí ve spodním patře L1 cívky 1, tedy v patře L1 nejblíže ke straně 5 pro provádění stimulace této cívky 1, a to pod středem cívky 1 tak, aby přibližně pokrývalo oblast motorického kortexu mozku.

Ve středové oblasti 3 cívky 1 jsou závity v jednotlivých patrech L1 až L3 prohnuty ve směru od strany 5 určené pro provádění stimulace tak, že na straně 5 určené pro provádění stimulace je tímto prohnutím závitů vytvořena ve středové oblasti 3 kulová prohlubeň 6 o hloubce 1 cm. Prohnutí závitů T1a až T5a a T1b až T5b v patře L1 a závitů T1a až T6a a T1b až T6b v patrech L2 a L3 uprostřed středové oblasti 3 cívky 1 zajišťuje nejvyšší možnou intenzitu ve středové ose cívky 1, kterou je potřeba zajistit. Kulová prohlubeň 6 je vytvořena tak, že T1a až T5a a T1b až T5b v patře L1 a závity T1a až T6a a T1b až T6b v patrech L2 a L3 cívky 1, jsou příslušně prohnuty ve směru od strany 5 určené pro stimulaci, takže se ve středové oblasti 7 vytvoří kulová prohlubeň 6, aniž by jakkoliv byly ovlivněny rozměry vodiče jednotlivých závitů, ležících v této oblasti. Jak je z vyobrazení cívky zřejmé, jsou závity T1a až T5a a T1b až T5b v patře L1 a závity T1a až T6a a T1b až T6b v patrech L2 a L3 u obou polovin 2a, 2b vinutí v jednotlivých patrech L1 až L3 ve středové oblasti 3 provedeny lineárně a co nejtěsněji na sobě, tj. bez mezer mezi jednotlivými závity, pro zajištění nejvyšší možné koncentrace vodičů a tím vytvoření co nejvyšší požadované intenzity magnetického pole v ohnisku cívky pro transkraniální magnetickou stimulaci.

Na obr. 3 je znázorněna levá polovina vinutí 2a, která má šířku střední oblasti ½ A, avšak má čtyři patra L1 až L4.

Rozvolnění jednotlivých závitů v jednotlivých patrech vinutí ve zpětných oblastech 4 cívky 1 je výhodné z důvodu snížení lokální intenzity magnetického pole, což též zvyšuje intenzitu ve střední ose. Rozvolnění závitů v oblasti osově vzdálené od středové oblasti 3 nemá takový efekt, neboť tam již převažuje efekt zvyšování plochy smyčky a rozmělnění intenzity magnetického pole, takže není nutné, aby tam byly jednotlivé závity rozvolněny.

Na obr. 4 je znázorněn boční pohled na další provedení cívky 1 se čtyřmi patry L1 až L4. Vzhledem k podobnosti konstrukčních znaků s cívkou 1 z obr. 1 až 2 zde již nebude znovu detailněji popisována. Všechna patra L1 až L4 provedení stimulační cívky 1 na obr. 4 jsou naklopena o úhel α cca 10 stupňů. Na tomto obrázku je rovněž vidět vyklenutí střední oblasti 3, tvořené částmi závitů T1a až T6a a T1b až T6b posledního patra L4 obou polovin vinutí 2a, 2b směrem vzhůru, které je způsobeno vytvořením kulové prohlubně 6 na straně 5 určené pro provádění stimulace. Tento sklon naklopení obou polovin 2a a 2b všech pater L1 až L4 významně neovlivňuje intenzitu ve středové ose cívky 1, ale sníží nežádoucí působení bočních laloků, které by jinak mělo za následek nežádoucí nepříjemnou stimulaci hlavových svalů. Odborníkovi je zřejmé, že naklopení pater L1 až L4 z obr. 4 je plně aplikovatelné i na provedení se třemi patry L1 až L3 z obr. 1 a 2.

Na obr. 5 je potom znázorněno provedení závitů T1a až T5a a T1b až T5b spodního patra L1 cívky 1, přičemž světlou barvou jsou zde vyobrazeny závity T1a až T5a levé poloviny vinutí 2a, zatímco tmavou barvou jsou zde vyobrazeny závity T1b až T5b pravé poloviny vinutí 2b.

