



(12) PATENT

(19) NO

(11) 336769

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

H02K 19/26 (2006.01)

H02M 3/00 (2006.01)

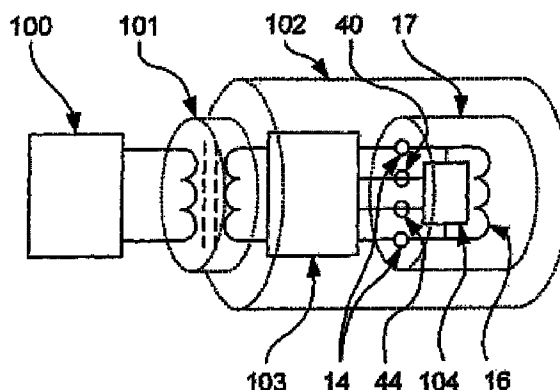
H02P 9/30 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20074792	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2006.02.13 PCT/GB2006/000489
(22)	Inng.dag	2007.09.19	(85)	Videreføringsdag	2007.09.19
(24)	Løpedag	2006.02.13	(30)	Prioritet	2005.02.24, GB, 0503800.5
(41)	Alm.tilgj	2007.10.23			
(45)	Meddelt	2015.11.02			
(73)	Innehaver	Converteam UK Ltd, Boughton Road, GB-CV211BU RUGBY, WARWICKSHIRE, Storbritannia			
(72)	Oppfinner	Allan David Crane, 24 Main Street, Clifton upon Dunsmore, GB-CV230BH RUGBY, WARWICKSHIRE, Storbritannia			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			

(54)	Benevnelse	Feltgenerator og superledende synkronmaskin med samme
(56)	Anførte publikasjoner	US 20020053889 A1 JP 2003339161 A
(57)	Sammendrag	

Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en magnetiseringsdynamosammenstilling for forsyning av en feltstrøm til rotorviklingene (16) i en superledende synkronmaskin. Magnetiseringsdynamosammenstillingen omfatter en pulstransformator omfattende en primærvikling (7) og en sekundærvikling (10) montert til rotoren i den superledende synkronmaskin for rotasjon sammen med denne. En automatisk kraftforsyning forsyner en pulset spenning til primærviklingen (7) i pulstransformatoren. Den pulsede spenning dannet i sekundærviklingen i pulstransformatoren forsynes til rotorviklingene gjennom en likerettingshalvlederinnretning (11) og et par av overføringsledninger (14). Rotorviklingene (16) og en friløpshalvlederinnretning (15) vil være innrettet i et kryogenisk kammer eller kryostat. Friløpshalvlederinnretningen (15) er koplet i parallell med rotorviklingene (16) og betjenes samtidig med likerettingshalvlederinnretningen (11), for å kunne tilveiebringe en synkronisert likeretting av strømmen avgitt fra den automatiske kraftforsyning. Den automatiske kraftforsyning og både primærviklingen og sekundærviklingen (7, 10) i pulstransformatoren vil være innrettet utenfor kryostaten.



Foreliggende oppfinnelse angår magnetiseringsdynamosammenstillinger, og særlig magnetiseringsdynamosammenstillinger for forsyning av strøm til rotorviklingene i en superledende synkronmaskin.

5

Det er vanlig at rotoren i en superledende synkronmaskin er innrettet i et kryogenisk kammer (ofte kalt en kryostat), slik at det superledende materiale som benyttes i rotorviklingene kan holdes under dets kritiske superledende temperatur. For et høytemperaturs superledende (HTS) materiale, slik som BSCCO-2223 ($\text{Bi}_{(2-x)}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10}$) eller
 10 YBCO ($\text{Yba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$), kan temperaturen i kryostaten være mellom 27 og 110 K. Den gjenværende del av den superledende synkronmaskin vil være lik romtemperaturen, om lag 300 K. I denne patentspesifikasjon vil begrepet "kaldmiljø" bli brukt for å referere til lavtemperaturmiljøet inne i kryostaten, og begrepet "varmmiljø" vil bli brukt for å referere til omgivelsene med romtemperatur utenfor kryostaten.

15

Det vil være av avgjørende betydning for funksjonen til den superledende synkronmaskin at rotorviklingene magnetiseres ved å tilføre disse en feltstrøm. I en typisk superledende synkronmaskin blir hele feltstrømmen tilført rotorviklingene gjennom et par av overføringsledninger som passerer fra varmmiljøet til kaldmiljøet gjennom en vegg i kryostaten.
 20 Feltstrømmen tilveiebringes gjennom en energiforsyning og den kan overføres til overføringsledningene ved å anvende et par av sleperringe og børstekontakter. Overføringsledningene er konstruert for å kunne minimalisere strøvarmeoverføring mellom varmmiljøet og kaldmiljøet, for å redusere muligheten for ugunstige virkninger på ytelsene til det kryogeniske kjølesystem. Overføringsledningene må imidlertid også ha et betydelig
 25 tverrsnittsareal, dersom de skal kunne føre hele feltstrømmen som kan ligge mellom ti og to tusen ampere. En økning av tverrsnittsarealet vil også øke omfanget av strøvarmeoverføringen gjennom overføringsledningene. I praksis må derfor konstruksjonen av lederene være et kompromiss mellom behovet for å maksimere strømføringskapasiteten samtidig som det søkes å minimalisere strøvarmeoverføringen.

30

US-patent nr. 6,420,842 B1 (US 2002/0053889 A1) beskriver en magnetiseringsdynamosammenstilling der overføringsledningene er erstattet av en roterende transformator. Primærviklingen i transformatoren er innrettet i varmmiljøet og sekundærviklingen i transformatoren er innrettet i kaldmiljøet inne i kryostaten. Veggene i kryostaten vil derfor
 35 være innrettet i luftmellomrommet i den roterende transformator. Selv om bruk av denne roterende transformator vil eliminere strøvarmeoverføringen forårsaket av overføringsledningene vil det også bety at all kraftelektronikken som er påkrevet for å likerette og

regulere feltstrømmen før den forsynes til rotorviklingene må være innrettet i kaldmiljøet inne i kryostaten. Dette vil langt fra være ideelt, siden det vil foreligge praktiske vanskeligheter når kraftelektronikk søkes implementert ved så lave temperaturer.

- 5 Følgelig foreligger det et behov for en alternativ magnetiseringsdynamosammenstilling som vil kunne minimalisere strøvarmeoverføring gjennom overføringsledningene, men som ikke vil kreve at styreelektronikk innrettes inne i kryostaten.

Hovedtrekkene ved den foreliggende oppfinnelse fremgår av de selvstendige patent krav.

- 10 Ytterligere trekk ved oppfinnelsen er angitt i de uselvstendige krav.

- Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en magnetiseringsdynamosammenstilling for forsyning av en feltstrøm til rotorviklingene i en superledende synkronmaskin, der magnetiseringsdynamosammenstillingen omfatter: En pulstransformator omfattende en primær-
 15 vikling og en sekundærvikling; en automatisk kraftforsyning for forsyning av en pulset likestrøm til primærviklingen i pulstransformatoren; og et par av overføringsledninger for forsyning av en pulset likestrøm fra sekundærviklingen i pulstransformatoren til rotorviklingene. En styreenhet styrer synkron likeretting av pulset spenning som er tilført rotorviklingene. Pulstransformatoren omfatter videre en tertiær vikling. Styreenheten styrer den
 20 synkrone likeretting av den pulsede spenning basert på et signal fra den tertiære vikling.

- Rotorviklingene vil være innrettet i et kryogenisk område av den superledende synkronmaskin, slik som inne i et kryogenisk kammer eller kryostat. Det kryogeniske område vil bli referert til som "kaldmiljøet".

