



(12) PATENT

(19) NO

(11) 338460

(13) B1

NORGE

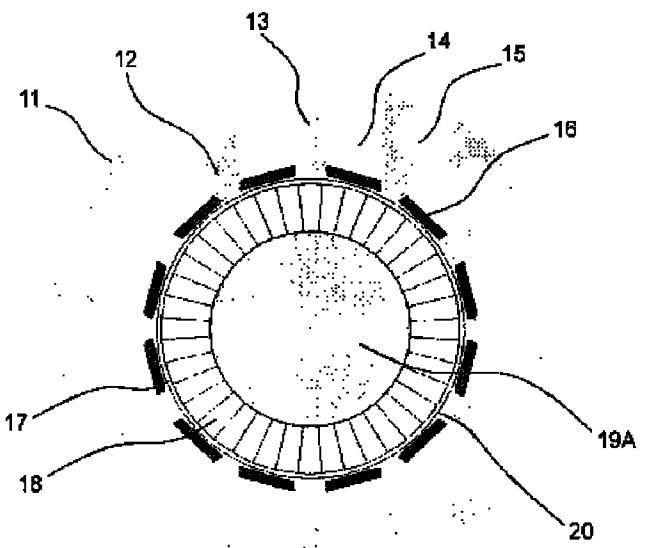
(51) Int Cl.

*H02K 1/20 (2006.01)**H02K 3/24 (2006.01)**H02K 1/14 (2006.01)*

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20093533	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2009.12.16	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2009.12.16	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2011.06.17		
(45)	Meddelt	2016.08.15		
(73)	Innehaver	SmartMotor AS, Jarleveien 8, 7041 TRONDHEIM, Norge		
(72)	Oppfinner	Sigurd Øvrebø, Alosaveien 8, 7600 LEVANGER, Norge Alexey Matveev, Magnus Blindes vei 3, 7052 TRONDHEIM, Norge Astrid Røkke, Weidemannsvei 21, 7014 TRONDHEIM, Norge Eirik Mathias Husum, Arildsgate 1A, 7018 TRONDHEIM, Norge Stig Ove Stornes, Ulstadløkkeveien 20, 7042 TRONDHEIM, Norge Tina Skare Pryde, Skyåsvegen 72, 7045 TRONDHEIM, Norge		
(74)	Fullmektig	Curo AS, Vestre Rosten 81, 7075 TILLER, Norge		
(54)	Benevnelse	Elektrisk maskin, dens rotor og dens fremstilling		
(56)	Anførte publikasjoner	NO 324241 B1 US 6664692 B1 US 2007126304 A1 EP 1333561 A2 SU 1718340 A1 US 20080030094 A1		
(57)	Sammendrag			

Elektrisk maskin, særlig en motor eller generator, med en rotor (20) forsynt med permanentmagneter, og en stator (11) med spalter (14) for spoler for å danne faseviklinger. Spaltene er skilt fra hverandre ved tenner med forskjellig bredde og fasong, idet statoren rundt omkretsen har vekselvis rektagulære (13) og trapesformete tenner (12). Hver spole strekker seg gjennom et par statorspalter (14) og omslutter rektagulære tenner (13). I det minste enkelte av de trapesformete tenner (12) inneholder aksiale kanaler med tilgang fra i det minste den ene enden av statoren. Hensikten med oppfinnelsen er å anordne relativt store aksiale kanaler i en slank elektrisk maskin uten å redusere dennes dreiemoment, tethet og radiale dimensjoner. Det beskrives også visse fremstillingsteknikker tilordnet det nye konseptet.



Elektrisk maskin, dens rotor og dens fremstilling

Oppfinnelsens område

Feltet er elektriske maskiner for bruk i radialt begrensete rom, som i trange brønner eller tunneler. Anwendelser kan være olje- og gassundersøkelser og -utvinning (nedihulls), boring generelt, og hvilke som helst andre situasjoner hvor det er viktig å ha en kompakt stator med aksiale kanaler.

Oppfinnelsens bakgrunn

10 I nedihullsanwendelser er det ofte behov for å transportere ulike materialer så som grunnfragmenter, borekaks, vann, olje etc. gjennom en elektrisk maskin, og enkelte ganger trenger man også å føre gjennom kabler. Det er kjent teknikk å bruke spalten mellom rotor og stator for transport av fluid, som olje, men siden frirommet er meget trangt kan ikke noen stor fluidstrøm påregnes. Faste partikler og viskøst fluid kan i hovedsak ikke transporteres slik, og det er derfor et behov for andre slike passasjer gjennom maskinen.