Odborníkovi je zřejmé, že popsané znaky uskutečnění cívek pro provádění magnetické stimulace jsou vzájemně kombinovatelné a že pro jejich aplikaci nezáleží na počtu pater cívky ani na počtu závitů v jednotlivých patrech. Dále, výše uvedené rozměry a parametry příkladů uskutečnění cívky pro provádění magnetické stimulace by měly být chápány jen jako příkladné a nejsou v řádném případě zamýšleny jak omezující. Například jsou možné další příklady uskutečnění, ve kterých bude mít cívka pro provádění magnetické stimulace například i jen cca poloviční rozměry, ale stejně tak i dvojnásobné, může mít jiný počet závitů v jednotlivých patrech i počet pater. Tím je samozřejmě myšleno, že se rozměry cívky pro provádění stimulace mohou pohybovat jak v rozsahu uvedených rozměrů, tak i mimo ně. Podle tohoto vynálezu rozhodně nejsou příklady možných uskutečnění cívky pro provádění magnetické stimulace podle vynálezu uvedené v tomto popisu uvažovány tak, jako by zamýšlely omezit předmět vynález na tato uskutečnění, ani na zde popsané rozměry a podobné údaje. Předmět vynálezu je tak omezen pouze zněním patentových nároků.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Cívka (1) pro transkraniální magnetickou stimulaci s vinutím rozděleným do dvou symetrických polovin, levé poloviny (2a) a pravé poloviny (2b) uspořádaných vedle sebe, kde vinutí každé poloviny (2a, 2b) stimulační cívky (1) je tvořeno sestavou závitů (T) z vodiče, přičemž tato cívka (1) pro transkraniální magnetickou stimulaci je opatřena stranou (5) určenou pro provádění stimulace, **vyznačující se tím**, že
− každá polovina (2a, 2b) vinutí je tvořena alespoň třemi patry (L1 až Ln), kde n odpovídá počtu pater, na sobě uspořádaných závitů (T1 až Tm), kde m odpovídá počtu závitů v daném patře, vodiče, přičemž každé patro (L1 až Ln) je tvořeno skupinou závitů vodiče, přičemž
− všechna patra (L1 až Ln) každé jedné poloviny (2a, 2b) vinutí jsou zapojena sériově a mají stejný směr otáčení vodiče, přičemž tento směr otáčení je u každé poloviny (2a, 2b) vinutí opačný pro zajištění shodného směru proudu, procházejícího závity (T1 až Tm) vinutí, ve středové oblasti (3) v obou polovinách (2a, 2b) vinutí,
− závity (T1 až Tm) vodiče jsou v každém patře (L1 až Ln) vinutí uspořádány ve tvaru elipsy, přičemž elipsa alespoň vnějšího závitu má poměr poloměrů poloos v rozmezí od 0,3 do 1,0, přičemž závity vodiče vinutí jsou uspořádány do středové oblasti (3), v níž jsou tyto závity uspořádány jeden vedle druhého, a do zpětné oblasti (4), ve které jsou alespoň v oblasti obou vzájemně protilehlých vzdálenějších vrcholů elipsy od sebe oddálené o mezeru o velikosti alespoň polovinu nejmenšího z rozměrů průřezu vodiče,

a že závity (T1 až Tm) vinutí v jednotlivých patrech (L1 až Ln) se v oblasti vrcholů delších poloos elipsy ve směru od strany (5) určené pro provádění stimulace rozšiřují vůči závitům vinutí v předchozím patře.

2. Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že závity jednotlivých pater (L1 až Ln) vinutí jsou ve středové oblasti (3) prohnuty pro vytvoření konkávní prohlubně (6) zakulaceného tvaru na straně (5) určené pro provádění stimulace s největší hloubkou v rozmezí od 0,5 do 1,5 cm.

3. Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že konkávní prohlubeň (6) má největší hloubku 1 cm.

4. Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že ve zpětné oblasti (4) jsou alespoň v oblasti obou vzájemně protilehlých vzdálenějších vrcholů elipsy jednotlivé závity vodiče každé poloviny (2a, 2b) vinutí od sebe vzdáleny nejvýše o tři průměry tohoto vodiče.

5. Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že obě poloviny (2a, 2b) vinutí jsou směrem od středové oblasti (3) naklopeny o úhel od 5 do 20 stupňů ve směru od strany (5) určené pro provádění stimulace.

6. Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že obě poloviny vinutí jsou směrem od středové oblasti (3) naklopeny o úhel 10 stupňů ve směru od strany (5) určené pro provádění stimulace.

7. Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle kteréhokoliv z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že poměr poloos elipsy je 0,6 až 0,7.

8. Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle kteréhokoliv z nároků 1 až 7, vyznačující se tím, že každá polovina vinutí má 4 patra.

