

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2021-67

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

A61N 2/02

(2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **15.02.2021**

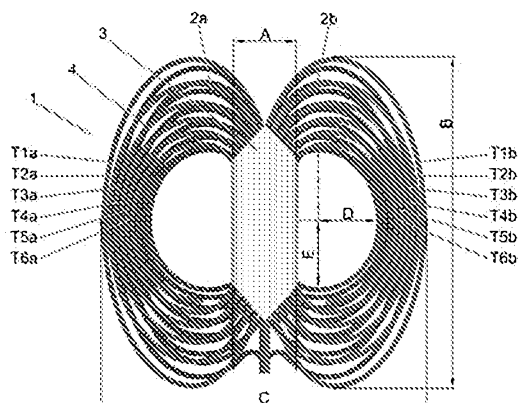
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **24.08.2022**
(Věstník č. 34/2022)

- (71) Přihlašovatel:
DEYMED Diagnostic s.r.o., Hronov, CZ
- (72) Původce:
Ing. Miroslav Moravec, Hronov, CZ
- (74) Zástupce:
Traplová Hakr Kubát, advokátní a patentová
kancelář, Ing. Jan Kubát, patentový zástupce,
Přístavní 531/24, 170 00 Praha 7, Holešovice

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.

- (54) Název přihlášky vynálezu:
Stimulační cívka pro magnetickou stimulaci

- (57) Anotace:
Stimulační cívka (1) pro stimulaci magnetickou
stimulací je použitelná zvláště výhodně pro
repetitivní transkraniální magnetickou stimulaci
rTMS. Tato stimulační 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 závitů (T1
až Tm) vinutí, ve středové oblasti (3) v obou
polovinách (2a, 2b) vinutí. Závitů (T1 až Tm)
vodiče jsou v každém patře (L1 až Ln) vinutí
uspořádány ve tvaru elipsy, přičemž elipsa alespoň
vnějšího závitu má poměrem poloměrů poloos v
rozmězí od 0,3 do 1,0, přičemž závitů vodiče vinutí
jsou uspořádány do středové oblasti, v níž jsou
uspořádány těsně vedle sebe, a do zpětné oblasti, ve



Stimulační cívka pro magnetickou stimulaci

Oblast techniky

Vynález se týká stimulační cívky použitelné jako cívka pro magnetickou stimulaci v neurofyzilogii a, zvláště výhodně, pro repetitivní transkraniální magnetickou stimulaci (rTMS) v psychiatrii.

Dosavadní stav techniky

Magnetická stimulace je v neurofyzilogii 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 μ s) aby došlo k depolarizaci buněčných membrán nervových buněk a tím k vyvolání elektrofyziologické odpovědi. Magnetická stimulace se používá k jednak diagnostickým účelům v neurofyzilogii, 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 stimulatorů 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 patrné 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, Pontifícia Universidade Católica 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-Ygaël, 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 těž neřeší stimulaci vedlejších hlavových svalů.

V dokumentech „Quantitative assessment of the focality of a double-D coil in the human brain, *Conference: 2017 XXXIIInd 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. Daneshmand, 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 stimulatoru o výkonu, který by nebylo možno odebrat z běžné elektrické přípojky. Již v současné době používané magnetické stimulatory mají elektrický příkon na hranici možnosti napájecí

elektrické sítě, neboť stimulace biologických tkání elektromagnetickou indukcí je energeticky velmi neefektivní.

