



(12) **PATENT**

(19) **NO**

(11) **330804**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

H02K 9/00 (2006.01)

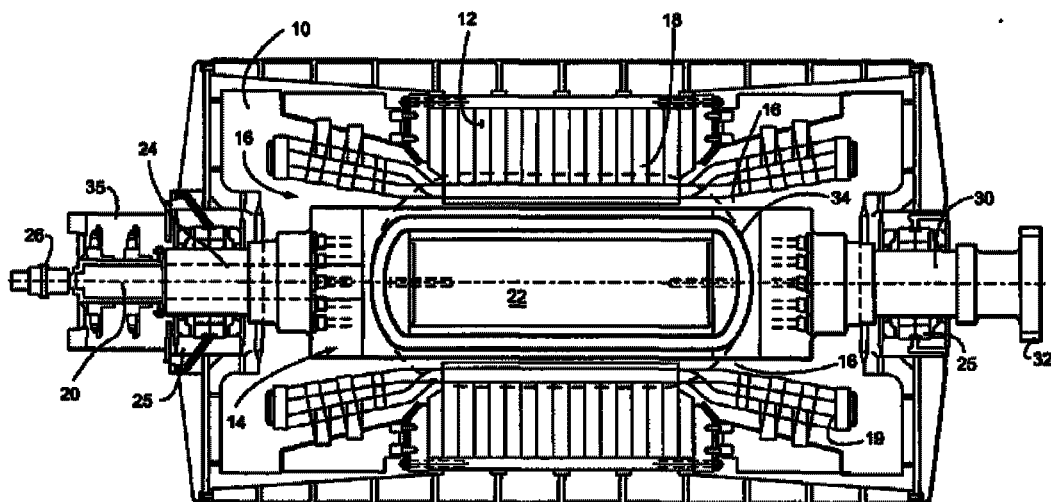
H02K 9/193 (2006.01)

H02K 55/04 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20022296	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2002.05.14	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2002.05.14	(30)	Prioritet	2001.05.15, US, 854931
(41)	Alm.tilgj	2002.11.18			
(45)	Meddelt	2011.07.18			
(73)	Innehaver	General Electric Co, 1 River Road, US-NY12345 SCHENECTADY, USA			
(72)	Oppfinner	James Pellegrino Alexander, 12 Northwest Pass, Ballston Lake, NY 12019, USA Evangelos Trifon Laskaris, 15 Crimson Oak Court, Schenectady, NY 12309, USA Robert Adolph Ackerman, 4125 Consaul Road, Schenectady, NY 12304, USA			
(74)	Fullmektig	Tandbergs Patentkontor AS, Postboks 1570 Vika, 0118 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Synkronmotor med supraledeende komponenter og kryogengasskopling			
(56)	Anførte publikasjoner	US 4309632 A			
(57)	Sammendrag				

Kjølefluidkopling (126) for kjøling ved hjelp av et fluid, av en rotor i en synkronmaskin (10), nemlig av en supraledeende vikling (34) i denne. Kjølefluidet tas fra en kilde fra kryogenisk fluid. Fluidkoplingen (126) omfatter et innløps- og et utløpskjølerør (156,166) i rotoren (14) og koaksialt anordnet i forhold til dennes langsgående midtakse benevnt rotoraksen (20). Innløpskjølerøret (156) har en inngangsport (31) for å motta innkommende kjølefluid (157) fra kilden (190), og utløpskjølerøret (166) har en tilsvarende utgangsport (41) for å føre kjølefluid i en returstrøm (164) tilbake fra rotoren (14) til kilden (190). En pakning (162) med klaring og for stasjonær bevegelse skiller koplingens (126) inngangs- og utgangsport (39, 41) fra hverandre.



Denne oppfinnelse gjelder generelt supraledende spoler i synkronmaskiner med roterende aksel. Nærmere bestemt gjelder oppfinnelsen en kryogenisk gasskopling mellom en kilde for kryogenisk fluid og maskinens rotor.

5 Elektriske synkronmaskiner har feltspoleviklinger og omfatter foruten generatorer og motorer med roterende aksel også lineære motorer. Rotasjonsmaskiner har generelt en stator og en rotor som er elektromagnetisk koplet til hverandre. Rotoren har en to- eller flerpolet hoveddel eller rotorkjerne, en rotoraksel og viklinger rundt de enkelte poler på denne. Rotorkjernen er gjerne av eller kan omfatte et fast magnetisk
10 materiale med stor magnetisk permeabilitet, for eksempel jern.

Konvensjonell isolert koppertråd har oftest vært brukt i rotorviklingene, med sin dessverre ikke ubetydelige elektriske motstand, og dette reduserer naturligvis synkronmaskinens virkningsgrad og kan gi en betydelig oppvarming av viklingene og dermed av rotoren. I den senere tid har man for å unngå dette derfor tatt i bruk
15 supraledende (SC) viklinger som i praksis ikke har elektrisk motstand og derfor gir store fordeler.

Jernkjernerotorer har gjerne en maksimal flukstetthet som gir magnetisk metning allerede ved en luftspaltefeltstyrke på omkring 2 T (Tesla). I en rotor med supraledende bevikling, men uten jern og altså med luftkjerne kan derimot feltstyrker på 3 T eller mer
20 brukes, hvilket gir større effekttetthet og åpner for reduksjon av både vekt og størrelse. Slike luftkjernerotorer krever imidlertid relativt mye supraledende vikletråd, og dette bygger seg opp med antallet rotorspoler, gir en mer kompleks spolebærekonstruksjon og innebærer større kostnader.

Supraledende feltviklinger beregnet for høye temperaturer er utformet av
25 supraledende materialer som kan være skjøre og må kjøles ned til en temperatur ved eller under en kritisk temperatur for å bli supraledende, for eksempel 27 °K. Slike viklinger kan være laget av supraledende materiale ved høyere temperaturer, så som materialene BSCCO ($\text{Bi}_x\text{Sr}_x\text{Ca}_x\text{Cu}_x\text{O}_x$) for å danne lederne.

Supraledende viklinger har blitt nedkjølt av flytende helium, og etter passering
30 gjennom en slik vikling på en rotor føres det da oppvarmede helium tilbake i gassform. Ved å bruke flytende helium for nedkjølingen til kryogeniske temperaturer trenger man imidlertid ny flytendegjøring av heliumet i gassform etter bruken, og en slik gjentatt flytendegjøring innebærer betydelige pålitelighetsproblemer og krever også betydelig hjelpkraft for nedfrysingen.

35 Tidligere kjøleteknikk innbefatter kjøling av harpiksimpregnerte SC-viklinger via en ledende faststoffvei fra en kjøler for kryogeniske temperaturer, ofte benevnt kryokjøler. Alternativt kan kjølerør i maskinens rotor videreformidle en væske og/eller en gass ved slike lave temperaturer til en porøs SC-vikling som neddykkes i flyten av væske eller gass. Slik neddykkingskjøling krever imidlertid at hele feltviklingen og

rotorkonstruksjonen holdes ved kryogeniske temperaturer, og følgelig kan man ikke bruke jern i rotorens magnetiske krets siden jern blir meget skjørt ved så lave temperaturer.

