

PŘÍHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2002 - 1666

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **14.05.2002**

(32) Datum podání prioritní přihlášky: **15.05.2001**

(31) Číslo prioritní přihlášky: **2001/854931**

(33) Země priority: **US**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **12.02.2003**
(Věstník č. 2/2003)

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl. ⁷:

H 02 K 55/02

H 02 K 9/00

H 02 K 9/26

(71) Přihlašovatel:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady,
NY, US;**

(72) Původce:

**Laskaris Evangelos Trifon, Schenectady, NY, US;
Alexander James Pellegrino, Ballston Lake, NY, US;
Ackerman Robert Adolph, Schenectady, NY, US;**

(74) Zástupce:

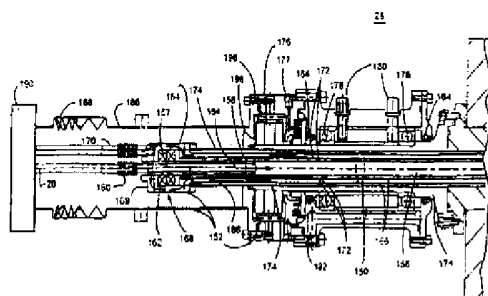
Švorčík Otakar JUDr., Hálkova 2, Praha 2, 12000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Synchronní stroj se spojkou pro přenos
kryogenního plynu do rotoru se supravodivými
cívkami**

(57) Anotace:

Spojka (26) chladicího média pro zajištění chladicího média pro rotor, který má supravodivé vinutí synchronního stroje a má zdroj kryogenního chladicího média, zahrnuje vstupní chladicí trubku (156) a výstupní chladicí trubku (166) v rotoru, které jsou koaxiální s rotorem. Vstupní chladicí trubka (156) má vstupní otvor chladného chladicího média (157) ze zdroje kryogenního chladicího média (190). Výstupní chladicí trubka (166) má výstupní otvor pro vrácení ohřátého chladicího média (164) z rotoru do zdroje. Stacionární těsnění (162) pohybové mezery odděluje vstupní a výstupní otvor spojky.



Synchronní stroj se spojkou pro přenos kryogenního plynu do rotoru se supravodivými cívkami

Oblast techniky

Stávající vynález se všeobecně týká supravodivé cívky u synchronního točivého stroje. Zejména pak se předkládaný vynález vztahuje ke spojce kryogenního plynu mezi zdrojem kryogenního média a rotorem stroje.

Synchronní elektrické stroje, které mají vinutí budících cívek zahrnují rotační generátory, rotační motory a lineární motory, ale nejsou na tuto skupinu omezeny. Tyto stroje obecně zahrnují stator a rotor, jež jsou elektromagneticky spojeny. Rotor může obsahovat jádro rotoru s více póly a cívková vinutí, namontovaná na jádru rotoru. Jádra rotoru mohou obsahovat magneticky permeabilní pevný materiál, jako například rotor se železným jádrem.

V rotorech synchronních elektrických strojů se běžně používá obyčejné měděné vinutí. Elektrický odpor měděného vinutí (třebaže je nízký podle běžných měřítek) je dostatečný pro to, aby přispěl k vydatnému zahřívání rotoru a ke snížení koeficientu účinnosti stroje. V poslední době byla pro rotory vyvinuta supravodivá vinutí cívek. Supravodivá vinutí nemají fakticky žádný odpor a jsou velmi výhodná jako vinutí rotorových cívek.

Rotory se železným jádrem se saturují při intenzitě magnetického pole ve vzduchové mezeře okolo 2 Tesla. Známé supravodivé rotory využívají konstrukce bez železného jádra, kde v rotoru není žádné železo, aby se dosáhlo ve vzduchové mezeře intenzity magnetického pole 3 Tesla nebo více, což zvyšuje výkonovou hustotu elektrického stroje a má za následek významné snížení váhy a velikosti stroje.

Supravodivé rotory bez železného jádra vyžadují velká množství supravodivého drátu, což zvyšuje počet požadovaných cívek, složitost nosníků cívek a cenu.

Vinutí vysokoteplotních supravodivých budících cívek jsou vytvářena ze supravodivých materiálů, které jsou křehké a musí být ochlazovány na nebo pod kritickou teplotu, například 27°K, aby se dosáhla a udržela supravodivost. Supravodivá vinutí mohou být vytvořena z vysokoteplotních supravodivých materiálů, jako je vodič se na základě BSCCO ($\text{Bi}_x\text{Sr}_x\text{Ca}_x\text{Cu}_x\text{O}_x$).

Supravodivé cívky jsou chlazeny pomocí tekutého hélia. Po průtoku vinutím cívky rotoru se ohřáté hélium vrací z vinutí jako plynné hélium o pokojové teplotě. Užívání tekutého hélia pro kryogenní chlazení vyžaduje nepřetržité opětné zkapalňování vraceného plynného hélia o pokojové teplotě. Takové opětné zkapalňování vytváří významné spolehlivostní problémy a vyžaduje významnou pomocnou energii pro opětovné kryogenní chlazení.

Starší způsoby chlazení supravodivých cívek zahrnují chlazení epoxidem impregnované supravodivé cívky cestou pevného vedení z kryochladiče. Alternativně mohou chladicí trubky v rotoru přivádět kapalnou a/nebo plynnou mrazicí směs do porézního vinutí supravodivé cívky, která je ponořena do proudu kapalné a/nebo plynné mrazicí směsi. Ponorné chlazení vyžaduje, aby celé budící vinutí a konstrukce rotoru byly na kryogenní teplotě. Následkem toho nemůže být v magnetickém obvodu rotoru použito žádné železo vzhledem ke křehkosti železa při kryogenních teplotách.

Spojka chladicího média je potřebná pro připojení stacionární jednotky kryogenního chlazení k rotoru a jeho supravodivým cívkám. Spojka musí přenášet vstupní a výstupní chladicí médium mezi pevným zdrojem a rotujícím koncovým hřídelem rotoru. V přenosových spojkách pro kryogenní chladicí systémy připojené k rotorům a jiným rotačním

částem se běžně používají kontaktní těsnění. Kontaktní těsnění mají zvětšené třecí ztráty, které snižují schopnost kryogenního chlazení a díky opotřeбенí těsnění omezují životnost a spolehlivost spojky. Při přenosu chladicího média do rotoru se také používá těsnění mezery relativního pohybu. Těsnění mezery relativního pohybu mají ale velké ztráty přenosem tepla. Pro omezení ztrát přenosem tepla do kryogenního plynu a pro zlepšení schopnosti kryogenního chlazení byly použity zvětšené vzdálenosti tepelného odstupu pro mezery relativního pohybu. Nicméně, tyto dlouhé vzdálenosti tepelného odstupu mají za následek dlouhé přečnívající trubky, které mohou nadměrně vibrovat a mohou začít drhnout o rotor generátoru. Existuje tudíž dlouho pociťovaná potřeba lepších spojek kryogenního plynu s rotorem.

Ztráty přenosem tepla vzhledem k systému chlazení kryogenním plynem pro vysokoteplotní supravodivé cívky by měly být minimalizovány, za účelem uchování chladicího výkonu. Spojka mezi stacionárním zdrojem kryogenního plynu a rotorem synchronního stroje je potenciálním zdrojem unikání kryogenního plynu. Pro minimalizaci úniku plynu ve spojce je žádoucí, aby byla minimalizována netěsnost mezi vstupními a vracejícími se toky plynu, a aby byla zajištěna adekvátní tepelná izolace mezi kryogenním plynem a okolními součástmi s teplotou okolí. Navíc by měla být životnost a vysoká spolehlivost přenosových spojek úměrná očekávané životnosti a spolehlivosti synchronního elektrického stroje.