- 25 Primærviklingen i pulstransformatoren vil fortrinnsvis vær stasjonær, og sekundærviklingen i pulstransformatoren vil fortrinnsvis rotere under bruk. I motsetning til magnetiseringsdynamosammenstillingen utlagt i US-patent nr. 6,420,842 vil både primærviklingen og sekundærviklingen i pulstransformatoren, så vel som den automatiske kraftforsyning,
 30 fortrinnsvis være innrettet i "varmmiljøet" utenfor det kryogeniske område. Overføringsledningene brukes for å overføre den pulsede likestrøm mellom varmmiljøet og kaldmiljøet, vanligvis gjennom en vegg i det kryogeniske kammer eller kryostaten.

- Feltstrømmen tilveiebringes fortrinnsvis av en automatisk kraftforsyning med en betydelig
 35 kraftspenning, slik at en arbeidsfeltstrøm kan etableres i rotorviklingene ved oppstart og i løpet av forholdsvis kort tid. Under normal betjening av den superledende synkronmaskin vil overføringsledningene bare føre feltstrømmen i et kort tidsrom.

Magnetiseringsdynamosammenstillingen vil fortrinnsvis videre omfatte en likerettingshalvlederinnretning i serie med rotorviklingen og en friløpshalvlederinnretning i parallell med rotorviklingen. Likerettingshalvlederinnretningen kan være en tyristor, en utkoplings-
 5 tyristor (GTO) eller en annen innretning med tilsvarende bakoverrettet sperrestrøms- og utkoplings-karakteristikker. Friløpshalvlederinnretningen kan være en sperreskikts-felteffekttransistor (JFET) eller en vertikalsperreskikts-felteffekttransistor (VJFET), for eksempel. JFET- og VJFET-innretningene vil ikke lide under tilstedeværelsen av den parasittiske romdiode som er et iboende trekk ved metalloksidsilikon-felteffekttransistorer
 10 (MOSFET) og silisiumkarbid som vil komme fra disse. Siden de ikke omfatter en parasittisk romdiode vil JFET- og VJFET-innretninger være i stand til å blokkere spenninger av begge polariteter under koplingsstyringen. JFET- og VJFET-innretninger vil videre ikke lide under de sperreforsinkelsesytelsesbegrensninger som påføres andre innretninger ved deres parasittiske romdioder.

15

Likerettingshalvlederinnretningen og friløpshalvlederinnretningen styres fortrinnsvis for en synkron likeretting av den pulsede spenning tilført rotorviklingene. Den synkrone likeretting styres fortrinnsvis av en elektronisk styreenhet som vil anvende et tidssignal fra en tertiærvikling i pulstransformatoren og forsyne likerettingshalvlederinnretningen of friløps-
 20 halvlederinnretningen med styreimpulser, for å slå disse på og av ved passende tidspunkter.

Magnetiseringsdynamosammenstillingen vil fortrinnsvis videre omfatte en demper, omfattende en induksjonsinnretning i serie med rotorviklingene og en kondensator i parallell med rotorviklingene.

25

For å beskytte rotorviklingene mot skade i tilfelle av begynnende quench (d.v.s. at det superledende materiale i rotorviklingene begynner å bli lokalt ohmsk, enten på grunn av at temperaturen stiger over den kritiske temperatur eller at strømtettheten stiger over den kritiske strømtetthet, eller på grunn av en viklingsdefekt, for eksempel) kan den auto-
 30 matiske kraftforsyning slås av, og en svitsjbar innretning omfattende en resistor for elektrisk utladning (noen ganger kalt en dumpingsresistor) kan innrettes i serie med rotorviklingene, for således å tvinge styrken i feltstrømmen ned. Dumpingsresistoren er fortrinnsvis innrettet i serie med en halvledersvitsjeinnretning, slik som en tyristor, en utkoplingstyristor (GTO) eller en annen innretning med tilsvarende bakoverrettet sperre-
 35 strøms- og utkoplings-karakteristikker, for eksempel. Den synkrone likeretting bør også hemmes dersom en begynnende quench detekteres, ved å slå av både likerettings- og friløps-halvlederinnretningen. Mekaniske midler for passiv beskyttelse av rotorviklingene

kan også tilveiebringes. Metalliske bufferskikt kan for eksempel innrettes over høytemperaturs superleder (HTS)-filmer, for å tilveiebringe et konvensjonelt elektrisk og termisk ledende materiale i nær kontakt med HTS-filmene. Det er av avgjørende betydning at responsene for disse passive beskyttelsesmidler, detekteringssystemet for begynnende quench og dumpingsresistorsvitsjeinnretningen er koordinert, slik at det kan tilveiebringes en effektiv beskyttelse mot begynnende quench.

Styreenheten vil fortrinnsvis styre betjeningen av halvledersvitsjeinnretningen, og valgfritt også likerettings- og friløps-halvlederinnretningene, basert på et strømmotkoplingssignal som vil angi feltstrømmen i rotorviklingene under en første tidsperiode når en spenningspuls tilføres rotorviklingene, og et spenningsmotkoplingssignal som vil angi spenningen over rotorviklingene under en andre tidsperiode når en spenningspuls ikke tilføres rotorviklingene.

Strømmotkoplingssignalet kan tilveiebringes fra en strømtransducer i serie med primærviklingen i pulstransformatoren og spenningsmotkoplingssignalet kan tilveiebringes fra en spenningstransducer i parallell med rotorviklingene.

Rotorviklingene er fortrinnsvis fremstilt i et HTS-materiale, slik som BSCCO eller YBCO, for eksempel. Andre mulige HTS-materialer omfatter legeringer av sjeldne jordmetaller og kopperoksid. Det vil raskt innses at de superledende feltviklinger også kan fremstilles i et lavtemperaturs superledende (LTS) materiale slik som Nb_3Sn og NbTi , eller et middels-temperaturs superledende (MTS) materiale slik som MgB_2 (magnesiumdiborid).

Figur 1 er et skjematisk diagram som i store trekk viser topologien for en magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge foreliggende oppfinnelse;

Figur 2 er et skjematisk diagram som i detalj viser topologien for en magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge Figur 1;

Figur 3 er et diagram som viser pulsbreddemodulerte bølgeformer for strømmen som går i diodelikeretteren, friløpsdioden og feltviklingen;

Figur 4 er et skjematisk diagram som viser styreenheten som anvendes for å styre betjeningen av magnetiseringsdynamosammenstillingen ifølge Figur 1;

Figur 5 er et diagram som viser en sammenlikning av feltviklingsspenningen og strømspor for to forskjellige feltutladningsresistorer og en innretning med en ikke-lineær motstand;

Figur 6A er et perspektivriiss av en første pulstransformator;

5

Figur 6B viser et tverrsnitt av pulstransformatoren ifølge Figur 6A;

Figur 7A er et perspektivriiss av en andre pulstransformator;

10 Figur 7B viser et tverrsnitt av pulstransformatoren ifølge Figur 7A;

Figur 8A er et perspektivriiss av en tredje pulstransformator;

Figur 8B viser et tverrsnitt av pulstransformatoren ifølge Figur 8A;

15

Figur 9A er et perspektivriiss av en fjerde pulstransformator;

Figur 9B viser et tverrsnitt av pulstransformatoren ifølge Figur 9A.

- 20 Den grunnleggende topologien for og betjeningen av en magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge foreliggende oppfinnelse vil nå bli beskrevet med referanse til Figur 1. Magnetiseringsdynamosammenstillingen omfatter en automatisk kraftforsyning 100 innrettet i romtemperatur på, eller nær statoren i en superledende synkronmaskin ("maskinen"). Magnetiseringsdynamosammenstillingen omfatter også en pulstransformator
- 25 101 og en første kraftsammenstilling 103 innrettet i romtemperatur.

