

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2002 - 3593

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLového
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: 30.10.2002

(32) Datum podání prioritní přihlášky: 01.11.2001

(31) Číslo prioritní přihlášky: 2001/985026

(33) Země priority: US

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: 18.06.2003
(Věstník č. 6/2003)

(13) Druh dokumentu: A3

(51) Int. Cl. ⁷:

H 02 K 9/02

(71) Přihlašovatel:

GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady,
NY, US;

(72) Původce:

Boardman William Hunter, Burnt Hills, NY, US;
Chila Ronald James, Glenville, NY, US;

(74) Zástupce:

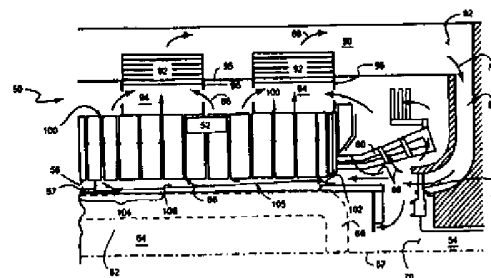
Švorčík Otakar JUDr., Hálkova 2, Praha 2, 12000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Synchronní stroj, supravodivý elektromagnetický
stroj, způsob chlazení supravodivého
elektromagnetického stroje a způsob tvarování
mezery mezi rotorem a statorem**

(57) Anotace:

Synchronní stroj (50) obsahuje rotor (54) připojený k chladicímu systému (75) rotoru, stator (52) okolo rotoru a oddělený od rotoru prstencovou mezerou (57) mezi rotorem a vnitřním povrchem statoru. Prstencová mezera (57) má proměnlivou tloušťku po délce mezery. Ventilační systém (82) statoru (52) je nezávislý na chladicím systému rotoru (54). Ventilační systém statoru (52) nutí chladicí plyny procházet prstencovou mezerou (57). Při způsobu chlazení chladicí systém (75) chladí rotorové vinutí, ventilátorem (84) se vhání chladicí plyn do prstencové mezery (57) proměnlivé tloušťky a proudí jí do průchodů (100) statoru. Dále je navržen způsob tvarování mezery (57) mezi rotorem (54) a statorem (52), při kterém se plocha rotoru, určená pro vymezení jedné vymezení plochy mezery, tvaruje do sklonu (105) pro vymezení mezery, která má po své délce proměnlivou tloušťku. Proměnlivost tloušťky mezery slouží pro rovnoměrné rozdělování chladicího plynu do chladicích kanálů jádra statoru.



Synchronní stroj, supravodivý elektromagnetický stroj, způsob chlazení supravodivého elektromagnetického stroje a způsob tvarování mezery mezi rotorem a statorem

Oblast techniky

Vynález se týká supravodivých synchronních elektrických strojů s ventilačním systémem s prouděním tekutiny pro chlazení statoru stroje.

Dosavadní stav techniky

Při způsobu výroby elektrické energie vytvářejí generátory teplo, které musí být z generátoru rozptýleno. Teplo vzniká v generátorech primárně v důsledku ventilace a tření, toku elektrického proudu, a časově proměnlivých elektrických polí v magnetických strukturách. Třecí teplo vzniká, když se rotor otáčí při vysoké rychlosti generátoru. Podobně také dochází k ohřevu, když proud prochází rotorovými a statorovými vinutími, která se vzájemně otáčejí v magnetických polích generátoru. Ztráty v magnetickém obvodu vznikají, když se magnetická pole v permeabilních materiálech mění s časem, jako například ve statorovém jádru a rotorových pólech synchronního generátoru.

Generátory jsou běžně vybaveny chladicími systémy pro přenos tepla ze statoru a rotoru pryč z generátoru. V běžných synchronních strojích se používají chladicí systémy s plynovým chlazením, jako ventilátory a motory, které nepoužívají supravodivé materiály. Tyto plynové ventilační systémy těsně spojují chlazení statoru a rotoru. Ventilační systém chladí jak rotor tak i stator tím, že nutí chladicí

plyn procházet kanály pro průchod plynu v rotoru a statoru. Běžné chladicí systémy používají proudy chladicího plynu statorem a rotorem s dopředným a zpětným prouděním.

Ve ventilačním schematu s dopředným prouděním (obr.1) proudí chladicí plyn sekcemi rotoru a statoru v sérii, což vytváří těsné spojení mezi chladicím systémem rotoru a statoru. Ve ventilačním schematu se zpětným prouděním proudí chladicí plyn statorem a rotorem paralelně a proudy se potom směšují ve vzduchové mezeře stroje, což také vede ke spojení chlazení statoru a rotoru.

Vzhledem ke spojení chlazení rotoru a statoru musely být běžné ventilační systémy konfigurovány pro zajištění přiměřeného chlazení jak statoru tak i rotoru. Pro zajištění chlazení rotoru musí být uskutečněny určité kompromisy v běžném ventilačním systému s ohledem na chlazení statoru a naopak. U ventilačního systému, který musí zajistit chlazení jak statoru, tak i rotoru, může být obtížné optimalizovat chlazení jak statoru, tak i rotoru. Nicméně se ve velkých energetických generátorech v průmyslu a veřejných službách ventilační systémy běžně uzpůsobují pro chlazení jak statoru, tak i rotoru.

V supravodivém synchronním stroji pracuje rotorové magnetizační vinutí při kryogenních teplotách pomocí kryogenně chladicího systému, který má svůj samostatný chladicí okruh. Studené kryogenní chladivo se dodává do rotoru přenášecí spojkou. Kryogenní chladivo se nechá obíhat chladicím okruhem do rotoru, kde odebírá teplo ze supravodivých vinutí, a vrací se jako ohřáté chladivo do stacionárního chladi-

cího systému. Tento kryogenní chladicí systém poskytuje účinné chlazení rotoru v supravodivém stroji.

Podstata vynálezu

Na rozdíl od běžných strojů, kde chladicí systémy statoru a rotoru jsou spojeny s jedním ventilačním systémem, mohou být chladicí systémy kryogenního rotoru a plynem chlazeného statoru zcela nezávislé. Kryogenní chladicí systém pro supravodivý rotor nechladí stator. Stator takového supravodivého synchronního stroje má samostatný chladicí systém statoru.

Byl vyvinut ventilační systém statoru pro supravodivý synchronní stroj. Stator supravodivého synchronního stroje je chlazen ventilačním systémem se zpětným prouděním. Chladicí plyn, jako vzduch nebo vodík, je odtahován ze vzduchové mezery a čerpán difuzorem, výměníkem tepla a jádrem statoru zpět do vzduchové mezery. Vzduchová mezera má proměnlivou tloušťku po své axiální délce pro optimalizaci ventilačního proudění do statoru. Proměnlivosti vzduchové mezery je možno dosáhnout tvarováním vnějšího povrchu válcového rotoru.

