

PŘÍHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2002 - 1676

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **14.05.2002**

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

(31) Číslo prioritní přihlášky: **2001/854944**

(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 9/00

H 02 K 3/46

H 01 F 6/06

(71) Přihlašovatel:

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

(72) Původce:

**Dawson Richard Nils, Voorheesville, NY, US;
Wang Yu, Clifton Park, NY, US;
Laskaris Evangelos Trifon, Schenectady, NY, US;**

(74) Zástupce:

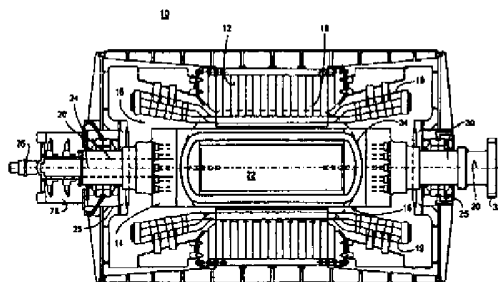
Švorčík Otakar JUDr., Hálkova 2, Praha 2, 12000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Supravodivý elektrický stroj s vysokou
výkonovou hustotou**

(57) Anotace:

Je vytvořen supravodivý elektrický synchronní stroj (10) s vysokou výkonovou hustotou obsahující: stator (12) mající konvenční statorové cívky uspořádané v prstenci kolem vakuové válcové dutiny, magneticky nasycené válcové magnetické pevné jádro (22) rotoru (14) a nosník supravodivé cívky (36), procházející jádrem (22) rotoru (14) a připevněný k protilehlým podélným stranám vinutí (34) supravodivé cívky (36).



Supravodivý elektrický stroj s vysokou výkonovou hustotou

Oblast techniky

Předkládaný vynález se všeobecně vztahuje k použití supravodivé cívky u supravodivého rotačního stroje s vysokou výkonovou hustotou. Podrobněji se předkládaný vynález vztahuje k synchronnímu stroji s obvyklým statorem a magneticky saturovaným pevným železným rotorovým jádrem majícím supravodivou cívku.

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 rotorové jádro s více póly a jedno nebo více cívkových vinutí, namontovaných na rotorovém jádru. Rotorová jádra 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. Tato vysoká magnetická pole ve vzduchové

mezeře dávají zvýšené výkonové hustoty elektrických strojů a mají za následek významné snížení váhy a velikosti stroje. Supravodivé rotory bez železného jádra vyžadují velká množství supravodivého drátu. Velká množství supravodivého drátu zvyšují počet požadovaných cívek, složitost nosníků cívek a cenu vinutí supravodivých cívek a rotoru.

Ačkoli se v průmyslu supravodivým rotorům s železným jádrem převážně nevěnovala pozornost, nabízejí rotory se železným jádrem určité výhody oproti rotorům se vzduchovým jádrem, jestliže pracují při saturaci magnetického pole pro zvýšení magnetického pole ve vzduchové mezeře a výkonové hustoty stroje. Výhodou je, že pro dosažení týchž výhod vysoké výkonové hustoty stroje v porovnání s rotorem se vzduchovou mezerou vyžaduje rotor s magneticky saturovaným železným jádrem podstatně méně supravodivého materiálu.

Vinutí vysokoteplotních supravodivých budících cívek jsou vytvářena ze supravodivých materiálů, které jsou křehké a musí být ochlazovány na nebo pod teplotu kritické teploty, 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 nebyly přizpůsobeny pro komerční použití v rotorech synchronních strojů. Byly učiněny pokusy začlenit supravodivé cívky do generátorů s vysokou výkonovou hustotou a jiných takových synchronních strojů. Potenciální výhody přidání supravodivých cívek ke strojům s vysokou výkonovou hustotou jsou malá váha a prostorově úsporné stroje. Tyto stroje s vysokou výkonovou hustotou typicky zahrnují rotor se vzduchovým jádrem a stator se vzduchovou mezerou bez železných zubů statoru. Stroje s vysokou výkonovou hustotou mají nicméně tendenci být drahé a komerčně nepraktické.

Supravodivé cívky, jejich nosníky a přidružené systémy chlazení jsou drahé a složité. Supravodivé cívky jsou drahý materiál, jako je například BSCCO. Tyto materiály jsou rovněž křehké. Nosné systémy cívky potřebné pro supravodivé cívky musí snášet obrovské síly vyskytující se v rotoru velkého synchronního stroje a chránit křehké cívky. Tyto nosné systémy navíc nesmějí přenášet značné teplo do kryogenicky chlazených cívek.

Kromě toho systémy chlazení, které dodávají kryogenní chladicí média jako je hélium, jsou složité a drahé. V souladu s tím jsou náklady a složitost zavedení supravodivých cívek do synchronních strojů vysoké. Aby se supravodivé cívky staly komerčně životaschopné, musí být s nimi spojené náklady značně sníženy pod výhody dosažené nahrazením obvyklých měděných cívek v rotoru cívkami supravodivými.

S rozvojem vysokoteplotních supravodivých materiálů se náklady na použití supravodivých cívek staly přijatelnějšími. Protože udržují supravodivé podmínky (včetně žádného odporu) při relativně vysokých teplotách, například 27°K , náklady na chlazení supravodivé cívky se podstatně snížily ve srovnání s náklady na chlazení původních supravodivých cívek, které se musely chladit při nižších teplotách. Stále ale ještě existuje potřeba snížit náklady na supravodivé cívky a nosné systémy cívek.