- 5 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

- 10 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 stimulační cívka pro magnetickou stimulaci podle tohoto vynálezu.
- 15 Stimulační cívka podle tohoto vynálezu je založena na myšlence jejího rozdělení do dvou základních oblastí: 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 stimulačních cívek, kde se na vytváření magnetického pole podílí celá délka vodiče proporcionálně v celé své délce, je díky rozdělení
- 20 stimulační cívky 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 stimulační cívky pro vytvoření co nejsilnějšího magnetického pole v ohnisku pod jejím středem, přičemž zvláště výhodně jsou závity ve středové oblasti uspořádány v podstatě lineárně,
- 25 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 stimulační cívky podle tohoto vynálezu je, aby se ohnisko magnetického pole,
- 30 vyvolaného touto stimulační cívkou, nacházelo v hloubce cca 2 až 3 cm pod spodní stranou. 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
- 35 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
- 40 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 stimulační cívka 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
- 45 poměru mezi intenzitou magnetického pole v oblasti ohniska a na okrajích stimulační cívky. 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 stimulační cívky podle vynálezu z pater závitů, tvořících poloviny vinutí, s proporcionálně zvětšující se velikostí ve směru od strany určené pro stimulaci, tedy tak,
- 50 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 směřování magnetického pole do tohoto do ohniska. Podle zvláště výhodného provedení stimulační cívky podle vynálezu je rozšiřování jednotlivých závitů každého dalšího patra se v oblasti vrcholů delších poloos elipsy směrem od strany určené pro magnetickou stimulaci je
- 55 provedeno tak, že krajní body obvodů pořadím od středu odpovídajících závitů jednotlivých pater

tvorí přímku svírající úhel přibližně 45 stupňů s rovinou stimulace, jak je to zřejmé například pro vnější závit jednotlivých pater obou polovin vinutí stimulační cívky na obr. 4. Taková přímka se dá proložit krajními body obvodů i dalších závitů v jednotlivých patrech, avšak na obr. 4 nejsou vidět.

5

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 rozměru 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 stimulační cívka podle tohoto vynálezu své dvě poloviny vinutí naklopeny směrem od strany určené ke stimulaci 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 stimulační cívky podle tohoto vynálezu jsou na straně určené ke stimulaci závity ve středové oblasti zvláště výhodně upraveny do v podstatě kulové prohlubně 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 ke stimulaci k téměř libovolně individuálně tvarované lebce tak, aniž by nedošlo k dolehnutí pokožky hlavy k povrchu stimulační cívky na straně určené ke stimulaci, 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 stimulační cívky podle vynálezu se třemi patry,

40

obr. 2 je vyobrazen pohled zespodu na stimulační cívku z obr. 1,

obr. 3 je vyobrazen pohled v perspektivě na polovinu vinutí stimulační cívky podobné té z obr. 1, ale s čtyřmi patry,

45

obr. 4 je vyobrazen pohled ze strany na stimulační cívku se čtyřmi patry,

obr. 5 je pohled shora na spodní patro stimulační cívky z obr. 1.

50

Příklady uskutečnění vynálezu

Pro lepší pochopení stimulační cívky 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 popsání uskutečnění omezen, je omezen pouze

55

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 nárokováná v patentových nárocích mohou být použita v jakékoliv kombinaci. Výrazy jako pravá, levá se vztahují výhradně k vyobrazení stimulační cívký na výkresech a slouží pouze pro odlišení symetrických částí stimulační cívký podle vynálezu. Označení spodní a horní se vztahují k vyobrazení stimulační cívký, kde je za spodní stranu považována strana určená pro stimulaci, 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 stimulační cívký 1 podle tohoto vynálezu. Na tomto obrázku je středová oblast 3 stimulační cívký, 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 stimulační cívký 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 stimulační cívký se třemi patry má tato patra L1 až L3, pro stimulační cívký se čtyřmi patry má tato patra L1 až L4 atd. Obdélníkový profil je zvláště výhodný, protože umožní co nejtěsnější uspořádání závitů cívký 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 zakřivení závitů v dané polovině vinutí 2a, 2b. Závity T1a až T6a a T1b až T6b jsou v jednotlivých patrech L1 až Ln stimulační cívký 1 provedeny tak, že větší rozměr obdélníkového průřezu kabelu typu licna je orientován ve vertikálním směru, což je patrné např. z obr. 3. Stimulační cívký 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 stimulační cívký s feromagnetickým jádrem vyvolat. Druhotným důvodem je i možnost použití stimulační cívký v prostředí magnetické rezonance. Provedení stimulační cívký 1 se vzduchovým jádrem se sice jeví z výše popsaných důvodů jako výhodnější, neznamená to ale, že by stimulační cívký 1 byla na takové provedení omezena. Předpokládá se například použití stimulační cívký 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 stimulační cívký 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 stimulační cívký 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 stimulační cívký 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.

