



Plynem chlazený dynamoelektrický stroj s vychylovací strukturou toku

Oblast techniky

Vynález se týká plynem chlazeného dynamoelektrického stroje s vychylovací strukturou toku pro vylepšené chlazení rotoru generátorů distribuováním více chladiva směrem k normálně špatně živnému středu dutiny.

Dosavadní stav techniky

Výstupní výkon dynamoelektrických strojů, jako jsou velké turbogenerátory, je často omezený schopností poskytnout proud navíc do rotorových magnetizačních vinutí z důvodu teplotních omezení kladených na izolaci elektrických vodičů. Účinné chlazení rotorového vinutí tudíž přispívá přímo k výstupnímu výkonu stroje. To platí zejména o koncové oblasti rotoru, kde je přímé vynucené chlazení obtížné a nákladné kvůli typické konstrukci těchto strojů. S tím, jak trendy běžného trhu vyžadují vyšší účinnost a vyšší spolehlivost v generátorech s nízkými náklady a vysokou výkonovou hustotou, chlazení koncové oblasti rotoru se stává omezujícím faktorem.

Rotory turbogenerátorů se typicky skládají ze soustředných obdélníkových cívek namontovaných ve štěrbinách v rotoru. Koncové části cívek (běžně nazývané koncové vinutí), která jsou za podporou hlavního těla rotoru, jsou typicky drženy vůči rotačním silám zadržovacím kruhem (viz. obr. 1). Podpůrné bloky jsou umístěny střídavě mezi soustřednými koncovými vinutími cívky pro udržování relativní pozice a pro přidání mechanické stability co se týče axiálního zatížení, jako je tepelné zatížení (viz obr. 2). Navíc měděné cívky jsou omezeny radiálně zadržovacím kruhem na svém vnějším obvodu, který působí proti odstředivým silám. Přítomnost vymezovacích bloků a zadržovacího kruhu má za následek množství oblastí chladiva vystavených měděným cívkám. Primární cesta chladiva je axiální, mezi hřídélí a spodní částí koncového vinutí. Také jsou vytvořeny diskrétní dutiny mezi cívkami okrajovými povrchy cívek, bloky a vnitřním povrchem struktury zadržovacího kruhu. Koncová vinutí jsou vystavena chladivu, které je poháněno rotačními silami z prostoru radiálně pod koncovými vinutími do těchto dutin (viz. obr. 3). Tento přenos tepla je spíše malý. Je tomu tak protože podle vypočtených cest průtoku v jedné rotující dutině koncového vinutí z výpočetní analýzy dynamiky kapaliny, vstoupí tok chladiva do dutiny, prochází primární cirkulací a opustí dutinu. Cirkulace má typicky za následek nízké koeficienty přenosu tepla zejména poblíž středu dutiny. To jsou tedy opatření pro odvádění tepla v koncových vinutích, jsou však relativně neúčinná.

Byla použita různá schémata pro směřování dalšího chladicího plynu koncovou oblastí rotoru. Všechna tato chladicí schémata spoléhají buďto na (1) vyrobení chladicích průchodů přímo v měděných vodičích obrobením drážek, nebo vytvoření kanálů ve vodičích a pak čerpání plynu do některé jiné oblasti stroje, a/nebo na (2) vytvoření oblastí o relativně vyšším a nižším tlaku s přidáním přepážek, průtokových kanálů a čerpacích prvků pro přinucení toho, aby chladicí plyn překonal povrchy vodičů.

Některé systémy pronikají do vysoce namáhaného rotorového zadržovacího kruhu radiálními otvory, aby se umožnilo přímé čerpání chladicího plynu podél koncových vinutí rotoru a jeho vypuštění do vzduchové mezery, ačkoli takové systémy mohou mít pouze omezenou užitečnost kvůli velkému mechanickému namáhání a životnosti co se týče únavového namáhání týkající se zadržovacího kruhu.

Pokud se použijí běžná schémata vynuceného chlazení konce rotoru, přidá se ke konstrukci rotoru značná složitost a náklady na konstrukci rotoru. Například přímo chlazené vodiče musí být obrobeny nebo vyrobeny tak, aby vytvořily chladicí průchody. Navíc musí být zajištěno sběrné potrubí pro vyprázdnění plynu někde v rotoru. Schémata s vynuceným chlazením vyžadují, aby

byla koncová oblast rotoru rozdělena do oddělených tlakových zón, s přidáním mnoha přepážek, průtokových kanálů a čerpacích členů, které opět přidávají složitost a náklady.