Běžný synchronní stroj může být dále zpětně vybaven supravodivým rotorem. Podobně může být běžný ventilační systém statoru a rotoru pozměněn tak, aby fungoval pouze jako ventilační systém statoru, jak je zde popsán. Rotor je připojen ke kryogennímu chladicímu systému. Ventilační systém statoru může mít dopředný nebo zpětný proud chladicího plynu. Navrhované chladicí systémy statoru jsou nezávislé na typu uspořádání supravodivých rotorů a mohou být rovněž použity pro supravodivé rotory se železným a vzduchovým jád-

rem.

V jednom provedení je vynález synchronní stroj, obsahující rotor připojený k chladicímu systému rotoru, stator uložený okolo rotoru a oddělený od rotoru prstencovou mezerou mezi rotorem a vnitřním povrchem statoru, a ventilační systém statoru, nezávislý na chladicím systému rotor, přičemž ventilační systém statoru nutí chladicí plyny proudit prstencovou mezerou.

V jiném provedení je vynález supravodivý elektromagnetický stroj obsahující rotor napojený na chladicí systém rotoru, stator okolo rotoru a oddělený od rotoru prstencovou mezerou mezi rotorem a vnitřním povrchem statoru, přičemž prstencová mezera má proměnlivou tloušťku po délce mezery, a ventilační systém statoru, nezávislý na chladicím systému rotoru, přičemž ventilační systém rotoru tlačí chladicí plyny prstencovou mezerou.

V dalším provedení navrhuje vynález supravodivý elektromagnetický stroj, obsahující rotor s pevným jádrem, mající kryogenně chlazené supravodivé rotorové vinutí, stator souosý s uvedeným rotorem a mající statorová vinutí, magneticky vázaná s uvedeným supravodivým vinutím rotoru, přičemž statorová vinutí jsou uspořádána okolo uvedeného rotoru, přičemž stator má chladicí průchody vycházející z vnějšího obvodu statoru na vnitřní obvod statoru, přičemž uvedený vnitřní obvod je oddělen od rotoru prstencovou vzduchovou mezerou rotoru, přičemž mezera rotoru má po délce proměnlivou (sbíhavě/a/nebo rozbíhavě proměnlivou; tapered - dále: proměnlivou) tloušťku, přičemž rotor je chlazený kryogenní

chladicí tekutinou, a přičemž supravodivý elektromagnetický stroj dále obsahuje ventilační systém statoru, dodávající chladicí plyn do uvedené prstencové mezery rotoru a uvedených průchodů statoru.

Vynález dále přináší způsob tvarování mezery mezi rotorem a statorem v synchronním elektromagnetickém stroji, přičemž se při způsobu vytvoří stator mající válcovou dutinu pro vsunutí rotoru, přičemž stator obsahuje chladicí kanály, ústící do uvedené dutiny, vytvoří se válcová plocha na rotoru, která tvoří vnitřní cylindrickou plochu uvedené mezery, a plocha rotoru se tvaruje do sklonu pro vymezení mezery, která má po své délce proměnlivou tloušťku.

Přehled obrázků na výkresech

Vynález je blíže vysvětlen v následujícím popisu na příkladech provedení s odvoláním na připojené výkresy, ve kterých znázorňuje obr.1 schematický řez ukazující čtvrtinu generátoru, znázorňující běžný chladicí systém s dopředným prouděním, obr.2 schematický řez synchronním elektromagnetickým strojem, majícím supravodivý rotor, obr.3 schematický řez čtvrtinou supravodivého generátoru, majícím plný rotor se zešíkmeným vnějším povrchem, a uzavřený ventilační systém statoru, obr.4 boční pohled na polovinu segmentovaného statoru a rotoru, mající zešíkmený povrch, a obr.5 diagram závislosti ventilačního průtoku na poloze statorové trubice pro různá chladicí uspořádání.

Příklady provedení vynálezu

Obr.1 znázorňuje běžný generátor 8, mající běžný ventilační systém 10 s dopředným prouděním, v němž chladicí plyn (šipky

12) proudí rotorem 14 a/nebo vzduchovou mezerou 16 rotoru a potom statorem 18. Chladicí plyn může být vzduch, vodík i nějaký jiný chladicí plyn. Chladicí plyn proudí radiálními průchody 20 pro plyn v rotoru a podobnými radiálními průchody 21 pro plyn ve statoru v řadě (sérii), která vytváří těsné spojení mezi proudy chladicího plynu v rotoru a statoru.

Když chladicí plyn proudí v běžném ventilačním systému 10 rotorem, předává se teplo v rotoru do plynu, když teplota plynu stoupá k teplotě vinutí rotoru. Zahřátý plyn vystupuje z rotoru do vzduchové mezery 16 a směšuje se s chladicím plynem, který přímo vstoupil do vzduchové mezery 16. Tato směs chladicího plynu z vzduchové mezery vstupuje do průchodů 21 statoru. Když se chladicí plyny pohybují statorem, teplo z horkých vinutí statoru se předává do chladicích plynů a je ze statoru odnímáno, když plyny vystupují ze statoru.

Z vnějšího obvodu statoru procházejí v běžném ventilačním systému zahřáté chladicí plyny prstencovými kanály 22, které obklopují stator a směřují horké plyny k výměníkům tepla. Horké plyny se chladí ve výměnících 24 tepla, proudí recirkulačními kanály 26 a jsou čerpány zpět do rotoru a vzduchové mezery vhodným radiálním nebo axiálním ventilátorem 28. Chladicí plyny jsou také hnány skrz rotor a do mezery 16 odstředivými silami v rotoru. Některé z chladicích plynů, vystupujících z ventilátoru 28, jsou kromě toho směrovány pro chlazení koncových závitů 30 vinutí statoru.

V běžném chladicím systému je část proudu chladicích plynů (šipka 12), čerpaná ventilátorem, vtahována do rotoru

odstředivými silami působícími na plyny procházejícími průchody 20 rotoru. Zahřáté plyny rotoru vystupují z průchodů na povrchu rotoru do vzduchové mezery 16 mezi rotorem a statorem. Ventilační systémy se zpětným prouděním, jaké jsou popsány v patentovém spisu US 5 633 543, je přiváděn chladicí plyn jak do statoru, tak i rotoru.