Stimulační 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 stimulační cívky 1 je 125 mm, šířka C stimulační cívky 1, tedy šířka obou polovin 2a, 2b vinutí stimulační cívky 1 vedle sebe a to včetně středové oblasti 3, je 124 mm, šířka A středové oblasti 3 stimulační 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 stimulační cívky 1, tedy závitu, který je nejbližší středu stimulační cívky 1, je 20 mm a délka E delší poloosy elipsy uvedeného vnitřního závitu T5b zpětné oblasti 4 spodního patra L1 stimulační cívky 1 je cca. 23 mm. Ve spodním prvním patře L1 každé z obou polovin 2a, 2b vinutí stimulační cívky 1, tedy v patře, jehož spodní strana tvoří stranu 5 určenou ke stimulaci, 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 stimulační 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 stimulační cívky tak, aby se zajistilo rozšiřování jednotlivých pater v úhlu cca. 45 stupňů. Je ale možné vytvořit stimulační cívku, u které se budou tyto poměry více či méně odlišovat.

Na obr. 2 je pohled na stimulační cívky 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 stimulační cívky 1 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 stimulační cívky 1, tedy v patře L1 nejbližší ke straně 5 stimulační cívky 1 určené ke stimulaci, a to pod středem stimulační cívky 1 tak, aby přibližně pokrývalo oblast motorického kortexu mozku.

Ve středové oblasti 3 stimulační cívky 1 jsou závity v jednotlivých patrech L1 až L3 prohnuty ve

směru od strany 5 určené ke stimulaci tak, že na straně 5 určené ke stimulaci 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 stimulační cívky 1 zajišťuje nejvyšší možnou intenzitu ve středové ose stimulační cívky 1, kterou je potřeba zajistit. Kulová prohlubeň 6 je vytvořena tak, že T1a až T5a a T1b až T5b v patře L1 a závitů T1a až T6a a T1b až T6b v patrech L2 a L3 stimulační 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 byly jakkoliv ovlivněny rozměry vodiče jednotlivých závitů, ležících v této oblasti. Jak je z vyobrazení stimulační cívky zřejmé, jsou 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 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 závitů, pro zajištění nejvyšší možné koncentrace vodičů a tím vytvoření co nejvyšší požadované intenzity magnetického pole v ohnisku stimulační cívky.

Na obr. 3 je znázorněna levá polovina vinutí 2a, která má šířku střední oblasti $\frac{1}{2}A$, avšak má čtyři patra L1 až L4.

Rozvolnění jednotlivých závitů v jednotlivých patrech vinutí ve zpětných oblastech 4 stimulační 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 závitů rozvolněny.

Na obr. 4 je znázorněn boční pohled na další provedení stimulační cívky 1 se čtyřmi patry L1 až L4. Vzhledem k podobnosti konstrukčních znaků se stimulační 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 určené k terapii. Tento sklon naklopení obou polovin 2a a 2b všech pater L1 až L4 významně neovlivňuje intenzitu ve středové ose stimulační 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 stimulační cívky 1, přičemž světlou barvou jsou zde vyobrazeny závitů T1a až T5a levé poloviny vinutí 2a, zatímco tmavou barvou jsou zde vyobrazeny závitů T1b až T5b pravé poloviny vinutí 2b.

Odborníkovi je zřejmé, že popsané znaky uskutečnění stimulačních cívek 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 stimulační cívky 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 stimulační cívka 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 stimulační cívky mohou pohybovat jak v rozsahu uvedených rozměrů, tak i mimo ně. Podle tohoto vynálezu rozhodně nejsou příklady možných uskutečnění stimulační cívky podle vynálezu uvedené v tomto popisu uvažovány tak, jako by zamýšlely omezit předmět vynálezu na tato uskutečnění, ani na zde popsané rozměry a podobné údaje. Předmět vynálezu je tak omezen pouze zněním patentových nároků.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Stimulační cívka (1) pro stimulaci magnetickou stimulací s vinutím rozděleným 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, **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, avšak tento směr otáčení je u každé poloviny (2a, 2b) vinutí opačný pro zajištění shodného směru proudu, procházejícího závitů (T1 až Tm) vinutí, ve středové oblasti (3) v obou polovinách (2a, 2b) vinutí,