En kjølefluidkopling trengs for å forbinde den stasjonære kryokjøleenhet med rotoren og dennes SC-viklinger, og koplingen må kunne overføre inngående og utgående kjølefluid mellom en stasjonær kilde og rotorens roterende aksel i den ene ende. Kontaktpakninger brukes da vanligvis i overføringskoplinger for kryogeniske kjølesystemer som er koplet til rotor og andre rotasjonskomponenter, men slike pakninger gir naturligvis økede friksjonstap som bidrar til å redusere kjølekapasiteten og begrense både levetid og pålitelighet av koplingen på grunn av pakningsslitasje. Man har også brukt pakninger med en spalte relativ til bevegelsen ved overføring av kjølefluid til en rotor, men slike pakninger har imidlertid store varmeoverføringstap. Utvidede termiske oppstillingslengder for disse gap med relativ bevegelse har også blitt brukt for å redusere varmeoverføringstapene hos den kryogeniske gass og forbedre kjølekapasiteten, men slike lengder fører til lange overhengsrør som kan vibrere i for stor grad og komme i friksjonskontakt med generatorens rotor. Følgelig har man lenge hatt et stort behov for bedre kryogeniske gasskoplinger i eller i forbindelse med en rotor i en maskin.

Varmetapene i et kjølesystem med gass for HTS-viklinger bør fortrinnsvis holdes på et minimum for å bevare kjøleeffekten. Koplingen mellom en stasjonær kryogenisk gasskilde og rotoren i en synkronmaskin vil således være en mulig kilde til kryogenisk gasslekkasje. For å redusere slik lekkasje i koplingen er det ønskelig at lekkasjen mellom innløpet og returgasstrømmen er redusert til et minimum og at man har tilstrekkelig varmeisolasjon mellom gassen og komponentene som omgir den og som har omgivelsestemperatur. I tillegg vil driftstiden og den større pålitelighet i en bedre overføringskopling måtte stå i forhold til forventet levetid og pålitelighet av hele synkronmaskinen.

Kort gjennomgåelse av oppfinnelsen

I følge oppfinnelsen, løses minst ett av de overnevnte problemer ved en rotor angitt i krav 1 og som har de karakteristiske trekk som angitt i den kjennetegnende del av kravet.

En kjølegasskopling er således utviklet for å forbinde en tilførsel av kryogenisk gass (eller kjølefluid) med rotorakselen i en elektrisk synkronmaskin. Nedkjølt kryogenisk gass (eller et annet fluid) overføres fra en stasjonær kryokjøler via en stasjonær bajonett til et rør som roterer sammen med motoren som har en eller flere HTS-viklinger. Kjølegassen får sin varmeoverføring i en overføringsforbindelse som er festet til rotorens kollektorside, på akselen. Et gap med relativ bevegelse og etablert med en klaringspakning om en bajonettkopling begrenser lekkasjen av den tilførte kjølegass til

returgassen med lavere trykk, og et tilsvarende gap over en lengde av det roterende returrør gir varmeisolasjon til returkryogengassen.

I en første utførelse gjelder oppfinnelsen en kjølefluidkopling for å etablere kjølefluid til en rotor som har en supraledeende vikling i en synkronmaskin og en kilde for kryogenisk kjølefluid. Fluidkoplingen har et kjølerør på inngangen og et på utgangen i rotoren og koaksialt anordnet i forhold til rotorakselen. Kjølerøret på inngangen har en inngangsport som er koplet for å motta innkommende kjølefluid fra kilden, og kjølerøret på utgangen har en tilsvarende utgangsport som er koplet for å føre returkjølefluid fra rotoren tilbake til kilden. En rotasjonsgappakning skiller inngangs- og utgangsporten i koplingen. I en annen utførelse gjelder oppfinnelsen en tilsvarende kopling som omfatter:

(i) et roterende kjølerør på inngangen og et tilsvarende kjølerør på utgangen, begge anordnet i rotoren og koaksiale med en lengdeakse for denne, hvor kjølerøret på inngangen er koplet for å motta innkomne kjølefluid fra kilden for kryogenisk kjølefluid, hvor kjølerøret på utgangen er koplet for å føre kjølefluid tilbake til kilden, og hvor det er anordnet en rotasjonsgappakning som støtter kjølerøret på inngangen i kjølerøret på utgangen.

I en ytterligere utførelse gjelder oppfinnelsen en kjølefluidkopling mellom en rotor for en synkronmaskin og en kilde for kryogenisk kjølefluid, akkurat som i avsnittet rett ovenfor, og denne kopling omfatter:

(i) et roterende kjølerør på inngangen og et tilsvarende kjølerør på utgangen, begge anordnet i rotoren og koaksiale med en lengdeakse for denne, hvor kjølerøret på inngangen er koplet for å motta innkomne kjølefluid fra kilden for kryogenisk kjølefluid, hvor kjølerøret på utgangen er koplet for å føre kjølefluid tilbake til kilden, hvor det er anordnet en roterende gappakning uten kontakt og som støtter kjølerøret på inngangen i kjølerøret på utgangen, og hvor det også er anordnet et tredje rør som innsirkler kjølerøret på utgangen og er opplagret i et lager, idet kjølerøret på utgangen er opplagret i en magnetfeltpakning i det stasjonære rør.

Kort gjennomgåelse av tegningene

Tegningene som støtter denne beskrivelse tar for seg en særlig utførelse av oppfinnelsen, idet fig.1 skjematisk viser et oppriss av en elektrisk synkronmaskin med supraledeende rotor og en stator, fig. 2 viser skjematisk en SC-vikling med form som en idrettsløpebane og med kjølegasspassasjer, fig. 3 viser skjematisk et delvis utsnitt av en rotor som har en slik vikling, fig. 4 og 5 viser tverrsnitt gjennom en slik rotor og med rotorens akselender, fig. 6, 7 og 8 viser tilsvarende tverrsnitt av den motsatte akselende på rotoren, nemlig kollektorakselen, og fig. 9 viser skjematisk sammenstillingen av en typisk kryogengassoverføringskopling.

Detaljert beskrivelse av oppfinnelsen

Fig. 1 viser en typisk synkronmaskin 10 i form av en generator og med en stator 12 og en rotor 14. Statoren er vist stiplet og omfatter feltviklinger i form av spoler som omslutter et sylindrisk hulrom 16 for opptak av rotoren. Denne rotor passer altså inn i dette hulrom og danner et magnetfelt 18 når den roterer i forhold til statoren. Magnetfeltet roterer ved at rotorspolene beveger seg i forhold til statoren, hvorved det dannes en elektrisk strøm i statorspolenes enkelte vindinger. Denne strøm tas ut fra generatoren som elektrisk kraft.

Rotoren 14 har en generelt langsgående rotorakse 20 og generelt en fast rotorkjerne 22. Kjernen har magnetisk permeabilitet og er vanligvis av et ferromagnetisk materiale som jern. I en supraledeende maskin med mindre strømtetthet vil jernkjernen brukes til å redusere den magnetomotoriske kraft (MMF) og således bruken av ledningstråd. Som et eksempel kan en jernrotorkjerne magnetisk mettes ved en magnetisk luftspaltefeltstyrke på omkring 2 T.

Rotoren 14 holder generelt fastspent et par langsgående og løpebaneformede supraledeende viklinger 34. En slik HTS-vikling kan alternativt ha salform eller en annen passende form som er egnet for en bestemt HTS-rotorkonstruksjon. Den kjølekopling som her beskrives kan være tilpasset konfigurasjoner som er annerledes enn den viklingstype som har form som en idrettsbane og er montert på en rotor med fast kjerne.