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

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 kapalně a/nebo plynně 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.

Je tedy zapotřebí vysokoteplotní supravodivý elektrický stroj, který je podstatně levnější než známé vysokoteplotní supravodivé stroje a má konkurenceschopnou cenu ve srovnání s existujícími stroji s měděnou cívkou. Aby se vysokoteplotní supravodivé stroje staly komerčně úspěšnými, musí být náklady konkurenceschopné s konvenčními měděnými stroji. Potenciální technické oblasti pro snižování nákladů dále zahrnují nosný systém cívky, návrh rotoru a modernizace existujících strojů vysokoteplotními supravodivými rotory. Dále je zapotřebí vylepšená sestava rotorového budícího vinutí pro elektrické stroje, která nemá nevýhody vzduchového jádra a kapalinou chlazených supravodivých sestav budícího vinutí, například známých supravodivých rotorů.

Vývoj nosných systémů pro vysokoteplotní supravodivé cívky byl složitý úkol při adaptaci supravodivých cívek do vysokoteplotních supravodivých rotorů. Příklady nosných systémů cívek pro vysokoteplotní supravodivé rotory, které byly navrženy dříve, jsou zveřejněny v U.S. patentech č. 5,548,168; 5,532,663; 5,672,921; 5,777,420; 6,169,353 a 6,066,906. Tyto nosné systémy cívek ale trpí různými problémy, jako například vysoká cena, složitost a nutnost velkého počtu součástek. Existuje tedy dlouho pocítovaná potřeba vysokoteplotního supravodivého rotoru, který má nosný systém pro

supravodivou cívku. Rovněž existuje potřeba nosného systému cívky, který je vytvořen z levných a snadno výrobitelných součástí.

Podstata vynálezu

Byl vyvinut vysokoteplotní supravodivý stroj s rotorem majícím supravodivé vinutí budící cívky, která se zdá být konkurenceschopná s existující měděnou cívkou strojů s nízkou výkonovou hustotou. Náklady lze snížit využitím rotoru s magneticky saturovaným pevným jádrem, konvenčního statoru a minimální nosné konstrukce cívky. Použitím těchto postupů byl vyvinut výkonný vysokoteplotní supravodivý stroj mající výhody supravodivé cívky. Navíc náklady na vytvoření takového vysokoteplotního supravodivého stroje mohou být dostatečně redukovány, takže stroj je hospodárný.

Vysokoteplotní supravodivý stroj zahrnuje konvenční stator a vysokoteplotní supravodivý rotor. Konvenční stator je konstruován pro velká magnetická pole ve vzduchové mezeře, která zajišťuje vysokoteplotní supravodivý rotor. Rotor zahrnuje těleso dvoupólového jádra, vytvořené z pevného magnetického materiálu jako je železo. Těleso rotorového jádra je obecně válcové a má obrobené ploché povrchy podélně s jeho délkou. Vysokoteplotní supravodivá cívka je namontována kolem těchto plochých povrchů a cívka má oválný tvar, který se rozprostírá kolem jádra. Ampérvávitý rotorové cívky jsou dostatečně velké pro magnetickou saturaci rotorového jádra a činnost stroje při velkých magnetických polích ve vzduchové mezeře.

Oválná cívka je nesena tažnými nosnými členy cívky, které procházejí tělesem rotoru s železným jádrem. Hnací a kolektorové hřídele jsou mechanicky připevněny k rotorovému jádru. Válcové plášťové elektromagnetické stínění obklopuje vysokoteplotní supravodivou cívku a těleso rotoru s železným jádrem.

Rotor se železným jádrem významně snižuje ampérvávitý budícího vinutí, využití supravodiče a náklady ve vztahu k rotorům se vzduchovým jádrem. Jedna vysokoteplotní supravodivá cívka oválného tvaru nahrazuje typická složitá sedlovitá vinutí cívky. Tažný nosník cívky zajišťuje přímé vyztužení vysokoteplotní supravodivé cívky, takže snižuje deformace cívky během ochlazování a odstředivého zatěžování. Navíc je nosný systém cívky na kryogenních teplotách společně s cívkou.

Vysokoteplotní supravodivý rotor může být implementován do stroje původně navrženého pro použití supravodivé cívky (cívek). Rotor a jeho supravodivá cívka jsou popsány v kontextu s generátorem, avšak rotor s vysokoteplotní supravodivou cívkou a nosník cívky, které zde jsou popsány, je vhodný také pro použití v jiných synchronních strojích.

V prvním provedení vynálezu je uveden synchronní stroj s vysokou výkonovou hustotou, který se sestává ze statoru majícího konvenční statorové cívky upravené do prstence kolem vakuové válcové dutiny, válcového magneticky saturovaného pevného rotorového jádra, vinutí oválné supravodivé cívky, které se rozprostírá kolem rotorového jádra a z nosníku cívky procházejícího jádrem a připevněného k protilehlým podélným stranám vinutí cívky.