Obr.2 znázorňuje příkladný synchronní generátorový stroj 50 mající stator 52 a supravodivý rotor 54. I když je stroj 50 je znázorněn jako generátor, může být také uspořádán jako elektromotor. V generátoru obsahuje rotor magnetizační vinutí 66, s nímž je vsazen do válcové rotorové dutiny 56 statoru. Mezi vnějším obvodem rotoru a válcovým povrchem statoru, vymezujícím válcovou dutinu 56 v níž je vloženo rotorové jádro 64, je vytvořena prstencová mezera 57. Když se rotor otáčí ve statoru, magnetické pole generované rotorem a vinutím rotoru se otáčí statorem (ve statoru) a vytváří elektrický proud ve vinutích statoru 60. Tento proud je vydáván generátorem jako elektrický výkon (energie).

Rotor 54 má v podstatě podélně probíhající osu 62 a v podstatě plné rotorové jádro 64. Plné rotorové jádro 64 má vysokou magnetickou permeabilitu a je obvykle vyrobeno z feromagnetického materiálu, jako je železo. V supravodivém stroji s nízkou výkonovou hustotou se používá jádro rotoru pro snižování magnetomotorické síly (MMF) a tím i pro minimalizaci množství drátu supravodivého (SC) vinutí, potřebného pro vytvoření vinutí.

Rotor 54 nese nejméně jedno podélně uspořádané vysokoteplotně supravodivé vinutí (vinutí s vysokoteplotní sup-

supravodivostí, high-temperature superconducting coil winding, HTS vinutí) 66 ve tvaru "závodní dráhy" (racetrack). HTS vinutí může mít alternativně sedlový tvar nebo jakýkoli jiný tvar, který je vhodný pro konkrétní tvarové řešení HTS rotoru. HTS vinutí se chladí kryogenní tekutinou, dodávanou do rotoru vnějším zdrojem chladicí tekutiny. Chladicí systém 75 pro rotor 54 a jeho HTS vinutí 66 je nezávislý a izolovaný od chladicích systémů pro jiné složky generátoru 50, jako na ventilačním systému 82 (obr.3) pro stator 52.

Rotor má hřídel 68 sběračového konce a hřídel 70 hnacího konce, které nesou jádro 64 rotoru a které jsou podpořované ložisky 72. Koncové hřídele mohou být připojeny k vnějším zařízením. Například má hřídel 68 sběračového konce přenášecí spojku 74 pro přenos kryogenní tekutiny ke zdroji 75 kryogenní chladicí tekutiny, použité pro chlazení supravodivého vinutí rotoru. Příkladný zdroj kryogenní chladicí tekutiny je popsán v patentu USA č.....(v současné době patentová přihláška USA, č.09/854 943 z 15.5.2001) s názvem "Cryogenic cooling refrigeration system for rotor having a high temperature superconducting field winding and a method".

Přenášecí spojka 74 pro přenos tekutiny obsahuje stationární segment, připojený ke zdroji kryogenní chladicí tekutiny a otáčivý segment, který poskytuje chladicí tekutinu k HTS vinutí. Hřídel 68 sběračového konce také zahrnuje sběrač 76 pro elektrické připojení k otáčejícímu se supravodivému vinutí. Hřídel 70 hnacího konce rotoru může být poháněn spojkou 78 turbíny.

Obr.3 znázorňuje řez jednou čtvrtinou generátoru 50 (viz podélnou osu 62 rotoru a podélnou osu 80 rotoru), majícího stator větraný chladicím systémem 82 s dopředným prouděním. Chladicí systém dodává chladicí plyn, například okolní vzduch nebo vodík, ke statoru. Chladicí systém statoru je nezávislý a je izolovaný od kryogenního chladicího systému, který dodává kryogenní chladicí tekutinu do rotoru.

Větrací systém 82 statoru obsahuje ventilátory 84 pro chladicí plyn, které jsou upevněné ke koncovému hřídeli nebo hřídelům (68 a 70) rotoru. Ventilátory 84 se otáčejí s rotorem pro přivádění chladicího plynu (šipky 86) do prstencové mezery 57 mezi rotorovým jádrem 64 a dutinou 56 statoru 52. Chladicí plyn je vháněn ventilátorem 82 do vzduchové mezery 57. Ventilátor vtahuje chladicí plyn z kanálu 88 pro plyn, který může přijímat plyn z přetlakové komory/difuzoru 90, uspořádané okolo statoru generátoru. Alternativně (nebo případně) vtahuje ventilátor nový vzduch z vnějšku generátoru.

Přetlaková komora 90 přijímá ochlazený plyn z jednoho nebo více výměníků 92 tepla. Výměníky tepla odebírají teplo z plynu vystupujícího z průchodů 100 statoru a komor 94 statoru. Výměníky tepla chladí plyn tak, aby mohl být recirkulován pro chlazení statoru. Horký plyn z průchodů 100 statoru vstupuje do komor 94 statoru, obklopujících vnější obvod statoru. Komory mají válcovou vnější stěnu 95, která obvodově obklopuje stator a má otvory pro výměníky tepla. Komory mohou také obsahovat prstencové přepážky 96, vybíhající radiálně směrem ven ze statoru. Tyto přepážky rozdělují zahřátý vzduch z průchodů 100 statoru na výměníky 92 tepla.

Teplo je odebíráno z vinutí 60 statoru, když chladicí plyn prochází chladicími průchody 100. Průchody statoru mohou být uspořádány ve statoru pro optimalizaci chlazení vinutí statoru. Například může být frekvence chladicích kanálů podél osy statoru a/nebo průřezová plocha průchodů zvolena tak, aby se rovnoměrně rozdělovalo chlazení ve statoru nebo se jinak optimalizovalo chlazení statoru.

Ventilační systém 82 může být uzavřený plynový systém, v němž chladicí plyn, například vodík nebo vzduch, cirkuluje statorem, výměníkem tepla a přetlakovou komorou pro chlazení statoru. Chladicí systém může být také otevřený, kde čerstvý chladný vzduch se kontinuálně vtahuje do mezery rotoru a statoru ventilátorem 84.

Ve ventilačním systému 82 s uzavřenou smyčkou pro stroj se supravodivým rotorem se chladicí plyn jako vzduch nebo vodík nechává obíhat z výměníku nebo výměníků tepla 92 ventilátory 84 a vzduchovou mezerou 57 do chladicích průchodů 100 statoru pro odebírání tepla z vinutí statoru, a zpět k výměníku tepla. Chladicí systém určený pouze pro stator zjednodušuje složitost ventilačního systému, ve srovnání s běžnými ventilačními systémy, které měly pouze dvě dráhy proudění statorem a rotorem.