Utgangen fra den automatiske kraftforsyning 100 er forbundet med primærviklingen i pulstransformatoren 101. Sekundærviklingen i pulstransformatoren 101 er forbundet med den første kraftsammenstilling 103. Den primære vikling forblir stasjonær, mens den

30 sekundære vikling og kraftsammenstillingen 103 er festet til rotoren 102 i maskinen og vil rotere sammen med denne. Feltstrøm tilføres fra den første kraftsammenstilling 103 til en andre kraftsammenstilling 104 innrettet inne i kryostaten 17, ved anvendelse av et par av overføringsledninger 14 som går gjennom en vegg i kryostaten.

- 35 Den andre kraftsammenstilling 104 styrer sirkulasjon av feltstrømmen (vanligvis kjent som en friløpsfunksjon) i rotorviklingene i maskinen, angitt i Figur 1 ved en feltvikling 16, når den første kraftsammenstilling 103 ikke forsyner strøm til den andre kraftsammenstilling

og feltviklingen. Rotorviklingene er fremstilt av et høytemperaturs superledende (HTS) materiale slik som BSCCO-2223- eller YBCO-tråder og -bånd. BSCCO-tråd er fremstilt i $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10}$ -filamenter i en metallmatrise og har en kritisk temperatur på 110 K, men vil typisk anvendes i motorer og generatorer ved en temperatur lavere enn 40 K.

- 5 YBCO-tråder eller -bånd kan betjenes ved høyere temperaturer i en motor eller generator. YBCO i form av tynn film kan anbringes direkte på en maskinrotor. Én mulig leverandør av BSCCO-2223- eller YBCO-tråd er American Superconductor (AMSC), HTS Wire Manufacturing Facility i Jackson Technology Park, 64 Jackson Road, Devens, Massachusetts 01434-4020, US.

10

Den automatiske kraftforsyning 100 vil tilføre en pulset spenning til primærviklingen i pulstransformatoren 101. Denne pulsede spenning overføres mellom de stasjonære deler av magnetiseringsdynamosammenstillingen (d.v.s. den automatiske kraftforsyning 100 og primærviklingen i pulstransformatoren 101) og de roterende deler av magnetiserings-

- 15 dynamosammenstillingen (d.v.s. sekundærviklingen i pulstransformatoren 101 og de første

og andre kraftsammenstillinger 103 og 104) over luftmellomrommet i pulstransformatoren 101. Den pulsede spenning overføres så mellom de deler av magnetiseringsdynamo-sammenstillingen som befinner seg i varmmiljøet (d.v.s. den automatiske kraftforsyning 100, pulstransformatoren 101 og den første kraftsammenstilling 103) og de deler av

- 20 magnetiseringsdynamosammenstillingen som befinner seg i kaldmiljøet inne i kryostaten 17 (d.v.s. den andre kraftsammenstilling 104) gjennom overføringsledningene 14. Feltstrømmen tilført feltviklingen 16 reguleres av stasjonære halvlederinnretninger i den automatiske kraftforsyning 100. Synkron likeretting av feltstrømmen utføres av innretninger i de første og andre kraftsammenstillinger 103 og 104. Den første kraftsammenstilling 103
- 25 vil normalt ikke regulere feltstrømmen, men initiere kommutering av den synkrone likeretting av feltstrømmen, dersom det detekteres en begynnende quench i feltviklingen 16.

Fremgangsmåten for detektering av begynnende quench i feltviklingen 16 vil bli beskrevet mer detaljert nedenfor.

- 30 Bærefrekvensen for pulsbreddemodulasjonen vil være tilstrekkelig høy til at størrelsen og energitapet for pulstransformatoren kan minimaliseres, og også til å kunne tillate en strukturell attenuasjon for minimalisering av genereringen av strukturbestemt støy og vibrasjon. Dersom pulstransformatoren forsynes ved for eksempel 60 Hz vil strukturelle vibrasjoner i pulstransformatoren bli forsterket ved en rekke av harmoniske frekvenser
- 35 med en grunnfrekvens på 60 Hz, for eksempel 60, 120, 180, 240 Hz, o.s.v.. Den resulterende rippel i feltstrømmen vil videre også bestå av samme harmoniske rekke, og disse vil generere krefter som forsterker strukturelle vibrasjoner i maskinen. Det er velkjent

at strukturelle responser på påførte krefter er svært frekvensavhengige og komplekse, men de karakteriseres generelt ved at de ved bestemte frekvenser omfatter resonansbånd der den strukturelle forflytning forsterkes. Ved frekvenser godt under resonansbåndene vil strukturelle forflytninger forbli konstante når frekvensen øker. Ved frekvenser over

5 resonansbåndene vil de strukturelle forflytninger være mer betydelig redusert når frekvensen økes. Når eksitasjonsfrekvensen øker vil funksjonen av masse, fleksibilitet og dempning bevirke en gunstig strukturell attenuasjon. Det vil derfor være gunstig å anvende en så høy eksitasjonsfrekvens som praktisk mulig. Det vil videre være gunstig at eksitasjonsfrekvensen er justerbar, slik at sammenfall mellom eksitasjonsfrekvensen og

10 den strukturelle resonansfrekvens kan unngås. En typisk verdi for bærefrekvensen for pulsbreddemodulasjonen vil være 8 kHz.

Konstruksjonen og betjeningen av magnetiseringsdynamosammenstillingen vil nå bli beskrevet mer detaljert, med referanse til Figur 2. En automatisk kraftforsyning i henhold

15 til en industristandard "spenningsomformer" (eller "Buck"-omformer) omfatter en likestrømsspenningsforsyning 1, en likestrømsforsyningskondensator 2, en kjerneommagnetiseringsresistor 3, en kjerneommagnetiseringskondensator 4, en koplingstransistor 5 og en kjerneommagnetiseringsdiode 6. Kjerneommagnetiseringskomponentene 3, 4 og 6 vil bare være en typisk implementering i henhold til industristandard, og deres faktiske konstruksjon vil i stor grad avhenge av utstyrsspesifikasjoner, særlig modulasjonsområdet for pulsbreddemodulasjonen utført av den automatiske kraftforsyning. Mer spesifikt må ommagnetiseringsspenningen også økes når modulasjonsdybden økes, slik at kjerneommagnetiserings-voltsekund-integralet vil være lik, og motsatt, kjernemagnetiserings-voltsekund-integralet. Kravet om ommagnetisering av kjernen etter hver puls av spenningsomforming

20 vil medføre en praktisk begrensning for modulasjonsdybden, og de som er kjent med konstruksjon av automatiske magnetkretser vil også kjenne til egnede kjerneommagnetiseringsteknikker.

Den automatiske kraftforsyning vil mate en pulsbreddemodulert, regulert spenning til puls-

30 transformatoren med en primærvikling 7, en primær magnetisk kjerne 8, en sekundær magnetisk kjerne 9 og en sekundærvikling 10. Primærviklingen 7 og den primære magnetiske kjerne 8 er stasjonære mens den sekundære magnetiske kjerne 9 og sekundærviklingen 10 vil rotere sammen med rotoren i maskinen. De sekundære og primære magnetiske kjerner 8 og 9 er adskilt med et lite luftmellomrom. Det vil raskt forstås at det ikke

35 foreligger et krav om å tilveiebringe et luftmellomrom mellom de magnetiske kjerner 8 og 9, og selv når polskoflatene for de magnetiske kjerner er i glidekontakt med hverandre vil polskoflateujevnheter forhindre en tett kontakt mellom dem, og et tynt grenseskiktsområde

med forholdsvis lav gjennomsnittlig magnetisk permeabilitet med luftmellomromsliknende egenskaper vil dannes. Siden varierende luftmellomromsegenskaper vil ha en ugunstig effekt for ytelsen til pulstransformatoren vil de alternative implementeringer beskrevet nedenfor bevare en kontrollert glidegrenseflate mellom de primære og sekundære magnetiske kjerner.