Ve druhém provedení vynálezu je vytvořen synchronní stroj s vysokou výkonovou hustotou, který má rotační výkon nejméně 100 MVA a sestává z: konvenčního statoru majícího statorové cívky uspořádané v prstenci tvořícím vakuovou rotorovou dutinu, válcového magneticky saturovaného rotorového jádra majícího dvojici plochých částí na protilehlých stranách jádra a rozprostírajících se podél jádra a vinutí supravodivé cívky rozprostírajícího se alespoň kolem jedné části rotorového jádra, kde vinutí cívky má pár postranních částí přilehlých k plochým částem jádra.

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 perspektivní pohled na příklad oválného supravodivého vinutí cívky.

Na obr.3 je rozložený pohled na součástky vysokoteplotního supravodivého rotoru.

Příklady provedení vynálezu

Obr. 1 zobrazuje příkladný synchronní generátor 10, který má stator 12 a rotor 14. Rotor 14 obsahuje vinutí budících cívek, které je uloženo do válcové rotorové vakuové dutiny 16 statoru. Stator 12 zahrnuje konvenční statorové vinutí 19. Toto vinutí je uspořádáno v prstenci kolem vakuové dutiny rotoru. Vinutí jsou navzájem oddělena úzkými vzduchovými mezerami vyplněnými nekovovými zuby pro konstrukční vyztužení. Proto se stator nazývá stator „se vzduchovou mezerou“. Alternativně mohou být mezery mezi statorovým vinutím vyplněny železnými zuby za účelem zlepšení koncentrace magnetického toku v cívkovém vinutí statoru. Stator se vzduchovými mezerami a stator se železnými zuby jsou dobře známy.

Rotor 14 je uložen do rotorové vakuové dutiny 16 statoru. Když se rotor otáčí uvnitř statoru, magnetické pole 18 (znázorněné tečkovanými

čarami) generované rotorem a cívkami rotoru se pohybuje/otáčí přes stator a vytváří elektrický proud ve vinutí statorových cívek. 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 vysokou výkonovou hustotou je železné jádro rotoru použito v magneticky nasyceném stavu ke snížení magnetomotorické síly a tudíž k minimalizaci množství supravodivého drátu, který je potřebný pro vinutí cívky. Pevné železné jádro rotoru může být například magneticky nasyceno při síle magnetického pole zhruba 2 Tesla nebo více.

Rotor 14 nese alespoň jedno podélně uložené vinutí 34 oválné vysokoteplotní supravodivé cívky (viz. obr. 2). Nosný systém cívky je zde popsán pro vinutí jedné supravodivé oválné cívky. Nosný systém cívky může být upraven pro konfigurace cívky jiné než je jednoduchá oválná cívka připevněná na pevné jádro rotoru, jako je například konfigurace vícenásobné oválné cívky.

Rotorové jádro je neseno koncovými hřídeli připevněnými k jádru. Rotor obsahuje kolektorový koncový hřídel 24 a hnací koncový hřídel 30, které jsou nesené ložisky 25. Tyto koncové hřídele mohou být spojeny s vnějšími zařízeními. Kolektorový koncový hřídel 24 obsahuje kolektorové kroužky 78 pro zajištění vnějšího elektrického připojení k supravodivé cívkce rotoru. Kolektorový koncový hřídel 24 má také kryogenní přenosovou spojku 26 na zdroj kryogenní chladicí kapaliny, používané k chlazení vinutí supravodivé cívky v rotoru. Kryogenní přenosová spojka 26 obsahuje stacionární segment spojený se zdrojem kryogenní chladicí kapaliny a rotující segment, který zajišťuje chladicí kapalinu pro vysokoteplotní supravodivou cívku. Hnací koncový hřídel 30 rotoru může být poháněn hnací turbinou pomocí spojky 32.

Obr. 2 ukazuje příkladné vysokoteplotní supravodivé vinutí 34 oválné budící cívky. Supravodivé vinutí 34 budící cívky rotoru obsahují vysokoteplotní supravodivou cívku 36. Každá 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 pevného závitového kompozitu impregnovaného epoxidem. Řadu BSCCO 2223 drátů je například možné laminovat, spojit dohromady a svinout do pevné cívky impregnované epoxidem.

Supravodivý drát je křehký a lehce poškoditelný. 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 na opačných koncích 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 114, které elektricky spojuje cívku s kolektorem 78.

Ve vinutí 34 cívky jsou obsaženy kapalinové kanály 38 pro kryogenní chladicí kapalinu. Tyto kapalinové kanály 38 se mohou rozprostírat okolo vnější hrany supravodivé cívky 36. Tyto propouštěcí kapalinové kanály 38 přivádějí kryogenní chladicí kapalinu k cívce a z této cívky odstraňují teplo. Chladicí kapalina 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 vstupní a výstupní kapalinový otvor 112 na jednom konci jádra rotoru. Tyto kapalinové (plynové) otvory 112

spojují chladicí kanály 38 na supravodivé cívce s kryogenní přenosovou spojkou 26.

Každé vysokoteplotní supravodivé vinutí oválné cívky 34 má pár obecně rovných postranních částí 40, které jsou rovnoběžné s osou rotoru 20 a pár koncových částí 54, které jsou na osu rotoru kolmé. Postranní části cívky jsou vystaveny největším odstředivým silám. Tyto postranní části jsou tudíž podpírány nosným systémem cívky, který paralyzuje odstředivé síly působící na cívku.