En rekke elektriske maskintyper har aksiale kanaler integrert i sine jernkjerner, men utenfor det område som direkte inngår i energiomvandlingen, og for innpasningen av kanaler er rett og slett jernkjernene laget tykkere, noe som øker maskindiameteren. Eksempler på slike maskiner er beskrevet i patentene:

20 DE102007006856 (A1) - Siemens AG
 GB9866682 (A) - Ahlstrom
 US2006066159 - Enomoto
 DE4103154 (A1) - Uwe Unterwasser Electric GmbH
 JP59010155 (A) - Tokyo Shibaura Electric Co

25 US2007024129 (A1) - Siemens AG
 US2007126304 (A1) – Aichi Elec Co

Det er kjent å legge inn kanaler i statoren for kjøling. GB 986682 viser således en typisk konfigurasjon med hull for kjøling av en stator, og i den viste utformingen brukes en ganske stor del av statorens diameter til kjølingen. Dette kan være hensiktsmessig når det er behov for en 30 stator med stor masse for å få god mekanisk stabilitet, men generelt vil en slik løsning for relativt lange maskiner med liten ytterdiameter føre til at også at luftgapets diameter blir liten, med reduksjon av dreiemomentet som resultat. I maskiner som skal ha stort dreiemoment er det fordelaktig med en større rotordiameter for å få en lengre momentarm som kraften virker på. Samtidig er det slik at når maskinens ytterdiameter er begrenset, kan heller ikke rotordiametren

økes mye, siden det må være tilstrekkelig plass til statorens laminerte deler og viklinger.

Konstruktørens oppgave er derfor å finne den optimale diameter på luftgapet.

Det er en alminnelig svikt ved de etablerte konstruksjonsmåter at ikke rotorens ytterdiameter er optimal, siden kanaler ved maskinperiferien kan ta betydelig plass og derved redusere det

- 5 tilgjengelige område for energiomvandlingen. En oversikt over dette kan finnes i patentene US 2006066159 og DE 4103154, der det i det første patentet foreslås kanaler anordnet utenfor de energiaktive områder, men da slik at statoren får større og rotoren mindre byggehøyde og altså ikke med luftgapet optimalt plassert, og der det i det andre patentet tilsvarende foreslås spor som danner kanaler i statorperiferien, med samme resultat: ikke optimal luftgap-
- 10 diameter.

I motsetning til US 2006066159 og DE 4103154, som ikke angir noen kanaler integrert i statorens tenner, beskrives i DE 1090750 (B1) kjølekanaler integrert i en skråstilt tann. Kanalene i tennene brukes i tillegg til kjøling også til å jevne ut reluktansen. Det er verdt å merke seg at ifølge DE 1090750 (B1) er ikke kjølekanalene forlenget inn i statorens jern siden nesten alt jerntap antas

- 15 å oppstå i tannsonen, og at kanalene derfor er lagt der for å fjerne varmen som dannes lokalt der.

Den typen maskin som er beskrevet i DE 1090750 (B1) kjennetegnes ved et for tykt åk, slik at en optimal diameter ikke oppnås for luftgapet. I motsetning til dette foreslås i US 6 664 692 og NO 324 241 at åkhøyden holdes på et minimum, og dette gjøres ved en spesiell konfigurasjon av konsentrerte spoler/viklinger og ved en permanentmagnet-teknologi som er særlig gunstig for

- 20 integrering av aksiale kanaler når bare annenhver tann/pol bærer en spole og der de som ikke bærer spole har trapesform.

Det finnes også maskiner hvor kjølekanaler er lokalisert mellom huset og statorblikket ved at blikket har en utforming langs periferien som danner kanaler. Slike typer maskiner er nevnt både i US 2007126304 og EP 1333561 hvor man kan se at slik utforming vil resultere i en større diameter

- 25 på motorene.

Derfor bruker det foreslårte nye konsept, oppfinnelsen, den teknologien som er beskrevet i patentene US 6 664 692 og NO 324 241, nevnt ovenfor, som en basis og et startpunkt.