- 5 Pokud se nepoužije žádné z těchto schémat vynuceného nebo přímého chlazení, pak jsou koncová vinutí rotoru chlazena pasivně. Pasivní chlazení spoléhá na odstředivé a rotační síly rotoru pro cirkulaci vzduchu ve slepých, končících dutinách vytvořených mezi soustřednými vinutími rotoru. Pasivní chlazení koncových vinutí rotoru se někdy také nazývá chlazení „s volným prouděním“.
- 10 Pasivní chlazení má výhodu minimální složitosti a nákladů, přestože schopnost odvádění tepla je oslabena v porovnání s aktivními systémy přímého a vynuceného chlazení. Veškerý chladicí plyn vstupující do dutin mezi soustřednými vinutími rotoru musí odejít stejným otvorem, protože tyto dutiny jsou jinak zavřeny – čtyři „postranní stěny“ typické dutiny jsou tvořeny soustřednými vodiči a izolačními bloky, které je oddělují, se „spodní“ (radiálně směrem ven) stěnou tvořenou
- 15 zadržovacím kruhem, který podporuje koncová vinutí vůči rotaci. Chladicí plyn vstupuje z kruhového prostoru mezi vodiči a hřídelí rotoru. Odvod tepla je tudíž omezen pomalou cirkulací plynu v dutině a omezeným množstvím plynu, který může vstoupit do těchto prostor a který může opustit tyto prostory.
- 20 V typických konfiguracích chladicí plyn v koncové oblasti ještě nebyl úplně urychlen na rychlost rotoru, to znamená, že chladicí plyn rotuje na částečné rychlosti rotoru. S tím, jak je kapalina hnaná do dutiny vlivem rázu relativní rychlosti mezi rotorem a kapalinou, koeficient přenosu tepla je typicky nejvyšší poblíž vymezení bloku, který je níže po směru proudění – tam, kde kapalina vstupuje s vysokou hybností a kde je kapalně chladivo nejstudenější. Koeficient přenosu
- 25 tepla je také typicky vysoký kolem obvodu dutiny. Střed dutiny přijímá nejméně chlazení.
- Se zvyšováním schopnosti odvádění tepla pasivních chladicích systémů se zvyšuje schopnost vedení proudu rotoru, což poskytuje lepší schopnost jmenovitého zatížení celého generátoru s udržením výhody nízkých nákladů, jednoduché a spolehlivé konstrukce.
- 30 Patent US 5 644 179, jehož popis je zahrnut odkazem, popisuje způsob pro zvyšování přenosu tepla zvýšením rychlosti průtoku velké cirkulační buňky s jedním průtokem zavedením dalšího chladicího průtoku přímo do, a ve stejném směru jako, přirozeně nastávající průtoková buňka. To je ukázáno na obr. 4 a 5. Zatímco tento způsob zvyšuje přenos tepla v dutině zvýšením síly cirkulační buňky, střední část rotorové dutiny byla stále ponechána s nízkou rychlostí a tudíž nízkým přenosem tepla. Stejný nízký přenos tepla stále přetrvává v rohových oblastech.

Podstata vynálezu

- 40 Předmětem tohoto vynálezu je plynem chlazený dynamoelektrický stroj, obsahující rotor mající část těla, přičemž rotor má axiálně procházející cívky a koncové závity, vymežující množství koncových vinutí procházející axiálně za alespoň jedním koncem části těla, alespoň jeden vyme-
zovací blok, umístěný mezi sousedními koncovými vinutími, aby definoval dutinu mezi nimi,
- 45 jehož podstatou je, že dále obsahuje alespoň jednu vychylovací strukturu toku vytvořenou na povrchu směřujícím do dutiny vymezení bloku pro zachycování a přesměrování cirkulující části toku chladiva v dutině směrem ke středu dutiny.
- Podle výhodného provedení má vymezení blok první stranu, přičemž povrch směřující do dutiny je umístěn na první straně vymezení bloku. Podle dalšího výhodného provedení je na vymezení bloku vytvořena jediná vychylovací struktura toku. Podle dalšího výhodného provedení jediná vychylovací struktura toku pokrývá část dutiny. Podle dalšího výhodného provedení má rotor hřídel, přičemž cívky jsou umístěny na části těla, koncová vinutí a hřídel mezi sebou definují kruhovou oblast, a stroj obsahuje množství vymezení bloků umístěných mezi sou-
- 50

sedními z koncových vinutí pro vymezení množství dutin, přičemž každá je omezena sousedními vymezovacími bloky a sousedními koncovými vinutími a otevřena do kruhové oblasti.

5 Přehled obrázků na výkresech

Vynález bude blíže vysvětlen prostřednictvím konkrétních příkladů provedení znázorněných na výkresech, na kterých představuje

- obr. 1 průřez částí oblasti koncového závitu rotoru dynamoelektrického stroje se statorem
10 v protilehlém čelním vztahu k němu
- obr. 2 je pohled shora na průřez rotoru dynamoelektrického stroje podél přímky 2-2 z obrázku
1
- obr. 3 schéma ukazující pasivní tok plynu do a skrz dutiny koncového vinutí
- obr. 4 perspektivní pohled, částečně rozložený, částí oblasti koncového závitu rotoru podle
15 prvního provedení tohoto vynálezu popsán v patentu US 5 644 179
- obr. 5 perspektivní pohled, částečně rozložený, na část oblasti koncového závitu rotoru ukazu-
jící druhé provedení tohoto vynálezu z patentu US 5 644 179
- obr. 6 průřez znázorňující vychylovač jako provedení tohoto vynálezu patřící na straně po
20 směru proudu vymezovacího bloku pro vychylování chladiva směrem k normálně špat-
ně živenému středu dutiny
- obr. 7 alternativní provedení vynálezu, kde alespoň jeden vychylovač je opatřen v každé duti-
ně, pouze částečně překrývající hloubku dutiny pro umožnění některého chladiva snad-
no projít vnější radiální rozlohu dutiny a současně vychýlit část chladiva směrem ke
25 středu dutiny.