Obr. 3 znázorňuje rozložený pohled na jádro 22 rotoru a nosný systém cívky pro vysokoteplotní supravodivou cívku. Nosný systém zahrnuje tažné vzpěry 42 připojené ke krytu cívky ve tvaru U na protilehlých stranách každé vzpěry. Kryty cívky nesou a podpírají postranní části vinutí 34 cívky v rotoru. I když je na obr.3 znázorněna jedna tažná vzpěra 42, bude nosný systém cívky obecně zahrnovat řadu tažných vzpěr s kryty na koncích každé vzpěry. Tažné vzpěry a kryty cívky chrání vinutí cívky před poškozením během chodu rotoru, nesou vinutí cívky vzhledem k odstředivým a jiným silám a vytvářejí ochranné stínění pro vinutí cívky.

Hlavní zátěž vinutí 34 vysokoteplotní supravodivé cívky v rotoru s železným jádrem pochází z odstředivého zrychlení během otáčení rotoru. Pro neutralizaci odstředivých sil cívky je potřeba efektivní nosná konstrukce. Nosník cívky je potřeba obzvláště podél postranních částí 40 cívky, na které působí největší odstředivé zrychlení. Pro podpírání postranní části cívky se tažné vzpěry 42 rozpínají mezi částmi cívky a jsou připojeny ke krytům 44 cívky, které sevřou protilehlé části cívky. Tažné vzpěry 42 procházejí průchody 46, například otvory, v jádru rotoru tak, že se tažné vzpěry 42 mohou rozepnout mezi postranními částmi stejné cívky nebo mezi sousední cívkou.

Průchody 46 jsou obecně válcovité kanály v jádru rotoru, které mají přímé osy. Průměr průchodů 46 je v podstatě konstantní, vyjma konců blízko povrchů rotoru opatřených vybráním. Na koncích se mohou průchody 46 rozšířit do většího průměru, aby se přizpůsobily izolační trubici 52, která zajišťuje kluznou dosedací plochu a tepelnou izolaci mezi jádrem 22 rotoru a tažnou vzpěrou 42.

Osy průchodů 46 jsou obecně v rovině definované oválnou cívkou. Kromě toho jsou osy průchodů 46 kolmé na postranní části cívky, ke kterým jsou připojeny tažné vzpěry 42, procházející průchody 46. Navíc jsou v uvedeném provedení průchody 46 ortogonální k ose rotoru a přetínají ji. Počet průchodů 46 a jejich umístění záleží na umístění vysokoteplotních supravodivých cívek a na počtu krytů cívek potřebných k nesení postranních částí cívek.

Tažné vzpěry 42 nesou cívku zejména dobře vzhledem k odstředivým silám, protože vzpěry jdou v podstatě radiálně k vinutí cívky. Každá tažná vzpěra 42 je tyč, která je spojitá v podélném směru a v rovině oválné cívky. Podélná spojitost tažných vzpěr zajišťuje cívkám příčnou tuhost, což je pro rotor dynamicky výhodné. Příčná tuhost navíc dovoluje integraci nosníku cívky s cívkami, takže cívka může být s nosníkem smontována před konečnou montáží rotoru. Toto předsestavení cívky a nosníku cívky zkracuje výrobní cyklus, zlepšuje kvalitu nosníku cívky a zmenšuje odchylky při montáži cívky. Oválná cívka je nesena řadou tažných členů, které se rozpínají mezi dlouhými stranami cívky. Tažné vzpěry 42 jako nosné členy cívky jsou s cívkou předem smontovány.

Vysokoteplotní supravodivá cívka 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. Tažné vzpěry procházejí otvory, například průchody v rotoru, ale nejsou s rotorem v kontaktu, což zamezuje vedení tepla z rotoru do tažných vzpěr a cívek.

Pro snížení pronikání 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 jsou studené nosníky, 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.

Jednotlivý nosný člen sestává z tažné vzpěry 42 (která může být tvořena tyčí a párem šroubů na každé straně tyče), z páru krytů 44 cívky a ze spojovacího kolíku 80, který spojuje každý kryt s koncem tažné vzpěry. Každý kryt 44 cívky je držák tvaru U mající ramena pro připojení k tažné vzpěře a profil tvaru U pro uložení vinutí 34 cívky. Kryt ve tvaru U dovoluje přesnou a pohodlnou montáž nosného systému pro cívkou. Řada krytů cívek může být umístěna těsně vedle sebe podél strany vinutí cívky. Kryty cívek společně rozkládají síly, které působí na

cívku, například odstředivé síly, v podstatě přes celé postranní části 40 každé cívky.

Kryty 44 cívky zabraňují postranním částem 40 cívek v nadměrném pružení a ohýbání způsobeném odstředivými silami. Nosníky cívky nebrání cívce v podélném tepelném roztahování a smršťování, které vzniká během běžné činnosti plynové turbíny se spouštěním a zastavováním. Tepelné roztahování je primárně orientováno zejména v podélném směru postranních částí. Postranní části cívky se tedy mírně podélně posouvají vzhledem ke krytu cívky a tažným vzpěrám.

Kryty cívky 44 ve tvaru U jsou vytvořeny z lehkého, vysoce pevného materiálu, který je poddajný při kryogenních teplotách. Typickými materiály pro kryt cívky jsou hliníkové, niklové nebo titanové slitiny, které jsou nemagnetické. Tvar krytu ve tvaru U může být optimalizován pro dosažení nízké váhy a vysoké pevnosti.