For en typisk permanent magnet motor viser US 6 664 692 (B2) et eksempel på utforming av magneter og spor- og polkombinasjoner som kan være fordelaktige å bruke.

30

Formål

Oppfinnelsens hovedformål er å få innpasset relativt store aksiale kanaler i en slank elektrisk maskin, uten at hensynet til dreiemoment og radiale dimensjoner må ofres. Særsiktig er det et formål å kunne skape en elektrisk maskin som er egnet for nedihullsbruk til havs og har stort

- 35 dreiemoment.

Et ytterligere formål er å skape statorkanaler som muliggjør integrering av en beskyttelsesinnretning.

Kort oversikt over oppfinnelsen

- 5 Oppfinnelsens hovedtrekk er beskrevet i krav 1. Ytterligere trekk er beskrevet i kravene 2 - 14.

Oppfinnelsen omfatter en elektrisk maskin som er utformet slik at luftgapet får optimal diameter når maskinens ytterdiameter er fastlagt og behovet for aksiale kanaler gjennom maskinen foreligger.

- 10 I tillegg til den optimale luftgapdiamETEREN innføres en rotorkonstruksjon som bringer maskinens magnetfelt til et maksimum og bidrar til et større dreiemoment. Den optimale diamETEREN skaper et vesentlig større dreiemoment enn i maskiner ifølge teknikkens stilling. Den særskilte rotorutformingEN er også slik at man slipper å bruke laminert åk i rotoren.

- 15 Maskinen ifølge oppfinnelsen er en permanentmagnetmaskin av synkrontypen (PMSM) med bevikling med konsentrerte spoler. Det oppnås en vesentlig reduksjon av statoråkets tykkelse og et stort dreiemoment innenfor et lite maskinvolum.

Oppfinnelsen er særlig egnet for nedihullsanvendelser i relativt trange åpninger/rom, og den muliggjør konstruksjon av maskiner med stort dreiemoment uten behov for så store lengder at det oppstår mekaniske problemer.

20

Kort beskrivelse av tegningene

Oppfinnelsen skal her beskrives med henvisning til de tilhørende tegninger, hvor:

Fig. 1 viser en utførelsesform i tverrsnitt,

Fig. 2 A-F viser varianter av kanalene,

- 25 Fig. 3 A-C viser skjematiske tre spoler med forskjellig form,

Fig. 4 viser en maskin med vide kanaler: (a) uten hus, (b) med hus, (c) med hul aksel,

Fig. 5 viser oljesirkulasjon inne i maskinen,

Fig. 6 viser maskinrotoren med sin aksel med monterte permanentmagneter,

Fig. 7 viser maskinstatorens sammenstilling (1. variant),

- 30 Fig. 8 viser maskinstatorens sammenstilling (2. variant), og

Fig. 9 viser et integrert maskinværn.

Detaljbeskrivelse av de foretrukne utførelser

Oppfinnelsen dekker den elektriske maskinen som med sine aktive deler er vist i tverrsnitt i Fig.

- 35 1. Maskinen har minst tre faser og omfatter en rotor 20 med permanentmagneter 18, og en stator

- 11 med fasevikling. I den foreslatté maskinen er i omkretsretningen hver rektangulære tann 13 etterfulgt av en trapesformet tann 12 slik at det dannes en sekvens "rektangulær - trapesformet - rektangulær - trapesformet....". Viklingen består av spoler, hver ført i sitt respektive par av statorpolmellomrom eller -spalter 14 og omslutter den rektangulære tannen 13 mellom dem, mens de trapesformete tennene 12 inneholder aksiale kanaler 15.

5 I den foreslatté maskinen er antallet statorspalter 14 tolv, antallet rektangulære, smale tenner 13 er seks, antallet trapesformede, brede tenner 12 er seks, og antallet kanaler 15 er seks. I det generelle tilfelle kan antallet rektangulære og trapesformede tenner velges forskjellig, tilpasset kravene til hastighet.

- 10 Antallet kanaler kan være færre enn seks, siden ikke alle de trapesformete tenner 12 trenger å inneholde kanaler 15.

Spaltene eller polmellomrommene som rommer spolene, er lukket med spaltekiler 16 hvis relative permeabilitet er lik eller nær 1,0.