Příklady provedení vynálezu

S odkazem na výkresy, kde stejné vztahové značky označují stejné prvky ve všech pohledech,
30 obr. 1 a 2 ukazují rotor 10 pro plynem chlazený dynamoelektrický stroj, který také obsahuje sta-
tor 12 obklopující rotor. Rotor obsahuje část 14 obecně válcového těla centrálně umístěnou na
hřídeli 16 rotoru a mající axiálně protějšší koncové povrchy, jejíž část jednoho koncového povr-
chu je ukázána na obr. 1. Část těla je opatřena množstvím po obvodu rozmístěných, axiálně pro-
cházejících štěrbin 20 pro příjem soustředně uspořádaných cívek 22, které tvoří rotorové vinutí.
35 Z důvodu srozumitelnosti je ukázáno pouze pět rotorových cívek, přestože v praxi se obvykle
používá o něco více.

Konkrétně je v každé ze štěrbin naskládáno několik vodičových tyčí 24 tvořících část rotorového
vinutí. Sousední vodičové tyče jsou odděleny vrstvami elektrické izolace. Navrstvené vodičové
40 tyče jsou typicky udržovány ve štěrbinách klíny 26 (obr. 1) a jsou vyrobeny z vodivého materiálu
jako například z mědi. Vodičové tyče 24 jsou propojeny na každém protilehlém konci části tělesa
koncovými závity 27, které procházejí axiálně za koncová čela a tvoří naskládaná koncová vinutí
28. Koncové závity jsou také odděleny vrstvami elektrické izolace.

Nyní zejména s odkazem na obr. 1, je zadržovací kruh 30 umístěn kolem koncových závitu na
každém konci části těla pro držení koncových vinutí na místě vůči odstředivým silám. Zadržovací
kruh je upevněn na jednom konci k části těla a prochází ven kolem hřídele 16 rotoru. Středící
kruh 32 je připojen ke vzdálenému konci zadržovacího kruhu 30. Je nutné poznamenat, že zadr-
žovací kruh 30 a středící kruh 32 mohou být namontovány jinými způsoby, jak je v oboru známo.
50 Vnitřní obvodový okraj středícího kruhu 32 je radiálně oddělen do hřídele 16 rotoru, čímž tvoří
plynový přítokový průchod 34 a koncová vinutí 28 jsou oddělena od hřídele 16, čímž definují
kruhovou oblast 36. Množství axiálních chladicích kanálů 38 vytvořených podél štěrbin 20 je

opatřeno v kapalinové komunikaci s plynovým přítokovým průchodem 34 prostřednictvím kruhové oblasti 36 pro doručování chladicího plynu do cívek 22.

Co se týče obr. 2, koncová vinutí 28 na každém konci rotoru 10 jsou obvodově a axiálně oddělena množstvím vymezočů nebo vymezočích bloků 40. (Z důvodu srozumitelnosti vymezočací bloky nejsou ukázány na obr. 1). Vymezočací bloky jsou prodloužené bloky izolačního materiálu umístěné v prostorech mezi sousedními koncovými vinutími 28 a prochází za úplnou radiální hloubku koncových vinutí do kruhové oblasti 36. Prostory mezi soustřednými sloupci koncových závitů 27 jsou rozděleny do dutin. Tyto dutiny jsou nahoře drženy zadržovacím kruhem 30 a na čtyřech stranách sousedními koncovými vinutími 28 sousedními vymezočacími bloky 40, jak je ukázáno na obr. 3. Jak je nejlépe vidět na obr. 1, každá z těchto dutin je v kapalinové komunikaci s plynovým přítokovým průchodem 34 prostřednictvím kruhové oblasti 36. Část chladicího plynu vstupujícího do kruhové části oblasti 36 mezi koncovým vinutím 28 a hřídelí 16 rotoru plynovým přítokovým průchodem 34 tudíž vstoupí do dutin 42, cirkuluje v nich, a pak se vrátí do kruhové oblasti 36 mezi koncovým vinutím a hřídelí rotoru. Průtok vzduchu je ukázán šipkami na obr. 1 a 3.

Základní čerpací akce a rotační síly působící v dutině rotačního generátoru typicky vytváří velkou cirkulační buňku s jedním tokem, jak je schematicky vidět na obr. 3. Tato buňka s cirkulačním tokem vykazuje svou nejvyšší rychlost blízko obvodových okrajů dutiny, což ponechává střední oblast nepřiměřeně chlazenou kvůli inherentně nízké rychlosti ve střední oblasti dutiny. Jak je vidět na obr. 3, velké oblasti rohových oblastí jsou také nepřiměřeně chlazeny kvůli tomu, že kruhový pohyb buňky průtoku nepřenáší chladicí tok do rohů.

Nyní s odkazem na obr. 6 je znázorněn částečný řez sestavou koncového vinutí rotoru ukazující některé z dutin 142 se směrem rotace ukázaným šipkou X. Podle provedení tohoto vynálezu je alespoň jeden a přednostně každý vymezočací blok 140 opatřen vychylovací strukturou 144 na jeho povrchu 146 umístěném na straně po směru proudu příslušné dutiny (dále jen povrch po směru proudu) pro přerozdělení toku chladiva do středu příslušné dutiny 142 pro zvýšení koeficientu přenosu tepla na tomto místě. Každá vychylovací struktura 144 má spodní obecně zakřivený povrch 148 pro zachycování a přesměrování toku jak je ukázáno šipkou A. Horní povrch 150 je obecně rovinný, takže vychylovač definuje obecně tenkou hranu 152 čelící průtoku, aby se tak účinně zachycoval průtok bez zbytečné ztráty tlaku.