Podstata vynálezu

Byly vyvinuty spojky chladicího plynu pro spojení zdroje kryogenního plynu (nebo chladicího média) s hřídelem rotoru v synchronním elektrickém stroji. Ochlazený kryogenní plyn (nebo jiné médium) je přepravován ze stacionárního kryochladiče přes stacionární bajonet do trubky, která se otáčí spolu s rotorem majícím vinutí

vysokoteplotní supravodivé cívky. Přenos chladícího plynu se děje za použití přenosového spoje kryogenního plynu, připojeného ke kolektorovému konci rotoru. Mezera relativního pohybu, vytvořená těsněním mechanické vůle okolo bajonetové spojky, omezuje průnik vstupního chladícího plynu do vracejícího se plynu s nižším tlakem a mezera relativního pohybu po celé délce rotující vratné trubice zajišťuje tepelnou izolaci pro vracející se kryogenní plyn.

V prvním provedení je vynálezem spojka chladícího média pro zajištění chladícího média pro rotor synchronního stroje se supravodivým vinutím a zdroj kryogenního chladícího média. Spojka zahrnuje vstupní chladicí trubku a výstupní chladicí trubku v rotoru, koaxiální s osou rotoru. Vstupní chladicí trubka má vstupní otvor připojený tak, že do něj přichází vstupní chladicí médium ze zdroje kryogenního chladícího média. Výstupní chladicí trubka má výstupní otvor připojený tak, že vrací chladicí médium z rotoru do zdroje. Rotující těsnění pohybové mezery odděluje vstupní otvor a výstupní otvor spojky.

V jiném provedení je vynálezem spojka chladícího média mezi rotorem pro synchronní stroj a zdrojem kryogenního chladícího média. Spojka zahrnuje: (i) rotační vstupní chladicí trubku a rotační výstupní chladicí trubku v rotoru, které jsou koaxiální s osou rotoru; (ii) vstupní chladicí trubka je připojena tak, že do ní přichází vstupní chladicí médium ze zdroje kryogenního chladícího média; (iii) výstupní chladicí trubka je připojena tak, aby vracela chladicí médium z rotoru do zdroje, a (iv) rotující těsnění pohybové mezery, které nese vstupní chladicí trubku ve výstupní chladicí trubce.

V dalším provedení je vynálezem spojka chladícího média mezi rotorem pro synchronní stroj a zdrojem kryogenního chladícího média. Tato spojka zahrnuje: (i) rotující vstupní chladicí trubku a rotující výstupní chladicí trubku v rotoru, které jsou koaxiální s osou rotoru; (ii) vstupní chladicí trubku, která je připojena tak, že do ní přichází vstupní

chladící médium ze zdroje kryogenního chladícího média; (iii) výstupní chladící trubku, která je připojena tak, aby vracela chladící médium z rotoru ke zdroji; (iv) rotující nekontaktní těsnění pohybové mezery, které nese vstupní chladící trubku ve výstupní chladící trubce; (v) stacionární třetí trubku obklopující výstupní chladící trubku a nesenou ložiskem a (vi) těsnění magnetickým polem nesoucí výstupní chladící trubku ve stacionární třetí trubce.

Přehled obrázků na výkresech

Příklad provedení vynálezu je popsán pomocí přiložených výkresů ve spojení s popisem vynálezu.

Obr. 1 je schématický bokorys synchronního elektrického stroje, které má supravodivý rotor a stator.

Obr. 2 je schématický diagram oválné supravodivé cívky, která má kanály pro chladící plyn.

Obr. 3 je schématický diagram s částečným pohledem v řezu na rotor, který má vinutí oválné supravodivé cívky;

Obr. 4 a 5 jsou řezy rotoru, který má vinutí oválné supravodivé cívky a koncové hřídele;

Obr. 6, 7 a 8 ukazují řezy kolektorového koncového hřídele rotoru.

Obr. 9 je schématický pohled v řezu na sestavu spojky pro přenos kryogenního plynu.

Příklady provedení vynálezu

Obr.1 zobrazuje příkladný synchronní generátor 10, který má stator 12 a rotor 14. Rotor 14 obsahuje vinutí 34 cívek, které je uloženo do válcové vakuové dutiny 16 statoru. Rotor 14 je uložen do válcové vakuové dutiny 16 statoru. Když se rotor 14 otáčí uvnitř statoru 12, magnetické pole 18 (vyznačeno tečkovanými čarami) generované rotorem a cívkami rotoru se pohybuje přes stator a vytváří ve vinutí 19 cívek statoru elektrický proud. Tento proud vystupuje z generátoru jako elektrická energie.

Rotor 14 má obecně podélně jdoucí osu 20 a obecně pevné jádro rotoru 22. Toto pevné jádro 22 má vysokou magnetickou permeabilitu a je obvykle vyrobeno z feromagnetického materiálu, jako je železo. V supravodivém stroji s nízkou výkonovou hustotou je železné jádro rotoru použito ke snížení magnetomotorické síly a tudíž k minimalizaci využívání vinutí cívk. Například, železo rotoru může být magneticky nasyceno v magnetickém poli vzduchové mezery o síle zhruba 2 Tesla.

Rotor 14 nese obecně podélně uložené vysokoteplotní supravodivé oválné vinutí 34 cívk. Vysokoteplotní supravodivé vinutí cívk může být alternativně cívka sedlovitého tvaru nebo může mít nějaký jiný tvar vinutí cívk, který je vhodný pro konkrétní návrh vysokoteplotního supravodivého rotoru. Zde popsaná spojka chlazení může být upravena pro konfigurace vinutí cívk a rotoru jiné než je oválná cívka, připevněná na pevné jádro rotoru.

Rotor má pár koncových hřídelí 24, 30, které drží jádro 22 a jsou neseny ložisky 25. Kolektorový koncový hřídel 24 obsahuje kolektorové kroužky 35 pro elektrické spojení s vinutím rotující supravodivé cívk. Kolektorový koncový hřídel 24 má kryogenní přenosovou spojku 26 na zdroj kryogenního chladicího média, používaného k chlazení supravodivého vinutí cívk v rotoru. Kryogenní přenosová spojka 26 obsahuje stacionární segment spojený se zdrojem kryogenního

chladicího média a rotační segment, který zajišťuje chladicí médium pro vysokoteplotní supravodivou cívku. Hnací koncový hřídel 30 může být poháněn hnací turbinou pomocí spojky 32.

Obr. 2 ukazuje příkladné vysokoteplotní supravodivé vinutí 34 oválné budící cívky. Supravodivé budící vinutí 34 rotoru obsahuje vysokoteplotní supravodivou cívku 36. Každá vysokoteplotní supravodivá cívka obsahuje vysokoteplotní supravodivý vodič, jako například BSCCO ($\text{Bi}_x\text{Sr}_x\text{Ca}_x\text{Cu}_x\text{O}_x$) vodiče laminované do pevné závitové kompozitové pásky impregnované epoxidem. Řadu BSCCO 2223 drátů je například možné laminovat, spojit dohromady a svinout do pevné cívky impregnované epoxidem.

Supravodivá cívka je typická vrstveně vinutá páska, která je impregnovaná epoxidem. Supravodivá páska je navinuta do přesné cívkové formy, aby se dosáhlo malých rozměrových tolerancí. Páska je navinutá dokola ve spirále, aby se vytvořila oválná supravodivá cívka 36.