Spojovací kolík 80 prochází otvory v krytu cívky a tažné vzpěře. Kolík může být dutý, aby byl lehký. Pojistné matice (nejsou znázorněny) jsou našroubovány nebo připevněny na koncích spojovacího kolíku aby upevnily kryt a zabránily stranám krytu před roztahováním do stran při zatížení. Spojovací kolík může být vyroben z vysoce pevného Inconelu nebo ze slitin titanu. Tažné vzpěry jsou vyrobeny s konci o větším průměru, které jsou obrobena se dvěma plochými povrchy 86 na koncích.

Šířka těchto plochých povrchů je přizpůsobena U-krytu a šířce cívky. Když jsou vzpěra, cívka a kryt sestaveny dohromady, dosedají ploché povrchy 86 konců tažných vzpěr na vnitřní povrch vysokoteplotních supravodivých cívek 36. Tato montáž snižuje koncentraci napětí v otvoru v tažné vzpěře, kterým prochází kolík.

Nosný systém cívky, sestávající z tažných vzpěr 42 a krytu 44 cívky pro dlouhé strany 40 cívky a dvojice rozdělených svěrek 58 pro konce cívky, lze smontovat s vinutím 34 vysokoteplotní supravodivé cívky, jelikož nosný systém i cívka jsou připevněny na jádro 22 rotoru. Tažné vzpěry, kryty ve tvaru profilu U a svěrky vytvářejí dostatečně tuhou konstrukci pro nesení vinutí cívky a udržení vinutí cívky na místě vzhledem k jádru rotoru.

Každá tažná vzpěra 42 prochází jádrem rotoru a může procházet kolmo osou 20 rotoru. Průchody 46 jádrem rotoru vytváří kanál, kterým jsou vedeny tažné vzpěry. Průchody 46 procházejí kolmo osou rotoru a jsou uspořádány symetricky po délce jádra. Počet průchodů 46 a tažných vzpěr 42 a jejich uspořádání na jádru rotoru a navzájem je záležitostí konstrukčního návrhu. Průměr průchodů 46 je dostatečně velký, aby zabránil horkým rotorovým stěnám průchodu v kontaktu s chladnými tažnými vzpěrami. Zamezení kontaktu zlepšuje tepelnou izolaci mezi tažnými vzpěrami a jádrem rotoru.

Pro uložení vinutí cívky má jádro rotoru povrchy 48 s vybráním, jako jsou ploché nebo trojúhelníkové oblasti nebo drážky. Tyto povrchy 48 jsou vytvořeny v zakřiveném povrchu 50 válcového jádra a jdou podélně přes jádro rotoru. Vinutí 34 cívky je namontováno na rotor přilehle k povrchům 48 s vybráním. Cívky se obecně rozprostírají podélně podél vnějšího povrchu oblasti s vybráním a kolem konců jádra rotoru. V površích 48 s vybráním jádra rotoru je umístěno vinutí cívky. Tvar oblasti s vybráním je přizpůsoben 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.

Do povrchů 48 s vybráním je umístěno vinutí cívky tak, že vnější povrch vinutí cívky opisuje obálku, definovanou otáčením rotoru. Vnější zakřivené povrchy 50 jádra rotoru vymezují při otáčení válcovou obálku.

Tato rotační obálka rotoru má v podstatě stejný průměr jako dutina 16 rotoru (viz. obr. 1) ve statoru.

Mezera mezi obálkou rotoru a dutinou statoru 16 je relativně malá, jak je požadováno pouze pro ventilačního chlazení s nuceným oběhem statoru, jelikož rotor ventilačního chlazení nepožaduje. Magnetické pole v mezeře mezi rotorem a statorem spojuje elektromagneticky vinutí rotorové cívky se statorovým vinutím a má přímý vliv na výkonovou hustotu stroje.

Výkonová hustota stroje 10 může být zvýšena buzením rotoru se železným jádrem do magnetického nasycení s vyšší magnetomotorickou silou cívky rotoru. Byl například navržen vysokoteplotní supravodivý rotor o délce pouhých 165 cm pro generátor o jmenovitém výkonu 100 MVA, s použitím magnetomotorické síly cívky rotoru 314,000 ampéřzávitů, zatímco generátor téže výkonové úrovně vyžadoval konvenční měděný rotor mající délku 328 cm a magnetomotorickou sílu cívky 204,000 ampéřzávitů. Padesátiprocentní snížení délky stroje má za následek třicetipětiprocentní snížení velikosti stroje.

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

Rozdělená 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 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.

Rozdělená svěrka 58 je obklopena nákrůžkem 62, ale není s ním v kontaktu. Koncové hřídele 24, 30 zahrnují nákrůžek 62, připojený k jednomu konci jádra 20 rotoru. Nákrůžek 62 je silný disk z nemagnetického materiálu, jako je nerezová ocel, stejného nebo podobného jako je materiál, který tvoří koncové hřídele rotoru. Nákrůžek 62 má drážku 64 kolmou na osu rotoru a dostatečně širokou pro umístění rozdělené svěrky 58. Horké boční stěny 66 drážky 64 nákrůžku 62 jsou vzdáleny od chladné dělené svěrky, takže nepřijdou do vzájemného kontaktu.