Za provozu rotace rotoru ve směru X způsobí, že chladicí plyn bude vytažen plynovým přítokovým průchodem 34 (obr. 1) do kruhové oblasti 36 mezi koncovým vinutím 28 a hřídelí 16 rotoru. Je přítomná kinetická tlaková hlava, která pohání chladicí plyn směrem k povrchu 146 po směru proudu dutiny 142 v obecně kruhovém toku. V provedení znázorněném na obr. 6 však alespoň část chladicího toku je zachycena vychylovací strukturou 144 a přesměrována jak je ukázáno šipkou A do střední oblasti chladicí dutiny 142, která by jinak byla obecně špatně živěná tokem chladiva. Tok chladiva, který není zachycen vychylovačem, pokračuje ve svém obecně kruhovém průtoku jak je ukázáno šipkou B. Zachycený tok a nezachycený tok se opět spojí na straně proti směru proudu dutiny a pokračují ve směru hodinových ručiček, ve znázorněné konfiguraci, pod vymezočacím blokem 140 a do další následující dutiny. V tomto provedení je opatřen jeden vychylovač toku, který pokrývá podstatnou část hloubky nebo axiálního rozměru dutiny, například alespoň kolem 75 % a výhodněji řádově 100 % hloubky dutiny.

Nyní s odkazem na obr. 7 je ukázáno druhé provedení tohoto vynálezu. Podrobněji obr. 7 ukazuje částečný řez koncovým vinutím rotoru ukazující dutiny 242 definované mezi vymezočacími bloky 240 a se směrem rotace označeným šipkou X. Jak je znázorněno, alespoň jedna vychylovací struktura 244 je opatřena pro odkloňování toku chladiva do střední oblasti sousední dutiny. Jako v provedení z obr. 6, ve znázorněné sestavě, jsou opatřeny vychylovací struktury (struktura) 244 na povrchu 246 po směru toku alespoň jednoho vymezočacího bloku 240. V tomto provedení však každá vychylovací struktura 244 prochází pouze částí hloubky nebo částečně axiálně vymezočacím blokem, aby ponechal alespoň jednu oblast vertikálního toku pro některé cirkulující

chladiivo s vysokou hybností dosáhnout vnějšího radiálního rohu dutiny, zatímco zbytek chladiiva je vychýlen směrem ke středu dutiny.

Podle tohoto provedení může být vychylovač v částečné hloubce umístěn pro překrytí části hloubky dutiny ze sousední stěny koncového vinutí dutiny, vedle jiné stěny koncového vinutí dutiny, nebo obecně centrálně ke s ní souvisejícímu vymezení bloku. Ve vzorovém provedení je jedna vychylovací struktura 244 opatřena pro překrytí okolo jedné poloviny hloubky souvisejícího vymezení bloku. Podle alternativního provedení, také znázorněného schematicky na obr. 7, jsou opatřeny dvě nebo více axiálně vyrovnaných vychylovacích struktur, přičemž každá překrývá část axiálního rozměru nebo hloubky dutiny. Tímto způsobem je alespoň jedna oblast vertikálního toku vyhrazena pro cirkulující tok chladiiva o vysoké hybnosti, pro dosažení vnějšího radiálního rohu dutiny, zatímco zbytek chladiiva je odkloněn směrem ke středu dutiny.

Jak je tudíž znázorněno, tok chladiiva do příslušné dutiny 242 bude protékat do a začne svůj tok radiálně vně podél povrchu 246 vymezení bloku. Část tohoto toku je zachycena a odkloněna vychylovacími strukturami 244 směrem ke střední oblasti příslušné dutiny jak je ukázáno šipkou A. Zbytek toku chladiiva obchází vychylovací strukturu kvůli mezerám definovaným jako zkrácenou axiální délkou a pokračuje nahoru a radiálně ven podél vymezení bloku, jak je ukázáno šipkou C, pro pokračování jako cirkulující tok, jak je ukázáno šipkou B. Odkloněný tok a neodkloněný tok se opět spojí na straně proti směru proudu dutiny, aby pokračoval ve směru hodinových ručiček, ve znázorněném provedení, pod a kolem vymezení bloku 240 do další následující dutiny 242.

Ve zde upřednostňovaném provedení vychylovací struktura 144, 244 pokrývá alespoň kolem 20 % a výhodněji alespoň kolem 25 % obvodového rozměru chladičové dutiny, aby účinně zachycoval a přesměroval tok do střední oblasti dutiny, spíše než pouze vyvolání povrchové turbulence. Zakřivené uspořádání spodního povrchu 148, 248 vychylovače vylepšuje funkci vychylovače.

Zatímco byl tento vynález popsán ve spojení s tím, co se momentálně považuje za nejpraktičtější a upřednostňované provedení, rozumí se, že nemá být omezen na zde popsaná provedení, naopak má pokrývat různé modifikace a ekvivalentní uspořádání, patřící do rozsahu a podstaty přiložených nároků.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Plynem chlazený dynamoelektrický stroj s vychylovací strukturou toku, obsahující rotor (10) mající část (14) těla, přičemž rotor (10) má axiálně procházející cívky (22) a koncové závity (27) vymezení množství koncových vinutí (28) procházející axiálně za alespoň jedním koncem (18) části (14) těla,

alespoň jeden vymezení blok (140, 240), umístěný mezi sousedními koncovými vinutími (28), aby definoval dutinu (142, 242) mezi nimi, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že dále obsahuje alespoň jednu vychylovací strukturu (144, 244) toku vytvořenou na povrchu (146, 246) směřující do dutiny vymezení bloku (140, 240) pro zachycování a přesměrování cirkulující části toku chladiiva v dutině (142, 242) směrem ke středu dutiny (142, 242).