Rozměry oválné cívky jsou závislé na rozměrech rotorového jádra. Obecně každá supravodivá oválná cívka obklopuje magnetické póly jádra rotoru a je paralelní s osou rotoru. Vinutí cívky je spojitě v celém tvaru cívky. Supravodivé cívky vytváří cestu elektrického proudu bez odporu okolo jádra rotoru a mezi magnetickými póly jádra. Tato cívka má elektrické kontakty 37, které elektricky spojují cívku s kolektorovými kroužky 35.

Ve vinutí 34 cívky jsou obsaženy chladicí kanály 38 pro kryogenní chladicí médium. Tyto kanály se mohou rozprostírat okolo vnější hrany supravodivé cívky 36. Tyto propouštěcí kanály přivádějí kryogenní chladicí médium k cívce a z této cívky odstraňují teplo. Chladicí médium, například helium, udržuje ve vinutí supravodivé cívky nízké teploty, např. 27°K, které jsou nutné k vyvolání supravodivých podmínek, včetně neexistence elektrického odporu v cívce. Chladicí

kanály mají na jednom konci rotorového jádra vstupní otvor 39 a výstupní otvor 41. Tyto otvory spojují chladicí kanály 38 na supravodivé cívce a kryogenní přenosovou spojkou 26 na opačném konci koncového hřídele 24.

Obr. 3 ukazuje rozložený pohled na jádro 22 rotoru a na nosný systém cívky pro vysokoteplotní supravodivou cívku. Tento nosný systém obsahuje tažné vzpěry 42, které jsou připojeny ke krytům cívky 44. Kryty 44 drží a nesou postranní části 40 vinutí 34 cívky v rotoru. I když je zobrazena jedna tažná vzpěra 42 a kryt 44 ve tvaru profilu U, bude nosný systém cívky obecně zahrnovat řadu tažných vzpěr 42, kde každá z nich má na obou koncích nosné kryty cívky. Tažné vzpěry 42 a kryty 44 ve tvaru profilu U předcházejí poškození vinutí cívky během chodu rotoru, podpírají vinutí cívky s ohledem na odstředivé a jiné síly a zajišťují ochranné stínění pro vinutí cívky.

Vinutí vysokoteplotní supravodivé cívky a konstrukční nosné součásti jsou na kryogenní teplotě. Naproti tomu jádro rotoru je na „horké“ teplotě okolí. Nosníky cívky jsou potenciálními zdroji vedení tepla, což by mohlo dovolit ohřev vysokoteplotních supravodivých cívek z rotoru. Rotor se během chodu ohřívá. Protože cívky jsou udržovány v podmínkách přechlazení, je nutné zamezit přívádění tepla do cívek. Vzpěry procházejí průchody 46 v rotoru, ale nejsou s rotorem v kontaktu, což omezuje vedení tepla z rotoru do tažných vzpěr a cívek.

Pro snížení přenosu tepla do cívky je nosník cívky minimalizován, aby se snížilo vedení tepla přes nosník ze zdrojů tepla, jako je jádro rotoru. Obecně existují dvě kategorie nosníků pro supravodivé vinutí: (i) „teplé“ nosníky a (ii) „studené“ nosníky. U teplých nosníků je nosná konstrukce tepelně izolována od chlazeného supravodivého vinutí. U teplých nosníků je většina mechanického zatížení cívky nesena konstrukčními členy rozpínajícími se od studených členů k teplým členům.

U studeného nosného systému je nosný systém na nebo blízko kryogenní teploty supravodivých cívek. U studených nosníků je většina mechanického zatížení supravodivé cívky nesena konstrukčními členy, které jsou na nebo blízko kryogenní teploty. Zde uvedený příklad nosného systému cívky je studený nosník, kde jsou tažné vzpěry a přináležející kryty, které spojují tažné vzpěry s vinutím supravodivých cívek, udržovány na nebo blízko kryogenní teploty. Protože jsou nosné členy studené, jsou tyto členy tepelně izolovány, například bezdotykovými průchody jádrem rotoru, od jiných „horkých“ součástí rotoru. Izolační trubky 52 oddělují tažné vzpěry 42 od stěn potrubí v jádru rotoru. Tyto trubky jsou vloženy do konců každého průchodu. Tažné vzpěry procházejí středem trubky. Izolační trubky 52 centrují tažné vzpěry v průchodech a zabraňují tomu, aby se teplo z horkého jádra rotoru přenášelo do chladných tažných vzpěr.

Konkrétní nosný člen sestává z tažné vzpěry 42 (kterou může být tyč a pár šroubů na každém konci tyče), z krytu 44 ve tvaru profilu U cívky a ze spojovacího kolíku 80, který spojuje kryt 44 s koncem tažné vzpěry 42. Každý kryt 44 ve tvaru profilu U je držák tvaru U mající ramena pro připojení k tažné vzpěře a profil pro uložení vinutí 34 cívky. Kryt ve tvaru profilu U dovoluje přesnou a pohodlnou montáž nosného systému pro cívku. Podél strany vinutí cívky může být umístěna řada krytů ve tvaru profilu U vedle sebe. Kryty ve tvaru profilu U cívky společně rozkládají síly, které působí na cívku, například odstředivé síly, v podstatě přes celé postranní části 40 každé cívky.

Spojovací kolík 80 prochází otvory v krytu cívky a tažné vzpěře. Tento kolík může být dutý, aby byl lehký. Na koncích spojovacího kolíku jsou našroubovány nebo připojeny pojistné matice 84, aby bezpečně upevnily kryt 44 a zabránily stranám krytu v rozevírání při zátěži. Spojovací kolík 80 může být vytvořen z vysoce pevných slitin niklu (Inconel) nebo titanu. Tažné vzpěry jsou vyrobeny s konci o větším průměru 82, které jsou obrobeny se dvěma plochými povrchy 86 na koncích, které odpovídají krytu a šířce cívky. Když jsou vzpěra, cívka a

kryt sestaveny dohromady, dosedají ploché konce 86 tažných vzpěr na tupo na vnitřní povrch vysokoteplotních supravodivých cívek. Tato sestava nosníku cívky zmenšuje koncentraci namáhání v otvoru v tažné vzpěře, kterým prochází kolík.

Jádro rotoru 22 je běžně vytvořeno z magnetického materiálu jako je železo, zatímco koncové hřídele rotoru jsou běžně vytvořeny z nemagnetického materiálu, jako je nerezavějící ocel. Koncové hřídele 24 a 30 mohou být vyrobeny z nerezavějící oceli. Jádro rotoru a koncové hřídele jsou obvykle samostatné součásti, které jsou sestaveny a bezpečně spojeny dohromady sešroubováním nebo svařením.

Železné jádro rotoru 22 má obecně válcový tvar vhodný pro otáčení v dutině rotoru 16 statoru 12. Pro umístění vinutí 34 cívky má jádro rotoru vybrané povrchy 48, jako jsou ploché nebo trojúhelníkové oblasti nebo drážky. Tyto povrchy 48 jsou vytvořeny v zakřiveném povrchu válcového jádra a táhnou se podélně přes jádro rotoru. Vinutí 34 cívky je namontováno na rotoru přilehle s vybranými povrchy 48. Cívky se obvykle táhnou podél vnějšího povrchu vybrané oblasti a kolem konců jádra rotoru. Vinutí cívek je umístěno ve vybraných površích 48 jádra rotoru. Tvar vybrané oblasti odpovídá vinutí cívky. Pokud má například vinutí cívky sedlovitý nebo nějaký jiný tvar, vybrání v jádru rotoru budou upravena tak, aby se do nich umístilo vinutí daného tvaru.

