



(12) Patentskrift

(10) SE 535 378 C2

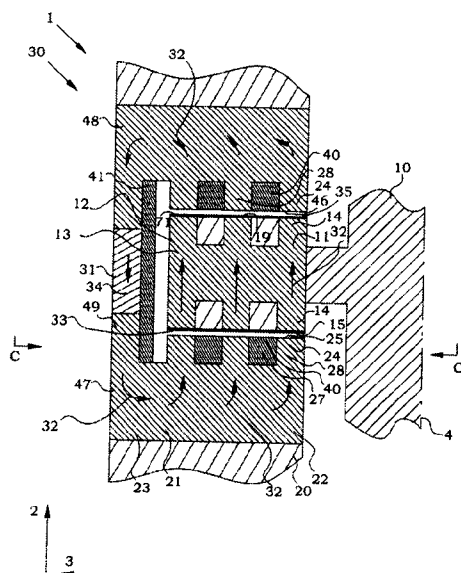
(21) Patentansökningsnummer: 1150597-1
(45) Patent meddelat: 2012-07-17
(41) Ansökan allmänt tillgänglig: 2011-08-26
(22) Patentansökan inkom: 2009-11-30
(24) Löpdag: 2009-11-30

(51) Internationell klass:
F16C 39/06 (2006.01)

Fullföljd internationell patentansökan
med nummer: PCT/SE2009/051350
(86) Internationell ingivningsdag: 2009-11-30
(83) Deposition av mikroorganism: ---
(30) Prioritetsuppgifter: 2008-12-02 SE 0850112-4

- (73) Patenthavare: Torbjörn LEMBKE, Lärkträdsvägen 28, SE-740 11 Länna SE
(72) Uppfinnare: Torbjörn LEMBKE, Länna SE
(74) Ombud: AROS PATENT AB, Box 1544, SE-751 45 Uppsala SE
(54) Benämning: Elektrodynamisk aktuator, roterande maskin samt metod
(56) Anförda publikationer: ---
(47) Sammandrag:

En elektrodynamisk aktuator (1) innefattar en statoraktuator (21) som har ett statormagnetkretselement (22), och en rotoraktuator (11) som har ett rotationssymmetriskt rotormagnetkretselement (12). Aktuators innefattar vidare en magnet (31) som inducerar ett magnetflöde (32) genom en magnetkrets (30) som innefattar stator- och rotormagnetkretselementen. En första sida (15) av rotormagnetkretselementet är vänd mot en första sida (25) av statormagnetkretselementet, där båda uppvisar en variabel reluktans eller en variabel magnetisering i radiell riktning (3). Statoraktuatordelen innefattar vidare en elektriskt ledande slinga (40) som omsluter ett segment (28) av statormagnetkretselementet, vilket segment är anordnat för att leda ett magnetiskt flöde genom den elektriskt ledande slingan. Segmentet är arrangerat för att orsaka en förändring i flödet när rotor- och statoraktuatordelar rör sig radiellt relativt varandra.



SAMMANFATTNING

En elektrodynamisk aktuator (1) innefattar en statoraktuator (21) som har ett statormagnetkretselement (22), och en rotoraktuator (11) som har ett rotationssymmetrisk rotormagnetkretselement (12). Aktuatoren innefattar vidare en magnet (31) som inducerar ett magnetflöde (32) genom en magnetkrets (30) som innefattar stator- och rotormagnetkretselementen. En första sida (15) av rotormagnetkretselementet är vänd mot en första sida (25) av statormagnetkretselementet, där båda uppvisar en variabel reluktans eller en variabel magnetisering i radiell riktning (3). Statoraktuatordelen innefattar vidare en elektriskt ledande slinga (40) som omsluter ett segment (28) av statormagnetkretselementet, vilket segment är anordnat för att leda ett magnetiskt flöde genom den elektriskt ledande slingan. Segmentet är arrangerat för att orsaka en förändring i flödet när rotor- och statoraktuatordelar rör sig radiellt relativt varandra.

(Fig. 8A)

ELEKTRODYNAMISK AKTUATOR, ROTERANDE MASKIN SAMT METOD

TEKNISKT OMRÅDE

Uppfinningen avser allmänt anordningar och metoder för lagring och speciellt sådana anordningar och metoder som involverar magnetisk interaktion.

5

TEKNIKENS STÅNDPUNKT

Magnetiska krafter har länge använts i olika slag av lagringsanordningar. I den Europeiska Patentskriften EP 0 594 033 B1, visas ett magnetlagerarrangemang i vilket magneter monterats parvis på motsvarande positioner på motstående sidor av ett tunt elektriskt ledande material. Det tunna elektriskt ledande materialet befinner sig i relativ rörelse relativt magnetparen och har en tjocklek som tillåter magnetfältet att penetrera. Så länge det tunna elektriskt ledande materialet är perfekt centrerat mellan de båda magneterna, så kommer de magnetiska fälten huvudsakligen att kompensera varandra och nästan inga virvelströmmar bildas i det tunna elektriskt ledande materialet. I händelse att det tunna elektriskt ledande materialet förskjuts i någon riktning, så blir emellertid det resulterande magnetfältet i det tunna elektriskt ledande materialet skilt från noll och virvelströmmar produceras i det tunna elektriskt ledande materialet, vilka verkar på så sätt att de motverkar förflyttningen. Trots att kompenserande fält används kommer emellertid alltid ett litet resulterande fält att finnas kvar vilket ger upphov till energiförluster även under normal icke-störd drift.

I den publicerade internationella patentansökan WO 98/32981, beskrivs en anordning för magnetisk lagring. Ett rotationssymmetriskt magnetfält tillhandahålls runt en elektriskt ledande, omagnetisk, rotor. När rotationsaxeln för rotorn sammanfaller med symmetriaxeln för magnetfältet, så kommer hela rotorn att uppleva samma magnetfält vid alla tidpunkter. Skulle emellertid rotorn bringas att rotera utanför sitt magnetiska center, kommer rotorns olika partier att erfara ett magnetfält som ändras med tiden. Virvelströmmar bildas då som tenderar att driva rotorn tillbaka till en symmetrisk position. Emellertid är reaktionskrafterna som bildas från virvelströmmarna som bildas i själva rotorn i allmänhet inte riktade direkt mot centrum, utan har vanligtvis även en vinkelrät komponent. Detta resulterar i vibrationer i rotorsystemet. Dessutom är den återförande kraften beroende enbart på förflyttningens amplitud, vilket betyder att systemet saknar dämpning.

Det amerikanska patentet US 6,304,015 visar ett magneto-dynamiskt lager. Kortslutna ledande slingor tillhandahålls på rotorn och permanentmagneter tillhandahålls på statorn på motsvarande ställen som rotorns slingor. En avvikelse i upplinjeringen mellan rotor och stator kommer, sett från en position på rotorns kortslutna och medroterande slingor, att resultera i ett fluktuerande magnetfält vilket ger upphov till virvelströmmar vilka i sin tur strävar efter att flytta tillbaka rotorn. De kortslutna ledande slingorna verkar därigenom som en fjädring som lagrar rotorn i radiell riktning. Dessa slingor erbjuder

- dock inte någon dämpande effekt. I ett utförande tillhandahålls tillkommande kortslutna ledande slingor på statorn. I rotorn, på en närliggande radiell position från de tillkommande kortslutna ledande slingorna, tillhandahålls magneter. Om en i sidled riktad rörelse äger rum, så produceras virvelströmmar i de tillkommande kortslutna ledande slingorna på så sätt att de vill motverka rörelsen, vilket ger en liten dämpande verkan. En nackdel med detta arrangemang är emellertid att den tillgängliga dämpningen är väldigt liten, eftersom hastigheten hos den sidledes gående rörelsen vanligen är väldigt liten, och därigenom även tidsderivatan av det magnetiska flödet som passerar de tillkommande kortslutna ledande slingorna.
- 10 I den internationella patentansökan WO01/84693, beskrivs ett lagersystem som kombinerar ett axiellt lager baserat på elektromagnetisk kontroll av den axiella positionen med ett passivt radiellt magnetiskt lager. Det passiva radiella magnetlagret innefattar multipla koncentrisk och radiellt åtskilda axiellt magnetiserade ringmagneter på en stator, och motsvarande upplinjerade ringformade poler på rotorn. En återförande kraft uppstår när rotorn förskjuts från upplinjering. Axiella krafter mellan magneterna och de ringformade polerna balanseras av det aktivt kontrollerade axiallagret. En nackdel med ett sådant lagersystem är att de radiellt verkande återförande krafterna är odämpade, vilket kan orsaka oscillationer.

SAMMANFATTNING

Ett generellt problem med magnetlager enligt teknikens ståndpunkt är att tillräcklig dämpning i radiell riktning är svårt att tillhandahålla. Ofta tillhandahålls tillkommande separata arrangemang i syfte att ge lagerstyvhet respektive lagerdämpningsfunktionalitet. Trots detta, om vibrationsnivåerna är för höga måste amplituderna minskas med hjälp av externa landningslager för att undvika skador.

Ett allmänt syfte med föreliggande uppfinning är således att förbättra dämpningen i ett roterande lagerarrangemang på ett energieffektivt sätt. Ett ytterligare syfte med föredragna utföringsformer är att tillhandahålla möjligheter att aktivt kontrollera dämpningsegenskaperna, och när så behövs företrädesvis även integrera landningslagerfunktionalitet.

Ovanstående syften åstadkommes med aktuatorarrangemang, roterande maskiner och metoder enligt bifogade patentkrav. Allmänt, i en första aspekt, innefattaren elektrodynamisk aktuator en statoraktuatorordel som har ett statormagnetkretselement som innefattar magnetiskt material, och en rotoraktuatorordel som har ett rotormagnetkretselement som innehåller magnetiskt material. Statoraktuatordelen och rotoraktuatordelen har en avsedd rotationsaxel relativt varandra. Den elektrodynamiska aktuatoren innefattar dessutom åtminstone en magnet som inducerar ett magnetiskt flöde genom en magnetisk krets som innefattar statormagnetkretselementet och

rotormagnetkretselementet. Rotormagnetkretselementet är huvudsakligen rotationssymmetriskt i förhållande till axeln. En första sida av statormagnetkretselementet uppvisar åtminstone en av en variabel reluktans och en variabel magnetisering i en radiell riktning med avseende på axeln. En första sida av rotormagnetkretselementet som är vänd den första sidan av statormagnetkretselementet uppvisar åtminstone en av en variabel reluktans och en variabel magnetisering i en radiell riktning med avseende på axeln. Statoraktuatordelen innefattar dessutom åtminstone en elektriskt ledande slinga som omsluter ett respektive segment av statormagnetkretselementet. Detta segment av statormagnetkretselementet innefattar magnetiskt material och är anordnat för att leda ett magnetiskt flöde som har en komponent, skild från noll, genom den eller de elektriskt ledande slingan eller slingorna. Segmentet i statormagnetkretselementet är så anordnat för att få komponenten, skild från noll, att ändras när statoraktuatordelen och rotoraktuatordelen förflyttas relativt varandra i en radiell riktning.

I en andra aspekt innefattar en roterande maskin av en stator, en rotor och åtminstone en elektrodynamisk aktuator enligt den första aspekten. Rotoraktuatordelen är därvid fäst vid rotorn och statoraktuatordelen är fäst vid statorn.

I en tredje aspekt, innefattar en metod för att operera en elektrodynamisk aktuator enligt den första aspekten att rotera statoraktuatordelen och rotoraktuatordelen relativt varandra runt axeln, varigenom eventuell avvikelse från upplinjering mellan statoraktuatordelen och rotoraktuatordelen ger upphov till virvelströmmar i den elektriskt ledande slingan som därigenom verkar som vibrationsdämpare.

En fördel med föreliggande uppfinning är att förbättrad dämpning tillhandahålls i roterande lagersystem på ett enkelt och energieffektivt sätt. Dämpningen kan utnyttjas som en passiv dämpning, men den tillåter även olika aktivt dämpande lösningar. Ytterligare fördelar diskuteras i samband med olika utföringsformer som beskrivs vidare nedan.

KORTFATTAD FIGURBESKRIVNING

Uppfinningen, tillsammans med ytterligare objekt och fördelar därmed, förstås bäst genom hänvisning till den följande beskrivningen gjord tillsammans med de medföljande ritningarna, i vilka:

FIG. 1A är en snittvy av en utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning;

FIG. 1B är en annan snittvy av en utföringsform av Fig. 1A;

FIG. 1C är ytterligare en annan snittvy av en utföringsform av Fig. 1A;

FIG. 1D är en snittvy av en utföringsform av Fig. 1A, när en rotoraktuatordel och en statoraktuatordel är förskjutna från upplinjering;

- FIG. 2 är en snittvy av en utföringsform av en roterande maskin innefattande en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning;
- FIG. 3 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning som har elektriskt ledande slingor orienterade längs axeln;
- 5 FIG. 4 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning som har permanentmagneter på en första sida av rotoraktuatordelen;
- FIG. 5 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning som har permanentmagneter på en första sida av statoraktuatordelen;
- FIG. 6 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande
- 10 uppfinning som har gradvis förändrad magnetisk reluktans i en radiell riktning;
- FIG. 7 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning där en statoraktuatordel är vänd mot en rotoraktuatordel från två håll;
- FIG. 8A är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning som har ett symmetriskt arrangemang i axiell riktning;
- 15 FIG. 8B är en annan snittvy av utföringsformen i Fig. 8A;
- FIG. 9A är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning som har en upplinjerad position med en avsiktlig förskjutning mellan statoraktuatordel och rotoraktuatordel;
- FIG. 9B är en annan snittvy av utföringsformen i Fig. 9A;
- 20 FIG. 10 är en snittvy av ytterligare en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning som har ett symmetriskt arrangemang i axiell riktning;
- FIG. 11 är ett diagram illustrerande inducerade och kontrollerade strömmar genom elektriskt ledande slingor;
- FIG. 12 är en schematisk skiss som illustrerar en roterande maskin med en kontrollenhet för att
- 25 kontrollera strömmar genom elektriskt ledande slingor;
- FIG. 13 är ett flödesdiagram över steg i en utföringsform av en metod enligt föreliggande uppfinning;
- FIG. 14 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning som har dubbla rotoraktuatordelar;
- FIG. 15 i är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande
- 30 uppfinning som tillhandahåller ytterligare återförande krafter i en radiell riktning;
- FIG. 16 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning som har rotorns axel som en del av den magnetiska kretsen;
- FIG. 17 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning som har en tredelad rotoraktuatordel;

FIG. 18 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning med repulsiva permanentmagneter; och

FIG. 19 är en snittvy av en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning med luftgap riktade i radiell riktning.