Den sekundære vikling 10 i pulstransformatoren vil også avgi en pulsbreddemodulert spenning, og denne vil være avhengig av spenningen i den primære vikling 7, i henhold til viklingsraten mellom primær- og sekundær-viklingene i pulstransformatoren. På tilsvarende måte vil enhver strøm i sekundærviklingen gjenspeiles i primærviklingen 7, i henhold til viklingsraten, og det vil bli tatt hensyn til det faktum at primærviklingen vil omfatte en magnetiserende strømkomponent med forutsigbare egenskaper. Den pulsbreddemodulerte spenning vil anta to tilstander, vanligvis referert til som "signal"-tilstanden og "pause"-tilstanden. "Signal"-tilstanden foreligger når svitsje-transistoren 5 i den automatiske kraftforsyning er i "på"-tilstand og kraftforsyningsspenningen i kraftforsyningskondensatoren 2 tilføres primærviklingen 7 i pulstransformatoren. "Pause"-tilstanden foreligger når svitsje-transistoren er i "av"-tilstand og kjerneommmagnetiseringskomponenter vil avgjøre spenningen som tilføres primærviklingen 7 i pulstransformatoren. Kjernen i pulstransformatoren sies ofte å være "magnetisert" under "signal"-tilstanden og "ommagnetisert" under "pause"-tilstanden. Det skal bemerkes at strømpulsene i primær- og sekundær-viklingene 7 og 10 i pulstransformatoren er ensrettede, mens spenningen vil veksle ved "signal"-tilstands- og "pause"-tilstands-overganger, slik som beskrevet ovenfor.

Ved oppstart av maskinen er det nødvendig å bringe feltstrømmen i feltviklingen 16 opp til det påkrevde nivå. Ved ideelle omstendigheter kan dette oppnås ved å anvende én enkelt spenningspuls som varer flere minutter, for å "rampe opp" feltstrømmen. I praksis vil imidlertid anvendelse av én enkelt spenningspuls over en så lang tidsperiode raskt føre til metning av pulstransformatoren, slik at en rekke av kortere pulser må tilføres over det samme, eller et noe lengre tidsrom, for å rampe opp feltstrømmen i flere trinn. Ytterligere praktiske begrensninger som kan foreligge i forhold til varigheten av "opp rampingen" av feltstrømmen er:

- (i) feltviklingsisolasjonsevnen;
- (ii) maksimumstrømsraten for den automatiske kraftforsyning;
- (iii) korttids-overstrømsraten for pulstransformatoren; og
- (iv) den termiske belastning for overføringsledningene 14.

- Begrensning (i) vil normalt ikke være et konstruksjonsproblem som prioriteres, siden feltviklingsisolasjonen bare med ujevne mellomrom må kunne motstå kraftspenningen assosiert med beskyttelsen i forbindelse med en begynnende quench. Forventet isolasjons-holdbarhet vil på ikke-lineær måte være relatert til den anvendte spenning og frekvens, men dette vil ikke være et problem forutsatt at tidsperioden for "opp rampingen" er mange ganger lenger en "feltutladnings"-tiden. Begrensningene (ii) og (iii) vil rett og slett være spørsmål om tilgjengelig plass og kostnader, i henhold til konvensjonelle konstruksjons-retningslinjer. Begrensning (iv) vil bli beskrevet mer detaljert nedenfor.
- 10 Feltstrømmen i feltviklingen 16 vil når ingen spenning påføres dissipere svært sakte. Så snart feltstrømmen har nådd et akseptabelt nivå vil det for å holde feltstrømmen på hoveds-saklig samme nivå derfor være tilstrekkelig å tilføre en rekke av korte spenningspulser med forholdsvis lange mellomrom (kanskje i størrelsesorden flere minutter eller timer). Denne prosessen refereres ofte til som å "pumpe" feltstrømmen. Magnetiseringsdynamosammen-
 15 stillingen må derfor kunne betjenes i to forskjellige modi, nemlig en "oppstarts"-modus der feltstrømmen rampes opp til et akseptabelt nivå, og en "pumpe"-modus når maskinen opererer normalt og feltstrømnivået opprettholdes ved å tilføre et antall av korte spennings-pulser. Magnetiseringsdynamosammenstillingen kan også betjenes i en tredje modus (en "bekyttelses"- eller "dumpings"-modus) når en begynnende quench detekteres.
- 20 De forskjellige betjeningsmodi for magnetiseringsdynamosammenstillingen vil nå bli be-skrevet med referanse til den pulsbreddemodulerte spenning tilført feltviklingen 16. Tids-perioden der en spenningspuls tilføres feltviklingen 16 tilsvarer "signal"-tilstanden, og tidsperioden mellom spenningspulsene tilsvarer "pause"-tilstanden. Den første kraft-sammenstilling 103 omfatter en likerettingshalvlederinnretning 11 og den andre kraft-sammenstilling 104 omfatter en friløpshalvlederinnretning 15. Likkerettingshalvleder-innretningen 11 og friløpshalvlederinnretningen 15 benyttes ved den synkrone likeretting av feltstrømmen, og de vil omfatte en generell spenningsreduksjons- (eller "Buck"-) om-formertopologi. Induktoren 12 og kondensatoren 13 anvendes for å eliminere størrelsen til
 25 høyfrekvenskomponenter i den pulsbreddemodulerte spenning tilført ledningene 14, ved å danne et lavpassfilter, og de vil derved også fungere som en demper (koplingshjelp-nett) for likerettingshalvlederinnretningen 11 og friløpshalvlederinnretningen 15. Dette vil i sin tur begrense størrelsen til høyfrekvenskomponenter i feltstrømmen som går gjennom feltviklingen 16. Ved en "signal"-tilstand der svitsje-transistoren 5 i den automatiske
 30 kraftforsyning er i en "på"-tilstand vil spenningspulsen dannet i sekundærviklingen 10 passere gjennom likerettingshalvlederinnretningen 11 og gjennom overføringsledningene 14 til feltviklingen 16. Ved en "pause"-tilstand, der svitsje-transistoren 5 i den automatiske

kraftforsyning vil være i en "av"-tilstand, vil feltstrømmen i feltviklingen 16 gå i en lukket bane gjennom friløpshalvlederinnretningen 15. Figur 3 viser hvordan feltstrømmen (angitt med "I felt (16)") under "signal"-tilstanden går gjennom likerettingshalvlederinnretningen 11, og så gjennom friløpshalvlederinnretningen 15 under "pause"-tilstanden. Den nedre bølgeform viser hvordan feltstrømmen i feltviklingene under "pause"-tilstanden, der ingen spenning tilføres, dissiperer svært sakte.

Bølgeformene vist i Figur 3 gjelder for magnetiseringsdynamosammenstillingen når denne betjenes i "pumpe"-modus. Når magnetiseringsdynamosammenstillingen betjenes i "oppstarts"-modus vil det raskt forstås at tidsperioden mellom spenningspulser (eller m.a.o. under "pause"-tilstanden) vil være redusert i betydelig grad, slik at feltstrømmen gjennom en rekke trinn kan rampes opp til det påkrevde nivå. Forholdet mellom tidsperioden der en spenningspuls tilføres og tidsperioden mellom spenningspulsene (d.v.s. forholdet mellom "signal"-tilstanden og "pause"-tilstanden) vil derfor variere, avhengig av om magnetiseringsdynamosammenstillingen betjenes i "oppstarts"-modus eller "pumpe"-modus.