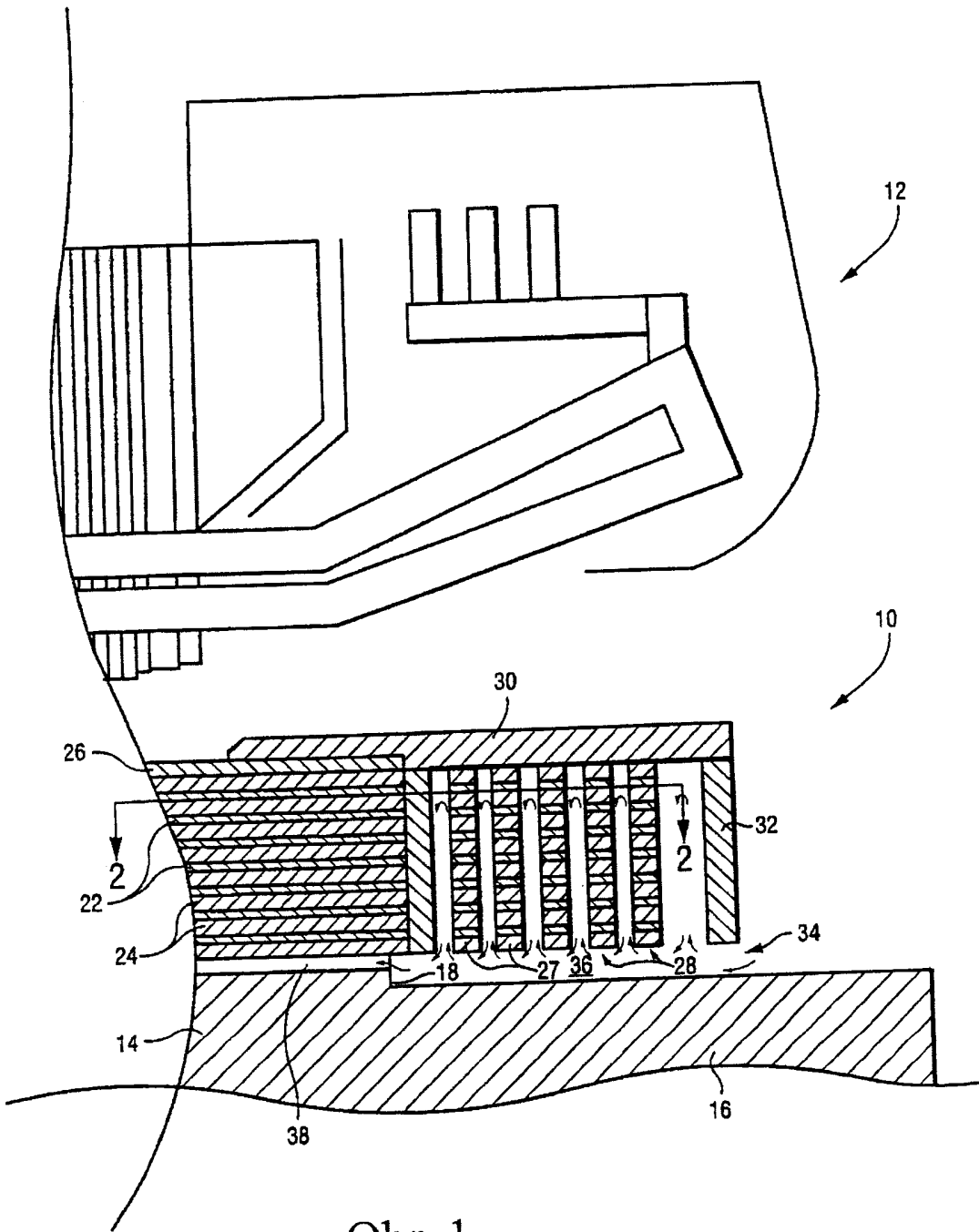
2. Dynamoelektrický stroj podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že vymezení blok (140, 240) má první stranu, přičemž povrch (146, 246) směřující do dutiny (142, 242) je umístěn na první straně vymezení bloku (140, 240).

3. Dynamoelektrický stroj podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že na vymešovacím bloku (140, 240) je vytvořena jediná vychylovací struktura (144, 244) toku.
4. Dynamoelektrický stroj podle nároku 3, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že jediná vychylovací struktura (144) toku pokrývá část dutiny (142).
5. Dynamoelektrický stroj podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že rotor (10) má hřídel (16), kde cívky (22) jsou umístěny na části (14) těla, koncová vinutí (28) a hřídel (16) mezi sebou definují kruhovou oblast (36), a kde stroj obsahuje množství vymešovacích bloků (140, 240) umístěných mezi sousedními z koncových vinutí (28) pro vymezení množství dutin (142, 242), přičemž každá je omezena sousedními vymešovacími bloky (140, 240) a sousedními koncovými vinutími (28) a otevřena do kruhové oblasti (36).