Koncové části 54 vinutí 34 cívky sousedí s opačnými konci 56 jádra rotoru. Dělená svěrka 58 drží každou z koncových částí vinutí cívky v rotoru. Dělená svěrka 58 na každém konci 54 cívky obsahuje pár protilehlých desek 60, mezi kterými je vloženo vinutí 34 cívky. Povrch desek 60 svěrky obsahuje kanály pro uložení vinutí cívky a přípojek 112 a 114 k vinutí.

Dělená svěrka 58 může být vytvořena z nemagnetického materiálu, jako je hliníková nebo niklová slitina. Stejně nebo podobné

nemagnetické materiály mohou být použity k vytvoření tažných vzpěr, krytů ve tvaru profilu U cívek a jiných částí nosného systému cívky. Nosný systém cívky je s výhodou nemagnetický, takže zachovává poddajnost v kryogenních teplotách, jelikož feromagnetické materiály v teplotách pod teplotou Curieova přechodu křehnou a nemohou se použít pro konstrukce nesoucí zátěž.

Dělená svěrka 58 je obklopena, ale není v kontaktu s nákrůžkem 62 každého koncového hřídele. Nákrůžek 62 je připojen k oběma koncům jádra 22 rotoru, přestože je na obr. 3 ukázán pouze jeden. Nákrůžek 62 je silný disk z nemagnetického materiálu, jako je nerezová ocel, stejného nebo podobného materiálu, ze kterého jsou vyrobeny hřídele rotoru.

Nákrůžek 62 má drážku 64 kolmou k ose rotoru a dostatečně širokou pro umístění dělené svěrky 58. Horké boční stěny 66 drážky nákrůžku jsou od chladné dělené svěrky 58 odděleny, takže spolu nepřijdou do kontaktu.

Obr. 4 a 5 jsou řezy rotoru, kde obr. 5 ukazuje v pohledu shora vinutí cívky okolo jádra rotoru a obr. 4 ukazuje pohled kolmý k obr. 5. Obr. 6, 7 a 8 jsou detailnější řezy kolektorovým koncovým hřídelem 24. Zejména tyto obrázky ukazují potrubí 76, které prochází kolektorovým koncovým hřídelem 24 rotoru. Potrubí 76 zajišťuje průchod pro chladicí trubky a elektrické kontakty, které se připojují k supravodivému vinutí. Potrubí 76 prochází koncovým hřídelem 24 od nákrůžku 62 až na opačný konec hřídele v přenosové spojce 26. Obr. 6 a 7 ukazují potrubí 76 blízko jádra rotoru 22 a koncového hřídele 24. Obr. 8 ukazuje zvětšený pohled na vstupní a výstupní chladicí otvory 39 a 41, které se připojují k vinutí 34 cívky.

Elektrické kontakty 37 z vinutí 34 cívky jsou připojeny k elektrickým vedením, která procházejí celou délkou koncového hřídele

24 směrem ke kolektorovému kroužku 35. Elektrická vedení procházejí potrubím 76 v hřídeli a jsou nesena uvnitř tenkostěnné trubky 174.

Vstupní a výstupní chladicí otvory 39 a 41 z cívky se připojují ke vstupním a výstupním chladicím trubkám 156 a 166, které procházejí po celé délce koncového hřídele. Vstupní trubka 156 prochází vstupním otvorem 39, který je koaxiální s osou rotoru. Výstupní otvor 41 pro chladicí plyn je posunut od osy rotoru a je připojen přes kryt přenosu plynu k prstencovité výstupní trubce 166. Výstupní trubka 166 je koaxiální se vstupní trubkou a je vně této trubky.

Obr. 9 ukazuje příkladnou přenosovou spojku 26, které má rotační hřídelové části 150 a stacionární části 152, které obklopují hřídelové části. Přenosová spojka připojuje koncový hřídel 24 rotoru k nehybnému zdroji kryogenního chladicího média, použitého ke chlazení vinutí supravodivých cívek v rotoru.

Chladný kryogenní plyn je přenášen ze stacionárního kryochladiče 190 (zobrazeno schematicky) přes stacionární bajonet 154 do vstupní trubky 156, která rotuje s hřídelem 24 rotoru. Šipky 157 směřující vpravo ukazují vstupní chladicí plyn procházející spojkou a tekoucí podél osy 20 rotoru směrem k vysokoteplotním supravodivým cívkám. Bajonet je koaxiální s osou 20 rotoru. Konec 158 bajonetu zajišťuje nekontaktní těsnění se vstupní trubkou 156. Opačný konec je připojen k ohebné trubce 160, která je připojena ke kryochladiči a tvoří zdroj vstupního chladicího plynu helia. Rotující těsnění 162 mezery relativního pohybu s těsněním mechanické vůle okolo bajonetu omezuje unikání vstupujícího chladicího plynu do nízkotlakého vracejícího se plynu.

Horký chladicí plyn (zobrazen šipkami 164 směřujícími vlevo) teče prstencem utvořeným mezi vstupní chladicí trubkou 156 a výstupní chladicí trubkou 166, která je koaxiální se vstupní trubkou. Horký

chladicí plyn prochází vinutími vysokoteplotní supravodivé cívky a odstraňuje teplo z těchto vinutí.

Horký chladicí plyn vychází z rotující výstupní trubky 166 a prochází mezi těsněním 162 mezery a nehybnou válcovitou skříní 168, která obklopuje těsnění mezery. Koncový disk 169 skříně má výstupní otvor posunutý od osy rotoru, ke kterému se připojuje zpětná ohebná trubka 170 pro přenos horkého kryogenního plynu z rotoru ke kryochladiči 190. Horký chladicí plyn vstupuje do ohebné trubky 170, která je připojena ke kryochladiči. Ohebná trubka je posunuta od osy 20 rotoru.

Všechny trubky 156 a 166 pro přenos kryogenního plynu mají vakuový plášť 172, aby byl minimalizován přenos tepla do plynu. Proud 164 vracejícího se plynu je tepelně izolován od okolní teploty po celé délce tenkostěnné trubky 174 pomocí malé mezery relativního pohybu (mezi tenkostěnnou trubkou 174 a rotující vakuově opláštěnou trubkou 166), aby byl minimalizován přenos tepla vedením. Další tepelná izolace je zajištěna vakuem vytvořeným v mezeře mezi tenkostěnnou trubkou 174 a válcovitým krytem 186.

Těsnění 176 z magnetické kapaliny na konci hřídele 174 zajišťuje nekontaktní spolehlivé těsnění tlakového plynového systému. Z vnějšího zdroje přichází proud vzduchu 177 sloužící jako oddělovač, který odděluje olej z ložisek 178 od magnetické kapaliny z magnetického těsnění, takže ložiskový olej nemůže s touto magnetickou kapalinou přijít do styku.

Spojka 26 pro přenos kryogenního plynu je nesena na hřídeli rotoru pomocí přesných ložisek 178, která omezují vibrace a házení přečnívající trubky, za účelem zabránění drhnutí těsnění a v mezerách relativního pohybu. Olejové trysky 180 zajišťují mazání pro ložiska. Odtok 182 oleje umožňuje odstranění starého a přebytečného

ložiskového oleje. Labyrintová těsnění 184 zabraňují úniku oleje z ložisek.

Válcovitý kryt 186 obklopuje bajonetový konec spojky 26 pro přenos kryogenního plynu a ohebné trubky 160 a 170. Kryt je připevněn k ohebným válcovitým měchům 188, které jsou spojeny s kryochladičem 190. Uvnitř krytu 186 je udržováno vakuum za účelem zajištění tepelné izolace mezi prostředím s teplotou okolí a ohebnými trubkami a plynovou přenosovou spojkou.