Rotoren har en aksel 24, 30 i hver ende som "omfavner" kjernen 22 og holdes opplagret i lageret. Akslene kan være koplet til utvendig utstyr for rotasjon. Den aksel 24 som er koplet til rotorens kollektor har kollektorringer 79 som sørger for den elektriske forbindelse med omverdenen via forbindelser 79 på spolen 36 som spoleviklingen 34 danner. I tillegg har denne aksel 24 en kryogenoverføringskopling 26 til en kryogenkilde med kjølefluid for å kjøle ned rotorens SC-viklinger. Koplingen 26 har et stasjonært segment som er koplet til fluidkilden for kryogenkjøling, og videre har den et rotasjonssegment som gir kjølefluid til HTS-spole. Akselen 30 i motsatt ende er drivakselen og har en kraftkopling 32 til for eksempel en turbin.

Fig. 2 viser et eksempel på en feltspolevikling 34 av HTS-typen og utformet som en løpebane. Rotorens SC-feltviklespoler 34 omfatter en supraledeende HTS-spole 36 for høye temperaturer. Hver HTS-spole har en supraledeende leder beregnet for høye temperaturer, så som av BSCCO ($\text{Bi}_x\text{Sr}_x\text{Ca}_x\text{Cu}_x\text{O}_x$) og med ledningstråder i laminert utførelse og lagt inn i et fast materiale med harpiksimpregnering. Som et eksempel kan en rekke slike $\text{B}_2\text{S}_2\text{C}_3\text{O}$ -ledninger være laminert sammen og samlet i en bunt som en harpiksimpregnert fast spole.

SC-viklingen er typisk lagviklet med omviklet SC-bånd med harpiksimpregnering. Båndet er viklet i en nøyaktig spoleform for å få små dimensjonstoleranser og kan være omviklet i skruelinjefasong for å danne den aktuelle SC-vikling 34 som først er i form av en plan spole 36.

Dimensjonene av denne spole vil være avhengige av dimensjonene av rotorkjernen, og generelt vil hver spole omslutte magnetpolene på rotorkjernen og strekke seg parallell med rotoraksen. Viklingene etter formingen av spolene går således kontinuerlig rundt magnetpolene. Den elektriske motstand i dem vil tilnærmet være 0.

5 Viklingene har elektriske kontakter 37 for kopling til rotorens kollektor 35.

Fluidpassasjer 38 for kjølefluid ved kryogeniske temperaturer er lagt inn i spoleviklingen 34 og kan normalt strekke seg rundt en ytterkant av SC-spolen 36. Passasjene 38 gir anledning til kjølefluidet å fjerne varme fra disse spoler ved varmeledning. Kjølefluidet holder de aktuelle driftstemperaturer nede, gjerne ved 27 °K i
10 SC-spoleviklingen, nemlig en så lav temperatur at man får supraleidende egenskaper, idet kjølepassasjene har en inngangsport 39 og en utgangsport 41 i den ene ende av rotorkjernen, og disse porter forbinder kjølepassasjer 38 på SC-viklingen og gir videre kopling til kryogenoverføringskoplingen 26 i motsatt ende av rotorakselen 24.

Fig. 3 viser en illustrasjon av en rotorkjerne 22 med de enkelte elementer ført fra
15 hverandre samt et viklingsstøttesystem for en supraleidende vikling beregnet for høye temperaturer. Systemet omfatter strekkstenger 42 som er koplet til et viklingshus 44. Dette hus holder og støtter sidedelene 40 på rotorens viklinger 34. Selv om bare en enkelt strekkstang er vist med sitt tilhørende viklingshus 44 (eller kanalhus) vil systemet generelt omfatte en rekke slike stenger, hvert med sitt viklingsstøttehus i begge ender av
20 stangen. Strekkstengene og husene vil hindre skade på viklingen under rotordriften, støtte denne vikling overfor sentrifugalkrefter og andre krefter og gi en beskyttende skjerm for viklingen.

HTS-viklingene og disses støttekomponenter vil alle være ved kryogeniske temperaturer under maskinens drift. I motsetning til dette vil rotorkjernen være ved
25 omgivelsestemperaturen som kan regnes å være "varm". Viklingsstøttene er potensielle kilder for varmeledning, nemlig varmeledning som ville føre varme til HTS-viklingene fra rotorkjernen, idet sistnevnte holder seg "varm" i forhold til de kryogeniske temperaturer under maskinens drift. Siden viklingene skal holdes nedkjølte vil altså slik varmeledning måtte unngås nærmest for enhver pris. De strekkstenger som er ført
30 gjennom boringene i rotoren er helst derfor ikke i kontakt med rotoren selv, og ved å unngå slik kontakt, slik det er nevnt ovenfor slipper man uønsket overføring.

For å redusere varmeoverføringen fra viklingen reduseres støtten til et minimum for å redusere den varmeledning som føres fra varmekilder så som rotorkjernen. Man har generelt to kategorier av støtte for supraleidende viklinger:

35 (i) "varme" støtter og (ii) "kalde" støtter. I en varm støtte er støtteelementene varmeisoleret fra de nedkjølte SC-viklinger, og med varme støtter vil den største delen av den mekaniske belastning fra en slik vikling kunne opptas av støtteelementer som er spent fra kalde til varme elementer.

I et kaldt støttesystem er dette ved eller nær den aktuelle kryogeniske temperatur for SC-viklingene og således vil mesteparten av den mekaniske belastning på en slik vikling måtte håndteres av støtteelementer som har samme lave temperatur. Et typisk støttesystem som her er beskrevet er slike kalde støtter ved at strekkstengene og de tilhørende hus eller innkapslinger over dem og viklingene opprettholdes ved eller nær kryogeniske temperaturer. Siden disse elementer altså er nedkjølte holdes disse elementer varmeisoleret, særlig ved at de ikke har kontakt via rotorkjernen, med andre og varmere komponenter i rotoren. Isolasjonsrør 52 skiller strekkstengene 42 fra veggene i boringene i rotorkjernen 22. Disse rør 52 er ført inn i endene på hver boring 46. Strekkstengene 42 er ført gjennom midten av røret, og de enkelte slike rør 52 vil derved sentrere strekkstengene i boringene og hindre at varme fra den relativt varme rotorkjerne 22 overføres til de nedkjølte strekkstenger.

Et separat støtteelement består således av en strekkstang 62, et kanalhus 64 og en tapp 66 for forbindelse mellom huset og enden av strekkstangen 62. Hvert slikt kanalhus 64 danner en U-formet brakett med vanger som er forbundet med en strekkstang og slik at det dannes en innvendig kanal for opptak av viklingen 34. Et U-formet hus av denne type gir mulighet for nøyaktig og hensiktsmessig sammenmontering av støttesystemet for viklingen. Kanalhusene fordeler sammen kreftene som virker på viklingen, dvs. sentrifugalkreftene, over hovedsakelig hele sidedelen 40 på hver side av hver vikling 34. En rekke kanalhus kan være anordnet ende mot ende langs siden av viklingen og vil sammen fordele de krefter som virker på denne, så som sentrifugalkrefter, over i alt vesentlig hele sidedelen 40 på begge sider av hver vikling 34.