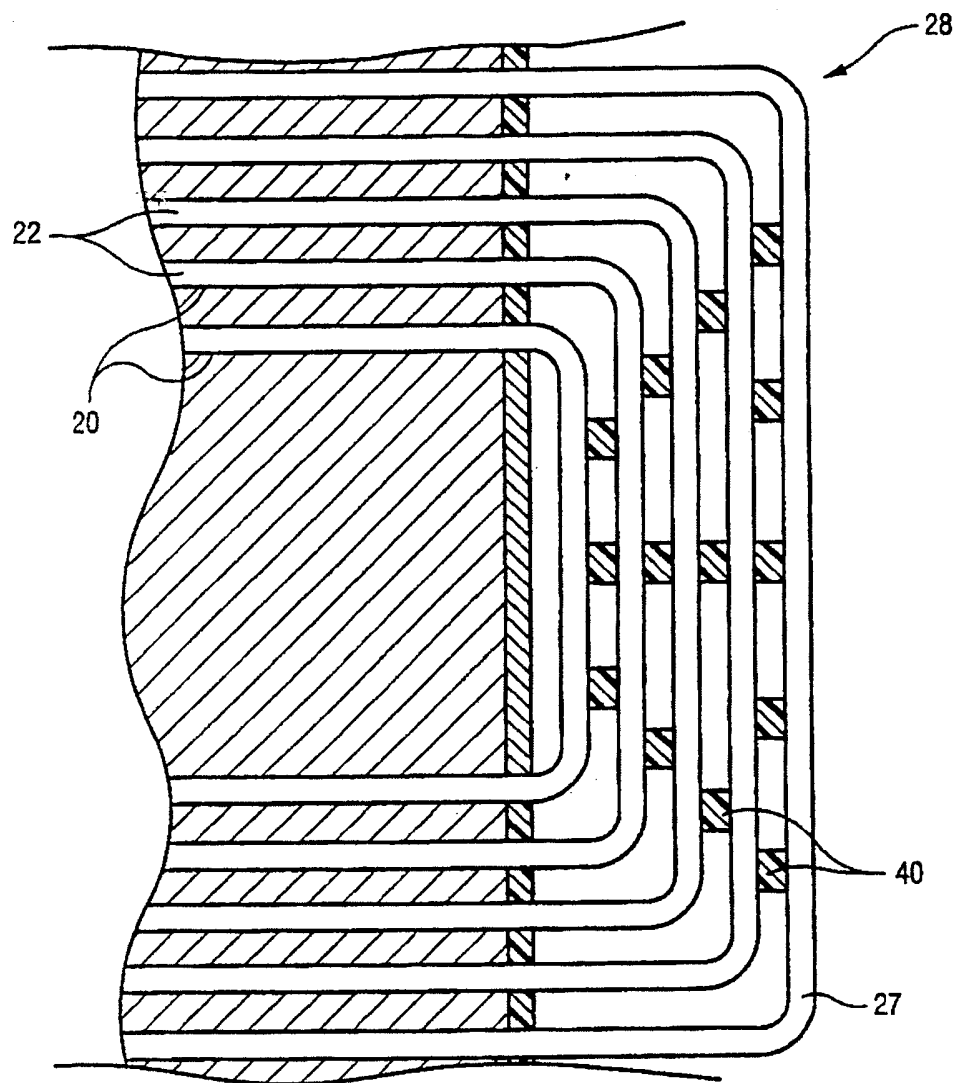
5 výkresů

Seznam vztahových značek:

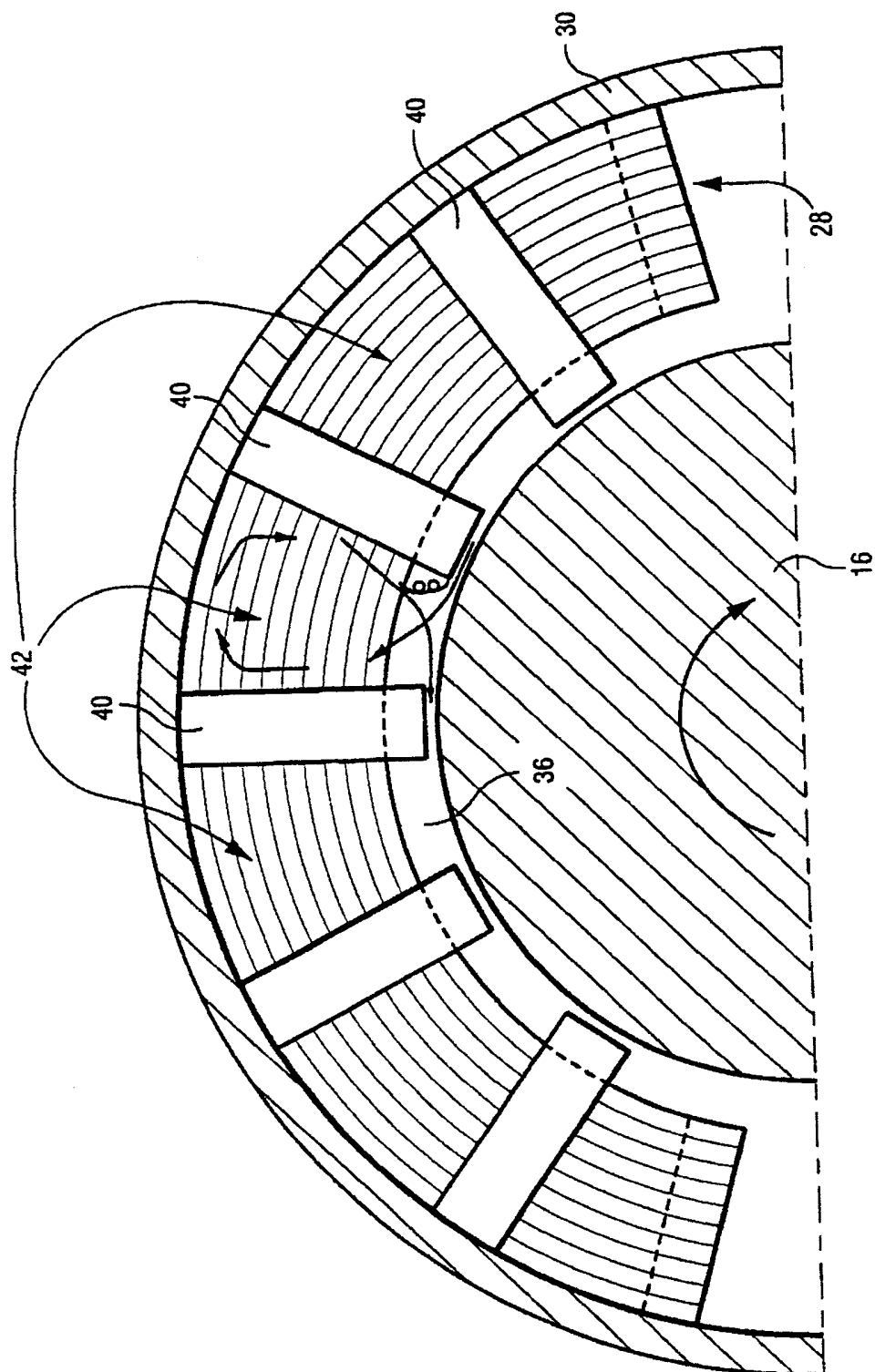
20	10	rotor
	12	stator
	14	část válcového těla
	16	hřídel rotoru
	18	část koncového povrchu
25	20	štěrbina
	22	cívka
	24	vodičová tyč
	26	klín
	27	koncový závit
30	28	koncové vinutí
	30	zadržovací kruh
	32	středicí kruh
	34	plynový přítokový průchod
	36	kruhová oblast
35	38	axiální chladicí kanál
	40	vymešovací blok
	42	dutina
	140	vymešovací blok
	142	dutina
40	144	vychylovací struktura
	146	povrch
	148	povrch
	150	horní povrch
	152	tenká hrana
45	240	vymešovací blok
	242	dutina
	244	vychylovací struktura
	246	povrch
	248	povrch