- závitů (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 závitů 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,

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

2. Stimulační cívka podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** závitů jednotlivých pater (L1 až Ln) vinutí jsou ve středové oblasti (3) prohnuty pro vytvoření v podstatě kulové prohlubně (6) na straně (5) určené ke stimulaci s největší hloubkou v rozmezí od 0,5 do 1,5 cm.

3. Stimulační cívka podle nároku 2, **vyznačující se tím, že** kulová prohlubeň (6) má největší hloubku cca 1 cm.

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

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

6. Stimulační cívka podle nároku 5, **vyznačující se tím, že** obě poloviny vinutí jsou směrem od středové oblasti naklopeny o úhel cca 10 stupňů ve směru od strany určené pro provádění magnetické stimulace.

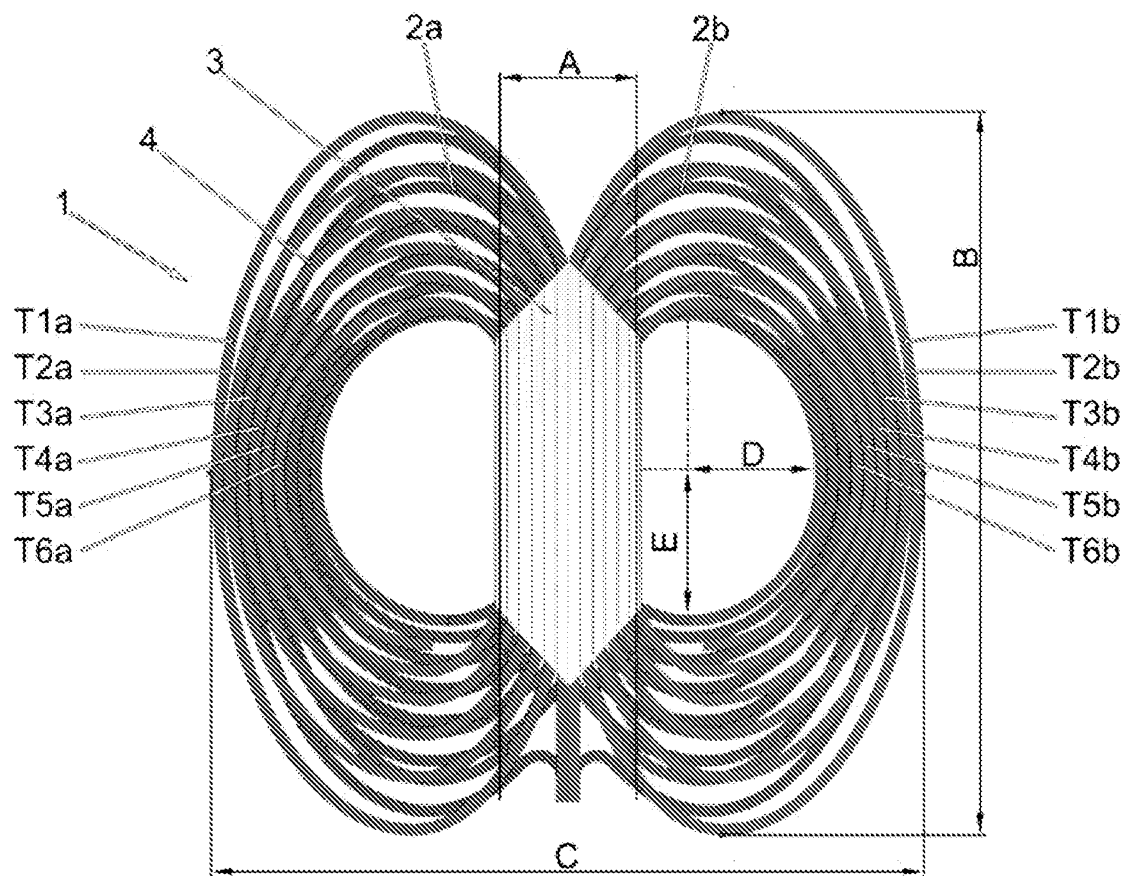
7. Stimulační cívka podle kteréhokoliv z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím, že** poměr poloos elipsy je cca 0,6 až 0,7.