Tappen 80 er ført gjennom åpninger i kanalhuset og strekkstangen. Denne tapp kan være hul for å få lav vekt. Låsemuttere eller -stifter 84 kan også være gjenget på henholdsvis festet til endene av tappen 80 for å feste husets 44 sider slik at disse ikke spres ut under belastning. Tappen kan være av sterkt materiale, for eksempel Inconel nevnt ovenfor eller titanlegering. Strekkstengene 62, 72 har således sine stangender 82 med noe større diameter, som nevnt ovenfor, og der kan de være bearbeidet slik at det dannes et flatt parti 86, eventuelt et slikt parti på hver side, i begge ender. Dette flate parti 86 gjør at stangendene kan passe inn i kanalhuset 64 og passe til viklingsbredden. De flate partier 86 ligger an mot innerflatene på HTS-viklingene 34 når strekkstang 62, 72, vikling 34 og kanalhus 64 er sammenkoplet. En slik konstruksjon reduserer påkjenningskonsentrasjonen i området ved det strekkstanghull som opptar tappen 80.

Rotorkjernen 22 er typisk av et magnetisk materiale så som jern, mens rotorakselen på begge sider typisk er av ikke-magnetisk materiale så som rustfritt stål. Akslene eller akselendene 24, 30 på rotorakselen kan således ikke ruste. Rotorkjernen og akselen så vel som deres ender kan typisk være diskrete komponenter som ikke er integrert, men som sammenstilles og festes solid til hverandre ved enten bolting eller sveising.

Jernrotorkjernen 22 har generelt sylindrisk fasong og er egnet for rotasjon inne i statoren 12, nemlig inne i dennes sentrale hulrom 16. For opptak av rotorviklingene 34 har rotorkjernen utsparinger 48 som kan danne flate eller triangulære spalter. Disse utsparinger 48 er utformet innover fra den krumme ytre overflate av kjernen, med
5 sylindrisk fasong og strekker seg langsetter rotorkjernen. En vikling 34 blir montert på/i rotoren helt inntil disse utsparinger 48 og strekker seg generelt langsetter langs en ytterflate i utsparingen og rundt enden av rotorkjernen. Utsparingene 48 opptar således viklingens langsgående deler som her er kalt sidedelene 40. Utsparingenes form tilsvarer viklingens form. Dersom viklingen for eksempel har salform eller en eller annen annen
10 form vil utsparingene i rotorkjernen 22 være utformet for å oppta formen av en slik vikling 34.

Viklingenes 34 endedeler 54 er anordnet ved motsatte ender 56 på rotorkjernen. En splittklemme 58 holder disse endedeler 54 på plass, og klemmen omfatter et par motstående plater 60 som kan klemme viklingen 34 mellom seg. Overflaten på platene 60
15 kan ha kanaler for opptak av viklingen og kan dessuten ha forbindelser 112, 114 for kontakt med denne.

Splittklemmen 58 kan være utført av umagnetisk materiale, så som aluminium eller en eller annen legering av det handelstilgjengelige materialet Inconel. Samme eller tilsvarende umagnetisk materiale kan brukes for strekkstengene, kanalhusene og andre
20 deler av vikkingsstøttesystemet. Dette system blir således umagnetisk og vil kunne opprettholde smidighet også ved kryogeniske temperaturer. Ferromagnetiske materialer blir imidlertid meget skjøre ved slike lave temperaturer, særlig under Curietemperaturen og kan derfor ikke brukes til lastbærende elementer.

Splittklemmen 58 er omsluttet av, men er ikke i kontakt med en flens 62 på hver
25 akselende på rotoren, og således har man en slik flens 62 festet til begge ender av rotorenden 22, selv om bare en av dem er vist på fig. 3. Flensen 62 danner en tykk skive av umagnetisk materiale som kan være rustfritt stål, det samme som eller tilsvarende det materialet som danner rotorakselendene.

Flensen 62 har en spalte 64 i rett vinkel i forhold til rotoraksen 20 og tilstrekkelig
30 bred til å kunne oppta og gi klaring for splittklemmen 58. De varme sideveggene 66 i spalten i flensen blir således holdt i en avstand fra den kalde splittklemmen slik at overflatene ikke kommer i kontakt med hverandre.

Fig. 4 og 5 viser tverrsnitt av synkronmaskinens rotor, idet fig. 5 i planriss viser viklingen rundt rotorkjernen, mens fig. 4 viser tilsvarende i et ortogonalt snitt i forhold til
35 fig. 5. Fig. 6, 7 og 8 viser nærmere hvordan kollektorakselen 24 på rotoren er. Særlig viser disse illustrasjoner hvordan et boringsrør 76 er ført gjennom denne aksel 24 og gir en kanal for kjølerørene og elektriske kontakter som er tilkopleet SC-viklingen. Røret 76 strekker seg gjennom akselen 24 fra flensen 62 til motsatt ende ved kjølekoplingen 26.

Fig. 6 og 7 viser røret 76 nær rotorkjernen 22 og akselen 24. Fig. 8 viser i forstørret målestokk kjøleinnløpet 39 og utløpet 41 for forbindelse med viklingen 34.

De elektriske forbindelser 37 fra viklingen 34 er koplet til elektriske linjer som strekker seg i lengderetningen av akselen 24 mot kollektorringen 35 på denne. Disse linjer er ført gjennom røret 76 i akselen og er oppspent inne i et tynnvegget rør 174.

Innløpet og utløpet 39, 49 for kjølefluid fra viklingen er koplet til et tilsvarende innløp og utløp 156, 166 som strekker seg i akselens 24 lengderetning. Røret 156 strekker seg til innløpet 39 koaksialt med akselen, og utløpet 41 er forskjøvet i forhold til rotoraksen og er koplet via et gassoverføringshus til et utløpsrør 166 med annulær form eller posisjon. Dette rør 166 ligger koaksialt med innløpsrøret og eksternt i forhold til dette.

Fig. 9 viser et eksempel på en overføringskopling 26 med roterende akselkomponenter 150 og stasjonære komponenter 152 som omslutter de første. Overføringskoplingen forbinder rotorens kollektoraksel 24 med en stasjonær kilde for kryogenisk kjølefluid, fluid som brukes til å kjøle ned rotorens SC-viklinger.

Gass ved kryogenisk temperatur overføres således fra en stasjonær kryokjøler 190 (vist skjematisk) via en tilsvarende stasjonær bajonett 154 til et innløpsrør 156 som roterer sammen med akselen 24. Høyrevisende piler 157 viser i tilførselsgassen i nedkjølt tilstand når denne er ført gjennom koplingen og langs rotoraksen 20 mot HTS-viklingene. Bajonetten er koaksial i forhold til rotoraksen 20. Enden 158 av bajonetten gir en kontaktløs pakning i forhold til innløpsrøret 156, men dens motsatte ende av bajonetten er koplet til et fleksibelt rør 160 som på sin side er koplet til kryokjøleren og gir en kilde for innstrømmende heliumgass for kjøling. En gappakning 162 for relativ rotasjonsbevegelse og med en klaringspakning rundt bajonetten gir begrensning av kjølegassen på innløpet til det lavere returtrykk for gassen som føres ut. Oppvarmet kjølegass (vist med venstrevisende piler 164) strømmer i et ringrom som dannes mellom det avkjølende innløpsrør 156 og et tilsvarende utløpsrør 166 for kjølefluid, koaksialt med røret 156. De oppvarmede kjølegasser vil således føres gjennom HTS-viklingene og fjerne varme fra disse.