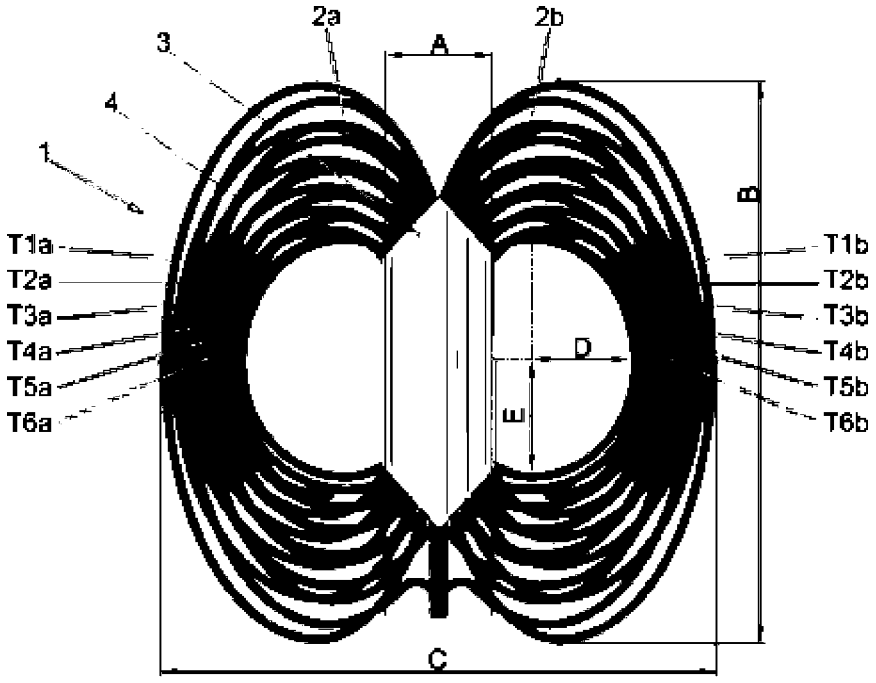
9. Cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci podle kteréhokoliv z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že jednotlivé závity každého dalšího patra se v oblasti vrcholů delších poloos elipsy rozšiřují směrem od strany určené pro provádění stimulace, přičemž krajní body jejich obvodů tvoří přímku

svírající úhel přibližně 45 stupňů s kolmicí rovnoběžnou s osou stimulační cívky procházející středy jednotlivých pater.

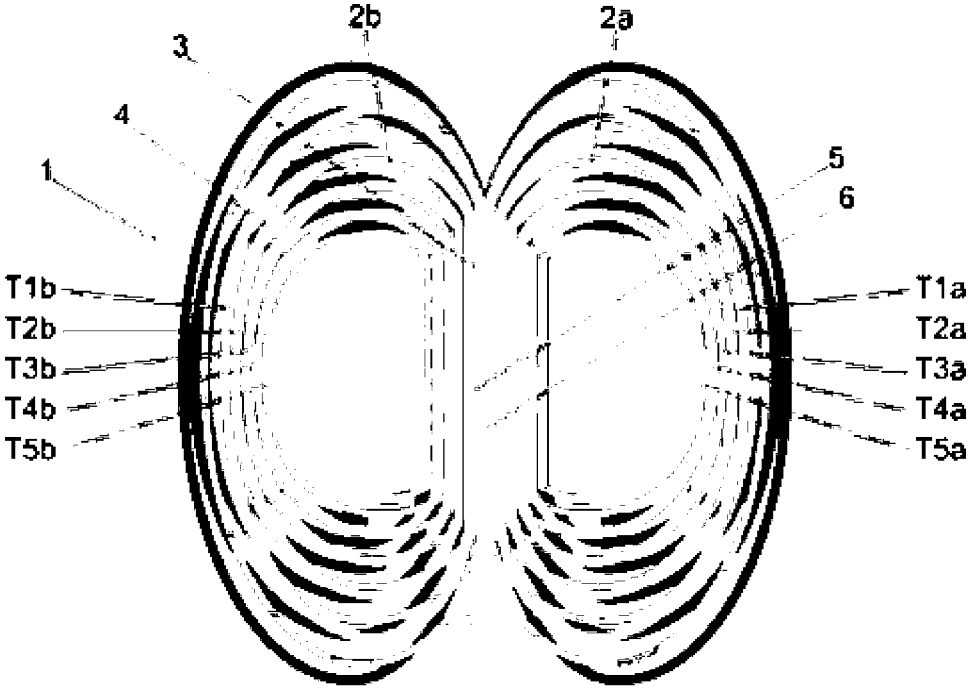
3 výkresy

Seznam vztahových značek:

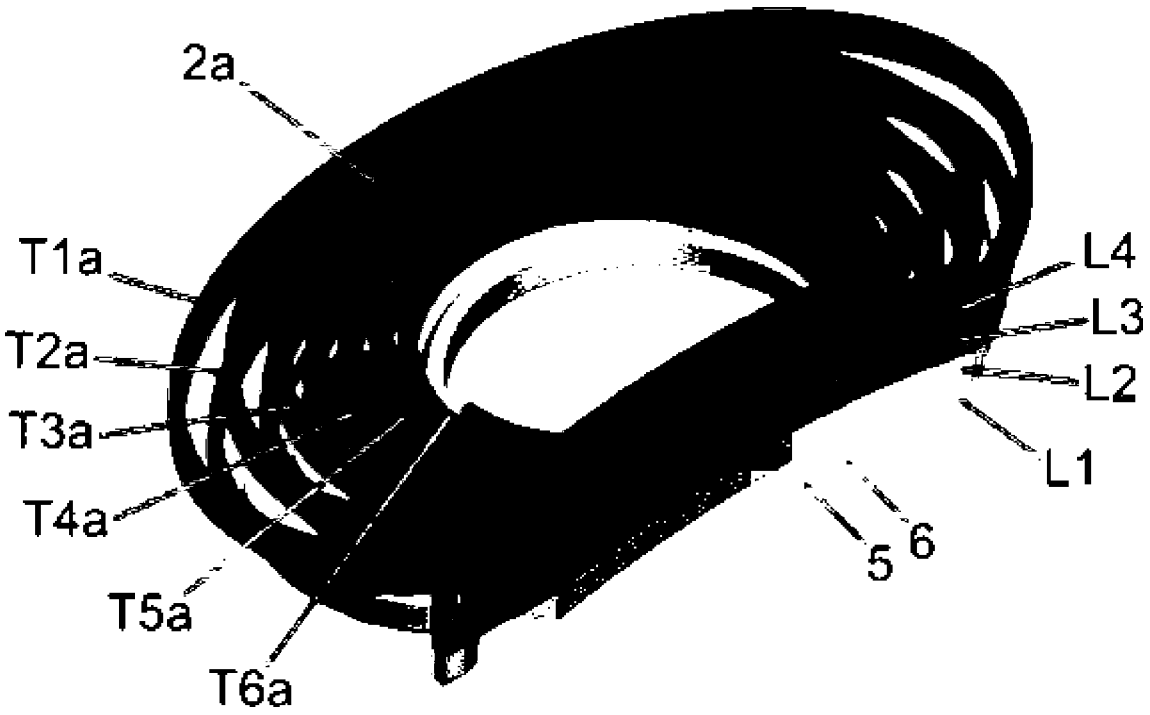
1 – cívka pro transkraniální magnetickou stimulaci
2a – levá polovina vinutí
2b – pravá polovina vinutí
3 – středová oblast
4 – zpětná oblast
5 – strana určená ke stimulaci
6 – konkávní prohlubeň
L1-L4 – patra cívky
T1a – T6a závity vodiče levé poloviny vinutí
T1b – T6b závity vodiče pravé poloviny vinutí