Chladicí systém 82 statoru je také použitelný pro synchronní stroje, například generátory a motory, kde je běžný rotor nahrazen supravodivým rotorem. V takovém případě může být ventilační systém s kombinovaným prouděním rotorem a statorem původního stroje převeden na systém s dopředným prouděním pouze pro stator, se vzduchovou mezerou proměnlivé

(tapered) šířky, jak je znázorněno na obr.3,4 nebo 5, nebo na systém se zpětným prouděním pouze pro stator, který také obsahuje mezeru proměnlivé (tapered) šířky.

Vzduchová mezera 57 mezi supravodivým rotorem a statorovým jádrem je válcovitá oblast, přes niž chladicí plyn proudí před vstupem do průchodů 100 statoru. Chladicí plyn vstupuje do vzduchové mezery od opačných konců 102 mezery na koncích jádra statoru a jádra rotoru. Plyn je čerpán do vzduchové mezery ventilátory 84.

Proud chladicího plynu vzduchovou mezerou 57 (a tedy do průchodů 100 statoru) je ovlivňován tvarem vzduchové mezery. Například může úzká vzduchová mezera zmenšovat průtok vzduchovou mezerou a zvyšovat zpětný tlak (protitlak) na vstupu 102 do mezery. Úzká vzduchová mezera může také snižovat dynamický tlak a tedy zmenšovat objem proudění vstupujícího do průchodů statoru v úzké části vzduchové mezery. Naopak může široká vzduchová mezera umožňovat zvýšený průtok a snižovat zpětný tlak (protitlak) na vstupu 102 do mezery. Široká mezera může zvyšovat dynamický tlak a zvyšovat objem proudění vstupujícího do kanálů statoru v oblasti široké části vzduchové mezery. Měnění šířky (tloušťky) vzduchové mezery mezi vstupem 102 a středem 104 zajišťuje určitou míru kontroly objemu a dynamického tlaku chladicích plynů v otvorech do každého průchodu 100 statoru.

Proměnlivostí (tapering) tloušťky (viz zešikmení 105) vzduchové mezery 57 tak, že má (například) relativně tlusté části při středu 104 rotoru a relativně tenké části při vnějších koncích 102 jádra rotoru nebo naopak, je možné ovládat tlak a průtok chladicího plynu vzduchovou mezerou.

Například může být proudění vzduchu vzduchovou mezerou 57 ovládáno tak, že kompenzuje ztráty proudění třením, k nimž dochází, když chladicí plyny proudí vzduchovou mezerou od konce 102 (nebo obou konců) jádra rotoru směrem ke středu 104 rotoru. Vhodným měněním tloušťky vzduchové mezery, ve sklonu 105, může být proudění chladicího plynu do každého z průchodů 100 statoru po délce statoru relativně rovnoměrné (nebo může mít jiné žádoucí průtokové parametry na vstupech do průchodů statoru).

Proměnlivost tloušťky 105 po délce vzduchové mezery 57 může být dosažena sklonem vnitřního válcového obvodu jádra statoru, které tvoří vnější obvod vzduchové mezery. Alternativně může být zajištěna proměnlivost průřezu vzduchové mezery také tvarováním vnějšího povrchu válcového elektrického magnetického (EM) štítu 106 na jádře supravodivého rotoru (viz obr.3). EM štít je na vnějším obvodě jádra rotoru. Proměnlivost průřezu vzduchové mezery může být dále zajištěna kombinací tvarování vnitřního obvodu jádra statoru a vnějšího obvodu jádra rotoru.

Vytvoření vnitřního obvodu 56 jádra statoru ve sklonu může být relativně složité vzhledem k tomu, že každý segment jádra statoru by měl být obroben nebo proděrován na jeho vnitřním obvodě pro vytváření požadované nakloněné plochy. Kromě zvyšující se složitosti sestavování segmentů jádra statoru do jádra statoru, kde vymezuje každý segment jádra statoru jedinečnou část povrchu vzduchové mezery, vznikají obtíže s vedením náhradních dílů pro segmenty jádra rotoru nebo pro opravu vadných jader statoru na místě použití. I když vytvoření vnitřního obvodu jádra statoru ve sklonu je

jednou z možností pro vytvoření vzduchové mezery s kónicky proměnlivým průřezem, může být v řadě případů použití vhodné vytvářet ve sklonu EM štít na jádře rotoru.

Obr.4 znázorňuje řez EM štítem 106, majícím zešíkmený (nakloněný) vnější povrch. Zešíkmení (naklonění) je segmentováno pro dosažení rovnoměrného chladicího proudění průchodu statoru. Segmentované řešení sklonu má zešíkmení podél povrchu EM štítu. Sклон zešíkmení sahá od vzájemně opačných konců 102 jádra rotoru ke středu 104 jádra.

EM štít 106 na supravodivém jádře 64 rotoru je z plechu tvarovaném ve válci tak, že obaluje vnější povrch rotoru. I když obvykle je EM štít válec jednotné tloušťky s hladkým vnějším povrchem, je v daném provedení vnější povrch 108 EM štítu tvarován tak, že vytváří vzduchovou mezeru proměnlivého průřezu. EM štít může být tvarován zesílením nebo ztenčením na vhodných místech po délce rotoru. Alternativně může být EM štít tvarován přidáváním prstenců okolo jádra rotoru tak, že jsou osazovány pod nebo nad štítem ve vhodných polohách po délce jádra rotoru.

Sклон nebo zešíkmení EM štítu (a tedy proměnlivost tloušťky vzduchové mezery) může být lineární (viz 105 na obr.3) nebo se může měnit po délce mezery (viz obr.4). Jak je znázorněno na obr.4, zrychluje se sklon EM štítu v blízkosti střední části 104 jádra rotoru, takže se ve středu délky vytváří relativně tlustá vzduchová mezera 108. Tlustá vzduchová mezera ve střední části jádra rotoru zmenšuje zpětný tlak (protitlak) chladicího plynu na vstupu do vzduchové mezery a umožňuje, aby více chladicího plynu prou-

dílo do těch průchodů statoru, které ústí do střední části délky vzduchové mezery.