5

DETALJERAD BESKRIVNING

För ritningarna gäller genomgående att samma referensnummer används för liknande eller motsvarande element.

I föreliggande framställning, definieras ett lagerarrangemang som ett lagerarrangemang, typiskt axiellt, som tillhandahåller åtminstone ett av lagerstyvhet och lagerdämpning i en radiell och/eller axiell riktning. En del av ett sådant lagerarrangemang som tillhandahåller åtminstone en del av någon sådan funktionalitet baserad på någon elektrodynamisk interaktion är i föreliggande framställningen benämnd en elektrodynamisk aktuator.

Fig. 1A illustrerar schematiskt en utföringsform av en elektrodynamisk aktuator 1 enligt föreliggande uppfinning. Den elektrodynamiska aktuatoren används företrädesvis som eller tillsammans med ett roterande lager i en roterande maskin, och är företrädesvis integrerad som en del av det roterande lagret. Den elektrodynamiska aktuatoren är anordnad så att den tillhandahåller en dämpande verkan på rörelser i radiella riktningar. Aktuatoren 1 är till en del fäst vid en rotor 10 och till en del till en stator 20. En rotoraktuatorordel 11 är därvid fäst vid rotorn 10 så att den följer med rotorn 10 när denna roterar. En statoraktuatorordel 21 är likaledes fäst vid statorn 20 så att denna förblir stationär oavsett om rotorn 10 roterar. Statoraktuatorordelen 21 och rotoraktuatorordelen 11 har därvid en axel 4 för avsedd rotation relativt varandra. En riktning längs axeln, som illustreras av en pil, är i den föreliggande framställningen benämnd som en axiell riktning 2. Likaledes, en riktning vinkelrät mot den axiella riktningen 2 i samma plan som den axiella riktningen 2 benämns här som en radiell riktning 3.

Aktuatoren 1 består av en magnetisk krets 30, innefattande ett statormagnetkretselement 22 och ett rotormagnetkretselement 12. Statormagnetkretselementet 22 innefattas i statoraktuatorordelen 21 och rotormagnetkretselementet 12 innefattas i rotoraktuatorordelen 11. Såväl statormagnetkretselementet 22 som rotormagnetkretselementet 12 innefattar magnetiskt material 13, 23 i syfte att definiera en magnetisk flödesväg. Företrädesvis har det magnetiska materialet en relativ magnetisk permeabilitet om minst 100. Eftersom den magnetiska kretsen 30 har element i både statorn 20 och rotorn 10, kommer ett magnetiskt flöde 32 att passera både statoraktuatorordelen 21 och rotoraktuatorordelen 11. Den magnetiska kretsen 30 innefattar även minst två gap 33 mellan statoraktuatorordelen 21 och rotoraktuatorordelen 11. Den magnetiska kretsen 30 innefattar åtminstone en magnet 31 som inducerar

det magnetiska flödet 32 genom statormagnetkretselementet 22 och rotormagnetkretselementet 12. I föreliggande utföringsform, är magneten 31 en permanentmagnet 34 som ingår i statormagnetkretselementet 22. Magneterna 31 kan i alternativa utföringsformer placeras på andra positioner längs den magnetiska kretsen 30. Även multipla magneterna 31 kan användas. I en alternativ

5 utföringsform kan det magnetiska flödet 32 istället induceras av ett elektromagnetiskt arrangemang.

Rotormagnetkretselementet 12 är huvudsakligen rotationssymmetriskt med avseende på axeln 4 för avsedd rotation. En första sida 15 av rotormagnetkretselementet 12 uppvisar en variation i magnetiska egenskaper i den radiella riktningen 3 med avseende på axel 4. I föreliggande utföringsform, är denna

10 variation i magnetiska egenskaper realiserad av en variabel reluktans i den radiella riktningen 3. Den första sidan 15 av rotormagnetkretselementet 12 är här försedd med upphöjningar 16 och nedsänkningar 17 i den axiella riktningen 2. Dessa geometriska strukturer ger en variabel reluktans för ett magnetiskt flöde i den axiella riktningen 2.

På samma sätt, i den föreliggande utformningen, en första sida 25 av statormagnetkretselementet 22 uppvisar en variation i magnetiska egenskaper i den radiella riktningen 3 med avseende på axel 4. Även här, är denna variation i magnetiska egenskaper realiserad av en variabel reluktans med hjälp av geometriska strukturer innefattande upphöjningar 26 och nedsänkningar 27 i den axiella riktningen 2. Den första sidan 15 av rotormagnetkretselementet 12 är vänd mot den första sidan 25 av

20 statormagnetkretselementet 22. Den första sidan 25 av statormagnetkretselementet 22 och den första sidan 15 av rotormagnetkretselementet 12 interagerar därmed magnetiskt över gapet 33. I den föreliggande utföringsformen, är upphöjningarna 16, 26 positionerade vända mot varandra, och nedsänkningarna 17, 27 är positionerade vända mot varandra, vilket ger upphov till områden med ett trångt gap och områden med ett brett gap. Variationen i de magnetiska egenskaperna i den radiella

25 riktningen 3 har den effekten att det magnetiska fältet koncentreras till områden med låg magnetisk reluktans i den axiella riktningen 2. I föreliggande utföringsform kommer nästan allt flöde 32 i den magnetiska kretsen 30 att passera genom områdena med trånga gap. När rotorn 10 roterar utan några radiella förskjutningar, är det magnetiska flödet som passerar mellan statormagnetkretselementet 22 och rotormagnetkretselementet 21 konstant på grund av rotationssymmetrin hos

30 rotormagnetkretselementet 12.

Statoraktuatordelen 21 innefattar vidare minst en elektriskt ledande slinga 40 som omsluter ett respektive segment 28 av statormagnetkretselementet 22. I denna specifika utföringsform, är de elektriskt ledande slingorna 40 placerade huvudsakligen i ett plan som har en normal riktad i den

35 axiella riktningen 2, dvs. de elektriskt ledande slingorna 40 sträcker sig huvudsakligen i radiella

och/eller tangentiella riktningar. Den elektriskt ledande slingan 40 innefattar elektriskt ledande material, företrädesvis med en elektrisk ledningsförmåga överstigande 10 MS/m och ännu hellre överstigande 30 MS/m. Segmentet 28 av statormagnetkretselementet 22 innefattar magnetiskt material 23. Detta segment 28 är vidare anordnat så att den leder ett magnetiskt flöde 32 som har en komponent, skild från noll, genom den motsvarande elektriskt ledande slingan 40. På sätt som beskrivs mera i detalj nedan är segmentet 28 av statormagnetkretselementet 22 anordnat så att det orsakar en ändring av komponenten, skild från noll, när statoraktuatordelen 21 och rotoraktuatordelen 11 förskjuts relativt varandra i den radiella riktningen 3.

10 En partiell snittvy av utföringsformen illustrerad Fig. 1A tagen längs linjen A-A visas i Fig. 1B. Upphöjningarna 26 och nedsänkningarna 27 syns tydligt. Upphöjningarna 26 är i denna utföringsform avbrutna av slitsar 29 vid olika tangentiella positioner, och de elektriskt ledande slingorna 40 är placerade genom dessa slitsar 29. I föreliggande utföringsform är varje elektriskt ledande slinga 40 en separat slinga som omsluter ett respektive segment 28 av upphöjningarna 26. I alternativa
15 utföringsformer kan den elektriskt ledande slingan 40 omsluta mer än ett segment 28 och de kan överlappa varandra. De elektriskt ledande slingorna 40 kan även vara elektriskt kopplade till varandra i olika konfigurationer.

Fig. 1C illustrerar en del av en snittvy av utföringsformen illustrerat i Fig. 1a tagen längs linjen B-B. Här
20 visas rotationssymmetrin hos upphöjningarna 16 och nedsänkningarna 17.

Fig. 1D illustrerar en del av aktuatom 1 i Fig. 1A, i en situation där rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21 är förskjutna relativt varandra med ett avstånd 5 i den radiella riktningen. På grund av förskjutningen med avståndet 5 reduceras bredden för areorna med smalt gap i gapet 33.
25 Detta betyder att den magnetiska reluktansen för hela magnetiska kretsen 30 ökar och det magnetiska flödet som går över gapet 33 minskar. Det uppstår då en magnetisk kraft mellan rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21. En axiell komponent av denna magnetiska kraft 6 försöker stänga gapet mellan rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21. Vid små avstånd 5 kommer denna kraft 6 att vara tämligen oförändrad jämfört med vad som finns i det upplinjerade tillståndet. En radiell komponent
30 av den magnetiska kraften försöker reducera avståndet 5. Denna magnetiska kraft verkar då på liknande sätt som visas i WO 01/84693.

Om situationen i Fig. 1D är stationär, dvs. de magnetiska krafterna kompenseras i någon mening, kommer flödet genom gapet 33 och segmenten 28 som omsluts av de elektriskt ledande slingorna 40
35 att vara konstant på grund av rotationssymmetrin av rotormagnetkretselementet 12. Därigenom induceras inga strömmar i de elektriskt ledande slingorna 40. Emellertid, under övergången mellan

situationerna i Fig. 1A respektive Fig. 1D, kommer flödet att ändras, dvs. flödet har en tidsderivata som inte är noll. Det samma gäller om de magnetiska krafterna tillåts reducera avståndet 5. Under sådana händelser kommer virvelströmmar att induceras i de elektriskt ledande slingorna 40. Denna ström kommer, enligt den allmänna principen för virvelströmmar, att motverka flödesändringen som ger upphov till virvelströmmen, dvs. motverka förskjutningsändringen, oavsett i vilken riktning förskjutningen har ändrats. På så sätt erhålls en dämpande verkan.

Den återförande magnetiska kraften i radiell riktning beror enbart på den momentana storleken av förskjutningen, dvs. avståndet 5. Ett sådant beroende agerar således som en fjäder som försöker föra rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21 relativt varandra mot en gemensam jämviktspunkt. Eftersom bara förskjutningen i sig är av betydelse, betyder det emellertid att ingen dämning finns förhanden. Omvänt, de motverkande krafterna som skapas av virvelströmmarna i de elektriskt ledande slingorna 40 är däremot beroende av förskjutningsändringens hastighet. Om förskjutningen inte ändrar sig, så är kraften som produceras av de elektriskt ledande slingorna 40 noll. Ytterligare, även om förskjutningen är riktad rakt mot det läge där rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21 är perfekt upplinjerade med varandra, kommer kraften skapad av den elektriskt ledande slingan 40 att motverka även sådana förändringar. Med andra ord, alla former av rörelser motarbetas, vilket betyder att dämpning tillhandahålls.

Genom att utnyttja variationer i de magnetiska egenskaperna i den radiella riktningen 3 kan förändringar i det magnetiska flödet genom de elektriskt ledande slingorna 40 förstärkas, varigenom en stark dämpande verkan kan erhållas, jämfört med lösningar enligt teknikens ståndpunkt. Segmentet 28 i statormagnetkretselementet 22 är därigenom arrangerat så att de orsakar en komponent skild från noll att ändras när statoraktuatordelen 21 och rotoraktuatordelen 11 bringas i rörelse relativt varandra i radiell riktning 3.

Fig. 2 illustrerar schematiskt en roterande maskin 9 innefattande en stator 20 och en rotor 10. Den roterande maskinen 9 innefattar av åtminstone en elektrodynamisk aktuator 1 i enlighet med principerna som visas i den föreliggande framställningen. Rotoraktuatordelen 11 är fäst vid rotorn 10 och statoraktuatordelen 21 är fäst vid statorn 20.

Det finns många variationer i den detaljerade konfigurationen av statoraktuatordelen 21 och rotoraktuatordelen 11, där alla ger en teknisk effekt relativt teknikens ståndpunkt enligt ovan.

In Fig. 3, visas en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator 1. I denna utföringsform omsluter en elektriskt ledande slinga 40 statormagnetkretselementet 22 vid ett segment som sammanbinder två grupper av upphöjningar 26, mellan vilka ett magnetfält flödar. I denna

utföringsform flödar det magnetiska fältet genom den elektriskt ledande slingan 40 i en radiell riktning 3. Emellertid ger varje förändring i de geometriska förhållandena mellan upphöjningarna 26 vid statoraktuatordelen 21 och nedsänkningarna 16 vid rotoraktuatordelen 11 även upphov till en förändring av det magnetiska flöde som passerar genom den elektriskt ledande slingan 40. En fördel med denna utföringsform är att det är typiskt sett mera plats för en elektriskt ledande slinga 40 i en sådan position.

In Fig. 4, visas en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator 1. I denna utföringsform uppvisar den första sidan 15 av rotormagnetkretselementet 12 också en variation av de magnetiska egenskaperna i radiell riktning 3 med avseende på axel 4. I föreliggande utföringsform används emellertid denna variation till att ge en variabel magnetisering i radiell riktning 3. Permanentmagneter 34 tillhandhålls på den yta av rotoraktuatordelen 11 som är vänd mot första sidan av statoraktuatordelen 21. Permanentmagneter 34 är sköra och är därför företrädesvis mekaniskt stöttade i radiell riktning med solitt omagnetiskt material 39. En fördel med en sådan utföringsform är att rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21 kan göras mindre, eftersom både magnetiseringen och variationen i radiell riktning tillhandahålls av en och samma struktur.

Det är även möjligt att utnyttja permanentmagneter 34 för att tillhandahålla variationen i de magnetiska egenskaperna i statoraktuatordelen 21, såsom visas av en utföringsform i Fig. 5. Detta är vanligen en fördel om den roterande maskinen till vilken den beskrivna aktuatorn 1 är kopplad, arbetar vid högt varvtal, eftersom det inte uppstår några centrifugalkrafter på några permanentmagneter i statoraktuatordelen 21.

I ytterligare alternativ en utföringsform kan magneter som inducerar det magnetiska flödet i den magnetiska kretsen 30 även placeras både i rotoraktuatordelen 11 och i statoraktuatordelen 21. Även om permanentmagneter är att föredra i de flesta applikationer kan dock även elektromagneter användas.

Fig. 6 illustrerar ytterligare en princip för hur en variation av de magnetiska egenskaperna kan ordnas i radiell riktning 3. Här är den första ytan 15, 25 av rotoraktuatordelen 11 respektive statoraktuatordelen 21 flata. Istället varierar kompositionen av material i radiell riktning så att en variabel magnetiska reluktans erhålls. Detta har indikerats med olika skuggning på ytregionen. Denna utföringsform har fördelen av att ytorna som roterar nära varandra är släta vilket medför en minskad risk för skadeverkning om lagrets funktion i axiell riktning tillfälligt sviktar.