Disse gasser føres så ut fra det roterende utløpsrør 166 og tvinges mellom gappakningne 162 og en stasjonær sylindrisk foring 168 som omslutter denne pakning. En endeskive 169 i foringen har en utløpsåpning som ligger forskjøvet fra rotoraksen og kopler det fleksible returrør 170 for overføring av oppvarmet gass fra rotoren, til kryokjøleren 190. Den således oppvarmede gass føres inn i dette fleksible rør 170 som er koplet til kryokjøleren, og røret 170 ligger forskjøvet fra rotoraksen 20.

Samtlige overføringsrør 156, 166 for kryogenisk gass er omsluttet av en kappe 172 for å redusere varmeoverføring til gassen. Returgasstrømmen 164 er varmeisoleret fra omgivelsestemperaturen med en lengde av et tynnvegget rør 174 med en liten åpning i forhold til bevegelsen (mellom dette rør 174 og det kappeomsluttete rør 166 i rotasjon)

for å redusere overføring av varme ved ledning (konveksjon). Ytterligere varmeisolasjon frembringes av et vakuum som ligger i gapet mellom det tynnveggede rør 174 og et sylindrisk hus 186.

En magnetfluidpakning 176 ved enden av røret 174 (akselen 24) gir en kontaktløs positiv tetning av gassystemet under trykk. En luftstrøm 177 føres i denne sammenheng fra en ekstern kilde for å tjene som en buffer som skiller oljen i lageret 178 fra magnetfluidet i den magnetiske pakning, slik at lageroljen ikke kan komme i kontakt med magnetfluidet.

Gassoverføringskoplingen 26 for kryogenisk gass er anordnet på rotorakselen i presisjonslageret 178 som begrenser overhengvibrasjonen og løper ut for å kunne hindre friksjon i pakningene og gapene for relativ bevegelse. Oljestråledyser 180 sørger for smøremiddel til lagrene, og et oljesluk 182 brukes til å fjerne gammel og overskytende lagerolje. Labyrintpakninger 184 hindrer oljelekkasje fra dem.

Det sylindriske hus 186 omslutter bajonettenden av kjølekoplingen 26 og de fleksible rør 160 og 170. Huset er festet til en fleksibel sylindrisk belg 188 som er koplet til kryokjøleren 190. Vakuum opprettholdes inne i huset 186 for å gi varmeisolasjon mellom omgivelsestemperaturen og de fleksible rør samt gasskoplingen.

Magnetfluidpakningen 176 er lagt inn i et sylindrisk hus 196 og er tettet med O-ringer 198 i forhold til de ikke-roterende komponenter i koplingen 26 for å hindre lekkasje av returgass.

De roterende rør 156 og 166 er varmeisolert fra hverandre ved vakuumkappen 172. Røret 156 for innkommende kjølegass opprettholdes separat fra gassutløpet ved hjelp av en stasjonær bevegelsesgappakning 162 (så vel som de doble vegger i innløpsgassrøret 156 som likeledes er vakuumomsluttet med en kappe). Tilsvarende vil den dobbelveggede ytre roterende rørdel (utløpsrøret 166 for kjølefluid) være omsluttet av kappen 172 for vakuumbeskyttelse og er ytterligere lagt inn i det tynnveggede stasjonære rør 174. Disse rør 156, 166 for henholdsvis innløp og utløp strekker seg fra koplingen til tilsvarende åpninger 39, 41 for innløp og utløp, for HTS-viklingen.

For å etablere gasstrømtetning mellom de roterende og de stillestående komponenter i koplingen 26 bruker man kontaktløse klaringspakninger og magnetfluidpakninger i forbindelse med presisjonslageret og korte overhengerør med trange relativbevegelsesspalter. Disse trekk ved gassoverføringskoplingen 26 hindrer friksjonsvarme. Slik friksjonsvarme vil ellers oppstå i kontakttetningssystemer på grunn av friksjon eller vibrasjon. Andre fordeler med et kontaktløst pakningssystem er lang levetid på koplingene, gasspakninger med god pålitelighet og små varmetap i gasskoplingen.

Under driften koples bajonettørret 154 i koplingen 26 til en kilde for kryogenisk kjølefluid via det fleksible rør 160, og tilsvarende koples røret 166 for gassutløp og foringen 168 for gasstetning til det fleksible rør 170 for utløpet. Pakningshuset 186 for

kryogenisk fluid er koplet til det sylindriske hus i koplingen 26. Vakuum opprettes i huset 186 i vakuumkappene 172 tilhørende de roterende rør.

Kjølegassen er vanligvis en inertgass så som helium, neon eller hydrogen. Temperaturer som er egnet for HTS-supraledere vil vanligvis ligge under 30 °K og fortrinnsvis omkring 27 °K. Kryogenisk fluid som kommer ut fra kryokjøleren ved en 5 temperatur på omkring 27 °K vil følge pilen 157 og strømme fra det fleksible rør 160 på inngangen, via bajonetrøret 154 og innløpsrøret 156 til rotoren og dennes HTS-vikling 34.

Det nedkjølte kryogeniske fluid føres deretter gjennom boringene i rotoren og inn 10 i kjølepassasjene 38 i viklingen. Kjølegassen fjerner således varme fra disse og opprettholder dem ved tilstrekkelig lav temperatur til at de beholder sine supralede egenskaper. Kjølerørene har sin inngangs- og utgangsåpning 39, 41 i den ene ende av rotorkjernen, nemlig den ende som er koplet til kjølefluidkoplingen 26.

Varmetap under overføringen, nemlig varme overført til den kryogeniske gass 15 blir redusert slik at man holder kjølevirkningen på et maksimum og kan opprettholde de lave driftstemperaturer som trengs for SC-viklingen. Varmetapene reduseres ved redusere kjølefluidlekkasjen og varmeoverføringen til fluidet.

En pakning 162 for relativ bevegelsesspalte er dannet med en klaringstetning rundt bajonetrøret 154 og for å begrense lekkasjen av tilstrømmende kryogenisk gass 20 (pilen 157) til det lavere trykk for den utstrømmende returgass (pilen 164). Kjølefluidlekkasje vil ha den virkning at uønsket energi overføres til kjølesystemet, og således kan kjølefluidlekkasje reduseres for å øke varmeisolasjonen og den totale kjøleeffektivitet i det kryogeniske kjølesystem, innbefattet koplingen 26.

I tillegg til kjølefluidlekkasje har man en andre kilde for termisk ineffektivitet, 25 nemlig ledning av varme fra de omgivende komponenter i rotoren. Tilstrekkelig varmeisolasjon er derfor sørget mellom den kryogeniske kjølegass og disse komponenter med tilnærmet omgivelsestemperatur, for å redusere varmeoverføringen til gassen. Som et eksempel brukes gasskjølerørene 156, 166 inne i kapper 172 for å holde dem under et vakuum, slik at man får en meget god varmeisolasjon.