Når magnetiseringsdynamosammenstillingen betjenes i "pumpe"-modus trenger overføringsledningene 14 bare å med relativt ujevne mellomrom tilføre korte spenningspulser til feltviklingen 16, og de trenger således ikke å håndtere den fulle feltstrøm. Dette fører til en reduksjon av den kontinuerlige effektivstrømmeoverføring gjennom overføringsledningene 14. Begrensningen (iv) nevnt ovenfor vil ikke være alvorlig, siden overføringsledningene 14 er dimensjonert for å begrense det kontinuerlige effektivvarmetap slik at dette forhold ikke vil være dominerende ved kryoanleggs-bestemmelse og -størrelse. Den termiske tidskonstant for størstedelen av feltviklingen 16 vil være mange ganger så stor som "oppstartings"-intervallet, og overstrøm i overføringsledningene 14 vil ikke ha en umiddelbar krittisk virkning på temperaturen i feltviklingen. Det må imidlertid sørges for å unngå overdreven varmetilførsel til forbindelsen mellom overføringsledningene 14 og endene av feltviklingen 16. Risikoen for en lokal opphetning kan unngås ved en passende konstruksjon av kjølekretsen av det kryogeniske fluid anvendt for å kjøle ned det innvendige av kryostaten. I ethvert tilfelle må overføringsledningene 14 være i stand til å kunne stå imot feltutladningsstrømmen assosiert med beskyttelsen mot begynnende quench, og det er signifikant at kravet om quench-beskyttelse kan oppstå som et resultat av svikt i kjølekretsen av kryogenisk fluid.

Styringen av magnetiseringsdynamosammenstillingen vil nå bli beskrevet mer detaljert med referanse til Figur 4. Pulstransformatoren omfatter en tertiærvikling 34 og utgangs-

spenningen fra tertiærviklingen vil også være en pulsbreddemodulert spenning relatert til spenningen i primærviklingen 7. En styreenhet 35 benytter spenningen i tertiærviklingen som energiforsyning og som synkroniseringsreferanse.

- 5 Som beskrevet ovenfor anvendes likerettingshalvlederinnretningen 11 og friløpshalvlederinnretningen 15 hovedsakelig som synkrone likerettere, og deres styreimpulser synkroniseres med utgangsspenningen fra tertiærviklingen 34. Styreklemmene i likerettings- og friløps-halvlederinnretningene 11 og 15 vil også tillate styreenheten 35 å initiere tvunget kommutering, når dette er nødvendig.

10

Styreenheten 35 vil synkront sample et strømmotkoplingssignal 37 innhentet fra en strømtransducer 36 under "signal"-tilstanden. Under "signal"-tilstanden vil strømmen i transduceren 36 være ekvivalent med feltstrømmen i feltviklingen 16, og styreenheten 35 vil derfor være i stand til å avføle feltstrømmen under hele "signal"-tilstanden. Styre-

- 15 enheten 35 vil også synkront sample et spenningsmotkoplingssignal 39 innhentet fra en spenningstransducer 38 under "signal"-tilstanden og "pause"-tilstanden. Spenningsmotkoplingssignalet 39 overføres mellom det kalde miljøet og det varme miljøet via en ledning 40. Ved å innrette spenningstransduceren 38 ved siden av feltviklingen 16 kan feil som kan oppstå som et resultat av strøspenningsfall utenfor feltviklingen 16 unngås, men det skal
20 bemerkes at det må sørges for å unngå feil som kan oppstå som et resultat av termoelementeffekter i spenningsavfølingsforbindelsler. Alternativt vil det også være mulig å innrette spenningstransduceren 38 utenfor kryostaten, så lenge lekkstrømmen inn i likerettingshalvlederinnretningen 11 og halvledersvitsjeinnretningen 19 er tilstrekkelig lav til at den ikke vil medføre store spenningsfall i overføringsledningene 14, og forutsatt at styre-
25 enheten 35 bare vil sample spenningsmotkoplingssignalet 39 under "pause"-tilstanden. Ved å innrette spenningstransduceren 38 utenfor kryostaten fjernes behovet for ledningen 40, med en tilsvarende forenklet magnetiseringsdynamosammenstillingskonstruksjon.

- Styreenheten 35 anvender strømmotkoplingssignalet 37 og spenningsmotkoplingssignalet
30 39 sammen med en egnet beregningsalgoritme for å estimere motstanden og induktansen i feltviklingen 16. Disse estimatene oppdateres ved pulsbreddemodulasjonsbærefrekvensen i den automatiske kraftforsyning. Styreenheten 35 vil sammenlikne estimatene med forutbestemte verdier for motstanden og induktansen, for å kunne detektere begynnende quench i HTS-materialet i feltviklingen 16. Dersom begynnende quench detekteres vil den
35 synkrone likeretting i likerettingshalvlederinnretningen 11 og friløpshalvlederinnretningen 15 bli hemmet ved at begge innretningene gjennom styreimpulser slås av.

Når den synkrone likeretting hemmes vil den automatiske kraftforsyning forsyne magnetiseringsstrøm bare til primærviklingen 7 i pulstransformatoren. Det vil ikke være noe krav at betjeningen av den automatiske kraftforsyning stoppes etter at den synkrone likeretting hemmes, siden likerettingssuperlederinnretningen 11 vil kunne motstå tomgangskrets-
 5 utgangsspenningen fra den automatiske kraftforsyning koplet gjennom pulstransformatoren. Avstengning av kraftforsyningen kan imidlertid enkelt implementeres i den automatiske kraftforsyning, dersom det anses å være fordelaktig å gjøre dette. Det vil videre ikke være noe krav om rotortelemetri for å informere operatøren eller kople ut den automatiske kraftforsyning etter at det foreligger begynnende quench, siden den automatiske
 10 kraftforsyning vil være i stand til å avgjøre om den synkrone likeretting er blitt hemmet ved å avføle dets belastningsimpedanse. Det er vanlig at automatisk kraftforsyningsutstyr kan avføle dets utgangsstrøm og forsyningsspenning, og anvende disse til å avgjøre belastningsimpedansen, utifra kunnskap om modulasjonsdybden og et estimat for magnetiseringsstrømmen i primærviklingen 7 i pulstransformatoren. Dette tillater den automatiske
 15 kraftforsyning å detektere ekstreme belastningsimpedanser, slik som for eksempel ved en tomgangskrets.

Når likerettingshalvlederinnretningen 11 og friløpshalvlederinnretningen 15 slås av samtidig kan styreenheten 35 sende en styreimpuls 42 til en koplingsinnretningen 19, mens
 20 spenningen over feltviklingen 16 vil stige hurtig, med en polaritet som vil gjøre koplingsinnretningen 19 ledende. Ledingen ved koplingsinnretningen 19 vil medføre at feltutladningsresistoren 18 (noen ganger kalt en dumpingsresistor) koples i serie med feltviklingen 16. Spenningsfallet over resistoren 18 vil bevirke at feltstrømmen i feltviklingen 16 vil falle omtrent eksponensielt med tiden. Motstanden bestemmes i samsvar med et
 25 kompromiss mellom isolasjonskonstruksjonen og feildissipasjonsbegrensningene til feltviklingen 16. En liten verdi for motstanden vil medføre at maksimumsviklingsspenningen begrenses mens feltstrømutladningstidskonstanten vil øke. På den annen side vil en stor verdi for motstanden medføre at maksimumsviklingsspenningen øker mens feltstrømutladningstidskonstanten vil avta. Maksimumsviklingsspenningen vil påvirke isolasjons-
 30 konstruksjonen og feltstrømutladningstiden vil påvirke feildissipasjonen i HTS-materialet. Forholdet mellom disse to påvirkninger kan på fordelaktig måte endres ved å bruke en ikke-lineær motstand i stedet for den konvensjonelle feltutladningsresistor 18. En gruppe av parallellkoblede metalloksidvaristorer (MOV), eller andre ikke-lineære overspennings-
 35 avlederinnretninger med tilsvarende positiv temperaturkoeffisient for skredgjennombruddsspenning og positiv indre elektrodemotstand, kan benyttes for å tilveiebringe en i det vesentlige konstant viklingsspenning under feltstrømutladningsperioden. Dette vil bevirke

en reduksjon av forholdet mellom feildissipasjonen i HTS-materialet og maksimumsisolasjonsspenningen.