Så här långt har de illustrerade utföringsformerna visat gap i ett enstaka plan i radiell riktning. Som dock nämnts förut vill de rena magnetkrafterna mellan rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen

21 tendera att attrahera varandra. En stark kraft i axiell riktning uppstår då. Detta kan användas som en fördel i applikationer där rotorn är relativt tung och rotationsaxeln är vertikal. De magnetiska krafterna i axiell riktning kan då assistera i lyftandet av rotorn. En förändring i avståndet mellan rotoraktuator delen och statoraktuator delen inverkar även på storleken på det magnetiska flödet som passerar gapet, vilket betyder att även denna typ av rörelse dämpas av de elektriskt ledande slingorna. Däremot är dessa krafter inte återförande krafter, utan bara dämpande, så ett axiallager behövs ändå.

Inte desto mindre, i många applikationer, t.ex. där rotorn är väldigt lätt eller där axeln är horisontell, är de axiellt riktade krafterna en nackdel.

10

Fig. 7 illustrerar en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator 1, som visar på ett reducerat bidrag till de axiella krafterna när rotoraktuator delen 11 och statoraktuator delen 21 är perfekt centrerade relativt varandra. Även här behövs dock ett axiallager som ger återförande krafter när axelns position blir offset. Inte desto mindre minskas dock den magnetiska biaskraften från den elektrodynamiska aktuatoren 1 signifikant. I denna utföringsform innefattar statoraktuator delen 21 två segment 47, 48, placerade på motstående sidor i axiell riktning 2, till rotoraktuator delen 11. I denna utföringsform är de två segmenten 47, 48 magnetiska kopplade till varandra genom en statoraktuatorbrygga 49. Två magnetgap 33, 35 finns vid varsin sida om rotoraktuator delen 11, där båda gapen 33, 35 utgör delar av den magnetiska kretsen 30. De magnetiska krafterna försöker stänga gapen och verkar därför mot varandra, så att den totala påverkan från de magnetiska axialkrafterna reduceras.

15

Segmentet 48 är placerat med ett smalt gap 35 till rotoraktuator delen 11. Detta kan utnyttjas ytterligare i applikationer som arbetar med en tryckskillnad längs rotorns axel. Exempel på sådana applikationer är t.ex. vakuumpumpar. I föreliggande utföringsform är en yta till segment 48 som är vänd mot rotoraktuator delen försedd med en spårad struktur 71. Spåren har en spiralform och påverkar gas som finns i gap 35 att röra sig mot axeln 4 när den rotorns plana rotoraktuator delen 11 roterar snabbt relativt statoraktuator delen 21. En pumpande verkan uppstår därigenom i enlighet med principer kända som sådana enligt teknikens ståndpunkt. Denna typ av pump är dock företrädesvis kombinerad med smala plana gap som skapar fördelaktiga synergifunktioner. För att inte i för hög grad påverka de magnetiska egenskaperna på aktuatoren i sin helhet, kan den spåriga ytan 71 vara gjord av ett omagnetiskt material, t.ex. en polymer. I alternativa utföringsformer kan istället den spåriga ytan 71 sitta på rotoraktuator delen 11 och interagera med en plan aktuator yta på statorn istället.

30

I Fig. 8A, har dessa idéer utvecklats ytterligare. I detta utförande är båda segmenten 47, 48 försedda med variabel reluktans i radiell riktning vända mot matchande strukturer på rotorn. Med andra ord,

35

- rotormagnetkretselementet 12 har en andra sida 19, riktad åt motsatt håll i axiell riktning mot den första sidan 15. En andra sida 46 på statormagnetkretselementet 22 är vänd mot den andra sidan 19 på rotormagnetkretselementet 12, separerade av gapet 35. Den andra sidan 46 av statormagnetkretselementet 22 är i magnetisk kontakt med den första sidan 15 av statormagnetkretselementet 22.
- 5 Dessutom, uppvisar den andra sidan 46 av statormagnetkretselementet åtminstone en av en variabel reluktans och en variabel magnetisering i en radiell riktning 3 med avseende på axel 4, och den andra sidan 19 på rotormagnetkretselementet 12 uppvisar åtminstone en av en variabel reluktans och en variabel magnetisering i en radiell riktning 3 med avseende på axel 4.
- 10 Elektriskt ledande slingor 40 tillhandahålls även på den andra sidan 46 på statormagnetkretselementet 22, med syfte att fånga upp förändringar i magnetflödet 32 även på denna del av magnetkretsen 30. Dessutom tillhandahålls ytterligare en elektriskt ledande slinga 41 runt rotormagnet kretselementet 12, i radiell riktning 3. Denna elektriskt ledande slinga 41 är positionerad inuti statorns aktuatorbrygga 49 och fångar därmed upp alla flödesändringar i gapen 33, 35.
- 15 På detta sätt tillhandahålls elektriskt ledande slingor 40, 41 för att effektivt detektera och motverka alla relativa rörelser mellan rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21 i radiell riktning 3. Däremot kommer relativa rörelser mellan rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21 i axiell riktning 2 inte att påverka det magnetiska flödet nämnvärt, eftersom en minskning av gapets avstånd på ena sidan av
- 20 rotoraktuatordelen 11 kompenseras av en motsvarande ökning av gapets avstånd på den andra sidan. Detta är resultatet av att det är samma magnetiska flöde som passerar båda gapen 33, 35. På samma sätt, även de magnetiska krafterna i den axiella riktningen är ömsesidigt kompenserade. En rörelse i den axiella riktningen kommer visserligen att minska ett av gapen 33, 35, men kommer istället att öka det andra gapet lika mycket. De resulterande magnetiska krafterna i axiell riktning är därför
- 25 huvudsakligen kompenserade.
- Även i denna utföringsform kan spårade strukturer 71 användas för att uppnå en pumpande verkan. För detta syfte är volymen mellan upphöjningarna i rotoraktuatordelen 11 fylld med omagnetiskt material och den spårade strukturen 71 tillhandahålls ovanpå dessa, utnyttjande statoraktuatordelen
- 30 21 som den motsatta plana pumpande strukturen. Notera att spåren vid gapen 33 respektive 35 är spiralformade i motsatt riktning för att erhålla en kombinerad pumpande verkan. Även här kan det i vissa fall vara användbart att byta plats på den spårade strukturen 71 och de plana ytorna mellan rotor och stator.
- 35 Fig. 8B illustrerar en snittvy av samma utföringsform som i Fig. 8A, men vinkelrätt mot rotationsaxeln, längs linje C-C. Här kan noteras att även de elektriskt ledande slingorna 40, 41 som omsluter

segmentet 28 av statormagnetkretselementet 22 även omsluter rotationsaxeln. De elektriskt ledande slingorna 40, 41 är därför i den föreliggande utföringsformen företrädesvis realiserad som solida kopparringar fastlödda i nedsänkningarna i statoraktuatordelen 21.

- 5 En fördel med designen i Fig. 8B är att förlusterna minimeras p.g.a. det rotationssymmetriska magnetfältet. En annan fördel är att utföringsformen är relativt lätt att tillverka.

Med referens återigen till Fig. 8A, är det värt att notera att eftersom de geometriska strukturerna på rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21 i föreliggande utföringsform är i fas med varandra, så
10 erhålls ett maximalt magnetflöde 32 genom den magnetiska kretsen 30 när rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21 är perfekt upplinjerade i radiell riktning. All avvikelse från detta förhållande kommer att reducera magnetflödet 32. Med en sådan design, kommer all radiell rörelse av rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21 att resultera antingen i ökad eller konstant reluktans i gapen i alla delar av den magnetiska kretsen eller i minskad eller konstant reluktans i gapen i alla delar
15 av den magnetiska kretsen. Med andra ord, det finns ingen möjlig radiell rörelse med konfigurationen i föreliggande utföringsform som får den magnetiska reluktansen att öka i en del av den magnetiska kretsen och att minska i andra delar. Detta är orsaken till att de elektriskt ledande slingorna 40, 41 tillåts att omsluta rotationsaxeln 4.

20 De magnetiska återförande krafterna i radiell riktning är tämligen starka i utföringsformen ovan. I ytterligare en annan utföringsform, illustrerad i Fig. 9A, är de magnetiskt återförande krafterna i radiell riktning reducerade på samma gång som den dämpande funktionen är väsentligen den samma eller bättre. Detta åstadkommes genom att medvetet introducera en avvikelse mellan de geometriska strukturerna på rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21. Notera att Fig. 9A är ritad i den
25 avsiktliga upplinjerade positionen mellan rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21. När rotorn 10 och statorn 20 roterar i en upplinjerad relation är upphöjningarna 26 på statoraktuatordelen 21 placerade på en mindre radie än upphöjningarna 16 på rotoraktuatordelen 11. De magnetiska krafterna på en punkt utmed aktuatorn 1 kommer att försöka förskjuta statorn utåt. Emellertid kommer en sådan förflyttning att resultera i en större avvikelse på motsatt sida av aktuatorn 1. De magnetiska
30 krafterna strävar i motsatt riktning och kommer därmed att kompensera varandra, åtminstone i en viss grad.

Samtidigt bibehålls en dämpande verkan. Om en rörelse i en riktning uppstår, kommer en förändring av det magnetiska flödet att uppstå på båda sidorna av rotorn. På ena sidan ökar det magnetiska
35 flödet eftersom reluktansen minskar när upphöjningarna 16 and 26 kommer närmare en matchande position. På motstående sida kommer emellertid flödet att minska, eftersom reluktansen ökar när

upphöjningarna 16 and 26 förskjuts ifrån varandra. Om emellertid varje elektriskt ledande slinga 40, 41 endast täcker en del av statoraktuatordelen 21 längs en tangentiell riktning, så kan båda dessa förändringar detekteras och användas för att skapa dämpande virvelströmmar. I Fig. 9B, visas en snitty D-D vinkelrätt mot axeln 4 av en utföringsform. De elektriskt ledande slingorna 40 tillhandahålls här av en solid kopparskiva försedd med hål för segmenten 28. Med andra ord, de elektriskt ledande slingorna 40 innefattar fasta omagnetiska elektriskt ledande metallstycken. I denna utföringsform tillhandahålls fyra tvärförbindningar 55 i radiell riktning, som tillåter att fyra väsentligen oberoende virvelströmmar går genom kopparplåten. Strömmarna i två motstående sidor av kopparplåten kommer typiskt sett att cirkulera i motsatta riktningar jämfört med varandra. Men strömmarna i de olika delarna kommer hursomhelst alltid att sträva efter att motverka all rörelse.

Avbrotten i upphöjningarna 26 har den fördelen att de förhindrar att det magnetiska fältet tar en väg längs upphöjningarna 26 istället för att passera gapen, när det råder en skillnad mellan olika sidor av statoraktuatordelen 21. Dämpningen blir därigenom mera effektiv. Dock orsakar avbrotten i det rotationssymmetriska magnetfältet vissa förluster. Denna effekt kan minskas genom att införa en smal polbrygga på ytan av statoraktuatordelen 21 ovanpå de elektriskt ledande slingorna 40, 41. Ett annat sätt att erhålla en tvärförbindning är att istället förse upphöjningarna 26 med hål. Storleken på dessa hål bestäms av en kompromiss mellan önskan att ha rotationssymmetriska magnetiska egenskaper och önskan att förhindra magnetfält som propagerar längs upphöjningarna, och slutligen av att ha en tillräcklig tvärkopplingsarea för de elektriskt ledande slingorna 40.

Alternativt kan tvärkopplingarna utgöras av det magnetiska materialet självt, dvs. genom upphöjningarna. Om vidden på upphöjningarna 26 är tillräckligt liten, så blir den elektriska resistansen i radiell riktning tillräckligt liten för att möjliggöra elektriskt ledande slinga 40 att innefatta en del av upphöjningarna 26. Med andra ord, de elektriskt ledande slingorna 40 innefattar till en del en del av statormagnetkrets-elementet.

Baserad på Fig. 9A, i en ytterligare alternativ utföringsform, används tråd till de elektriskt ledande slingorna. Eftersom designen i sig resulterar i strömmar med olika riktning i motstående sidor av statoraktuatordelen, är trådarna ihopkopplade med de elektriskt ledande slingorna på motsatt sida, och men emellertid i motsatt riktning. Med andra ord, trådarna ligger i spolar lindade medurs runt ena sektorn av statoraktuatordelen och moturs runt en motstående sektorn, för att erhålla de radiella dämpeffekterna, i synnerhet grundtonen av varje oscillation.

Företrädesvis används även en elektriskt ledande slinga 41 som omsluter alla gapen mellan rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen 21. En sådan elektriskt ledande slinga 41 kommer att ha

en begränsad effekt på grundtonen av varje oscillation, men kan däremot effektivt dämpa en första överton av varje oscillation.

Den dämpande effekten beror av flera parametrar, t.ex. vidden på gapet och förändringshastigheten hos de magnetiska egenskaperna i radiell riktning. I de fall där geometriska former används, är även vidden av upphöjningarna av stor betydelse. I allmänhet är det så att ändringen i det magnetiska flödet över gapet är större i utformningar som har många smala upphöjningar jämfört med utformningar med färre men bredare sådana. Effekten ökar dessutom med minskande storlek på gapet. Små geometriska strukturer kommer att vara mera känsliga för relativa rörelser. På detta sätt kan aktuatorn designas så att den ger nästan vilken önskad dämpande effekt som helst.

Fig. 10 illustrerar en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator 1, som visar en annan lösning till ett dubbelsidigt koncept. I detta fall har statoraktuatordelen 21 segment 47, 48 på motstående sidor av rotoraktuatordelen 11. Men istället för att ha en aktuatorbrygga på statorn, så sluts den magnetiska kretsen av två magnetiska kretsar genom rotoraktuatordelen 11. En sådan utföringsform kan tillverkas tunnare i radiell riktning och fortfarande ha lika många gap. Magneter kan tillhandahållas på såväl ena segmentet som båda segmenten på statoraktuatordelen 21 och/eller i rotoraktuatordelen 11.

Ett sätt att kontrollera dämpningen av aktuatorn är att tillhandahålla en anpassad design rörande vidden av upphöjningarna, gapen osv. etc. I andra applikationer däremot kan dämpningsbehovet inte räcka till eller det kan behöva ändras med tiden. Dämpningsfunktionen beror på genereringen av virvelströmmar i de elektriskt ledande slingorna. Eftersom de elektriskt ledande slingorna sitter på statorsidan, är virvelströmmarna en kvantitet som lätt kan mätas. Genom att koppla en eller flera ledande slingor 40 till en kontrollenhet 90, som illustreras i Fig. 12, kan virvelströmmarna övervakas som en funktion av tiden. Fig. 11 är ett diagram som visar tidsförloppet över en sådan virvelström 101. Sådan övervakning öppnar även upp för att styra dämpkraften aktivt.