Obr.5 znázorňuje diagram 120 průtoků 126 chladicího plynu kanály 128 statoru pro různé tvary proměnlivosti tloušťky vzduchové mezery. Několik provedení vzduchové mezery s proměnlivou tloušťkou bylo podrobena dvourozměrné výpočtové analýze dynamiky tekutin (CFD). Použilo se ventilační schema dopředného toku s jednorázovým průchodem, při kterém je proud vzduchu zaváděn ventilátory do vzduchové mezery a z ní do jádra statoru. Radiální průchody 100 jádra statoru byly předpokládány jako rovnoměrně rozmístěné (viz čísla u 128) podél osy jádra rotoru. I když pro CFD analýzu byly stanoveny tyto parametry, mohou být při praktickém použití průchody 100 statoru rozmístěny nerovnoměrně podél osy jádra rotoru a mohou mít nestejně průřezové plochy pro podporování rovnoměrného proudění chladicí tekutiny statorem nebo mít jiné žádoucí parametry proudění statorem. Dále může být použito ventilační schema s chladicím plynem obíhajícím ventilačním systémem.

Jak je znázorněno v diagramu 5, segmentovaná vzduchová mezera 122 (v níž je střední část vzduchové mezery tlustší než části mezery blízké koncům jádra rotoru) poskytovala relativně rovnoměrný průtok všemi průchody statoru. Vzduchová mezera 124 představují základní čáru měla po délce vzduchové mezery 57 jednotnou tloušťku.

Jak je znázorněno v diagramu, mění se podstatně průtok 126 podle polohy průchodů 128 statoru po délce jádra statoru. Pro vzduchovou mezeru 124 základní čáry měly

průchody 100 na koncích jádra rotoru (průchody č. 1 až 10, a 41 až 49) a ve střední části (průchody č. 24 až 26) relativně nízký průtok. Naproti tomu měly u této vzduchové mezery statorové průchody uprostřed dílčích sekcí (průchody č. 10 až 20 a 30 až 35) relativně vysoký průtok chladicího plynu. Vzhledem k nerovnoměrnému průtoku chladicího plynu v průchodech nemusí docházet u statoru se základní vzduchovou mezerou k rovnoměrnému chlazení statoru.

Pro dosažení požadovaného průtoku chladicího plynu průchody statoru mohou být použity jiné vzduchové mezery s proměnlivou tloušťkou. Chladicí průtok, vyplývající z lineárně proměnlivé vzduchové mezery je reprezentován 30%-ním zmenšením průřezu 130 a 60%-ním zmenšením průřezu 132. Tyto vzduchové mezery s lineárně se měnící tloušťkou jsou tlusté na koncích jádra rotoru a nejtenčí uprostřed rotoru. Vzduchová mezera s lineárně se měnící tloušťkou je schematicky znázorněna na obr.3. Procentuelní zmenšení (30% a 60%) reprezentuje relativní tloušťku vzduchové mezery u středu 104 jádra rotoru ve srovnání s konci 102 mezery.

Jak je znázorněno v diagramu, vykazovaly vzduchové mezery s 30%-ním a 60%-ním lineárním zmenšením tloušťky zvýšený zpětný tlak (protitlak) na vstupu do mezery, a to vzhledem ke zmenšené tloušťce ve středu mezery. Zvyšující se lineární sklon od 0% přes 30% k 60% progresivně snižoval výchyly průtoku mezi průchody statoru.

I když vynález byl popsán ve spojení s tím, co je v současné době uvažováno jako nejpraktičtější a nejvýhodnější provedení, rozumí se, že vynález není omezen na popsa-

né provedení, ale naopak je uvažován jako kryjící různé obměny a ekvivalentní uspořádání, zahrnutá v duchu a rozsahu patentových nároků.

P A T E N T O V É N Á R O K Y

1. Synchronní stroj (50) obsahující:

rotor (54) připojený k chladicímu systému (75) rotoru,

stator (52) okolo rotoru a oddělený od rotoru prstencovou mezerou (57) mezi rotorem a statorem, přičemž uvedená prstencová mezera má proměnlivou tloušťku po délce mezery, a

ventilační systém (82) statoru, nezávislý na chladicím systému rotoru, přičemž ventilační systém statoru nutí chladicí plyny procházet uvedenou prstencovou mezerou.

2. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že tloušťka prstencové mezery je největší (108) ve střední části (104) délky mezery.

3. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že prstencová mezera je tlustší ve střední části (104) délky mezery než v koncové části (106) uvedené prstencové mezery.

4. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že tloušťka prstencové mezery se postupně zvyšuje od koncové části mezery směrem ke střední části mezery.

5. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že prstencová mezera je tlustá na konci (102) mezery a tenká ve střední části (104) mezery.

6. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že prstencová mezera má vnitřní cylindrickou plochu (108) tvo-

řenou štítem (106) na rotorové jádrové sekci rotoru a uvedený štít má proměnlivou tloušťku.

7. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že prstencová mezera má vnitřní cylindrickou plochu vymezenou štítem (106) na jádře (64) rotoru a uvedený štít má nakloněný vnější povrch (108), hraničící s vnitřní cylindrickou plochou mezery.

8. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že uvedená prstencová mezera (57) má nakloněnou vnější cylindrickou plochu vymezenou statorem.

9. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že uvedený rotor (54) obsahuje supravodivé vinutí (66) a uvedený chladicí systém (75) rotoru dodává kryogenní chladicí tekutinu k uvedenému vinutí.

10. Synchronní stroj podle nároku 1, který je elektromagnetický generátor.

11. Synchronní stroj podle nároku 1, který je motor.

12. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že uvedený ventilační systém (82) je ventilační systém se zpětným prouděním.

13. Synchronní stroj podle nároku 1, vyznačený tím, že uvedený ventilační systém (82) je systém s uzavřenou smyčkou, v němž chladicí plyn cirkuluje mezerou, statorem a výměníkem (92) tepla.

14. Supravodivý elektromagnetický stroj (50), obsahující:

rotor (54) s pevným jádrem, mající kryogenně chlazené supravodivé rotorové vinutí (66),

stator (52) souosý s uvedeným rotorem a mající statorová vinutí (60), magneticky vázaná s uvedeným supravodivým vinutím rotoru, přičemž statorová vinutí jsou uspořádána okolo uvedeného rotoru, přičemž stator má chladicí průchody (100) vycházející z vnějšího obvodu statoru na vnitřní obvod statoru, přičemž uvedený vnitřní obvod je oddělen od rotoru prstencovou vzduchovou mezerou (57) rotoru, přičemž mezera rotoru má po délce proměnlivou tloušťku, přičemž rotor je chlazený kryogenní chladicí tekutinou, a

ventilační systém statoru (82) dodávající chladicí plyn do uvedené prstencové mezery rotoru a uvedených průchodů (100) statoru.

15. Supravodivý stroj podle nároku 14, vyznačený tím, že uvedená prstencová mezera (57) je nejtlustší (108) ve střední části (104) délky mezery.