Těsnění 176 z magnetické kapaliny je uzavřeno ve válcovitém krytu 196 a je pomocí kroužků 198 ve tvaru O utěsněno vůči nerotačním částem spojky 26, aby se zabránilo úniku vracejícího se plynu.

Rotující trubky 156 a 166 jsou navzájem tepelně izolovány vakuovým pláštěm 172. Vstupní trubka 156 chladícího plynu je udržována odděleně od odvodu plynu nehybným těsněním 162 pohybové mezery (stejně jako dvojitými stěnami vstupní plynové trubky 156, které jsou vakuově opláštěny). Podobně je vakuově opláštěna 172 vnější rotující trubka s dvojitou stěnou (výstupní chladicí trubka 166) a je dále kryta v tenkostěnné nehybné trubce 174. Tyto vstupní a výstupní trubky 156 a 166 procházejí ze spojky do vstupních a výstupních otvorů 39 a 41 vinutí vysokoteplotní supravodivé cívky.

Pro zajištění těsnění toku plynu mezi rotačními a nehybnými částmi spojky 26 jsou použity nekontaktní těsnění mechanické vůle a těsnění z magnetické kapaliny, společně s přesnými ložisky a krátkými přečnávajícími trubkami s malými mezerami relativního pohybu. Tyto vlastnosti spojky 26 pro přenos plynu zabraňují zahřívání třením. Takové zahřívání třením se objevuje v kontaktním těsnícím systému díky drhnutí nebo vibraci. Další výhody nekontaktního těsnícího systému jsou dlouhá životnost spojky, vysoká spolehlivost plynových těsnění a nízké tepelné ztráty v plynové spojce.

Při činnosti je bajonetová trubka 154 spojky 26 pro přenos kryogenního plynu připojena ke zdroji kryogenního chladícího média prostřednictvím ohebné trubky 160. Podobně jsou výstupní trubka 166 a skříň 168 plynového těsnění spojeny s výstupní ohebnou trubicí 170. Kryt 186 kryogenního těsnění je připojen k válcovitému krytu spojky 26 pro přenos kryogenního plynu. V krytu 186 a ve vakuových pláštích 172 rotujících trubek je vakuum.

Chladicí plyn je většinou inertní plyn, jako je helium, neon nebo vodík. Teploty, které jsou vhodné pro vysokoteplotní supravodiče jsou běžně pod 30°K a pokud možno okolo 27°K . Kryogenní médium vychází z kryochladiče při teplotě okolo 27°K . Chladicí médium (šipka 157) teče ze vstupní ohebné trubky 160 přes bajonetovou trubku 154 a vstupní trubku 156 do rotoru a vinutí 34 vysokoteplotní supravodivé cívky.

Ochlazené kryogenní médium prochází průchody v rotoru a vchází do chladících kanálů 38 vysokoteplotní supravodivé cívky 36. Chladicí plyn odstraňuje teplo z vysokoteplotní supravodivé cívky a udržuje tuto cívku na dostatečně nízké teplotě pro dosažení supravodivých vlastností cívky. Chladicí potrubí mají vstupní a výstupní otvory 39 a 41 na jednom konci jádra rotoru, které jsou připojeny ke spojce 26 chladícího média.

Ztráty přenosem tepla do kryogenního plynu jsou minimalizovány, aby se šetřila chladicí energie a udržely nízké pracovní teploty potřebné pro supravodivou cívku. Tepelné ztráty jsou minimalizovány minimalizací úniku chladícího média a minimalizací přenosu tepla do kryogenního chladícího média.

Těsnění 162 mezery relativního pohybu je vytvořeno pomocí těsnění mechanické vůle okolo bajonetové trubky 154, které omezuje únik vstupního kryogenního plynu (šipka 157) do ven proudícího vracejícího se plynu (šipka 164) s nižším tlakem. Únik chladícího média má za následek přenos nežádoucí tepelné energie do chladícího

systému. Únik chladicího média se tedy redukuje, aby se zvýšila tepelná izolace a celková chladicí efektivita kryogenního chladicího systému.

Kromě úniku chladicího média je druhým zdrojem tepelné neefektivnosti vedení tepla z okolních součástí v rotoru. Aby byl minimalizován přenos tepla do kryogenního plynu, je vytvořena odpovídající tepelná izolace mezi kryogenním chladicím plynem a součástmi s teplotou okolí. Trubky 156 a 166 pro přenos kryogenního plynu jsou například vakuově opláštěny 172, aby byla zajištěna vysoká tepelná izolace.

Navíc, proud vracejícího se plynu (šipky 164) je tepelně izolován od okolní teploty pomocí tenkostěnných trubek 174 a vakuově opláštěnou trubkou 166 s malou mezerou relativního pohybu (mezi stacionární trubkou 174 a rotující vakuově opláštěnou trubkou 166), aby byl minimalizován přenos tepla vedením. Tyto vzdálenosti tepelného odstupu relativních pohybových mezer, například vakuově opláštěné mezery mezi trubkami, redukuje přenos tepla do kryogenního média a zvyšují kapacitu kryochladiče (pomocí redukce tepelných ztrát). Dlouhé tepelné odstupy mohou vyústit v dlouhé přečnávající trubky, které nadměrně vibrují a mohou způsobit drhnutí.

Nosný systém spojky 26 pro přenos kryogenního plynu je navržen tak, aby redukoval problémy spojené s vibracemi trubek. Spojka 26 je nesena na hřídeli rotoru přesnými ložisky 178, které omezují vibrace a házení přečnávajících trubek.

Vynález byl popsán ve vztahu k nejpraktičtějšímu a nejvýhodnějšímu provedení, avšak je zřejmé, že realizace není omezena pouze na toto provedení, ale naopak zahrnuje všechna provedení spadající do rozsahu přiložených nároků.