Om dämpkraften som spontant tillhandahålls av virvelströmmarna i ett aktuatorsystem anses vara för små, så ger tidsförloppet över virvelströmmarna i vilket fall information om när och hur strömmar genom de elektriskt ledande slingorna ger en dämpande effekt. Sådan tidsinformation kan vara svår att erhålla på andra sätt. Men inte bara att övervaka virvelströmmarna, utan även att kontrollera dem ger en möjlighet att kontrollera dämpeffekten och/eller styvheten i lagret. Kontrollenheten 90 (Fig. 12) är därigenom arrangerad för att kontrollera strömmar genom de elektriskt ledande slingorna. Om kontrollenheten ökar en ström genom de elektriskt ledande slingorna så att en total ström 102 som har samma fas som den rena virvelströmmen 101, men högre amplitud, matas till de elektriskt ledande

slingorna, så ökas dämpverkan. Att skifta fasen på den tillförda strömmen, som i kurva 4, kan även det spela en viktig roll, särskilt om spolens induktans är hög.

På liknande sätt, om dämpningen som genereras av en ren virvelström är för stor, kan dämpningen motverkas genom att tillföra en ström i motsatt riktning till virvelströmmen. Den totala strömmen kan se ut som i kurva 103. I extrema fall, kan dämpningen även kontrolleras till att bli negativ, d.v.s. en total ström som flyter genom den elektriskt ledande slingan flyter i motsatt riktning till vad en okontrollerad virvelström skulle göra. En vibration i en sådan maskin kan på detta sätt avsiktligt ökas.

Fackmannen inser lätt, att sätten att kontrollera dämpeffekten kan varieras på många sätt. Eftersom en elektrisk anslutning till de elektriskt ledande slingorna redan finns är det fördelaktigt att använda de elektriskt ledande slingorna själva även för de kontrollerade strömmarna. Det är dock fullt möjligt att lägga till separata ledande slingor, företrädesvis parallellt med de ursprungliga elektriskt ledande slingorna, i vilka en korrigeringsström leds. Den totala effekten på den roterande maskinen kommer huvudsakligen att vara den samma, men om den kontrollerade strömmen är motsatt riktad mot virvelströmmen kommer den totala värmen som genereras i slingorna att öka.

Om de elektriskt ledande slingorna 41 är anslutna i motsatt riktning på motstående sidor av statorn, som diskuterats tidigare i anslutning till Fig. 9A, så kan en adekvat kontroll av strömmen ge upphov till en resulterande kraft i radiell riktning. Denna möjlighet är mest utpräglad om icke linjerade stator- och rotor geometrier används.

Fig. 13 illustrerar ett flödesdiagram som visar stegen i en utföringsform av en metod i enlighet med föreliggande uppfinning. Metoden för att operera en elektrodynamisk aktuator enligt de principer som presenteras i föreliggande framställning startar i steg 200. I steg 210 roteras statoraktuator delen och rotoraktuator delen relativt varandra runt en axel. I steg 220 dämpas vibrationerna genom att inducera virvelströmmar i de elektriskt ledande slingorna. Detta sker spontant som ett resultat av att amplituden ändras på en avvikelse från upplinjerig mellan statoraktuator delen och rotoraktuator delen. I steg 230 styrs strömmar genom de elektriskt ledande slingorna för att kontrollera åtminstone en av egenskaperna dämpningseffektivitet och styvhet. Metoden avslutas i steg 299.

Stegen i Fig. 13 ska inte tolkas som ett strikt flödesdiagram, utan är snarare till för att skapa en medvetenhet om existensen av de olika stegen. Stegen 210-230 ska därför anses vara möjliga att utföra kontinuerligt och/eller simultant.

Virvelströmmarna ger information om den relativa rörelsen i radiell riktning mellan stator och rotor. Genom att integrera denna signal, och genom att använda jämviktsläget som en fixposition, kan man

erhålla information om en absolut positions. Det är därigenom möjligt att kontrollera rörelsen sidledes. Samma möjlighet kan även tillhandahållas med en positionssensor.

Fig. 14 illustrerar en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator 1. I detta fall, innefattar rotoraktuatorordelen 11 två segment 61, 62, magnetiskt kopplade genom rotorn 10. Statoraktuatorordelen 21 har fyra segment 63, 64, 65, 66, vända mot varje rotoraktuatorordel 61, 62 parvis. De båda paren är magnetiskt kopplade med en permanentmagnet 34. En elektriskt ledande slinga 70 per segment 61, 62 i rotoraktuatorordelen tillhandahålls, vilken omsluter respektive segment 61, 62 i radiell riktning. Den magnetiska kretsen involverar alltså båda segmentparen 63, 64, 65, 66 i statoraktuatorordelen, båda segmenten 61, 62 i rotoraktuatorordelen, en del av rotorn 10 och permanentmagneten. Den magnetiska kretsen har också två grenar vid var och en av segment 61, 62 på rotoraktuatorordelen, en från ovan (som visas i figuren) och en underifrån. Dessa två flödesvägar mynnar in i regionen inuti de elektriskt ledande slingorna 70 i motsatta riktningar. Flödet går även in i ett av segmenten 61 i rotoraktuatorordelen och lämnar genom det andra 62.

Den elektriskt ledande slingan 70 har däremot inte någon dämpande verkan, eftersom nettoändringen i magnetflöde genom den elektriskt ledande slingan 70 är noll, oavsett den radiella rörelsen.

De elektriskt ledande slingorna 70 är kontrollerbara enligt liknande idéer som presenterades ovan. Genom att ändra strömmen genom de elektriskt ledande slingorna 70, kan det magnetiska flödet till/från segmenten 61, 62 i rotoraktuatorordelen differentieras mellan respektive övre och undre segmenten 63, 64, 65, 66 i statoraktuatorordelen. Det betyder att det är möjligt att avsiktligt t.ex. öka flödet till de lägre segmenten 64, 66 i statoraktuatorordelen och minska flödet till segmenten 63, 65 i statoraktuatorordelen, eller omvänt. En nettokraft kommer i sådant fall att vara riktat i axiell riktning, dvs. en styrbar axiell kraft tillhandahålls samtidigt som dämpning i radiell riktning åstadkoms. Detta är bara ett exempel på hur det grundläggande konceptet av föreliggande uppfinning kan kombineras i nya konfigurationer, med intressanta egenskaper.

Elektriskt ledande slingor 40 tillhandahålls även runt delar av var och en av statorordelarnas segment 63-66. Dessa elektriskt ledande slingor 40 ger en dämpande verkan. För att undvika att dämpa även den axiella kontrollen som tillhandahålls av den elektriskt ledande slingan 70 lindas den elektriskt ledande slingan 40 företrädesvis i motsatt riktning på motstående delar av statoraktuatorordelen, så som diskuterats i den alternativa utföringsformen i samband med Fig. 9A. Dessutom ska den elektriskt ledande slingan 40 på det övre respektive det undre statorordelssegmentet förses med olika polaritet.

En annan möjlighet att utöka användningsområdet för föreliggande uppfinning är att kombinera de grundläggande idéerna med olika koncept enligt känd teknologi. Eftersom det magnetiska flödet i

rotoraktuatordelen 11 redan är differentierat i radiell riktning, kan denna differentiering t.ex. användas till att skapa radiella återförande krafter. Fig. 15 illustrerar en sådan utföringsform. Rotoraktuatordelen 11 innefattar där ytterligare minst en elektriskt ledande rotorslinga 69 som omsluter ett respektive segment 68 av rotormagnetkretselementet 12. Segmentet 68 av rotormagnetkretselementet 12 innefattar magnetiskt material och är ordnat så att det leder ett magnetiskt flöde som har en komponent skild från noll genom den elektriskt ledande rotorslingan 69. Segmentet 68 av rotormagnetkretselementet 12 är ordnat så att det får komponenten, skild från noll, att ändras när rotoraktuatordelen 11 och statoraktuatordelen är förskjutna från en upplinjerad relation i radiell riktning i förhållande till varandra. Statormagnetkretselementet 22 är huvudsakligen rotationssymmetriskt med avseende på axeln 4.

I detta utförande, orsakar en förskjutning i radiell riktning att den elektriskt ledande rotorslingan 69 på rotoraktuatordelen 11 skapar en återförande kraft. En rörelse i radiell riktning, dvs. rörelsens tidsderivata är skild från noll, orsakar istället att den elektriskt ledande slingan 40 på statoraktuatordelen 21 skapar en dämpande kraft.

Fig. 16 visar en utföringsform av en elektrodynamisk aktuator 1 enligt föreliggande uppfinning som har rotoraxeln 76 som en del av den magnetiska kretsen 30. Magnetflödet passerar från statoraktuatordelen 21 över till rotoraktuatordelen 11 via gapen 33 och 35. Flödet 32 leds sedan ut till rotoraxeln 76, där magnetiska ledare 77 separerar flödet 32 i två delar. Varje delflöde passerar ett ytterligare gap 78 över till en magnetisk ledare 72 på statoraktuatordelen 21. En elektriskt ledande slinga 70 tillhandahålls runt huvudsakligen hela den magnetiska kretsen 30 och kan användas även för att reglera den axiella positionen. Genom att utnyttja rotoraxeln 76 till att leda det magnetiska flödet i två riktningar, kan arrangemanget göras mer kompakt i den axiella dimensionen.

Fig. 17 visar en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator 1 enligt föreliggande uppfinning som har en tredelad rotoraktuatordel 11. Den övre och den undre fungerar som i Fig. 14. I den mellersta delen däremot fungerar rotoraktuatordelen istället som en ren dämpare, t.ex. liknande den som visas i Fig. 8A. Arrangemanget blir utdraget i axiell riktning. Detta kan också utnyttjas eftersom det också till en del hindrar gas och andra fluider att passera genom arrangemanget. En så kallad labyrinthtätning har därigenom formats. Denna labyrinthstruktur kan även utökas genom att förse den med ytterligare tätningsringar 74 i tillgängliga utrymmen för att öka flödesvägens längd genom arrangemanget. Tätningsringarna 74 sticker ut från den första sidan och/eller andra sidan 47 av statormagnetkretselementet 22. Ringarna 74 är företrädesvis tillverkade av samma material som de ledande ringarna 40. Ringarna 74 kan även vara ytbehandlade med en lågfriktionsbeläggning så att de

kan användas som radiella nödlager, för att därigenom eliminera behovet av tillkommande externa lager.

Fig. 18 visar en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator 1 enligt föreliggande uppfinning, här med repulsiva permanentmagneter 75. Det magnetiska flödet 32 i huvudsakliga magnetkretsen 30 orsakas av ringmagneter 31 vid rotorn 10, fastsatta med bandage 79. Genom att även lägga till magneter 75 på statoraktuatordelen, riktade parallellt med magneterna 31 vid rotorn 10, så kan en repulsiv kraft skapas som verkar som ett vanligt magnetlager. Att introducera de extra magneterna 75 kommer inte nämnvärt att ändra de dämpande egenskaperna hos arrangemanget i övrigt.

I utföringsformen ovan, är rotormagnetkretselementet och statormagnetkretselementet magnetiskt interagerande över ett gap som sträcker sig i axiell riktning 2. Fig. 19 visar en annan utföringsform av en elektrodynamisk aktuator enligt föreliggande uppfinning med luftgap 33, 35 istället riktade i radiell riktning 3. En rörelse i radiell riktning orsakar en förändring i magnetflöde genom den elektriskt ledande slingan 40 och en dämpning uppstår. Typiskt sett kan dämpningen göras väldigt effektiv. En sådan lösning tenderar dock att bli något mer instabil.

Utföringsformerna beskrivna ovan ska förstås som några få illustrativa exempel på föreliggande uppfinning. Det är uppenbart för fackmannen att olika modifikationer, kombinationer och ändringar kan göras på utföringsformerna utan att avvika från omfånget av föreliggande uppfinning. I synnerhet kan olika dellösningar i olika utföringsformer kombineras i andra konfigurationer, där så är tekniskt möjligt. I synnerhet kan de flesta illustrerade utföringsformerna som har en utformning med geometriska strukturer på rotoraktuatordelen och statoraktuatordelen upplinjerade typiskt sett lätt modifieras till att tillhandahålla icke upplinjerade konfigurationer. Ytor med pumpande verkan eller med labyrinthtätningar kan även de kombineras med de flesta utföringsformerna. Omfånget av föreliggande uppfinning definieras dock av de medföljande patentkraven.

PATENTKRAV

1. Elektrodynamisk aktuator (1), innefattande:
 - en statoraktuator (21) med ett statormagnetkretselement (22), innefattande magnetiskt material (23); och
 - 5 en rotoraktuator (11) med ett rotormagnetkretselement (12), innefattande magnetiskt material (13);
 - vilken statoraktuator (21) och rotoraktuator (11) har en axel (4) för en avsedd rotation relativt varandra;
 - åtminstone en magnet (31) som inducerar magnetiskt flöde (32) genom en magnetisk krets
 - 10 (30) innefattande nämnda statormagnetkretselement (22) och nämnda rotormagnetkretselement (12);
 - vilket rotormagnetkretselement (12) är väsentligen rotationssymmetriskt med avseende på nämnda axel (4);
 - en första sida (25) av nämnda statormagnetkretselement (22) uppvisar åtminstone ett av en variabel reluktans och en variabel magnetisering i en radiell riktning (3) med avseende på nämnda axel
 - 15 (4);
 - en första sida (15) av nämnda rotormagnetkretselement (12), vilket interagerar magnetiskt med nämnda första sida (25) av nämnda statormagnetkretselement (22), uppvisar åtminstone ett av en variabel reluktans och en variabel magnetisering i nämnda radiella riktning (3);
 - vilken statoraktuator (21) dessutom innefattar åtminstone en elektriskt ledande slinga (40)
 - 20 som omsluter ett respektive segment (28) på nämnda statormagnetkretselement (22);
 - vilket segment (28) på nämnda statormagnetkretselement (22) innefattar magnetiskt material (23) och är arrangerat för att leda ett magnetiskt flöde (32) som har en komponent skild från noll genom nämnda åtminstone en elektriskt ledande spole (40);
 - vilket segment (28) på nämnda statormagnetkretselement (22) är arrangerat för att orsaka
 - 25 nämnda komponent skild från noll att ändras när nämnda statoraktuator (21) och nämnda rotoraktuator (11) rör sig relativt varandra i nämnda radiella riktning (3).
 - 2. Elektrodynamisk aktuator enligt krav 1, **kännetecknad av** att nämnda första sida (25) på nämnda statormagnetkretselement (22) är försedd med upphöjningar (26) och nedsänkningar (27) som sträcker sig i en axiell riktning (2), vilket orsakar åtminstone en del av nämnda variabla reluktans.
 - 30 3. Elektrodynamisk aktuator enligt krav 1 eller 2, **kännetecknad av** att nämnda första sida (15) av nämnda rotormagnetkretselement (12) är försedd med upphöjningar (16) och nedsänkningar (17) som sträcker sig i nämnda axiella riktning (2), vilket orsakar åtminstone en del av nämnda variabla reluktans.