16. Supravodivý stroj podle nároku 14, vyznačený tím, že uvedená prstencová mezera (57) je tlustší ve střední části (104) délky mezery než v koncové části (102) uvedené prstencové mezery.

17. Supravodivý stroj podle nároku 14, vyznačený tím, že uvedená tloušťka prstencové mezery (57) se postupně zvět-

šuje od koncové části (102) mezery směrem ke střední části (104) mezery.

18. Synchronní stroj podle nároku 14, vyznačený tím, že uvedená prstencová mezera (57) má nakloněnou vnitřní cylindrickou plochu vymezenou štítem (106) na rotorové jádrové sekci rotoru.

19. Synchronní stroj podle nároku 18, vyznačený tím, že uvedená nakloněná plocha (108) štítu tvoří vnitřní cylindrickou plochu mezery.

20. Synchronní stroj podle nároku 14, vyznačený tím, že uvedená prstencová mezera (57) má nakloněnou vnější cylindrickou plochu, vymezenou statorem.

21. Způsob chlazení supravodivého elektromagnetického stroje (50), majícího rotorové jádro (64) obsahující supravodivé rotorové vinutí (66), a statorové jádro (52) a ventilační systém (82) statoru, přičemž se při způsobu

- a) kryogenně chladí (75) rotorové vinutí
- b) nechá se pohybovat (84) chladicí plyn (86) do prstencové mezery (57) mezi rotorem a statorem, přičemž prstencová mezera má po její délce proměnlivou tloušťku, a
- c) z uvedené mezery se nechá proudit chladicí plyn do průchodů (100) statoru.

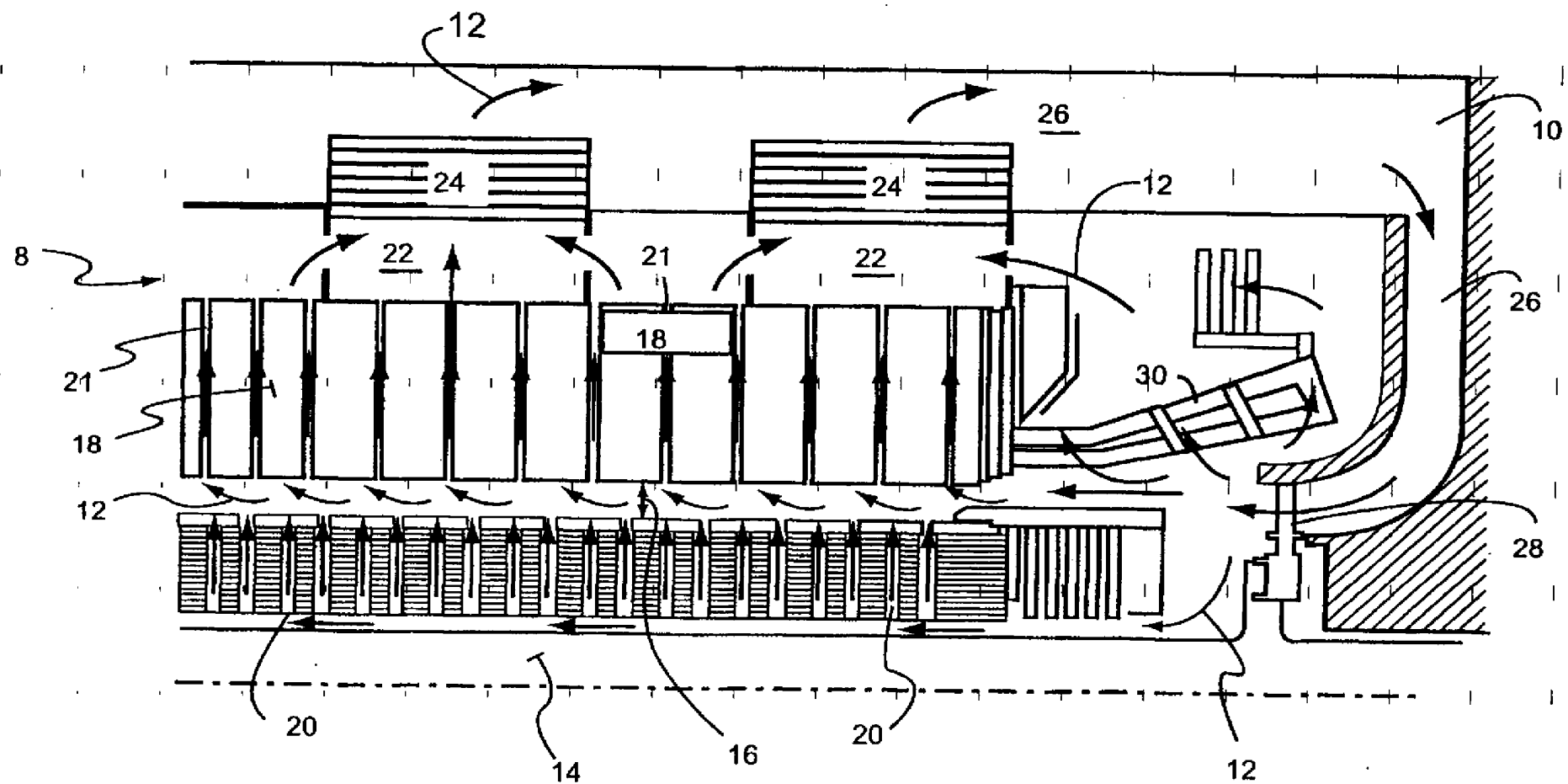
22. Způsob chlazení podle nároku 21, vyznačený tím, že prstencová mezera (57) je, po délce mezery, nejtlustší (105) ve střední části (104).

23. Způsob tvarování mezery (57) mezi rotorem (54) a statorem (52) v synchronním elektromagnetickém stroji (50), přičemž se při způsobu

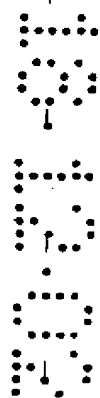
- a) vytvoří stator mající válcovou dutinu (56) pro vsunutí rotoru, přičemž stator obsahuje chladicí kanály (100), ústící do uvedené dutiny,
- b) vytvoří se válcová plocha (106) na rotoru, která tvoří vnitřní cylindrickou plochu uvedené mezery, a
- c) plocha rotoru se tvaruje do sklonu (105) pro vymezení mezery, která má po své délce proměnlivou tloušťku.