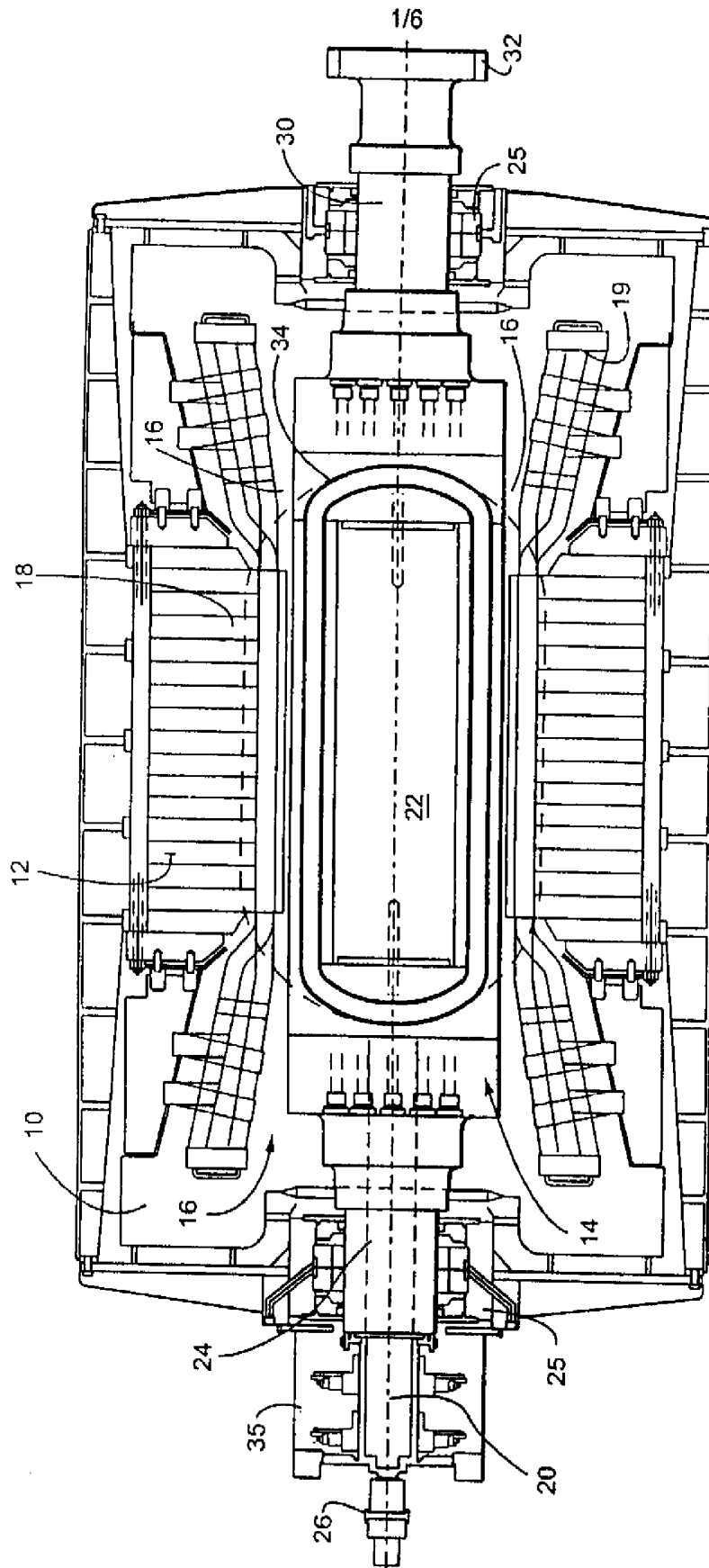
PATENTOVÉ NÁROKY

1. Spojka (26) chladicího média mezi rotorem (14) synchronního stroje (10) a zdrojem kryogenního chladicího média (190) **vyznačující se tím, že** obsahuje: rotující vstupní chladicí trubku (156) a rotující výstupní chladicí trubku (166) v rotoru, které jsou koaxiální s osou (20) rotoru; vstupní chladicí trubku (156), která má vstupní otvor pro vstup chladicího média ze zdroje kryogenního chladicího média (190); výstupní chladicí trubku (166), která má výstupní otvor pro vrácení chladicího média z rotoru do zdroje; a nehybné těsnění (162) pohybové mezery oddělující vstupní otvor od otvoru výstupního.
2. Spojka chladicího média podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje těsnění (176) z magnetické kapaliny.
3. Spojka chladicího média podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje vakuový plášť (172) mezi vstupní chladicí trubicí a výstupní chladicí trubicí.
4. Spojka chladicího média podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje bajonetovou trubku (154) procházející do vstupní chladicí trubky a tato bajonetová trubka je připojena ke zdroji kryogenního chladicího média (190).
5. Spojka chladicího média podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** kryogenní chladicí médium je plynné helium.
6. Spojka chladicího média podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje ohebnou trubku (170) posunutou od osy rotoru a připojenou k výstupní chladicí trubce a druhou ohebnou trubku (160) sousedící s první ohebnou trubicí a připojenou ke vstupní chladicí trubce, kde je druhá ohebná trubka koaxiální s osou rotoru.

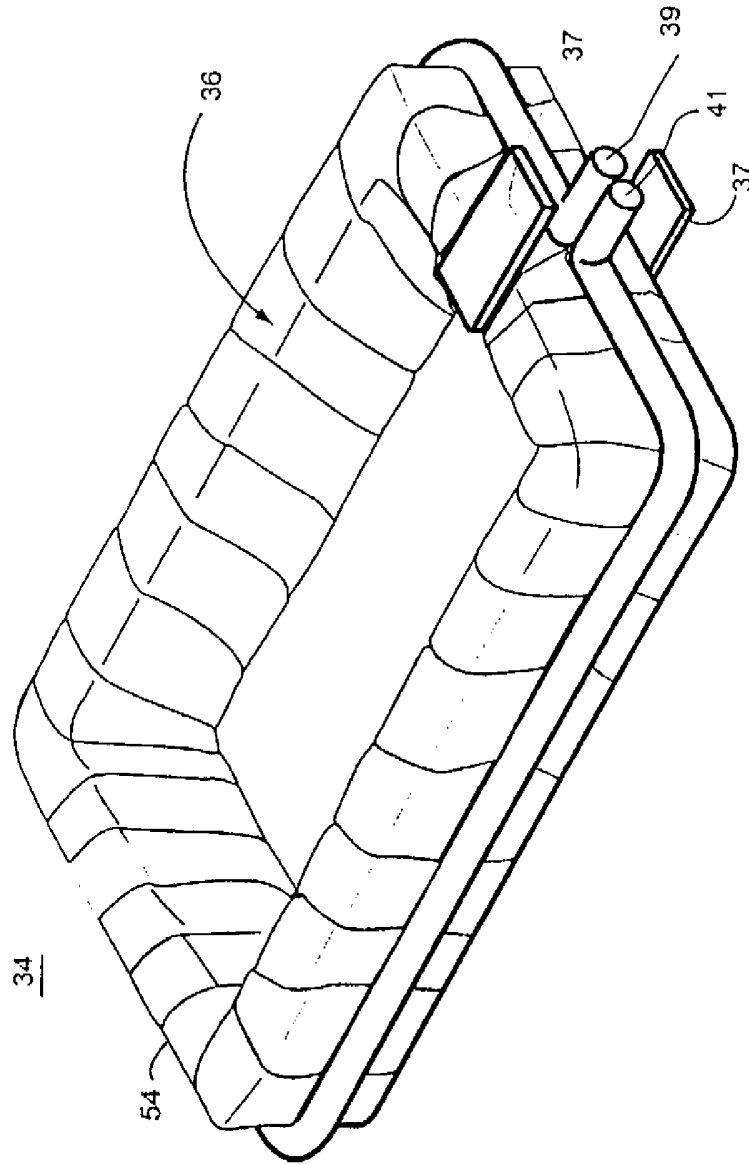
výstupní chladicí trubku (166) v rotoru, které jsou koaxiální s osou rotoru; vstupní chladicí trubku připojenou tak, aby do ní mohlo vstupovat vstupní chladicí médium ze zdroje kryogenního chladicího média; výstupní chladicí trubku připojenou tak, aby vracela chladicí médium z rotoru ke zdroji; rotující nekontaktní těsnění pohybové mezery nesoucí vstupní chladicí trubku ve výstupní chladicí trubce; třetí trubku obklopující výstupní chladicí trubku, přičemž tato třetí trubka je nesena ložiskem (178); a těsnění z magnetické kapaliny nesoucí výstupní chladicí trubku ve stacionární trubce.

14. Spojka chladicího média podle nároku 13 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje vakuový plášť mezi vstupní chladicí trubkou a výstupní chladicí trubkou.
15. Spojka chladicího média podle nároku 13 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje bajonetovou trubku procházející do vstupní chladicí trubky, přičemž tato bajonetová trubka je připojená ke zdroji kryogenního chladicího média.
16. Spojka chladicího média podle nároku 13 **vyznačující se tím, že** kryogenní chladicí médium je plynné helium.
17. Spojka chladicího média podle nároku 13 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje ohebnou trubku posunutou od osy rotoru a připojenou k výstupní chladicí trubce a druhou ohebnou trubku sousedící s první ohebnou trubkou a připojenou ke vstupní chladicí trubce, kde je druhá ohebná trubka koaxiální s osou rotoru.
18. Spojka chladicího média podle nároku 13 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje vakuový plášť mezi třetí trubkou a výstupní chladicí trubkou.
19. Spojka chladicího média podle nároku 13 **vyznačující se tím, že** třetí trubka je stacionární.