4. Elektrodynamisk aktuator enligt något av patentkraven 1 till 3, **kännetecknad av** att nämnda första sida (15) av nämnda rotormagnetkretselement (12) och nämnda första sida (25) av nämnda statormagnetkretselement (22) interagerar magnetiskt över ett gap i den axiella riktningen.
5. Elektrodynamisk aktuator enligt något av patentkraven 1 till 3, **kännetecknad av** att nämnda första sida (15) av nämnda rotormagnetkretselement (12) och nämnda första sida (25) av nämnda statormagnetkretselement (22) interagerar magnetiskt över ett gap i den radiella riktningen.
6. Elektrodynamisk aktuator enligt patentkrav 5, **kännetecknad av** tättningsringar (74) som sticker ut från nämnda första sida (25) av nämnda statormagnetkretselement (22), vilka tättningsringar (74) är ytbehandlade med en lågfriktionsbeläggning i syfte att kunna agera som radiella nödlager.
7. Elektrodynamisk aktuator enligt något av patentkraven 1 till 6, **kännetecknad av** att nämnda första sida (25) av nämnda statormagnetkretselement (22) uppvisar en variabel magnetisering i en radiell riktning (3).
8. Elektrodynamisk aktuator enligt något av patentkraven 1 till 7, **kännetecknad av** att nämnda första sida (15) av nämnda rotormagnetkretselement (12) uppvisar en variabel magnetisering i en radiell riktning (3).
9. Elektrodynamisk aktuator enligt något av patentkraven 1 till 8, i sin tur beroende av patentkrav 2, **kännetecknad av** att nämnda åtminstone en elektriskt ledande slinga (40) tillhandahålls i nämnda nedsänkningar (27).
10. Elektrodynamisk aktuator enligt något av patentkraven 1 till 9, **kännetecknad av** att nämnda åtminstone en elektriskt ledande slinga (40) till en del innefattaren del av nämnda statormagnetkretselement (22).
11. Elektrodynamisk aktuator enligt något av patentkraven 1 till 10, **kännetecknad av** att nämnda rotormagnetkretselement (12) har en andra sida (19), riktad motsatt mot nämnda första sida (15); och
- en andra sida (46) på nämnda statormagnetkretselement (22), vilken interagerar magnetiskt med nämnda andra sida (19) på nämnda rotormagnetkretselement (12).
12. Elektrodynamisk aktuator enligt patentkrav 11, **kännetecknad av** att nämnda andra sida (46) av nämnda statormagnetkretselement (22) är i magnetisk kontakt med nämnda första sida (19) av nämnda statormagnetkretselement (22).
13. Elektrodynamisk aktuator enligt patentkraven 11 eller 12, **kännetecknad av** att nämnda andra sida (46) på nämnda statormagnetkretselement (22) uppvisar åtminstone en av en variabel reluktans och en variabel magnetisering i nämnda radiella riktning (3) och att nämnda andra sida (19) på nämnda rotormagnetkretselement (15) uppvisar åtminstone en av en variabel reluktans och en variabel magnetisering i nämnda radiella riktning (3).

14. Elektrodynamisk aktuator enligt något av patentkraven 1 till 13, **kännetecknad av** att nämnda rotoraktuator (11) dessutom innefattar åtminstone en elektriskt ledande rotorslinga (69) som omsluter ett respektive segment (68) på nämnda rotormagnetkretselement (12);

vilket segment (68) på nämnda rotormagnetkretselement (12) innefattar magnetiskt material (13) och är arrangerat för att leda ett magnetiskt flöde (32) som har en komponent skild från noll genom nämnda åtminstone en elektriskt ledande rotorslinga (69);

vilket segment (68) på nämnda rotormagnetkretselement (12) är arrangerat för att orsaka nämnda komponent skild från noll att ändras när nämnda statoraktuator (21) och nämnda rotoraktuator (11) rör sig relativt varandra i nämnda radiella riktning (3) jämfört med en upplinjerad position;

vilket statormagnetkretselement (22) är väsentligen rotationssymmetriskt med avseende på nämnda axel (4).

15. Elektrodynamisk aktuator enligt något av patentkraven 1 till 14, **kännetecknad av** en elektrisk kontrollenhet (90) kopplad till nämnda elektriskt ledande slinga (40) och arrangerad för att kontrollera strömmar genom nämnda elektriskt ledande slingor (40).

16. Roterande maskin (9), innefattande:

en stator (20);

en rotor (10); och

åtminstone en elektrodynamisk aktuator (1) enligt något av patentkraven 1 till 15;

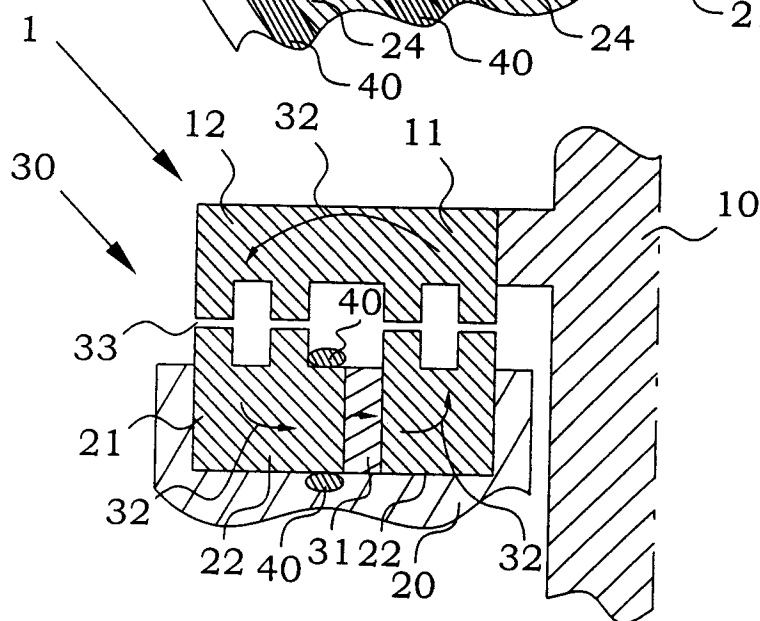
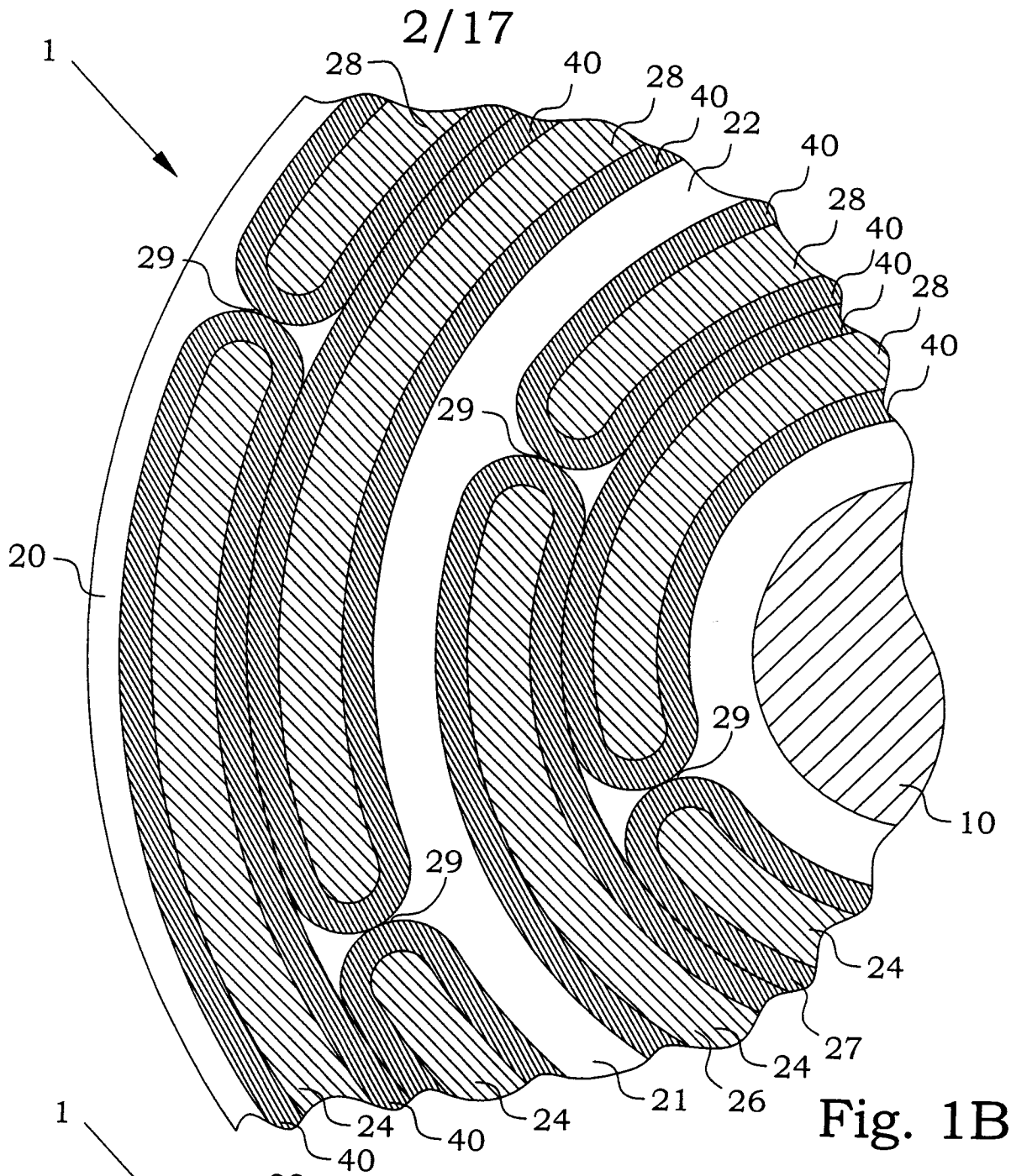
i vilken nämnda rotoraktuator (11) är fäst vid nämnda rotor (10) och nämnda statoraktuator (21) är fäst vid nämnda stator (20).

17. Metod för opererande av en elektrodynamisk aktuator (1) enligt något av patentkraven 1 till 14, vilken metod innefattar stegen:

att rotera (210) nämnda statoraktuator (21) och nämnda rotoraktuator (11) relativt varandra runt nämnda axel; och

att dämpa (220) vibrationer mellan nämnda statoraktuator (21) och nämnda rotoraktuator (11) med användande av virvelströmmar i elektriskt ledande slingor (40) orsakade av någon relativ rörelse mellan nämnda statoraktuator (21) och nämnda rotoraktuator (11).

18. Metod enligt patentkrav 17, **kännetecknad av** det ytterligare steget att kontrollera (230) strömmar genom nämnda elektriskt ledande slingor för att kontrollera åtminstone en av dämpningseffektivitet och styvhet.