- 15 Kanalene kan ha forskjellig form (Fig. 2, A-F), men fellestrekket for alle varianter er at kanalene inngår i polene slik at kanalarealet inne i dem er større enn det inne i bakåket. Som vist i Fig. 2E og 2F kan tannen 17 også omfatte et flertall kanaler.

Fig. 3A-C viser ulike spoleformer 21A (rektangulære), 21B (utformet med parallele sider), 21C (utformet med to ikke-parallele sider).

- 20 Maskinen kan ha sitt eget hus eller inngå i et verktøy. Fig. 4A-C viser en geometrisk utforming av en laminert stator 22 utnyttet på ulike måter. I Fig. 4B er den forsynt med et ekstra hus 23.

Fig. 4c viser en utforming med en hul aksel 19B.

Kravet i enkelte anvendelser er at maskinen skal kunne fylles med et fluid 26 (vanligvis en olje-type). Da kan maskinen kjøles ved kontakt mellom ytterflaten og omgivelsen utenfor, så vel som ved intern sirkulasjon av olje.

- 25 En eller flere kanaler 27 kan brukes for slik sirkulasjon, som vist i Fig. 5. For å få til sirkulasjon kan en gjengeprofil 25 være avsatt på akselen 19A eller på magnetene 18.

I maskinrotoren vist i Fig. 5 er det antall poler som etableres av permanentmagnetene 18 ti, selv om det i det generelle tilfelle kan være et annet antall.

- 30 Magnetene 30, 31 er delt opp i segmenter for å redusere virvelstrømtap. I eksempelet i Fig. 6 består hver pol av fire magnetelementer.

For å styrke magnetfeltet er enkelte magneter 30 magnetisert i radial retning, enkelte magneter 31 i en viss vinkel.

Magnetene 30, 31 kan være montert direkte på akselen 19A eller på blikket. Direkte akselmontering er fordelaktig ved at en tykkere aksel betyr redusert ut-/nedbøyning av rotoren, hvilket

- 35 tillater fremstilling av lengre maskiner.

Magnetene er påført et belegg mot korrosjon.

Dersom maskinen er meget lang kan det være vanskelig å sette inn spolene i statorens spalter eller polmellomrom på konvensjonell måte, og maskinfremstillingen kan da foregå annerledes, slik det beskrives nedenfor.

- 5 Som vist i Fig. 7 omfatter statoren en hoveddel 33 i form av en forhåndssammenstilt laminatstabel, og flere buete segmenter 32.

Spolene 21B innpasses først i hoveddelens 33 spalter, hvoretter de buete segmenter installeres. Spolene kan være formviklet før innpasningen.

- 10 De buete segmentene 32 kan være bygget opp av aksialt stablete laminater eller være et sintret magnetisk element eller et element av kompaktert magnetisk pulver.

I en variant kan segmentene 34 (Fig. 8) være bygget opp av radialt stablete laminater.

- 15 Selv om enkelte kanaler, så som kanalen 41 i Fig. 9, kan brukes til transport av en substans 40 gjennom maskinen, kan andre kanaler, som kanal 38, brukes for tilpasning av et maskinværn, idet en slik for kompensering av trykk er vist bestående av et kanalrør 27, et stempel 37, en fjær 42 og et hull 38. Internt fluid 28 kan bevege seg inn og ut av kanalen via dens åpne ende 35, og eksternt fluid kan bevege seg inn og ut av kanalen via dens hull 38. Den andre enden av kanalen 36 er lukket.

Maskinen kan brukes både i generator- og motormodus, den kan være forsynt med innebygget hastighets- eller posisjonsføler, og den kan ha hul aksel for transport av eksterne substanser.