Med referanse til Figur 5, når en lineær resistorinnretning (slik som feltutladningsresistoren 18 nevnt ovenfor) anvendes for feltutladningsformål vil feltviklingsspenningen og strømmen begge avta eksponensielt med tiden. Dersom det anvendes en ikke-lineær resistorinnretning vil imidlertid feltviklingsspenningen avta rektangulært og strømmen vil avta i samsvar med en rampefunksjon. Figur 5 viser tre feltviklingsspennings- og strøm-spor for tre forskjellige resistorinnretninger. Det første spor (angitt som "eksponensielt fall med kort tidskonstant") viser feltviklingsspenningen når den avtar, fra en initiell spenning V1 til null, i løpet av en tid T2, slik som ville være tilfelle dersom det ble anvendt en høyereverdis feltutladningsresistor. Det andre spor (angitt som "eksponensielt fall med lang tidskonstant") viser feltviklingsspenningen når den avtar, fra en initiell spenning V2 til null, i løpet av en tid T1, slik som ville være tilfelle dersom det ble anvendt en lavereverdis feltutladningsresistor. Det tredje spor (vist med stiplede linjer og angitt som "rektangulært fall") viser feltviklingsspenningen når den avtar, fra en initiell spenning V3 til null, i løpet av en tid T3, slik som ville være tilfelle dersom det ble anvendt en ikke-lineær innretning. Legg merke til at påkjenningen for isolasjonen er blitt redusert for det andre spor i forhold til det første spor, fordi maksimumsspenningen er blitt redusert fra V1 til V2. Varigheten for strømfallet, vist under spenningssporene, har imidlertid økt fra T2 til T1, og således vil feltviklingen være utsatt for større termiske spenninger og følgelig risiko for begynnende quench. Legg også merke til at i det tredje spor er maksimumsspenningen V3 lavere enn både V1 og V2, og varigheten for strømfallet T3 er også lavere enn både T1 og T2. Bruk av en ikke-lineær resistorinnretning i stedet for feltutladningsresistoren 18 vil derfor gi den fordel at både isolasjonsspenningene og de termiske spenninger i feltviklingen reduseres.

Friløpshalvlederinnretningen 15 kan være en sperreskikts-felteffekttransistor (JFET) eller en vertikalsperreskikts-felteffekttransistor (VJFET), som kan implementeres som en sperremodusinnretning eller en forsterkningsmodusinnretning, med synkronisert styring gjennom styreenheten 35. Mange kryogeniske koplingsimplementeringer vil faktisk være mulig, og det vil være velkjent at de fleste ladningsbærerhalvlederinnretninger har en positiv termisk koeffisient av "på"-tilstands spenningsfall ved temperaturer over ladningsbærerfrysepunktet, hvilket for silikoninnretninger vil ligge ved om lag 50 K. Denne positive termiske koeffisient bevirker selvstabilisering og uniformitet for "på"-tilstands strømtettheten over hele die-området. Den samme effekt vil videre medføre at parallell-koblede grupper av die vil dele strømmen likt, forutsatt at kjølearrangementer, sammen-

koplingsgeometrien og styrearrangementer bestemmes nøye, slik at det oppnås en termisk, mekanisk og elektrisk symmetri. Slike halvlederinnretninger vil også ha en svært høy koplingshastighet. Bruk av en JFET, VJFET eller metalloksidhalvleder-felteffektstransistor (MOSFET) under kryogeniske forhold vil derfor legge til rette for produksjon av store die-
 5 områdebrytere med svært lav dissipasjon, høy strømstyrke og høy koplingshastighet.

Likerettingshalvlederinnretningen 11 og svitsjeinnretningen 19 kan være en tyristor, en utkoplingstyristor (GTO) eller en annen egnet halvlederinnretning med tilsvarende bakoverrettet sperrestrøms- og utkoplings-karakteristikker. Bortsett fra når den synkrone likeretting
 10 av likerettingshalvlederinnretningen 11 og friløpshalvlederinnretningen 15 må hemmes, ved å gjennom styreimpulser slå av begge innretningene, vil faseforholdet mellom styreimpulsen 43 sendt til friløpshalvlederinnretningen 15 av styreenheten 35 være synkronisert med funksjonen til sekundærviklingen 10 i pulstransformatoren og likerettingshalvlederinnretningen 11, på grunn av den presise fasing av tertiærviklingen 34 i
 15 pulstransformatoren i forhold til sekundærviklingen. På tilsvarende måte vil faseforholdet mellom styreimpulsen 41 sendt til likerettingshalvlederinnretningen 11 av styreenheten 35 være synkronisert med funksjonen til sekundærviklingen 10 i pulstransformatoren og friløpshalvlederinnretningen 15, på grunn av den presise fasing av tertiærviklingen 34 i pulstransformatoren i forhold til sekundærviklingen 10.

20

Når friløpshalvlederinnretningen 15 er en sperremodusinnretning vil den gå til sin naturlige "på"-tilstand, bortsett ifra når styreimpulsen 43 svitsjer den til "av"-tilstanden. Styreimpulsene 41 og 43 sendes samtidig, og på denne måte unngås samtidig ledning av halvlederinnretningene 11 og 15. Når friløpshalvlederinnretningen 15 er en forsterknings-
 25 modusinnretning vil den gå til sin naturlige "av"-tilstand, bortsett ifra når styreimpulsen 43 svitsjer den til "på"-tilstanden. Styreimpulsene 41 og 43 sendes i motfase, og på denne måte unngås samtidig ledning av halvlederinnretningene 11 og 15.

Styreimpulsen 43 overføres mellom det kalde miljø og det varme miljø gjennom en
 30 ledning 44.

Den aktive beskyttelse mot begynnende quench beskrevet ovenfor vil være særlig fordelaktig fordi deteksjonen kan utføres svært raskt ved pulsbreddemodulasjonsbærefrekvensen. Det vil raskt forstås at HTS-materialet i rotorviklingene også kan utstyres med en passiv
 35 beskyttelse, kanskje i form av et bufferskikt av for eksempel kopper.

Pulstransformatoren kan implementeres på mange forskjellige måter, og noen av alternativene vil nå bli beskrevet. I alle tilfeller vil det primære system (d.v.s. primær-
viklingen og dens tilordnede magnetkjerne) være stasjonært, og det vil være innrettet i det
varme miljø, mens det sekundære system (d.v.s. sekundærviklingen og dens tilordnede
5 magnetkjerne) vil rotere sammen med rotoren i maskinen, og det vil være innrettet i det
varme miljø.

Mange forskjellige pulstransformatorer vil nå bli beskrevet med referanse til Figurene 6 til
9. Alle magnetkretsene nedenfor dannes av et ferritt-materiale.