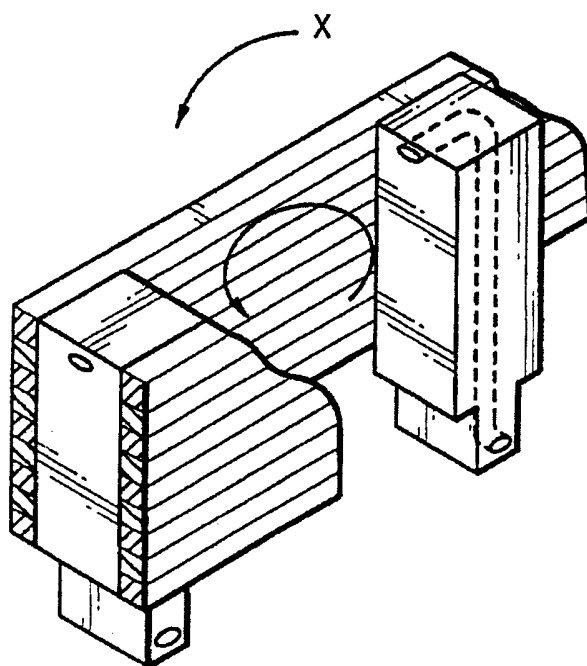
Obr. 1



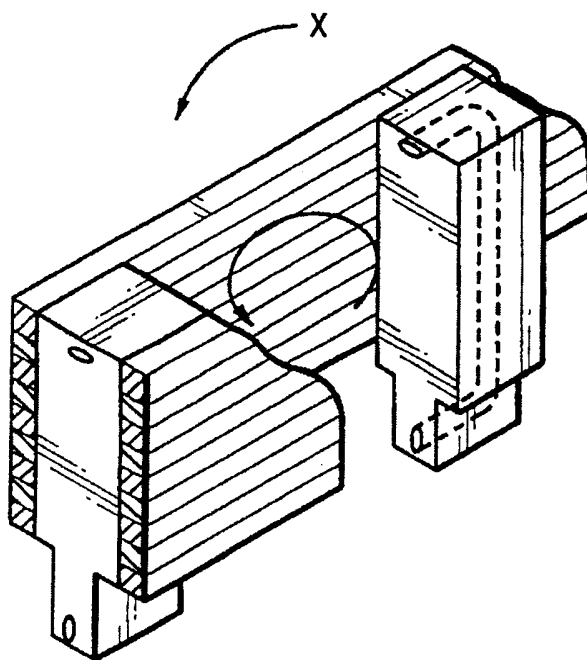
Obr. 2



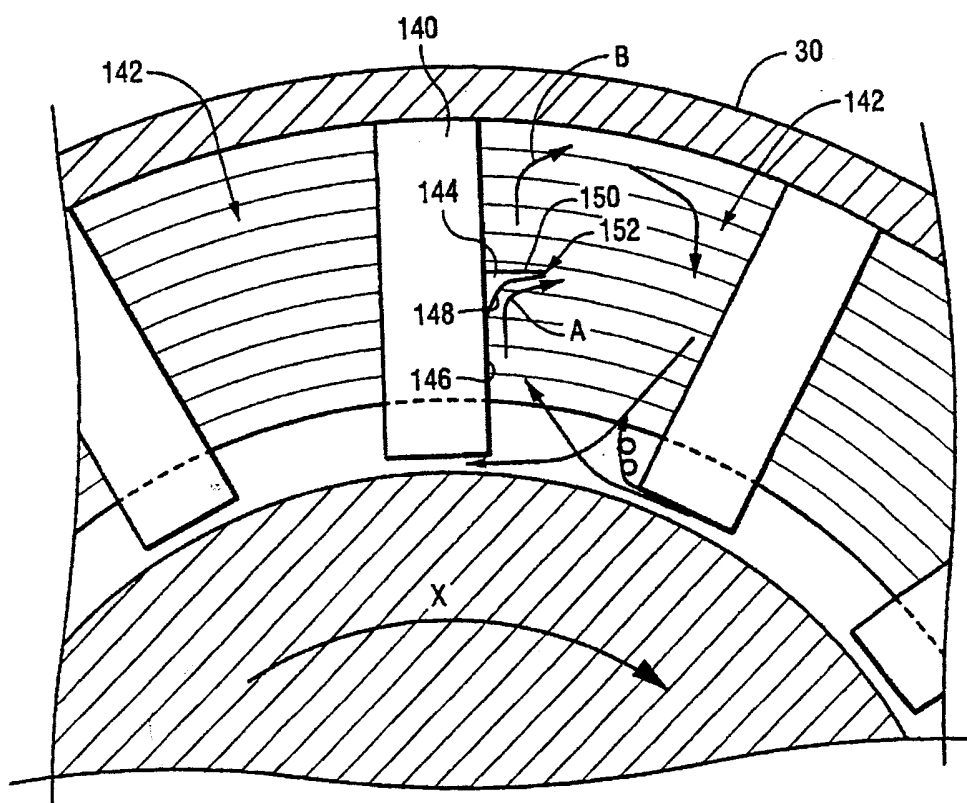
Obr. 3



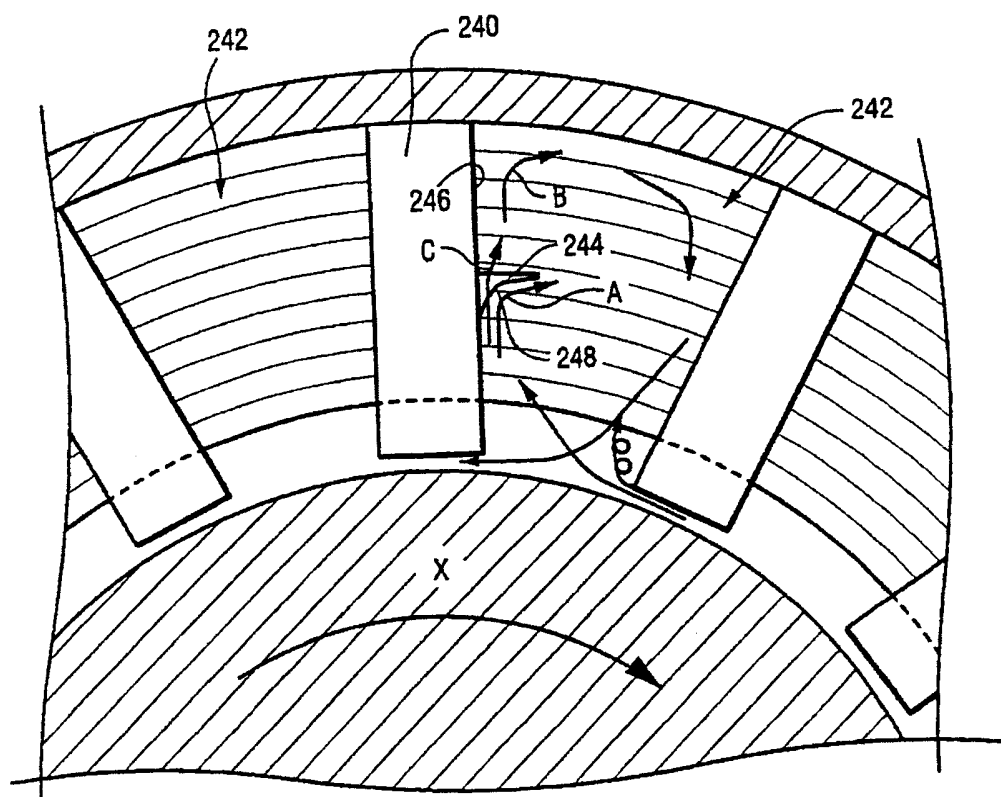
Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7

Konec dokumentu