Nákrůžek 62 může obsahovat vybranou diskovou oblast 68 (která je rozdělena na poloviny drážkou 64), do které zapadne vystupující disková část 70 jádra rotoru (vystupující disková část, která má být vložena do protilehlého nákrůžku je vidět na opačné straně jádra rotoru). Vložení vystupující diskové oblasti na konci 56 jádra rotoru do vybraného disku 68 zajišťuje uložení jádra rotoru v nákrůžku a napomáhá při vyrovnávání jádra rotoru a nákrůžků. Kromě toho může mít nákrůžek kruhové pole děr pro šrouby 72 procházejících podélně nákrůžkem okolo okraje nákrůžku. Tyto díry pro šrouby odpovídají závitovým děrám pro šrouby 74, které procházejí částečně jádrem rotoru. Těmito děrami 72, 74 procházejí šrouby 75 a bezpečně upevňují nákrůžek k jádru rotoru.

Jádro rotoru může být zapouzdřeno v kovovém válcovém stínění (není uvedeno), které chrání vinutí 34 supravodivé cívky před vířivými proudy a jinými elektrickými proudy, které obklopují rotor a vytváří vakuovou obálku, která je požadována pro udržení tvrdého vakua kolem kryogenních součástí rotoru. Válcové stínění může být vytvořeno z vysoce vodivého materiálu jako je slitina mědi nebo hliník. Vinutí 34 supravodivé cívky je udržováno ve vakuu. Vakuum může být vytvořeno

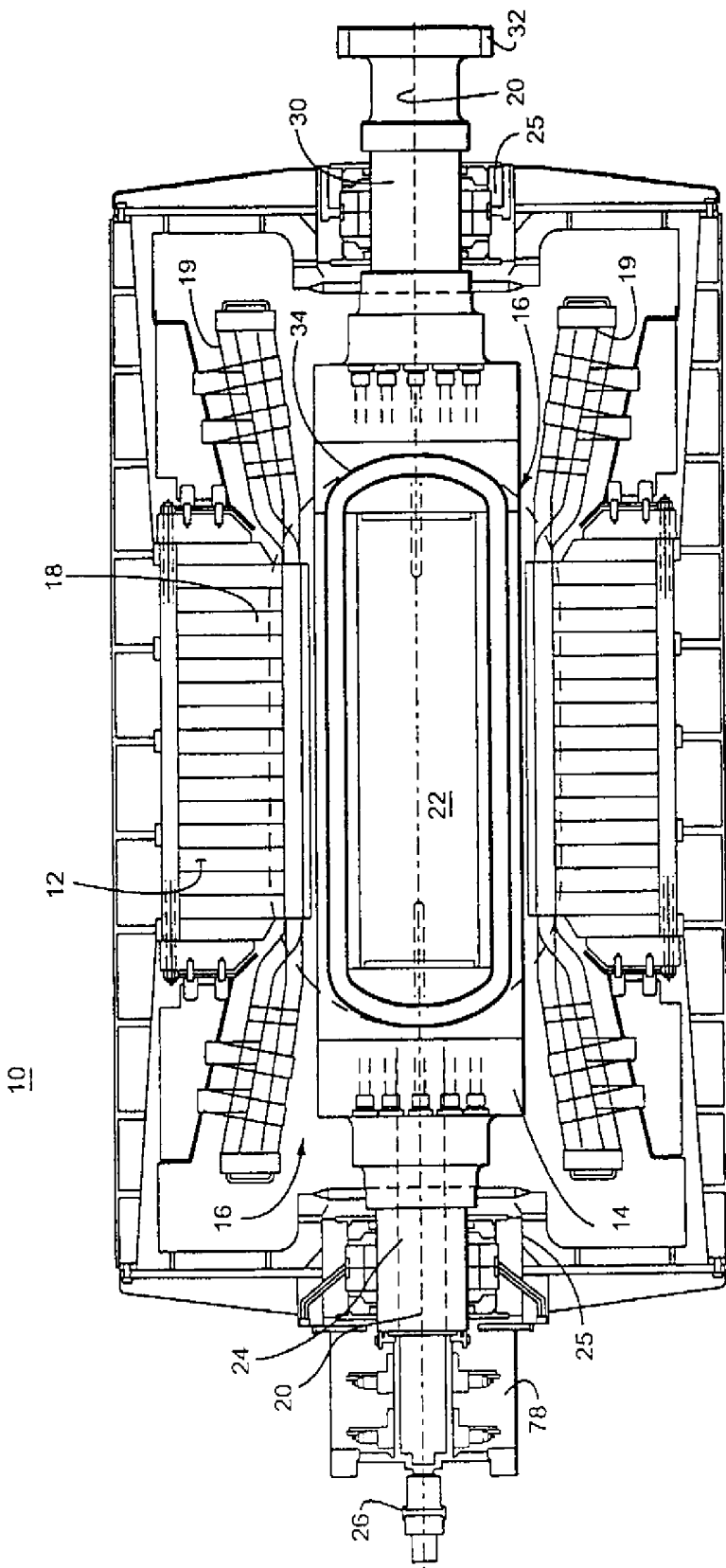
stíněním, které může zahrnovat válcovou vrstvu nerezové oceli, která vytváří kolem cívky a jádra rotoru vakuovou nádobu.