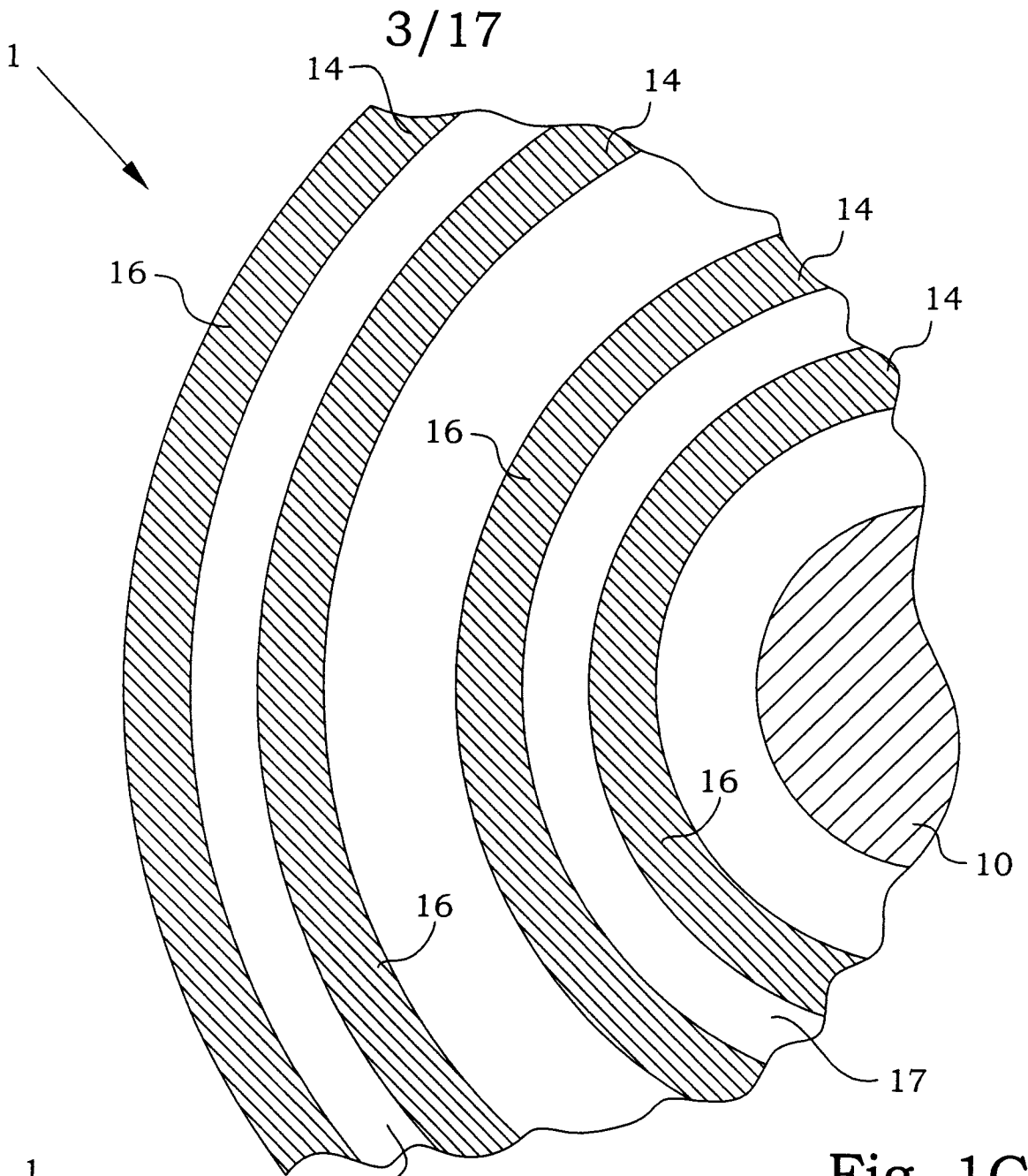


Fig. 1C

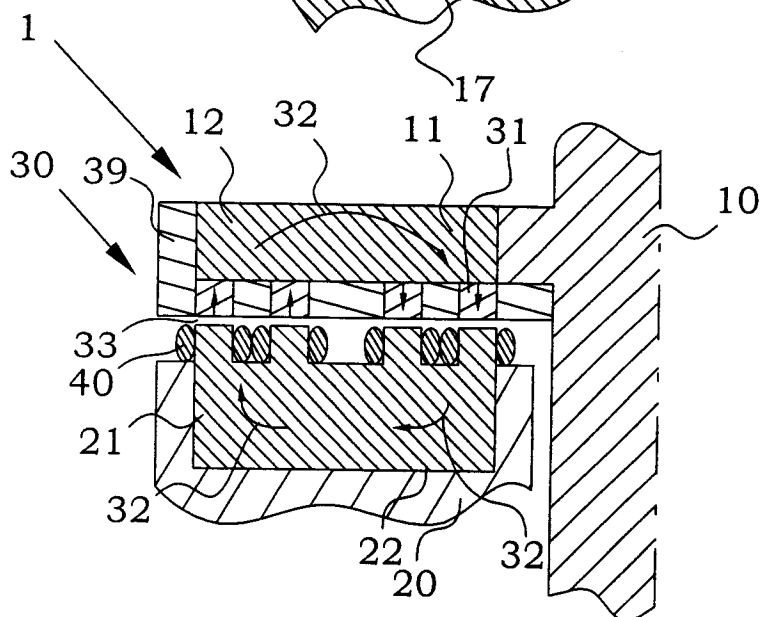


Fig. 4

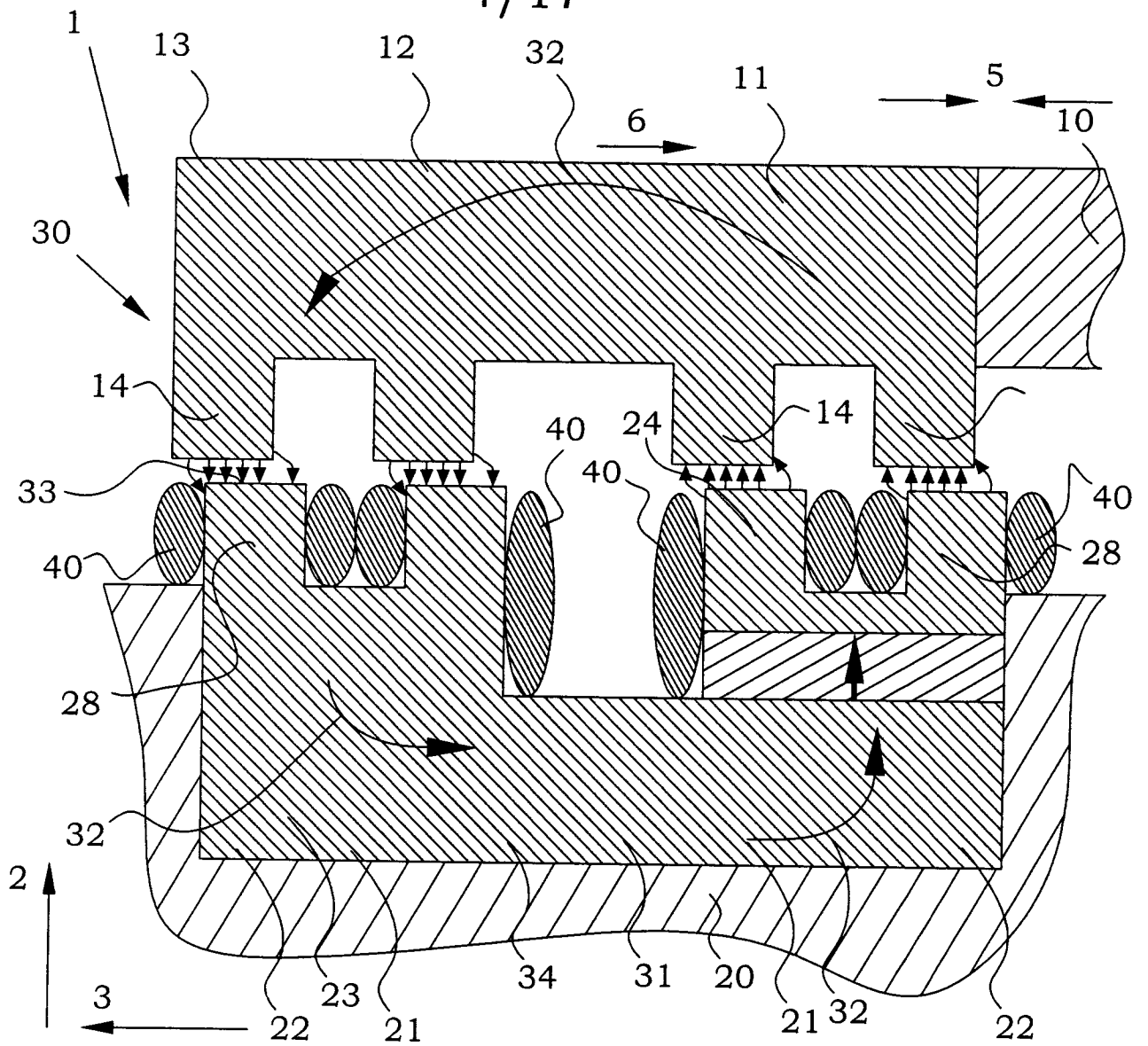


Fig. 1D

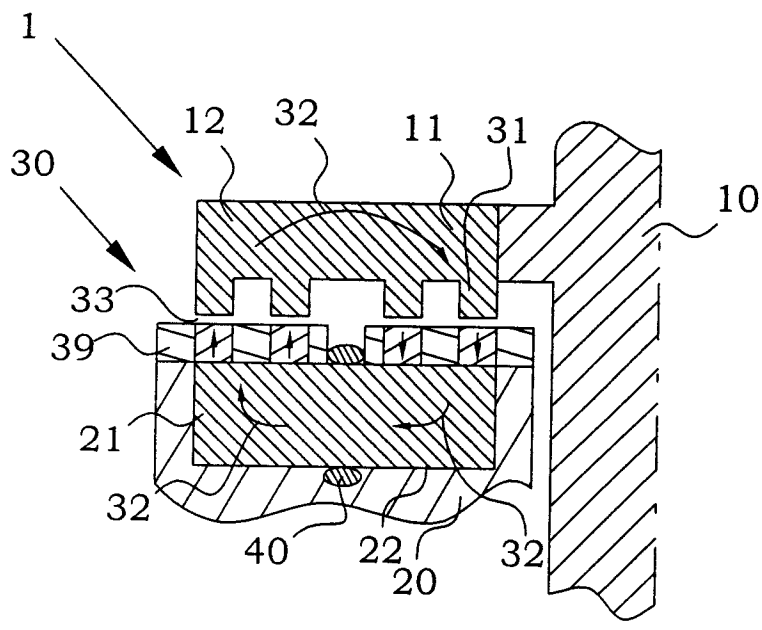


Fig. 5

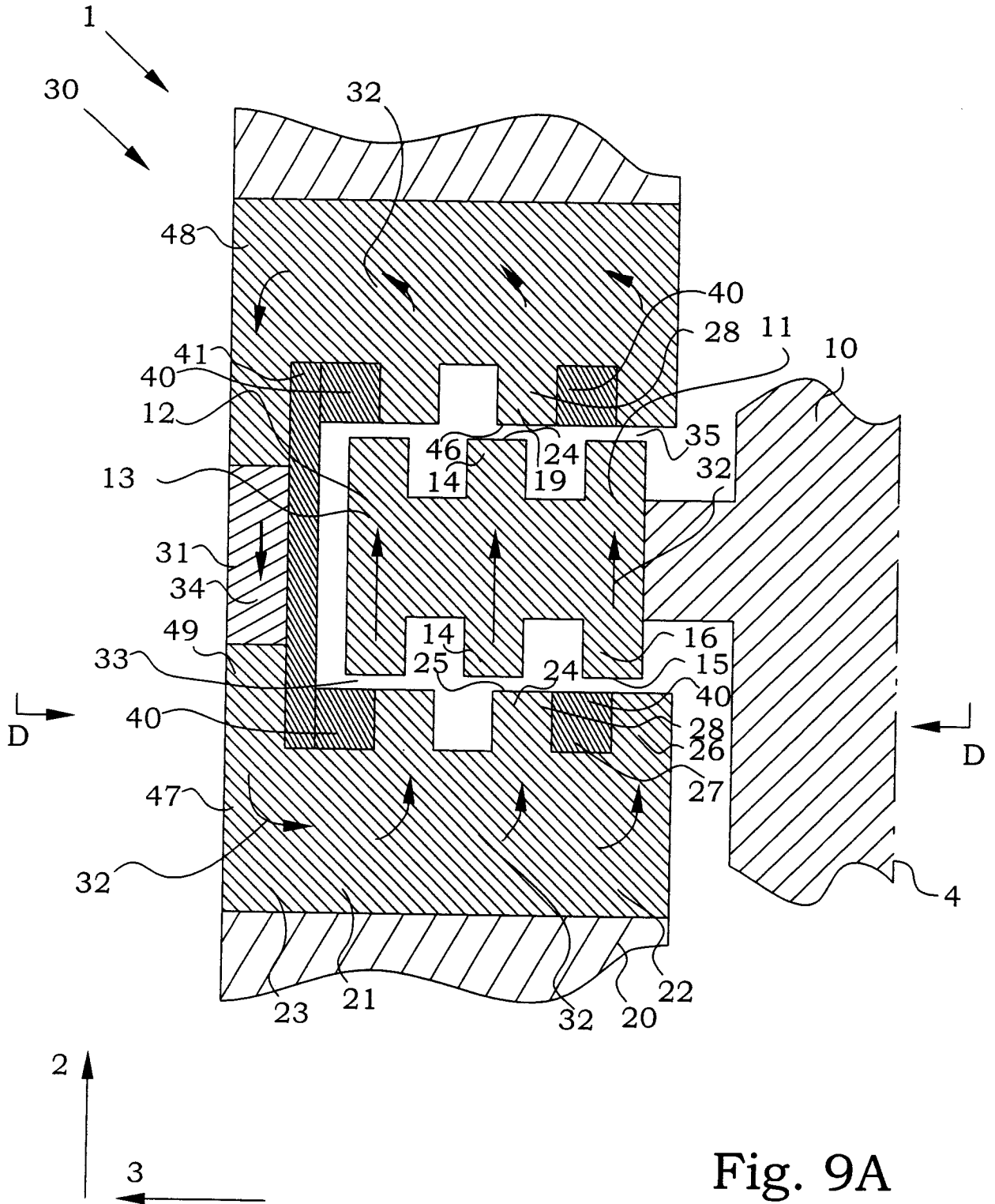


Fig. 9A