Patentkrav

1. Elektrisk maskin, særlig en motor eller generator, som er egnet for nedihullsbruk til havs, med minst tre faser og omfattende en rotor (20) forsynt med permanentmagneter, en stator (11) med spalter (14) for spoler for å danne faseviklinger, idet spaltene er skilt fra hverandre ved tanner med forskjellig bredde og fasong, hvor statoren (11) rundt omkretsen har vekselvis rektangulære (13) og trapesformete tanner (12) og hvor hver spole strekker seg gjennom et par statorspalter (14) og omslutter rektangulære tanner (13), **karakterisert ved** at minst enkelte av de trapesformete tennene (12) inneholder aksiale kanaler (15) med tilgang fra i det minste den ene enden av statoren (11), hvilke aksiale kanaler (15) strekker seg gjennom statorens (11) åk og betydelig inn i de trapesformete tennene (12), hvor kanalenes (15) primære funksjon er transport av materialer eller væsker gjennom maskinen eller legging av kabler.
10
2. Elektrisk maskin ifølge krav 1, **karakterisert ved** at antallet spalter er tolv, antallet spoler er seks.
15
3. Elektrisk maskin ifølge ett av kravene 1 - 2, **karakterisert ved** at spaltene er lukket av umagnetiske eller delvis magnetiske spaltekiler (16).
4. Elektrisk maskin ifølge ett av kravene 1 - 3, **karakterisert ved** at minst én av kanalene (15) strekker seg slik inn i tannen (12) at området av kanalen (15) inne i tannen (12) er større enn i åket.
20
5. Elektrisk maskin ifølge ett av kravene 1 - 4, **karakterisert ved** i den i det minste delvis er fylt med fluid for trykk-kompensasjon.
25
6. Elektrisk maskin ifølge ett av kravene 1 - 5, **karakterisert ved** at dens ytre omslutning er åpen for et fluid som sirkulerer i det indre av maskinen, for kjøling.
7. Elektrisk maskin ifølge ett av kravene 1 - 6, **karakterisert ved** at minst enkelte av kanalene danner en strømningsvei som strekker seg gjennom statoren, for overføring av fluid, f.eks. et brønnborefluid.
30
8. Elektrisk maskin ifølge ett av kravene 1 - 7, **karakterisert ved** at rotoren er utformet med midler for å bevirke intern fluidsirkulasjon.

9. Elektrisk maskin ifølge ett av kravene 1 - 2, **karakterisert ved at minst én kanal brukes for innpasning av et motorvern.**
10. Rotor for den elektriske maskinen ifølge krav 1, **karakterisert ved at den omfatter en aksel og permanentmagneter (30, 31) festet til denne uten åk, der magnetene (30, 31) er segmentinndelte og magnetsegmentene (30) er magnetiserte i radial retning og enkelte magneter (31) i en viss vinkel.**
11. Rotor ifølge krav 10, **karakterisert ved at magnetene er belagt med et korrosjonshindrende belegg.**
12. Rotor ifølge krav 10, **karakterisert ved at akselen (19B) er hul.**
13. Fremgangsmåte for fremstilling av en elektrisk maskin ifølge krav 1, **karakterisert ved at den omfatter:**
- å sette sammen statoren av hovedsakelig forhåndssammenstilte laminater i stabel, og flere buete segmenter (32),
 - å først innpasse spolene i spaltene i den laminerte stabelen og deretter anordning av de buete segmentene (32), og
 - 20 - innpasse forhåndsformete spoler i/på den hovedsakelig forhåndssammenstilte stabelen.
14. Fremgangsmåte ifølge krav 13, **karakterisert ved at de buete segmenter (32) er av radialt stablete laminater, aksialt stablete laminater, et sintret magnetisk legeme eller et kompaktert magnetisk pulverlegeme.**