Zatímco byl vynález popsán v souvislosti s tím, co je nyní považováno za nejvíce praktické a upřednostňované provedení, je třeba chápat, že tento vynález není omezen na zde zveřejněné provedení, ale naopak zahrnuje všechna provedení v duchu přiložených nároků.

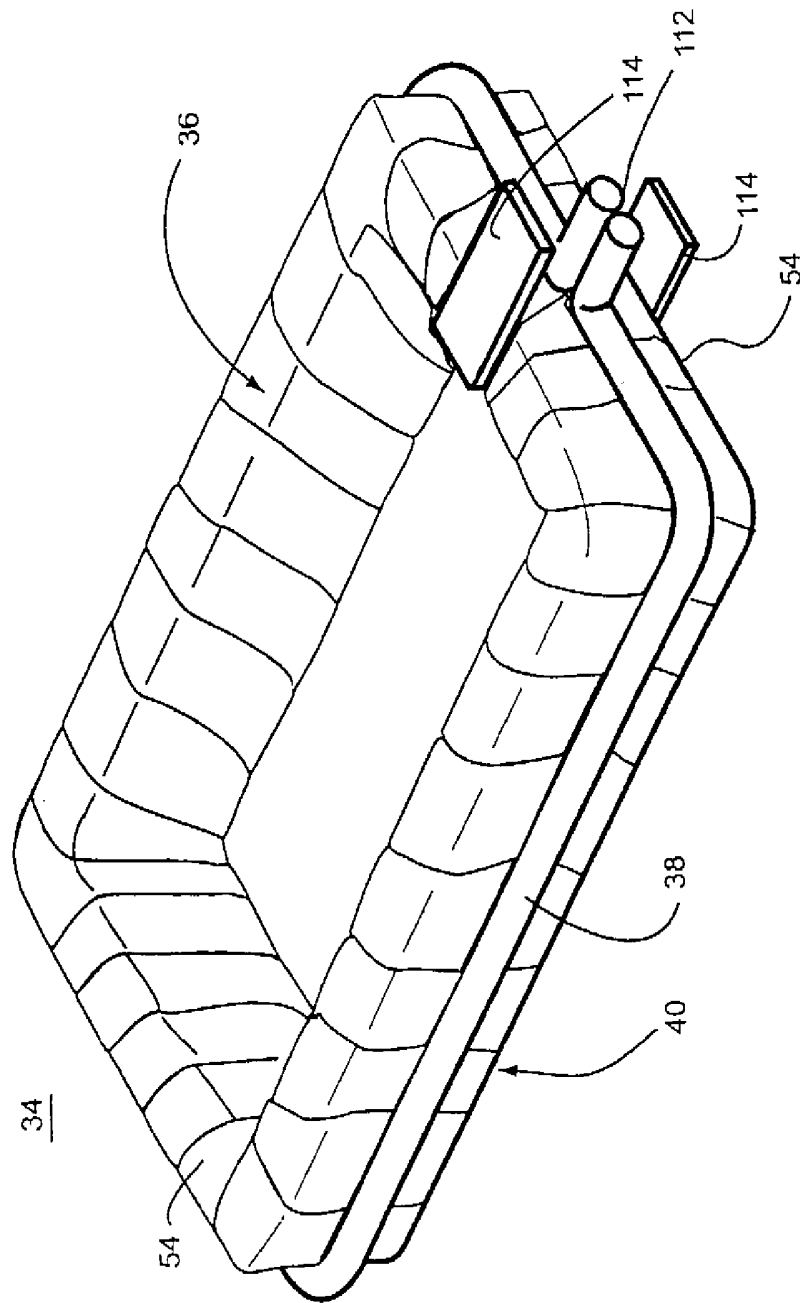
PATENTOVÉ NÁROKY

1. Synchronní stroj **vyznačující se tím, že** obsahuje stator mající cívku statoru uspořádanou do prstence kolem vakuové válcové dutiny, válcové magnetické pevné jádro rotoru, vinutí supravodivé cívky připevněné na jádro rotoru a nosník cívky procházející jádrem a připevněný k protilehlým dlouhým stranám vinutí cívky.
2. Synchronní stroj podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** stator je konvenční stator a pevné jádro rotoru je magneticky nasycené.
3. Synchronní stroj podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** stator je stator se vzduchovou mezerou a pevné jádro rotoru je magneticky nasycené.
4. Synchronní stroj podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje koncové hřídele rotoru axiálně připevněné k jádru rotoru.
5. Synchronní stroj podle nároku 4 **vyznačující se tím, že** koncové hřídele jsou z nemagnetického kovu.
6. Synchronní stroj podle nároku 5 **vyznačující se tím, že** koncové hřídele jsou z nerezové oceli.
7. Synchronní stroj podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** jeden z koncových hřidel je kolektorový koncový hřidel mající kolektorové kroužky a kryogenní kapalinovou spojku.
8. Synchronní stroj podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** jádro rotoru je výkovek z pevného magnetického železa.