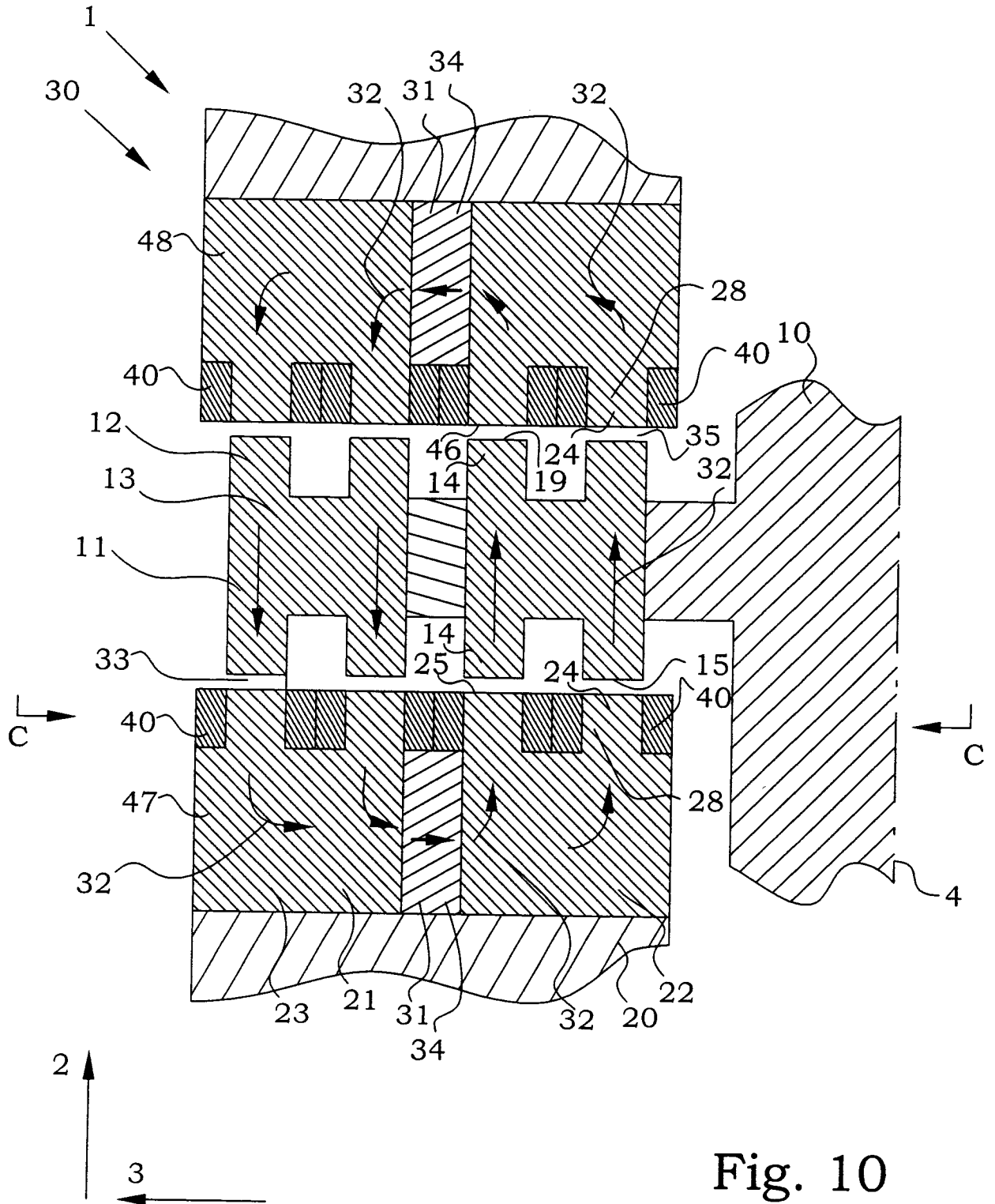


Fig. 10

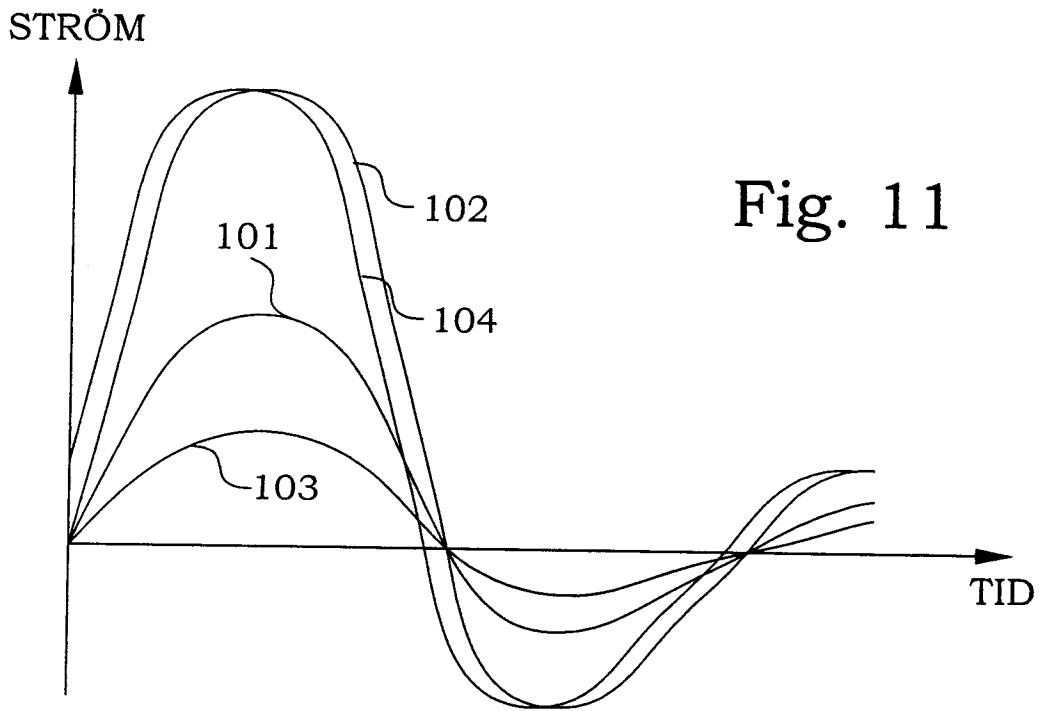


Fig. 11

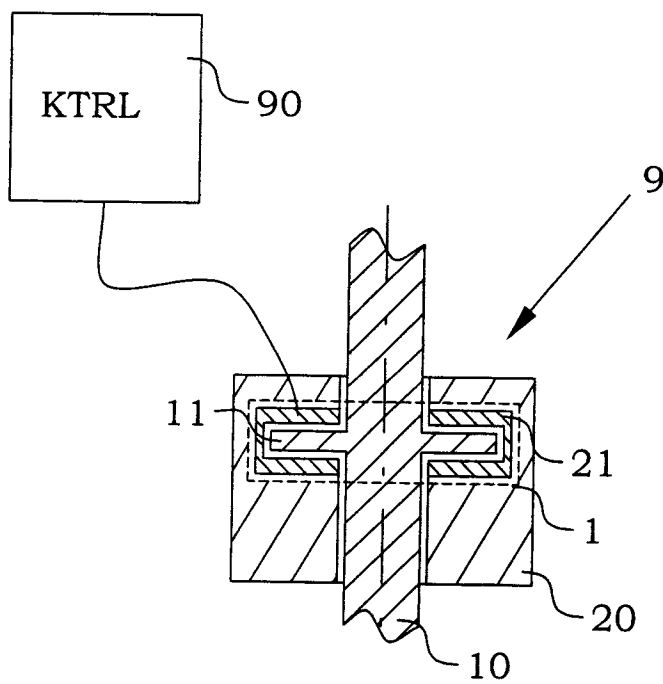


Fig. 12

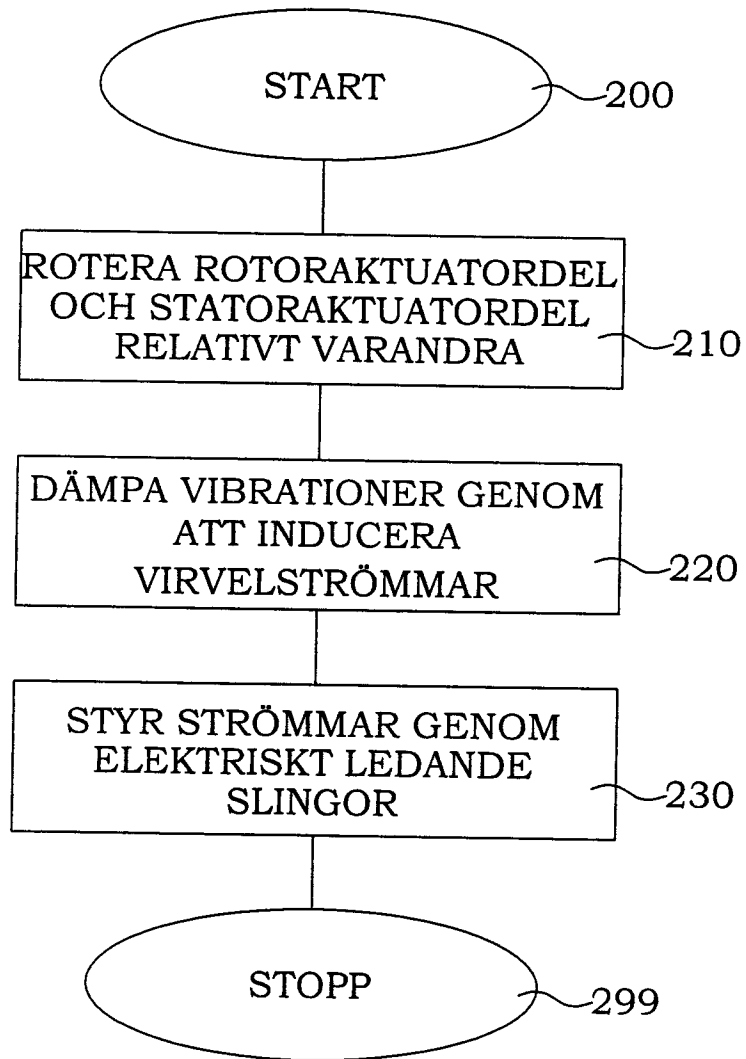


Fig. 13

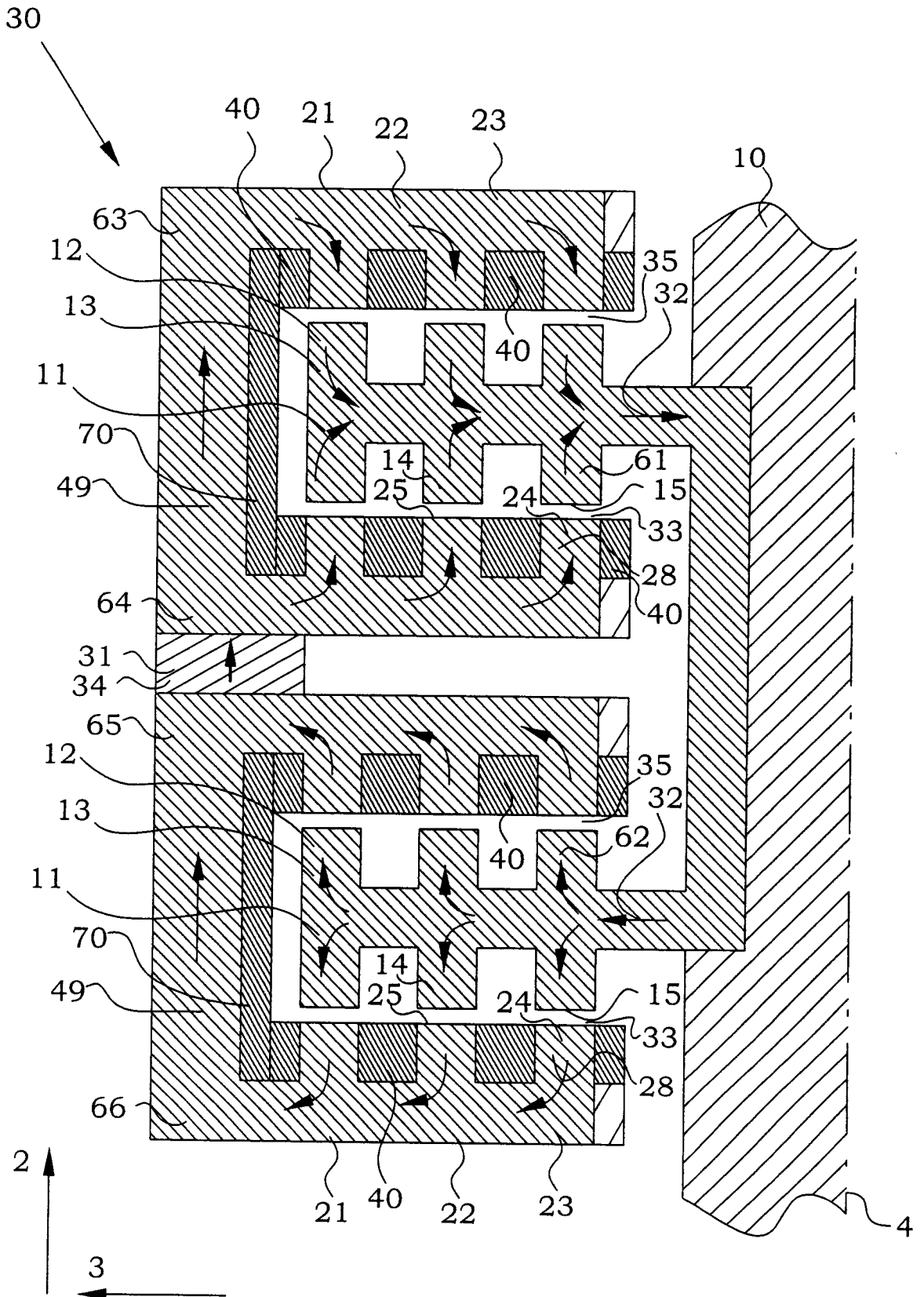


Fig. 14