10

Som vist i Figur 6A og 6B omfatter en første pulstransformator en primærkjerne 18 som er
et U-formet rotasjonslegeme, for tilveiebringelse av et hulrom 18b i hvilket en solenoid-
primærvikling 19 er innsatt. Primærforbindelsene 19a er tilgjengelige via en forsenkning
eller åpning 18a i primærkjernen 18. Den første pulstransformator omfatter også en
15 sekundærkjerne 21 som er et U-formet rotasjonslegeme for tilveiebringelse av et hulrom
21b i hvilket en solenoidsekundærvikling 20 er innsatt. Sekundærforbindelsene 20a er
tilgjengelige via en forsenkning eller åpning 21a i sekundærkjernen 18.

Som vist i Figur 7A og 7B omfatter en andre pulstransformator en industristandard, U-
20 formet primærkjerne 22. En solenoidprimærvikling 22a er dannet rundt kjernen 22. To
konsentrisk innrettede poldelringer 23 og 24 er dannet av samme ferritt-materiale og er
forbundet med kjernen 22 for distribusjon av fluksen fra poloverflatene av kjernen. Én
enkelt kjerne 22 er vist, men i praksis kan flere kjerner forbindes med poldelringene 23 og
24, for å redusere omkretskomponenten av fluksen i poldelringene. Primærforbindelsene
25 22b trekkes ut av viklingen 22a. Den andre pulstransformator omfatter også en industri-
standard, U-formet sekundærkjerne 27. En solenoidsekundærvikling 27a er dannet rundt
kjernen 27. To konsentrisk innrettede, sekundære poldelringer 25 og 26 er dannet av
samme ferritt-materiale og er forbundet med kjernen 27 for distribusjon av fluksen fra
poloverflatene av kjernen. Én enkelt kjerne 27 er vist, men i praksis kan flere kjerner
30 forbindes med poldelringene 25 og 26, for å redusere omkretskomponenten av fluksen i
poldelringene. Primærforbindelsene 27b trekkes ut av viklingen 27a. Når det brukes flere
primær- og sekundær-kjerner 22 og 27 vil de være adskilt fra hverandre med jevne mellom-
rom, for å redusere omkretskomponenten av fluksen i de primære og sekundære
poldelringer. De aksielle og radielle posisjoner for de primære og sekundære komponenter
35 av den andre pulstransformator reguleres for å opprettholde akseptable luftmellomrom,
friksjons- og slitasje-karakteristikker. Den andre pulstransformator vist i Figur 7A og 7B er
helt symmetrisk, men det vil også være mulig å anvende et ulikt antall primær- og

sekundær-kjerner, for å redusere effekten av syklisk variasjon i fluksleddet når kjernene roterer.

Den tredje pulstransformator vist i Figur 8A og 8B er en asymmetrisk variant av den første pulstransformator, der primærkjernen 18 er erstattet av en ringkjerne 29 med et rektangulært, radielt tverrsnitt. I dette tilfelle holdes solenoidprimærviklingen 28 i hulrommet 21b i den sekundære kjerne 21 tilliggende sekundærviklingen 20. De aksielle posisjoner til primær- og sekundær-viklingene 28 og 20 reguleres for å unngå friksjon og slitasje, siden de vil befinne seg nær hverandre.

10

Figur 9A og 9B viser en fjerde pulstransformator med en ytre kjerne som er et U-formet rotasjonslegeme i to tilpassede deler 33a og 33b. Kjernen tilveiebringer et hulrom 33c i hvilket konsentrisk innrettede primær- og sekundær-solenoidviklinger 31 og 32 er innsatt. Den magnetiske krets kompletteres ved en indre ringkjerne 30. De primære forbindelser 32a er tilgjengelige via en forsenkning eller åpning 33d i kjernedelen 33a. De sekundære forbindelser 31a er tilgjengelige via en forsenkning eller åpning 30a i den indre ringkjerne 30. De aksielle og radielle posisjoner for de primære og sekundære kjerner reguleres for å opprettholde akseptable luftmellomrom, friksjons- og slitasje-karakteristikker. De aksielle og radielle posisjoner til primær- og sekundær-viklingene 31 og 32 reguleres også, for å unngå friksjon og slitasje, siden de vil befinne seg nær hverandre og nær veggene i hulrommet 33c.

20

P a t e n t k r a v

1. Magnetiseringsdynamosammenstilling for forsyning av en feltstrøm til rotorviklingene (16) i en superledende synkronmaskin, hvor magnetiserings-
5 dynamosammenstillingen omfatter:
en pulstransformator (101) omfattende en primærvikling (7) og en sekundærvikling (10),
en automatisk kraftforsyning (100) for forsyning av en pulset spenning til primærviklingen (7) i pulstransformatoren (101), og
10 et par av overføringsledninger (14) for forsyning av en pulset spenning fra sekundærviklingen (10) i pulstransformatoren (101) til rotorviklingene (16),
k a r a k t e r i s e r t v e d en styreenhet (35) for styring av synkron likeretting av den pulsede spenning tilført rotorviklingene (16), hvor pulstransformatoren (101) videre omfatter en tertiærvikling (34), og styreenheten (35) styrer den synkrone likeretting av den
15 pulsede spenning basert på et signal fra den tertiære vikling (34).
2. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge krav 1, der primærviklingen (7) i pulstransformatoren (101) er stasjonær, og sekundærviklingen (10) vil rotere under bruk.
- 20 3. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge krav 1 eller krav 2, videre omfattende en likerettingshalvlederinnretning (11) i serie med rotorviklingen (16) og en friløpshalvlederinnretning (15) i parallell med rotorviklingen.
4. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge krav 3, der likerettingshalvlederinnretningen (11) og friløpshalvlederinnretningen (15) styres for synkron likeretting av den pulsede spenning tilført rotorviklingene (16).
25
5. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge krav 3 eller krav 4, der likerettingshalvlederinnretningen (11) er en tyristor eller en utkoplingstyristor (GTO).
30
6. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge et hvilket som helst av kravene 3 til 5, der friløpshalvlederinnretningen (15) er en sperreskikts-felteffekttransistor (JFET) eller en vertikalsperreskikts-felteffekttransistor (VJFET).
- 35 7. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, der synkron likeretting av den pulsede spenning medfører at strøm sendes fra primærviklingen (7) i pulstransformatoren (101) til sekundærviklingen (10) i pulstransformatoren

(101) bare i én enkelt kvadrant av B-H-loopen i den magnetiske krets i pulstransformatoren (101).

8. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, videre omfattende svitsjbare midler for beskyttelse av rotorviklingene (16) mot begynnende quench.

9. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge krav 8, der de svitsjbare midler omfatter en resistor (18) i serie med en halvledersvitsjeinnretning (19).

10

10. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge krav 8, der de svitsjbare midler omfatter en ikke-lineær ohmsk komponent i serie med en halvledersvitsjeinnretning.

11. Magnetiseringsdynamoinnretning ifølge krav 10, der den ikke-lineære, ohmske komponent har en hovedsakelig "kvadratisk" spenningsstrømkarakteristikk.

15

12. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge krav 10 eller krav 11, der den ikke-lineære, ohmske komponent er en metalloksidvaristor (MOV).

13. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge et hvilket som helst av kravene 10 til 12, der halvledersvitsjeinnretningen (19) er en sperreskikts-felteffekttransistor (JFET) eller en vertikalsperreskikts-felteffekttransistor (VJFET).

20

14. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge et hvilket som helst av kravene 9 til 13, der styreenheten (35) styrer betjeningen av halvledersvitsjeinnretningen (19) basert på et strømmotkoplingssignal (37) som vil angi feltstrømmen i rotorviklingene under en første tidsperiode når en spenningspuls tilføres rotorviklingene (16), og et spenningsmotkoplings-signal som vil angi feltstrømmen i rotorviklingene (16) under den første tidsperiode, og under en andre tidsperiode når en spenningspuls ikke tilføres rotorviklingene (16).