30 Videre blir returgasstrømmen (pilene 164) varmeisolert fra komponenter med omgivelsestemperatur ved hjelp av tynnveggede rør 174 og det vakuuminnkapslede rør 166 med en liten relativbevegelsesspalte (mellom dette stasjonære rør 174 og det roterende kappeinnkapslede 166) for å redusere konveksjonsvarmeoverføring. Disse termiske oppstillingslengder, det vil si vakuuminnkapslede spalter mellom rør, for spalter 35 for relativ bevegelse reduserer varmeoverføringen til det kryogeniske fluid og bedrer kryokjølerens kapasitet (ved å redusere varmetapene). Store termiske oppstillingslengder vil kunne føre til lange overhengsrør som får eksessiv vibrasjon og kan komme i friksjonskontakt.

Den kryogeniske gassoverføringskopling 26 danner et støttesystem og er utformet for å redusere de problemer som er knyttet til rørvibrasjonen. Koplingen 26 er holdt på plass på rotorakselen ved hjelp av presisjonslageret 178 som begrenser overhengsrørvibrasjonen og utmatting og slitasje.

5 Selv om oppfinnelsen er beskrevet i forbindelse med det som for tiden anses å være den mest praktiske og foretrukne utførelse er det klart at den ikke er begrenset til akkurat det som er beskrevet og vist på tegningene, men tvert imot vil kunne dekke alle utførelser innenfor den ramme som er gitt av patentkravene.

P a t e n t k r a v

5 1. Rotor (14) i en synkronmaskin (10), særlig for nedkjøling til kryogeniske temperaturer, omfattende:

 en roterkjerne (22) med minst én boring (46) som strekker seg gjennom denne kjerne,

 en spole (36) hvis vikling (34) er av supraledeende materiale og strekker seg rundt
10 i det minste en del av rotorkjernen (22) slik at et par sidedeler (40) blir liggende på hver sin side av kjernen,

 minst én strekkstang (42, 86) som strekker seg mellom paret sidedeler (40) og gjennom den minste ene boring (46) i rotoren, og et isolasjonsrør (52) i boringen (46), for termisk isolasjon av strekkstangen (42, 86) fra rotoren (14).

15 2. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** at isolasjonsrøret (52) har en ytterflate i kontakt med boringen (46).

 3. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** at isolasjonsrøret (52) har en innerflate i kontakt med et feste på en ende (68, 186) av strekkstangen.

 4. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** at rotorkjernen er massiv, og at
20 boringen (46) strekker seg gjennom kjernens massive gods.

 5. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** en utvendig ring ved den ene ende av isolasjonsrøret (52) og i kontakt med boringen (46), og en innvendig ring ved en motsatt ende av isolasjonsrøret og i kontakt med en låsemutter (84) i enden av strekkstangen.

 6. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** at isolasjonsrøret er anordnet inne i
25 boringen (46) og nær en ytterflate på kjernen (22).

 7. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** en låsemutter for sikring av isolasjonsrøret til boringen i kjernen.

 8. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** at strekkstangen er utformet av høyfast og ikke-metallisk metallegering.

30 9. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** at strekkstangen er utformet av en metallegering av typen Inconel.

 10. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** at strekkstangen strekker seg langs en lengdeakse (20) i rotoren.

 11. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** at hver av strekkstengene strekker seg
35 gjennom en separat boring i kjernen, og at hvert isolasjonsrør er anordnet i hver ende av sin respektive slik boring.

 12. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** at strekkstangen er holdt i en avstand fra rotorveggene i boringene ved hjelp av isolasjonsrøret.

13. Rotor ifølge krav 1, **karakterisert ved** et viklingshus (44) i en ende av strekkstangen, hvilket viklingshus er festet til spolen (36) og til strekkstangen (42, 86).