1/4

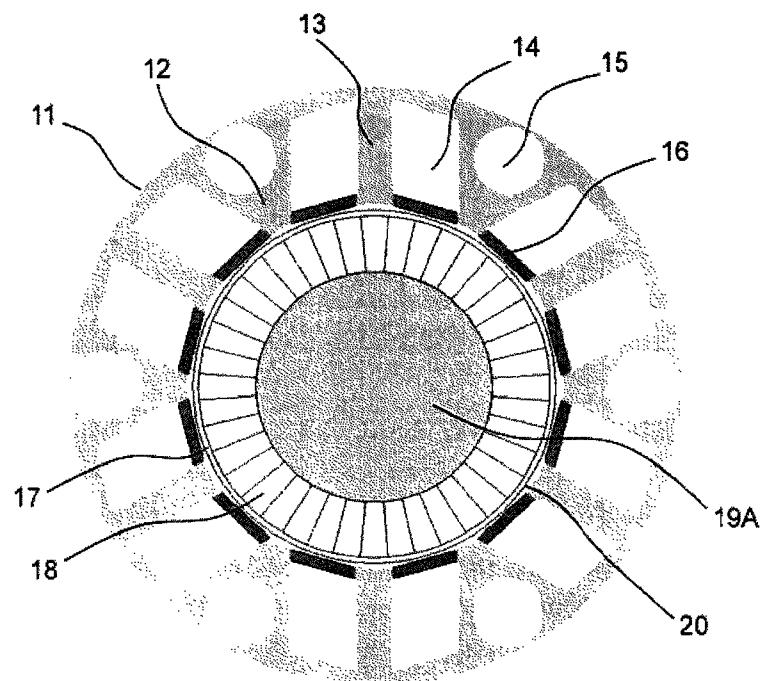


Fig. 1

5

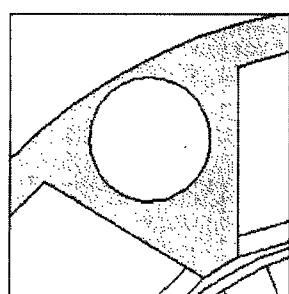


Fig. 2A

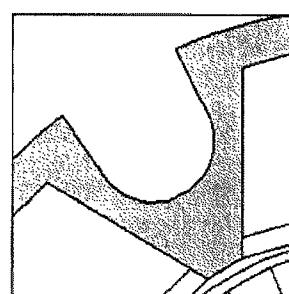


Fig. 2B

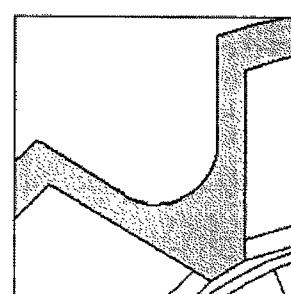
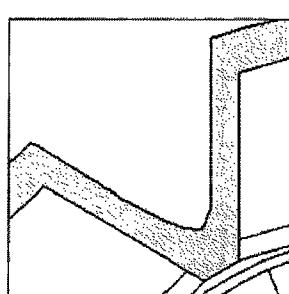


Fig. 2C



10

Fig. 2D

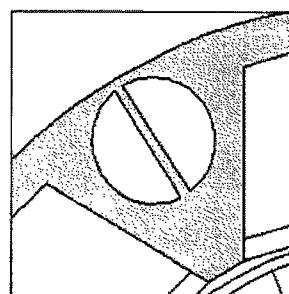


Fig. 2E

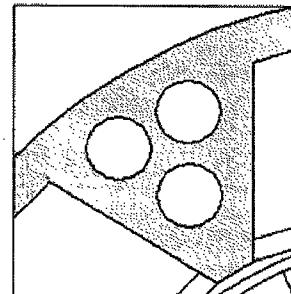


Fig. 2F

2/4

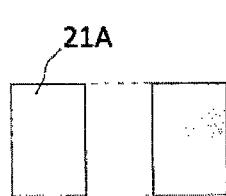


Fig. 3A

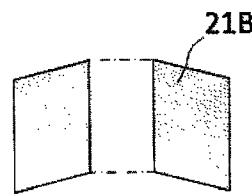


Fig. 3B

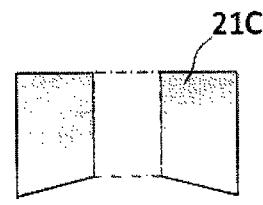
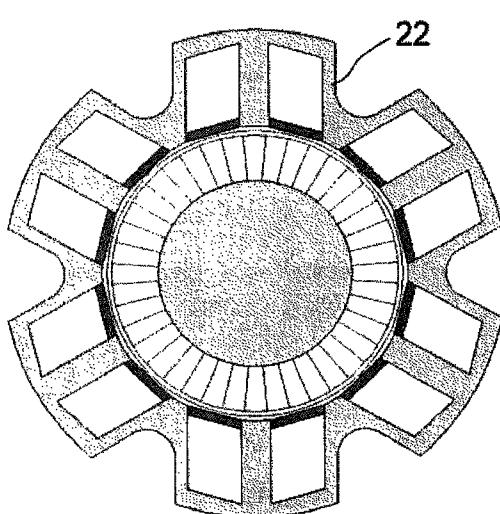