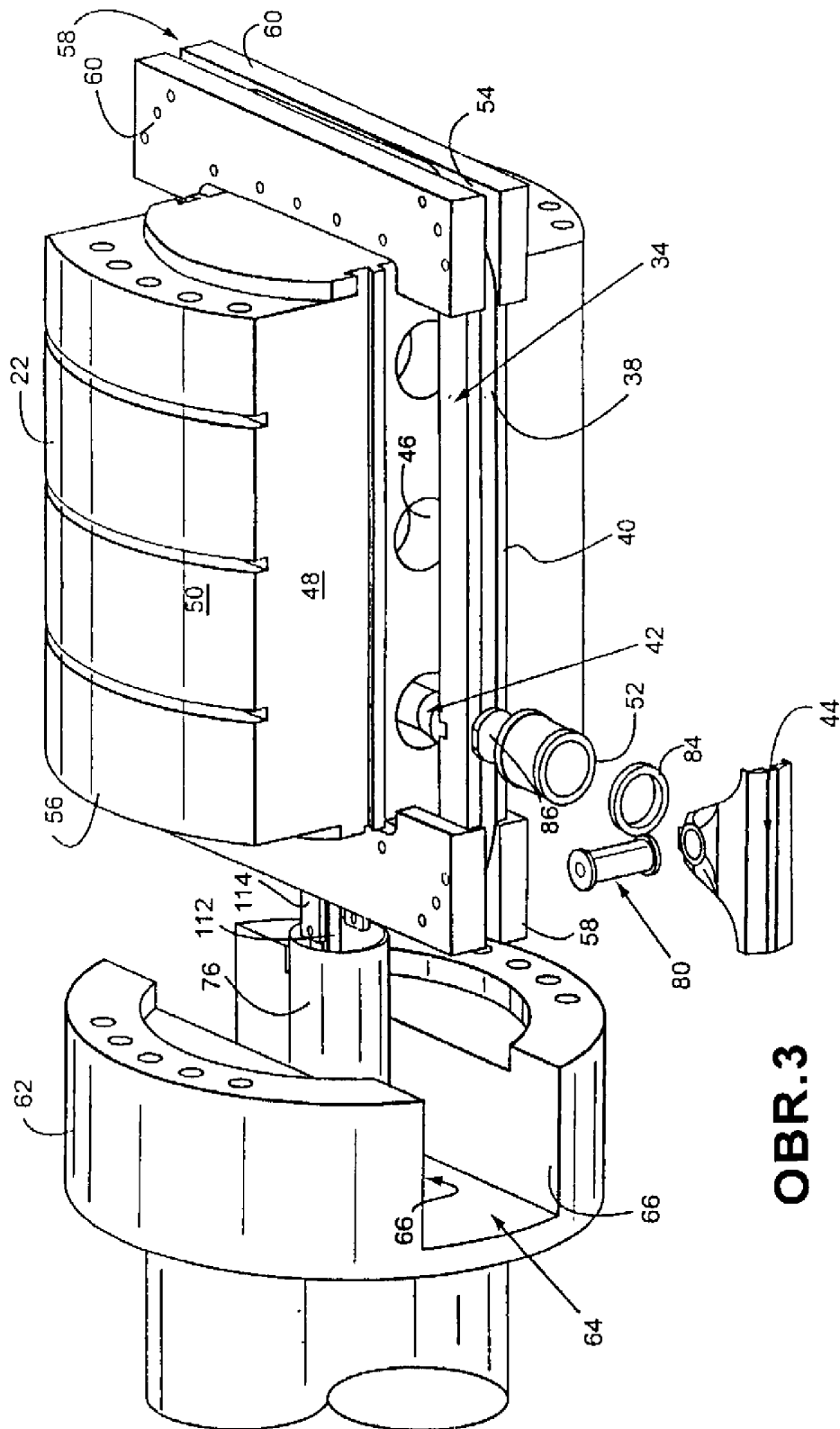
20. Spojka chladicího média podle nároku 13 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje vakuový plášť mezi vstupní chladicí trubicou a výstupní chladicí trubicou.