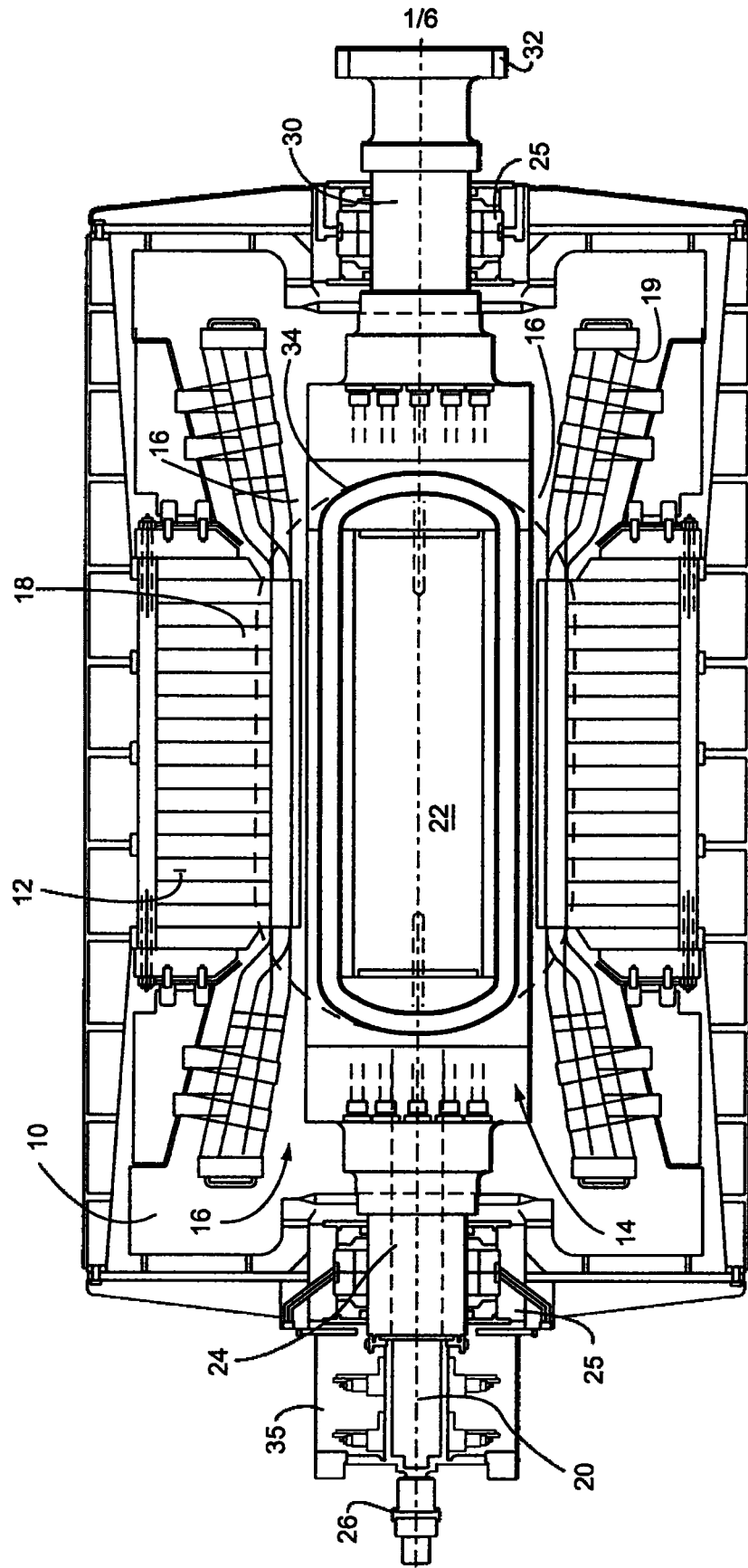


Fig.1

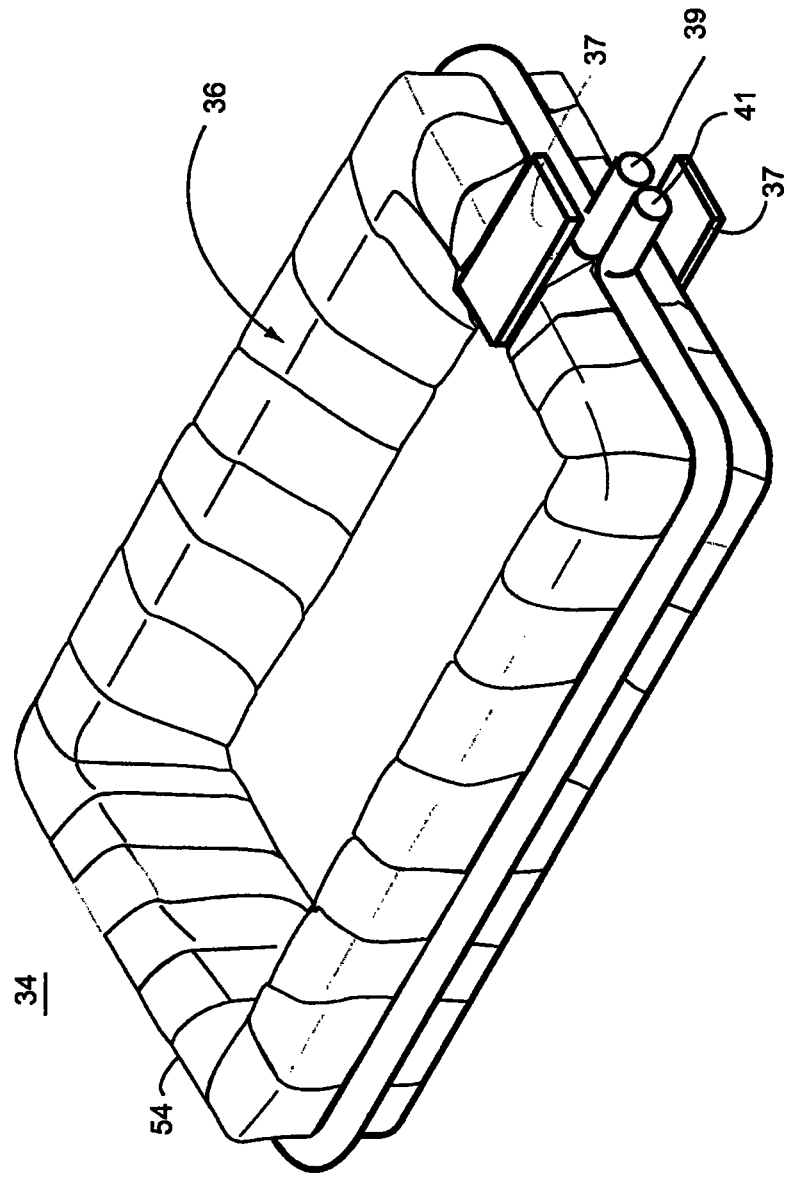


Fig.2

3/6

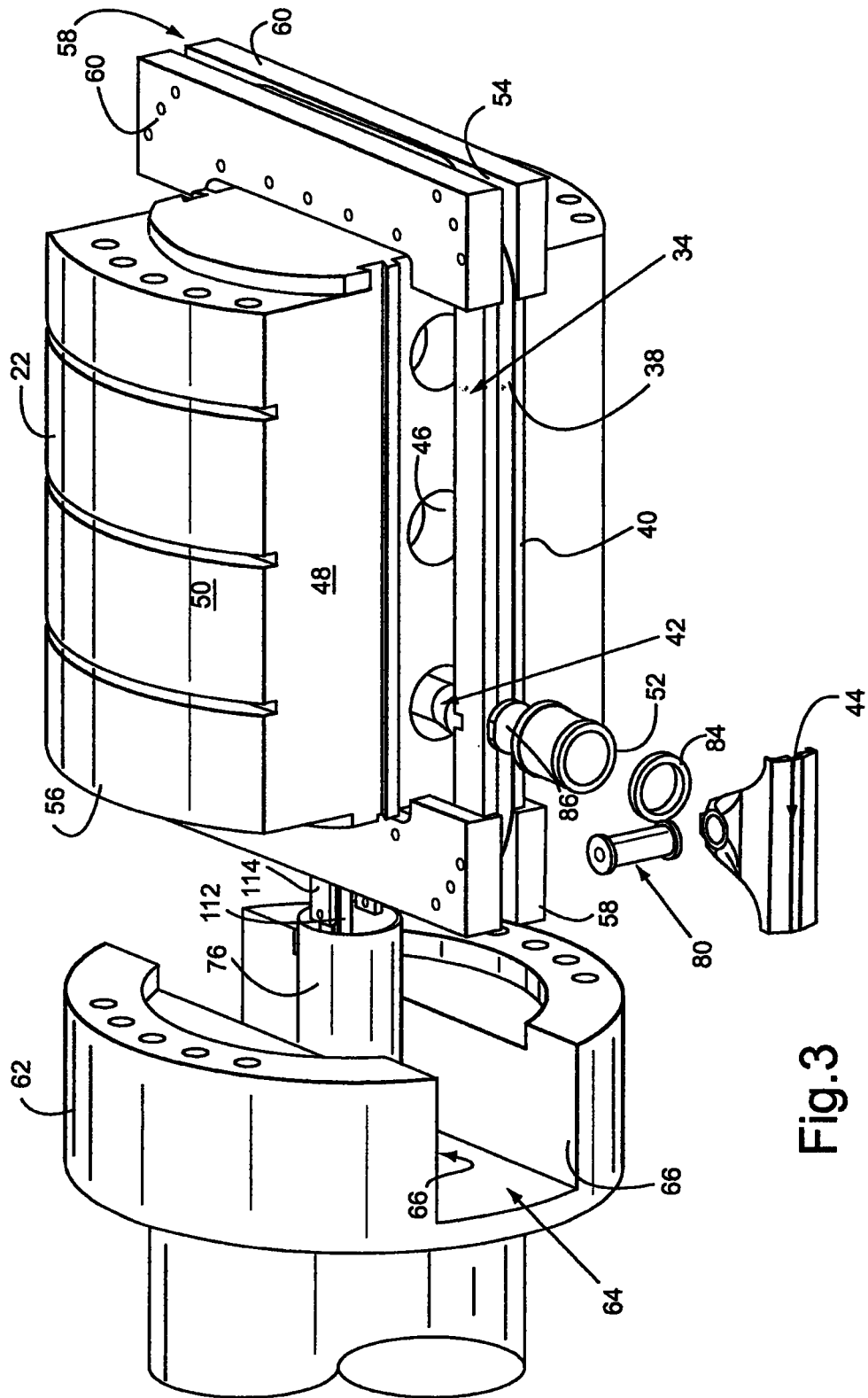


Fig.3