8. Stimulační cívka podle kteréhokoliv z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím, že** každá polovina vinutí má 4 patra.

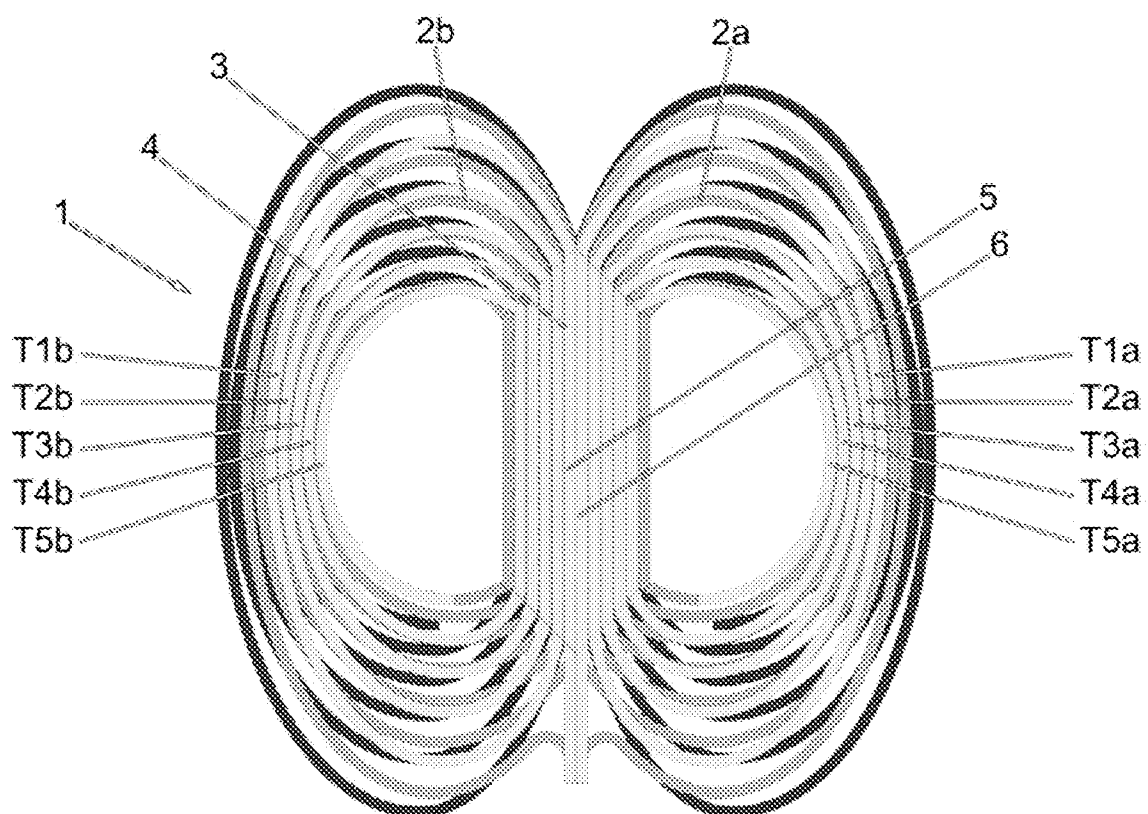
9. Stimulační cívka podle kteréhokoliv z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím, že** rozšiřování jednotlivých závitů každého dalšího patra se v oblasti vrcholů delších poloos elipsy směrem od strany určené pro magnetickou stimulaci je provedeno tak, že krajní body jejich obvodů tvoří přímku svírající úhel přibližně 45 stupňů s rovinou stimulace.