Fig. 3C



5

Fig. 4A

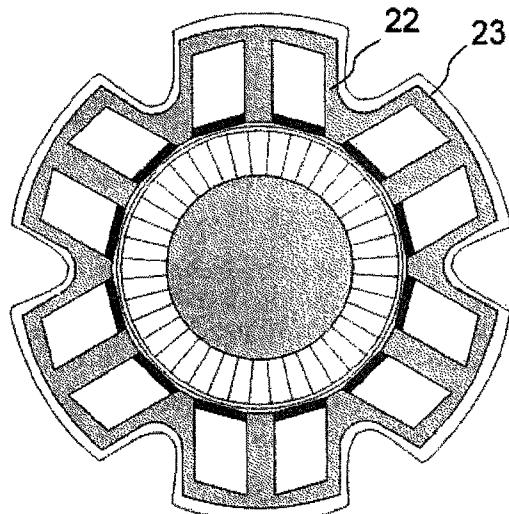


Fig. 4B

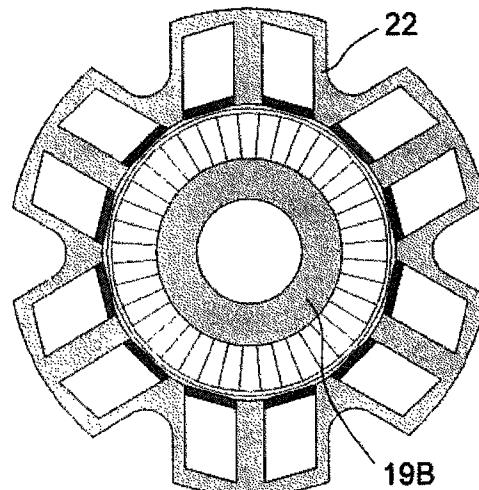


Fig. 4C

3/4

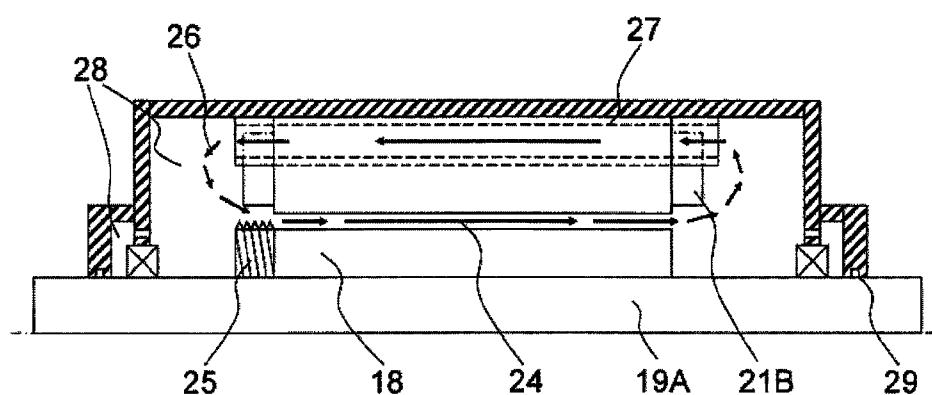
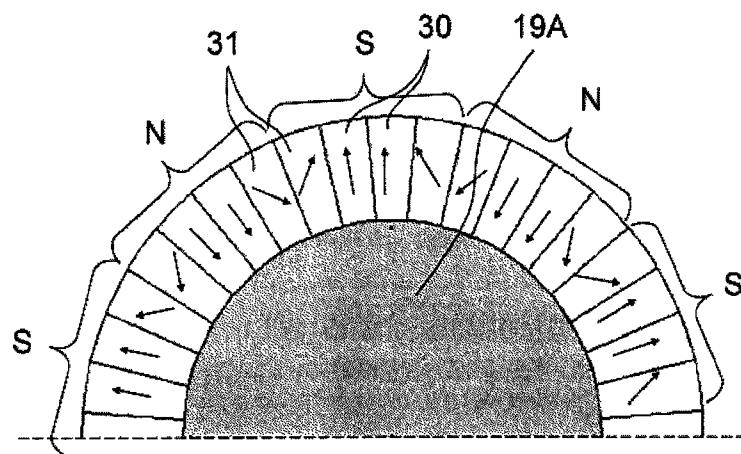