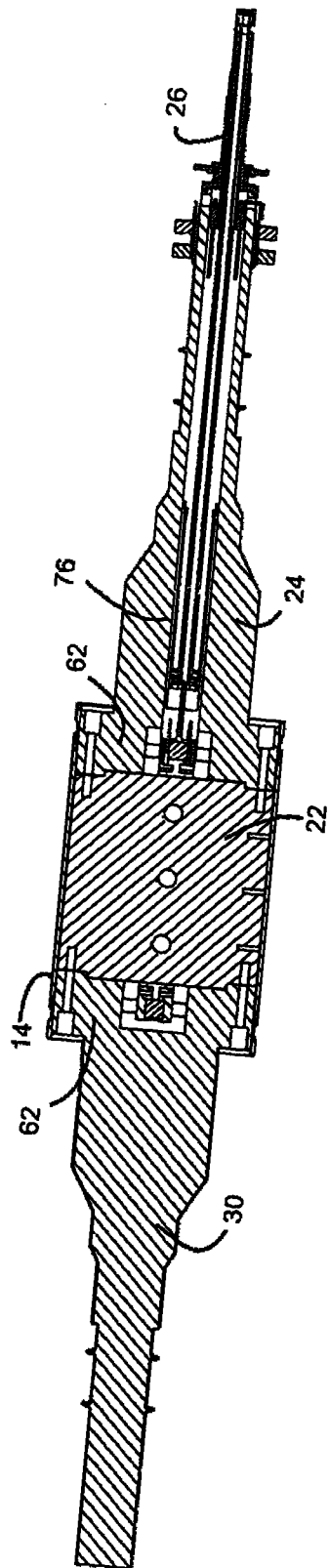


Fig. 4

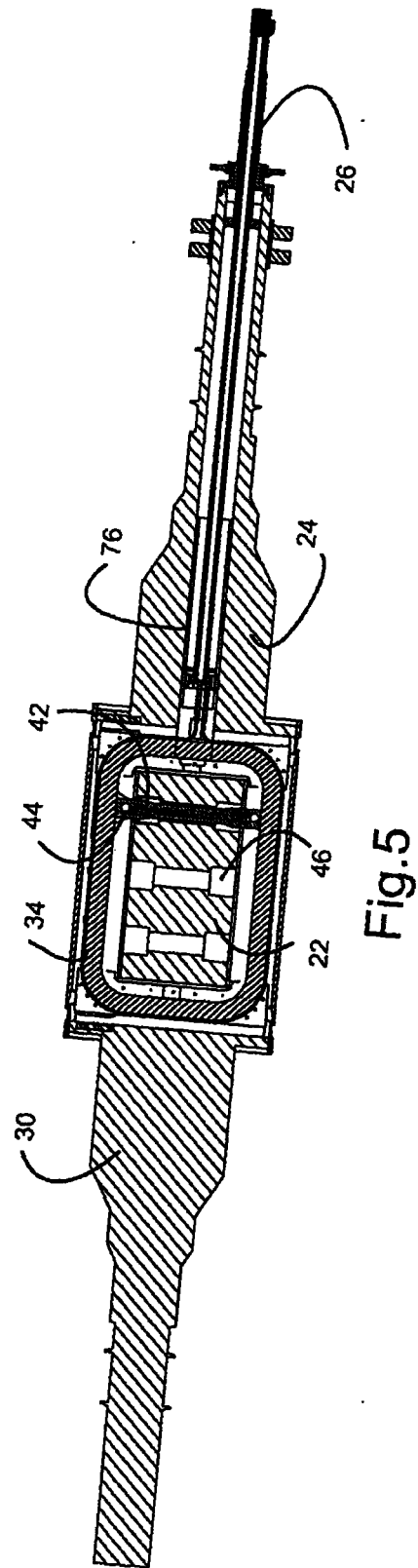


Fig. 5

26 |

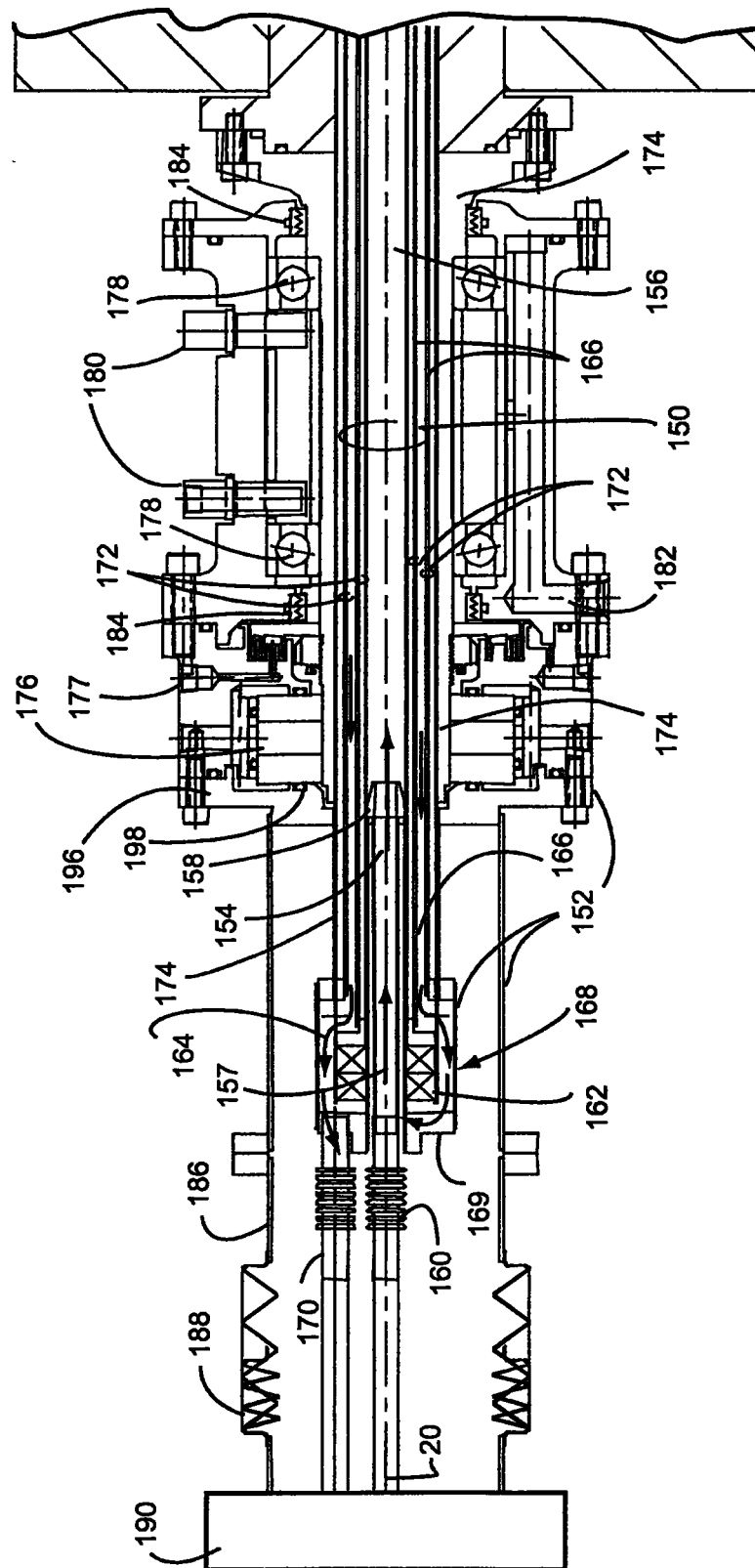


Fig. 9