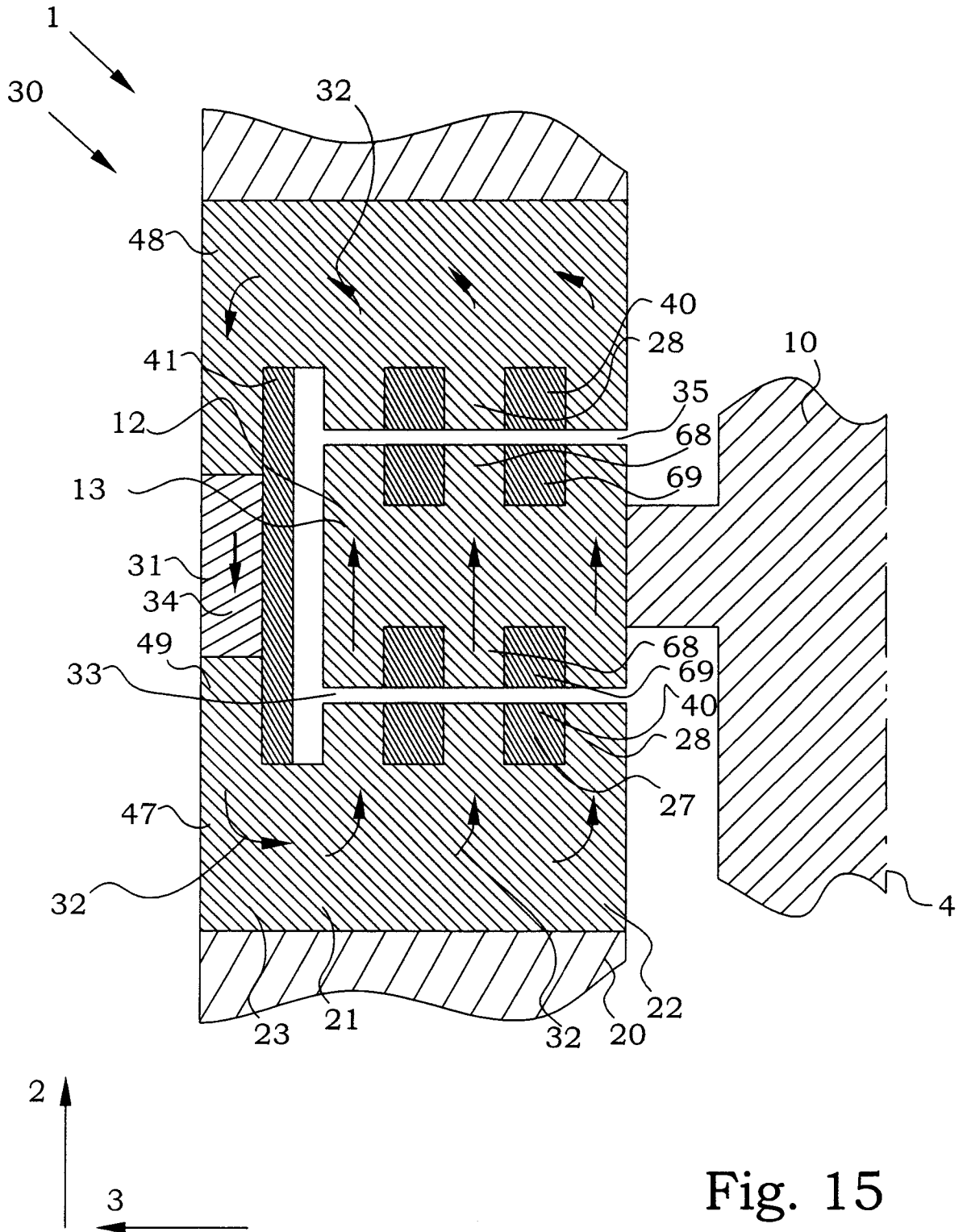


Fig. 15

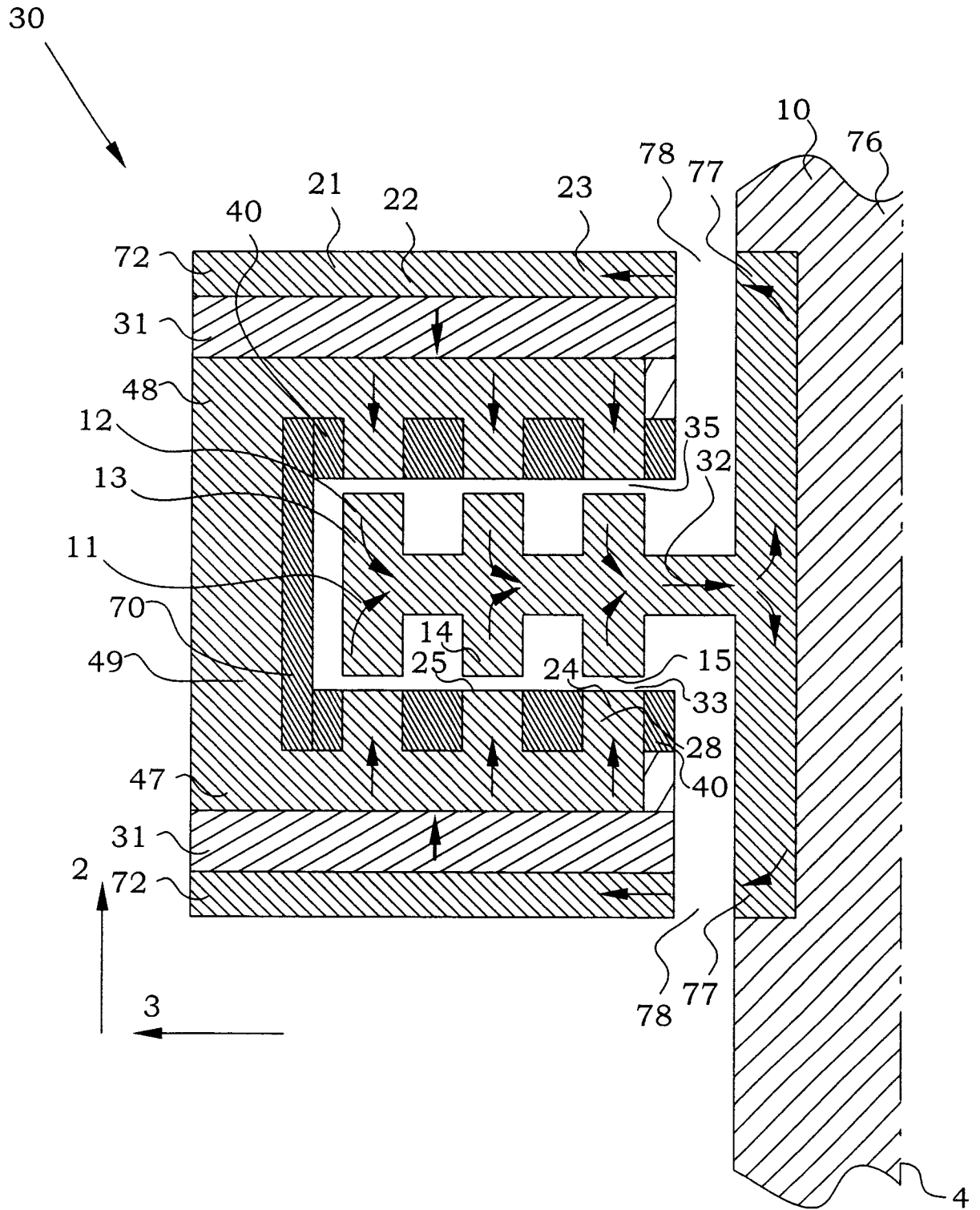


Fig. 16

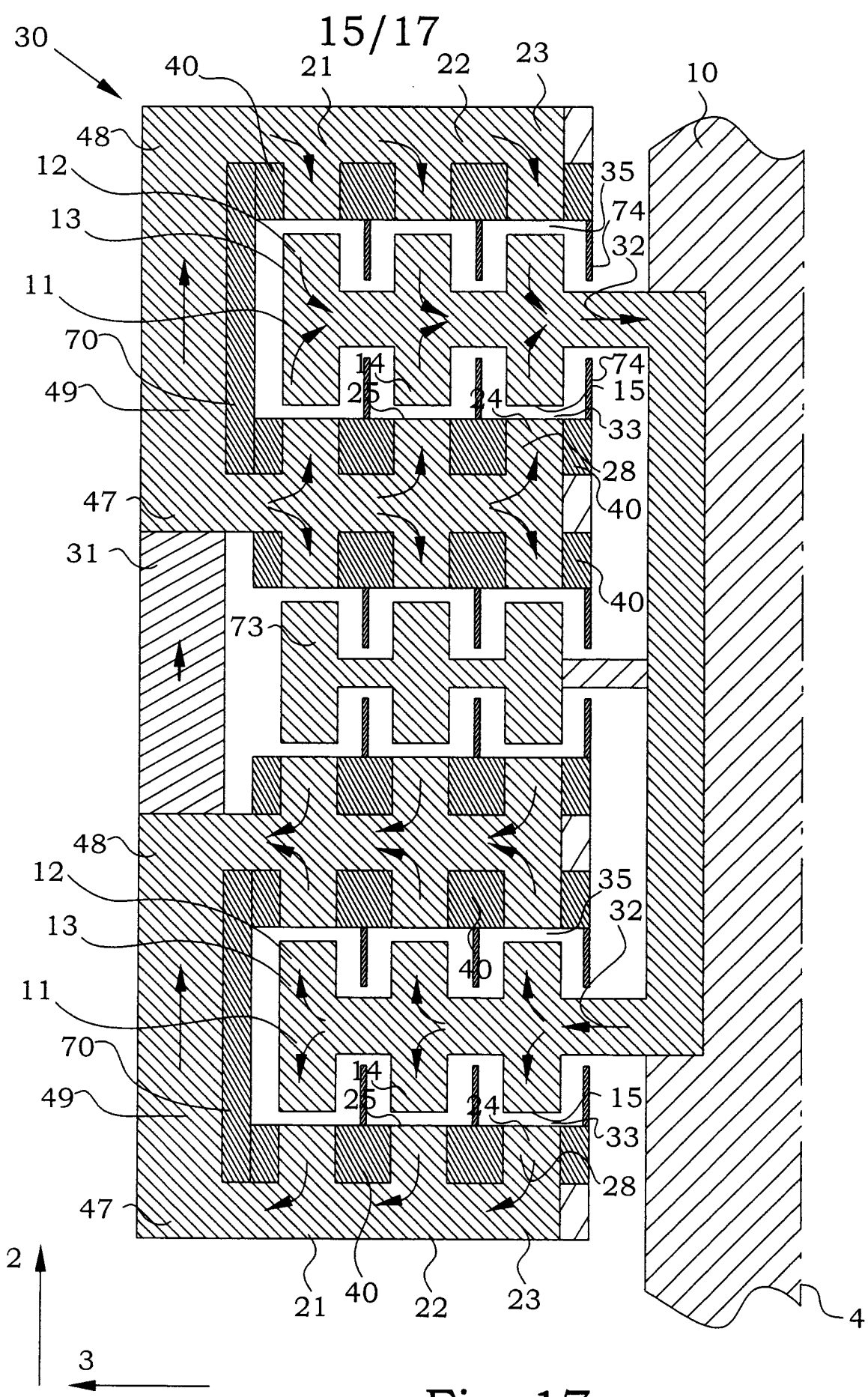


Fig. 17

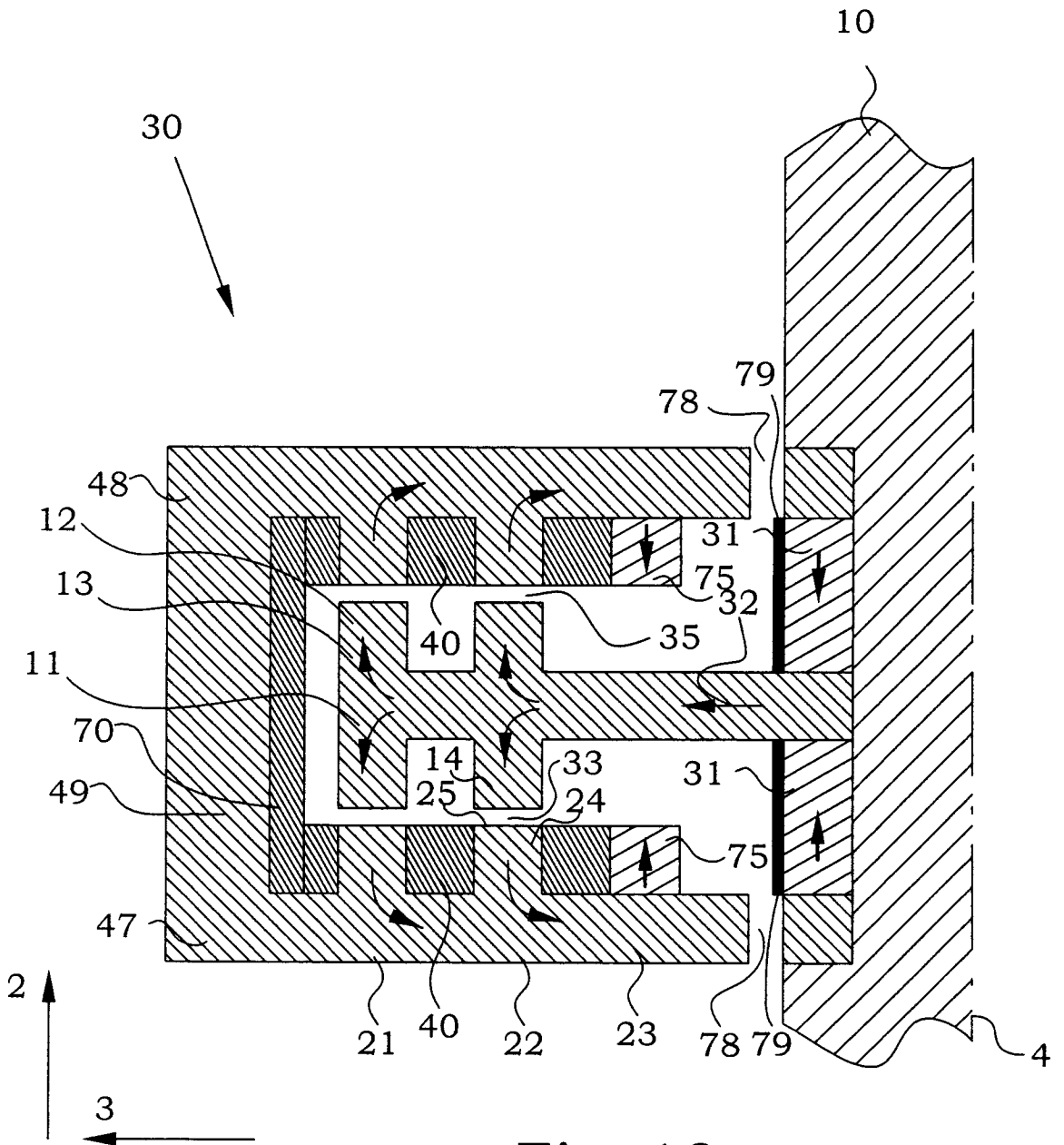


Fig. 18

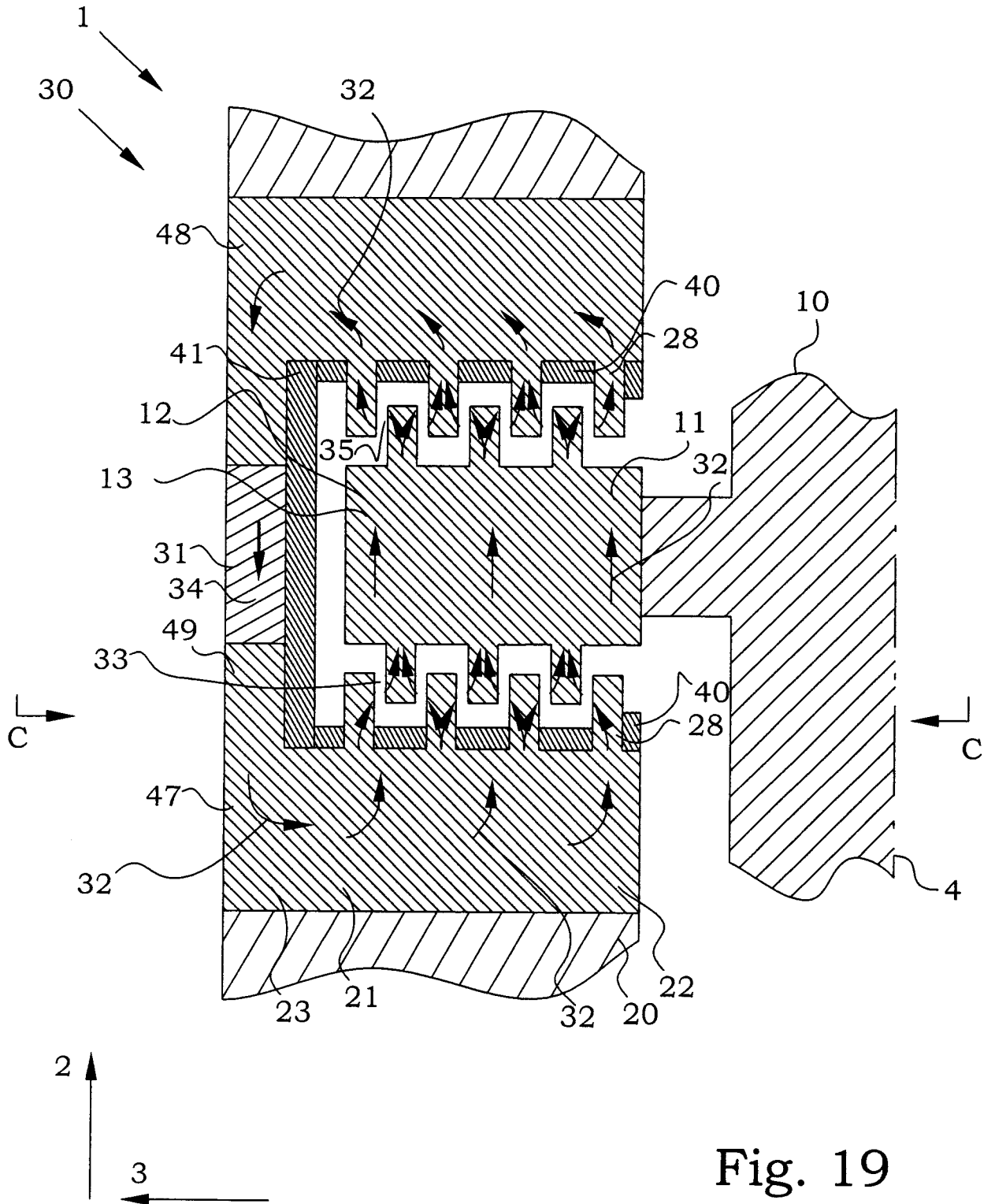


Fig. 19