Seznam vztahových značek:

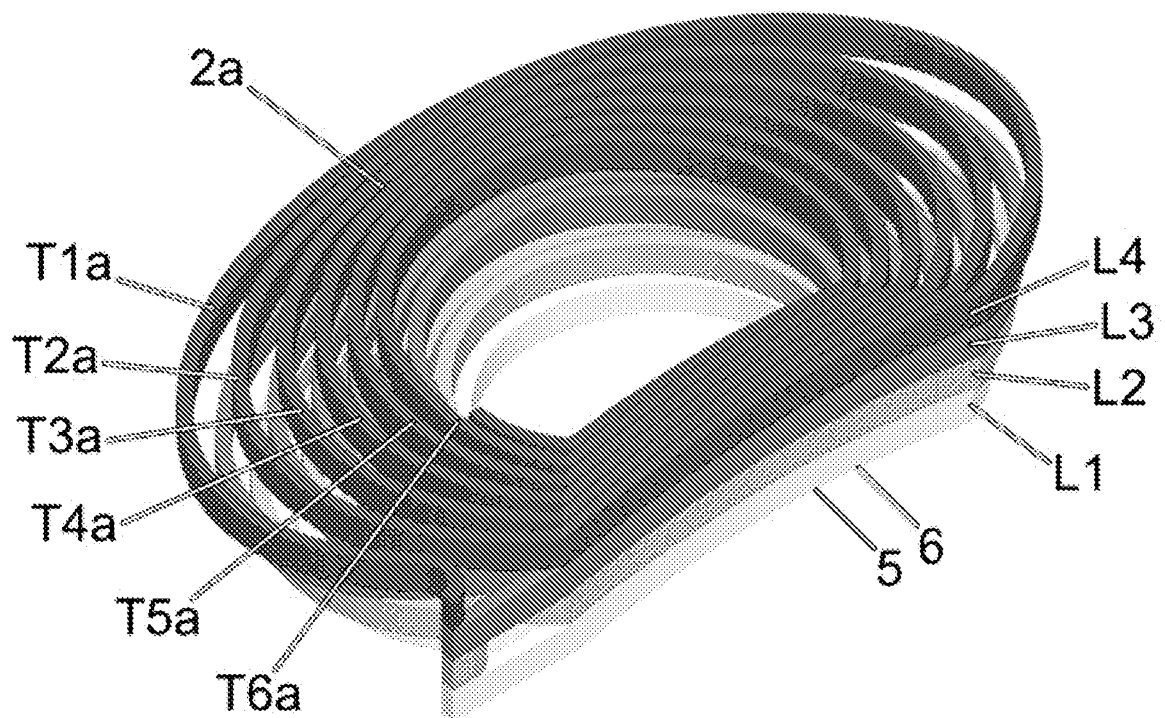
- 1 – stimulační cívka
- 2a – levá polovina vinutí
- 2b – pravá polovina vinutí
- 3 – středová oblast
- 4 – zpětná oblast
- 5 – strana určená ke stimulaci
- 6 – kulová prohlubeň
- L1–L4 – patra cívky
- T1a – T6a závity vodiče levé poloviny vinutí
- T1b – T6b závity vodiče pravé poloviny vinutí