Fig. 5



5

Fig. 6

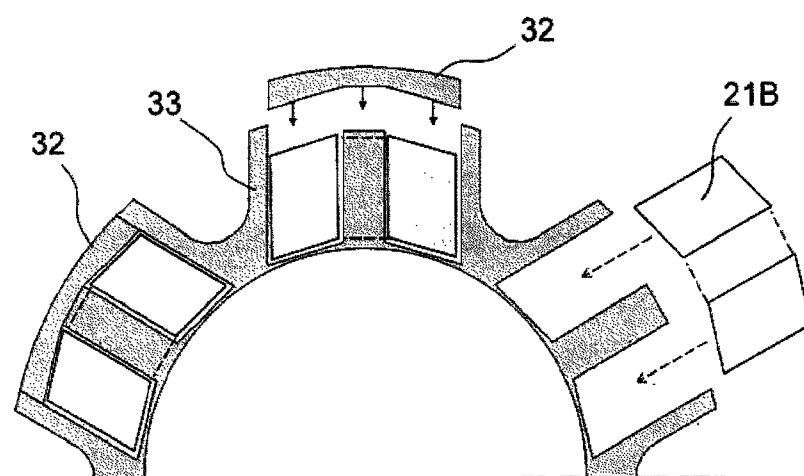


Fig. 7

4/4

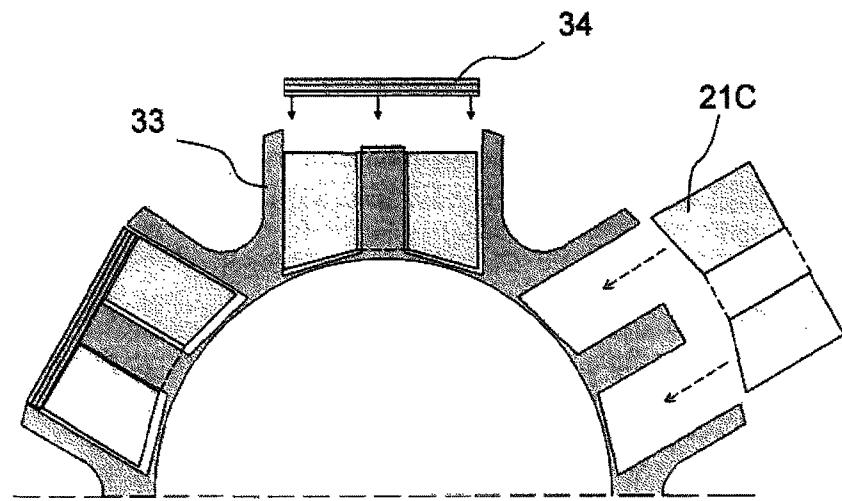
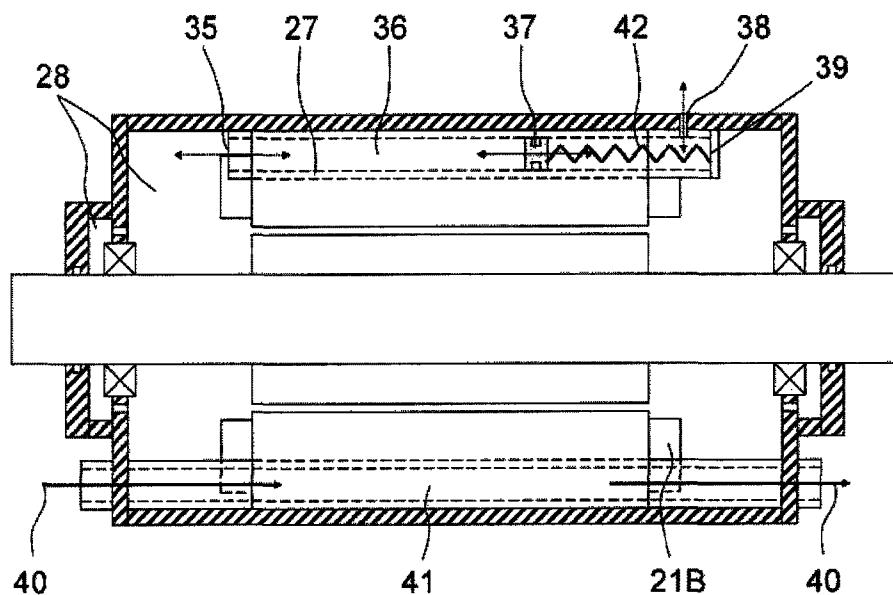


Fig. 8



5

Fig. 9

10