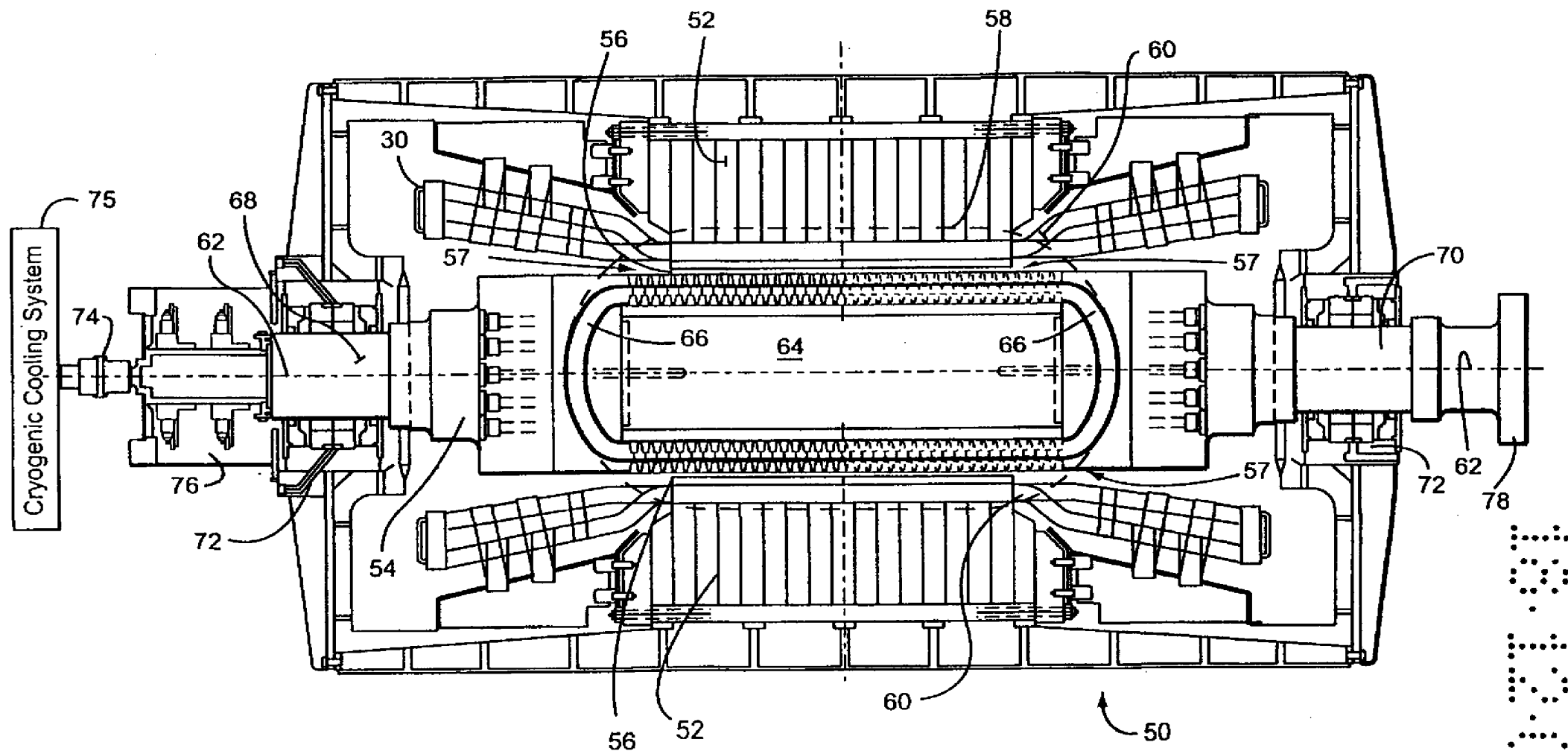
24. Způsob tvarování mezery (57) mezi rotorem a statorem podle nároku 23, vyznačený tím, že se uvedená proměnlivost tloušťky mezery volí pro rovnoměrné rozdělování chladicího plynu do chladicích kanálů jádra statoru.

25. Způsob tvarování mezery (57) mezi rotorem a statorem podle nároku 23, vyznačený tím, že se dále zvětší tloušťka ve střední části (104) mezery.

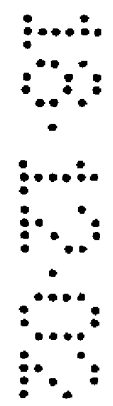


OBR. 1
(STAV TECHNIKY)