2a
2b
3
A
4
1
B
T1a
T2a
T3a
T4a
T5a
T6a
T1b
T2b
T3b
T4b
T5b
T6b
D
E
C

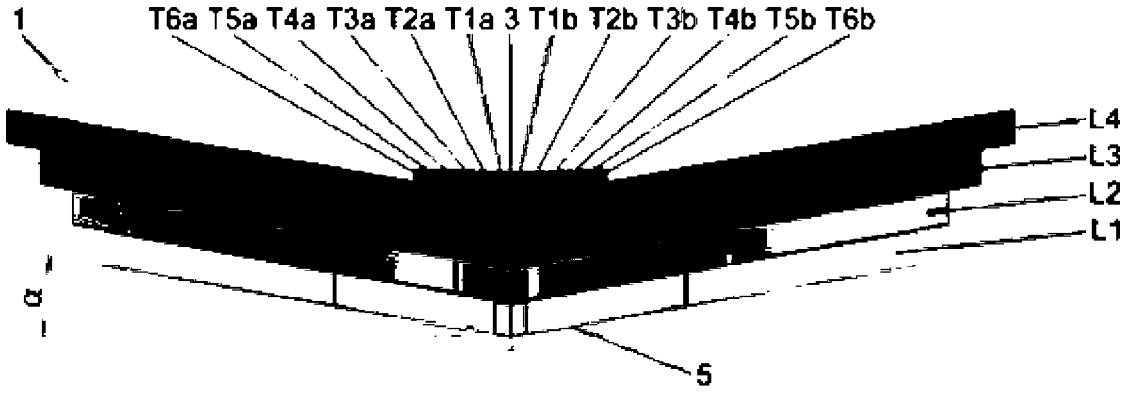
Obr. 1


2b
2a
3
4
1
5
6
T1b
T2b
T3b
T4b
T5b
T1a
T2a
T3a
T4a
T5a

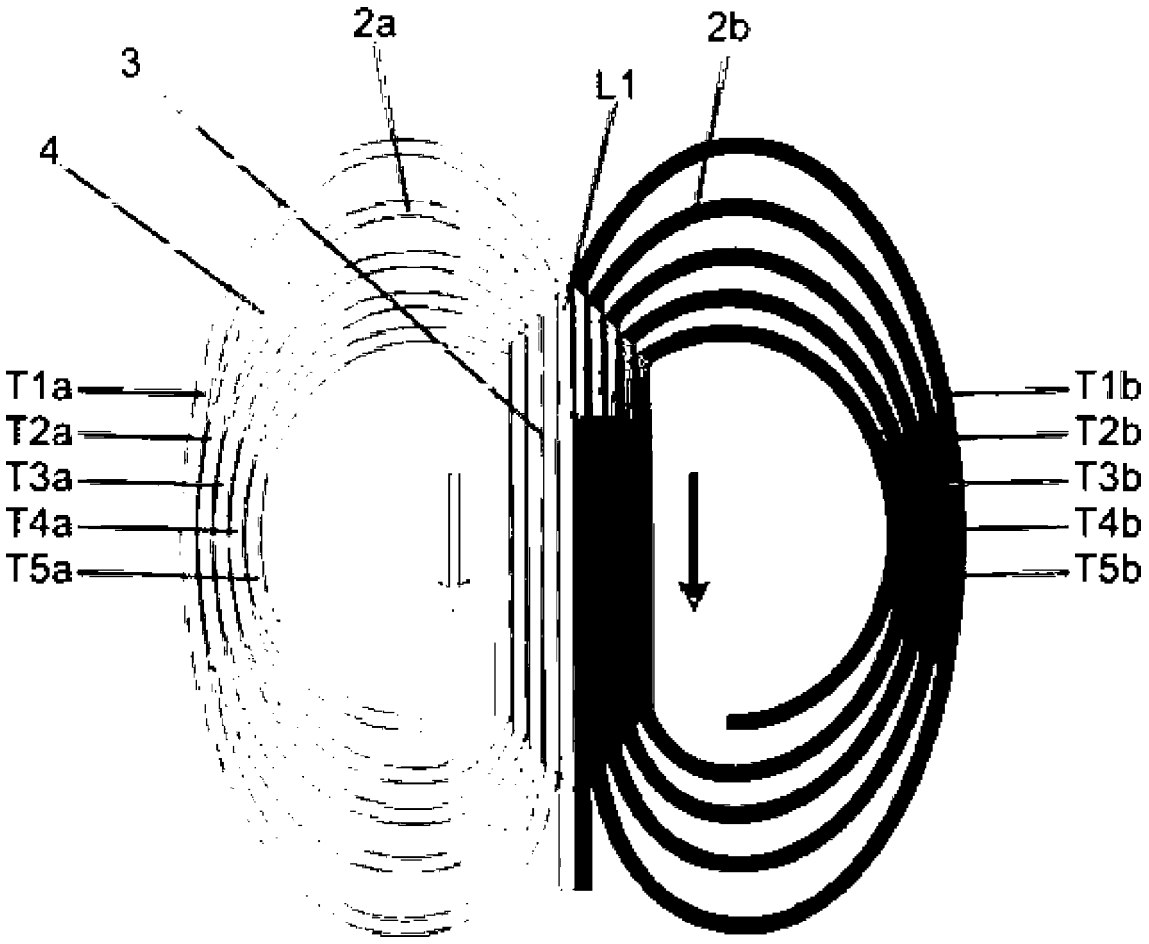
Obr. 2


2a
T1a
T2a
T3a
T4a
T5a
T6a
L4
L3
L2
L1
5
6

Obr. 3


1
T6a T5a T4a T3a T2a T1a 3 T1b T2b T3b T4b T5b T6b
L4
L3
L2
L1
α
5

Obr. 4



Obr. 5