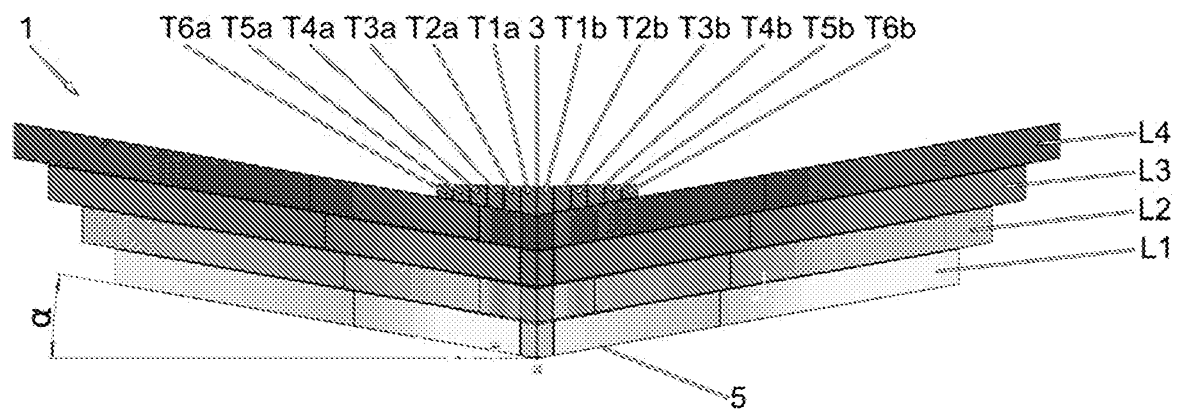
Obr. 1



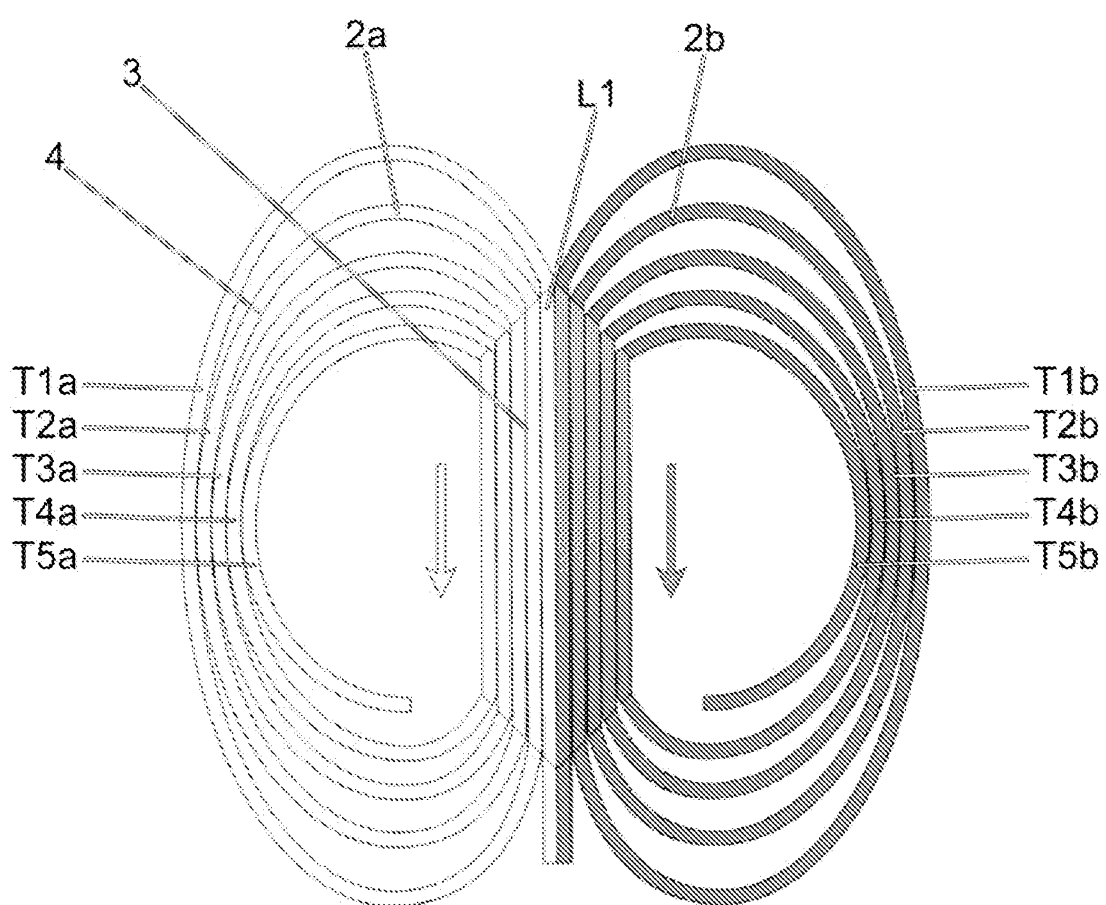
Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5