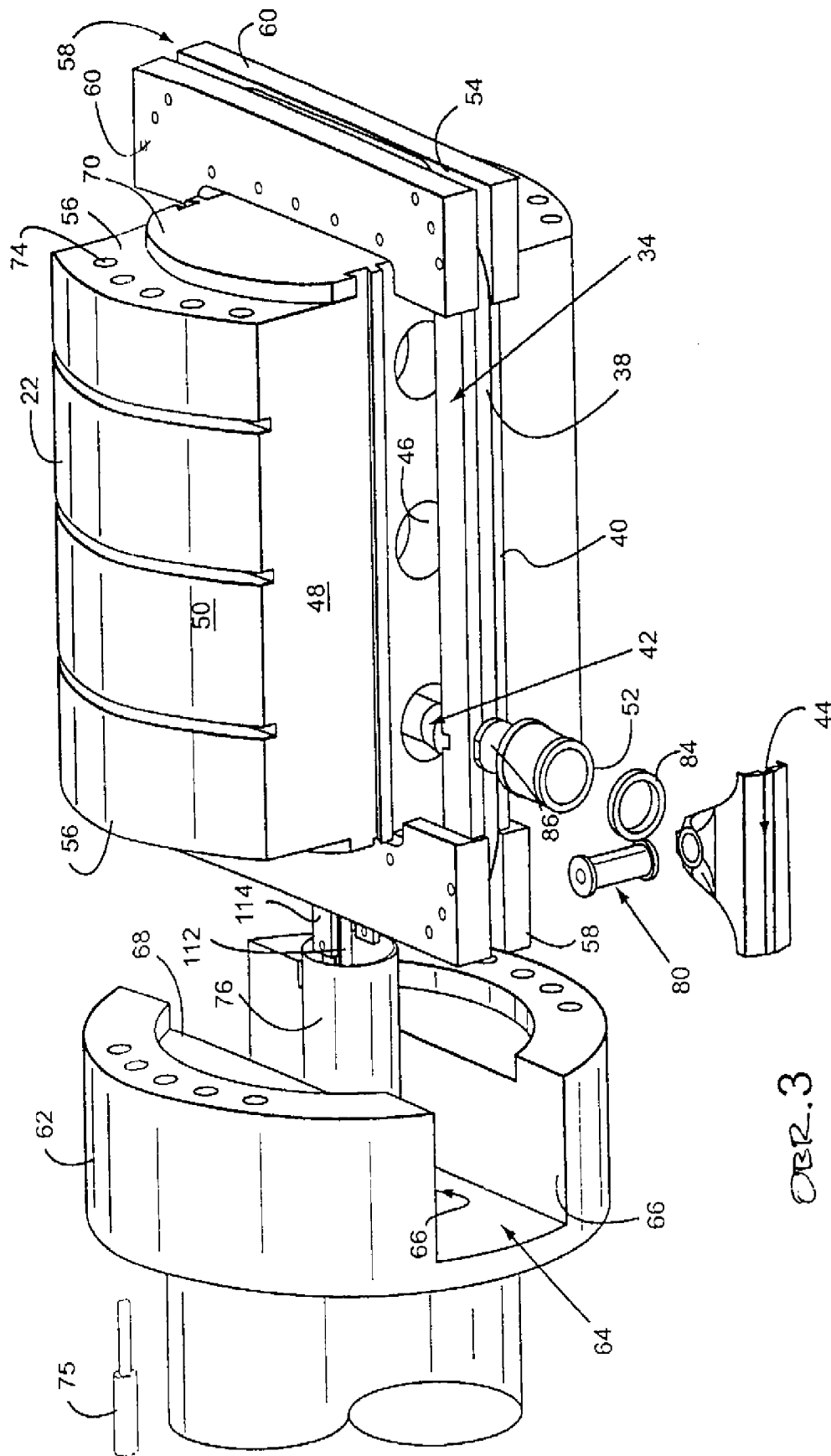
9. Synchronní stroj podle nároku 1 **vyznačující se tím, že** vzduchová mezera mezi cívkou rotoru a statorem je minimálně postačující pro vzduchové chlazení statoru.
10. Synchronní stroj mající rotační výkon alespoň 100 MVA **vyznačující se tím, že** obsahuje stator mající statorové cívky uspořádané do prstence tvořícího vakuovou dutinu rotoru, válcové pevné jádro rotoru mající dvojici plochých částí na protilehlých stranách jádra rozprostírající se podélně podél jádra a vinutí supravodivé cívky rozprostírající se kolem alespoň jedné části rotorového jádra, kde vinutí cívky má dvojici bočních částí sousedících s plochými částmi jádra.
11. Synchronní stroj podle nároku 10 **vyznačující se tím, že** dále obsahuje první koncový hřídel jdoucí axiálně od prvního konce rotorového jádra a druhý koncový hřídel jdoucí axiálně od druhého konce rotorového jádra.
12. Synchronní stroj podle nároku 11 **vyznačující se tím, že** koncové hřídele jsou z nemagnetického kovu.
13. Synchronní stroj podle nároku 11 **vyznačující se tím, že** koncové hřídele jsou z nerezové oceli.
14. Synchronní stroj podle nároku 10 **vyznačující se tím, že** rotorové jádro je výkovek z pevného magnetického železa.
15. Synchronní stroj podle nároku 10 **vyznačující se tím, že** cívka má oválný tvar.
16. Synchronní stroj podle nároku 11 **vyznačující se tím, že** jeden z koncových hřidelí je kolektorový koncový hřídel mající kolektorové kroužky a kryogenní kapalinovou spojku.



03R.1



0BR.2



OBR. 3