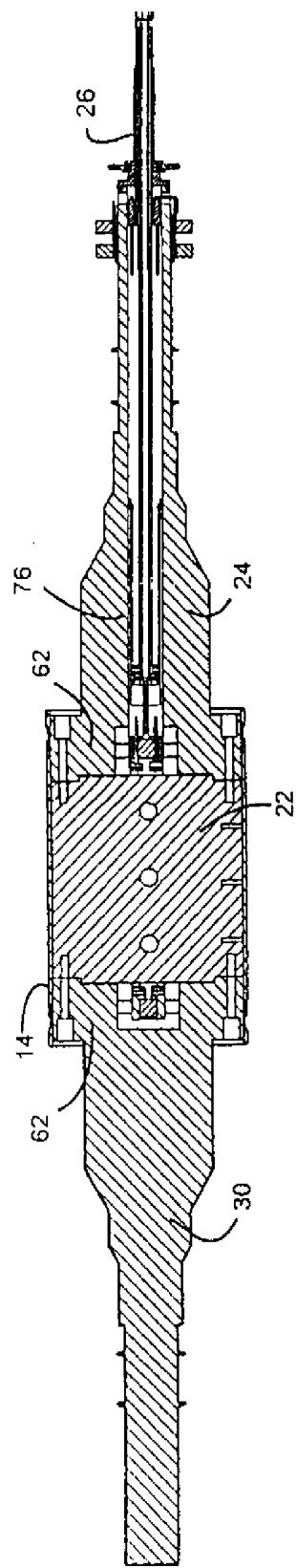
OBR.1



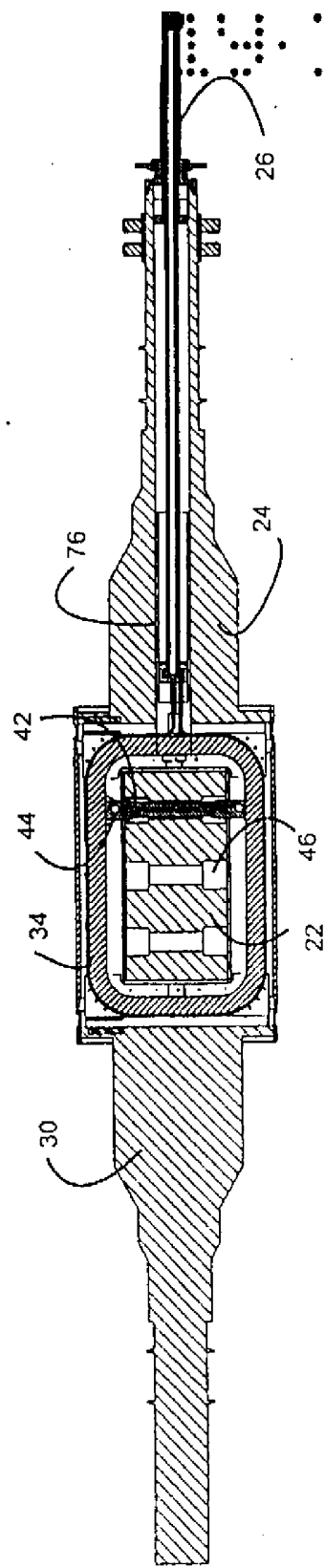
OBR.2



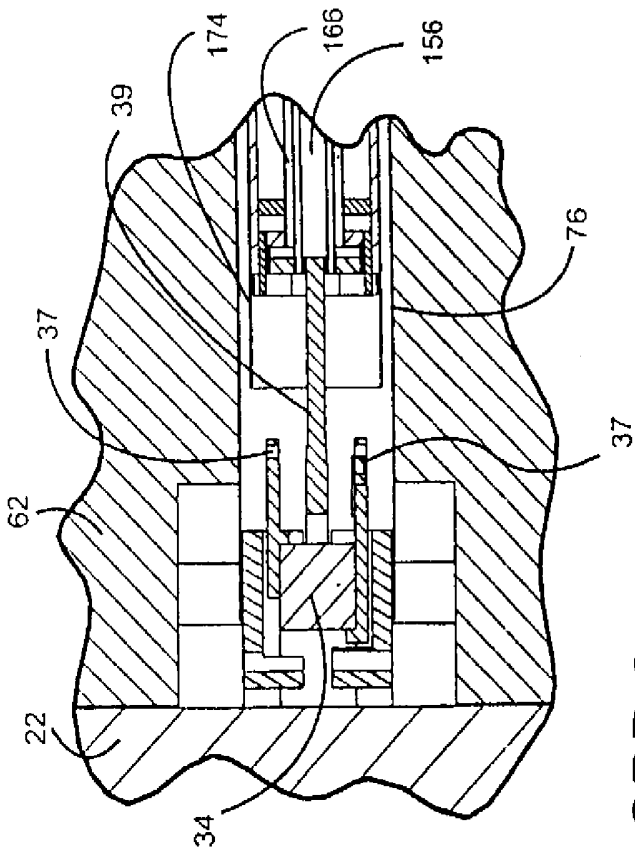
OBR.3



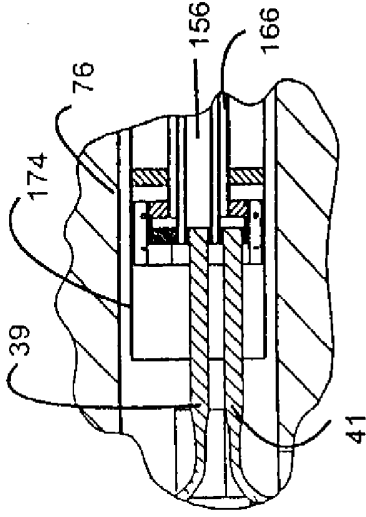
OBR.4



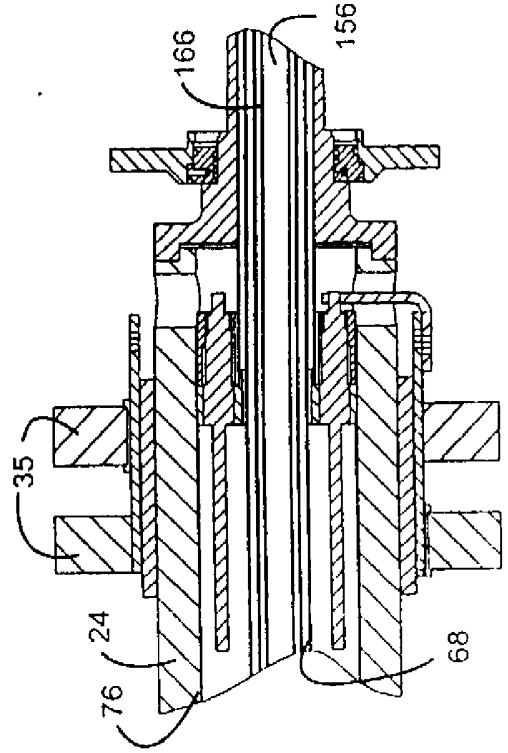
OBR.5



OBR.6

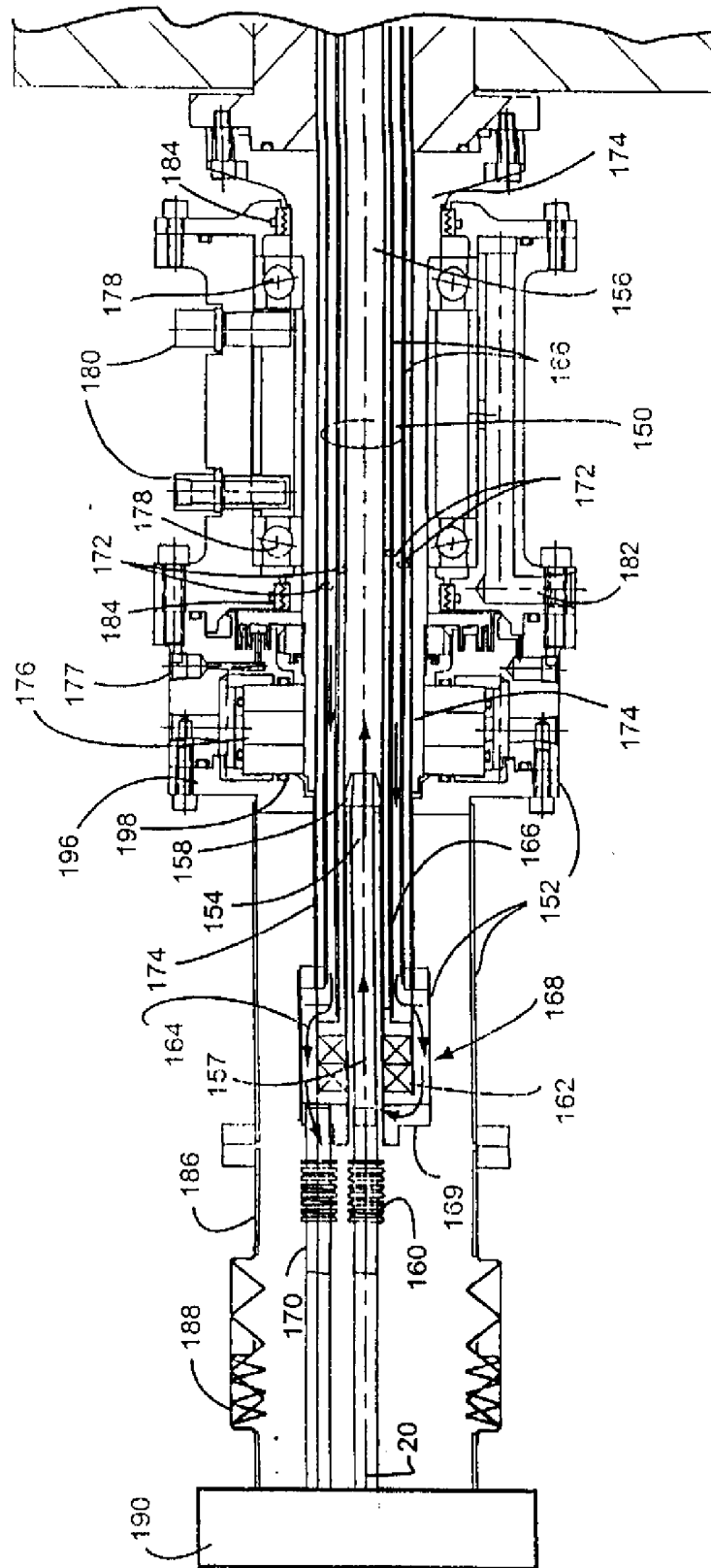


OBR.7



OBR.8

26



OBR.9