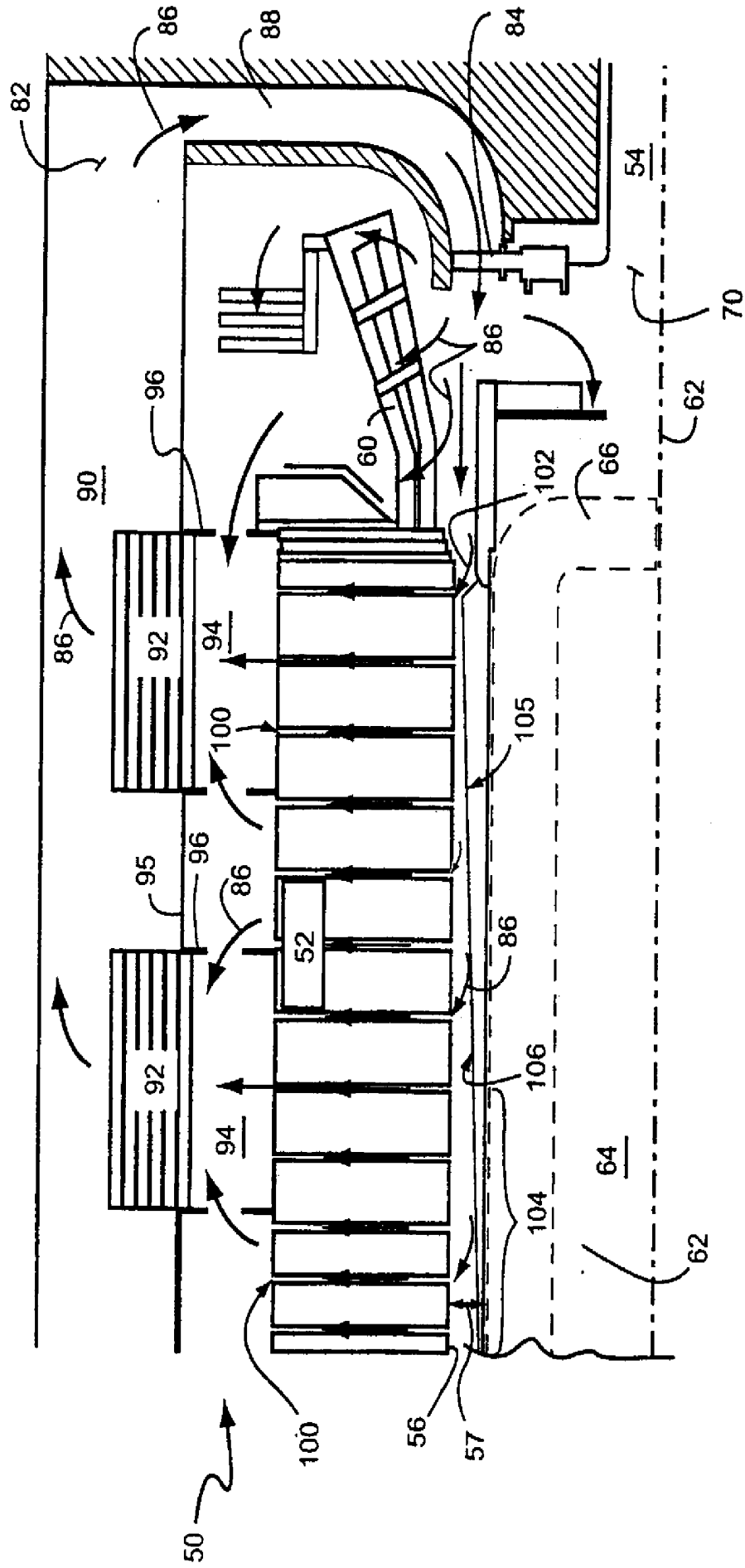




OBR. 2

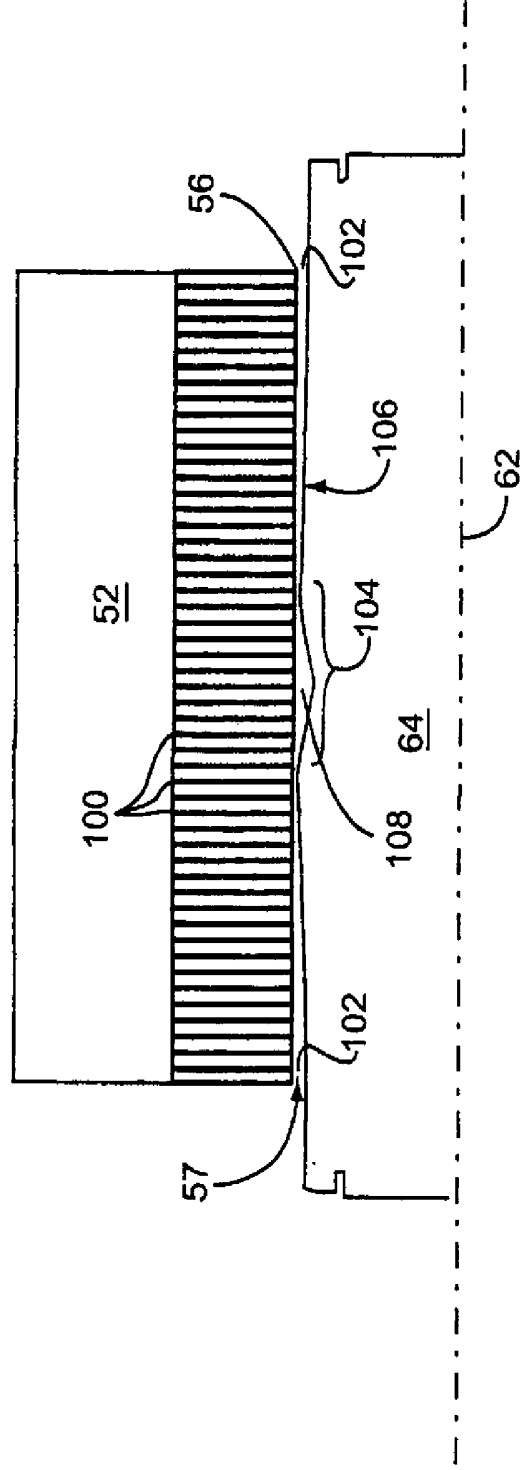


18.12.03



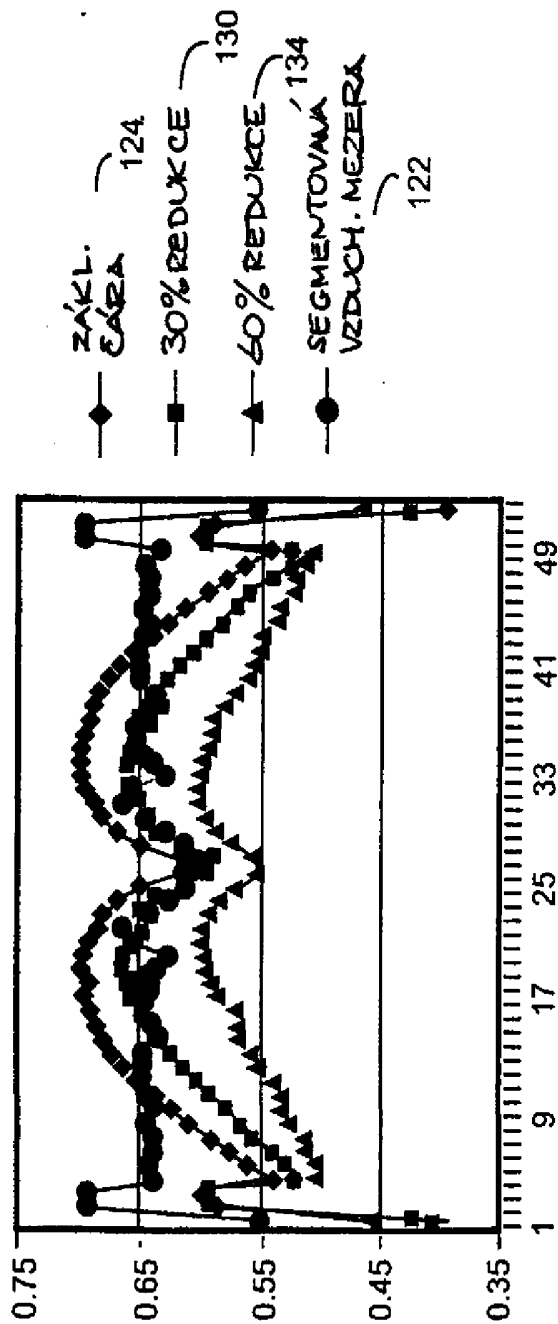
0BR.3

18.12.02



OBR. 4

VENTILACE
DOPŘEDNÝM PROUDĚNÍM



HMOTNOSTNÍ
PRŮTOK STATOR.
PRŮCHODY (kg/s)

PRŮCHOD Č. 128

OBR. 5