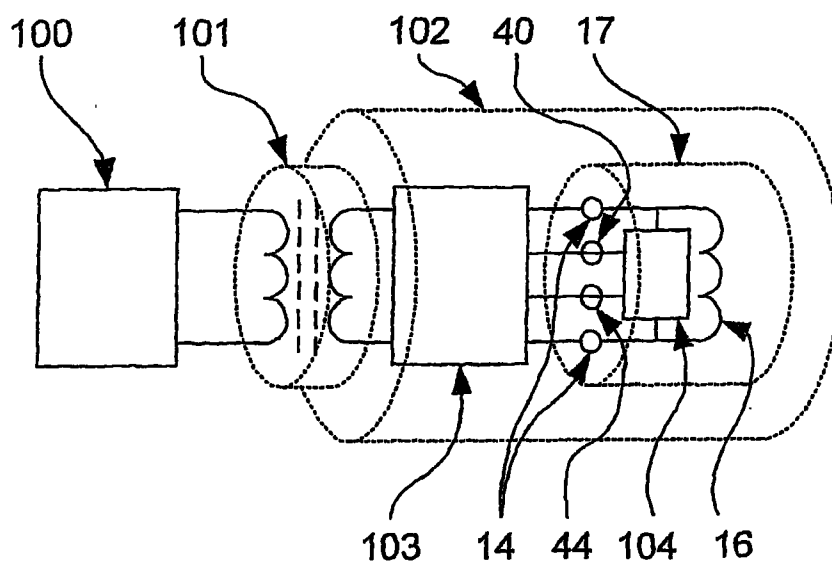
30

15. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge krav 14, der strømmotkoplings-signalet (37) tilveiebringes fra en strømtransducer (36) i serie med rotorviklingene (16), og spenningsmotkoplingssignalet tilveiebriges fra en spenningstransducer (38) i parallell med rotorviklingene (16).

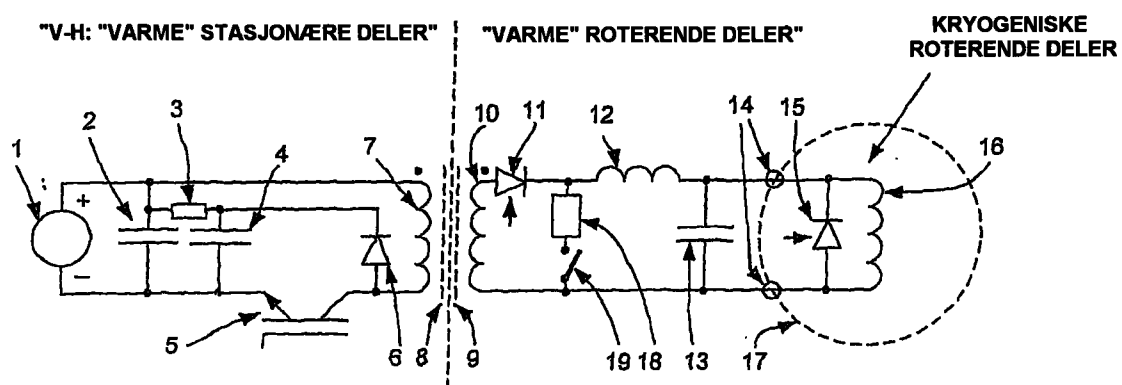
35

16. Magnetiseringsdynamosammenstilling ifølge et hvilket som helst av de foregående krav, videre omfattende et filter eller koplingshjelp-nett omfattende en induktor (12) i serie med rotorviklingene (16) og en kondensator (13) i parallell med rotorviklingene (16).
- 5 17. Superledende synkronmaskin med rotorviklinger (16) og en magnetiseringsdynamo-sammenstilling ifølge et hvilket som helst av kravene 3 til 16 for forsyning av en feltstrøm til rotorviklingene (16).
- 10 18. Superledende synkronmaskin ifølge krav 17, der rotorviklingene (16) er innrettet i et kryogenisk område.
- 15 19. Superledende synkronmaskin ifølge krav 18, der primærviklingen (7) og sekundærviklingen (10) i pulstransformatoren (101) er innrettet eller plassert utenfor det kryogeniske område.
- 20 20. Superledende synkronmaskin ifølge krav 18 eller krav 19, der den automatiske kraftforsyning (100) er innrettet eller plassert utenfor det kryogeniske område.
- 25 21. Superledende synkronmaskin ifølge et hvilket som helst av kravene 18 til 20, der likerettshalvlederinnretningen (11) er innrettet eller plassert utenfor det kryogeniske område.
22. Superledende synkronmaskin ifølge et hvilket som helst av kravene 18 til 21, der fri-løpsshalvlederinnretningen (15) er innrettet eller plassert innenfor det kryogeniske område.
23. Superledende synkronmaskin ifølge et hvilket som helst av kravene 17 til 22, der rotorviklingene (16) er fremstilt fra et høytemperaturs superledende (HTS) materiale.
- 30 24. Superledende synkronmaskin ifølge et hvilket som helst av kravene 17-23, der rotorviklingene (16) omfatter midler for beskyttelse av rotorviklingene (16) mot skade i tilfelle av en begynnende quench.

1/11



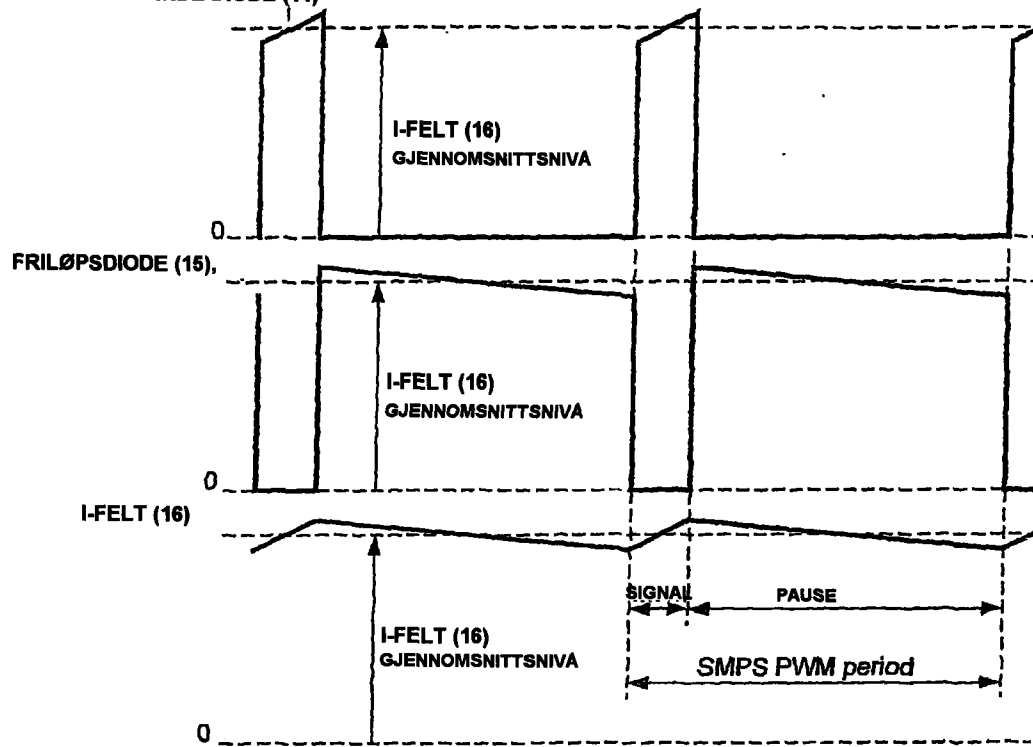
Figur 1



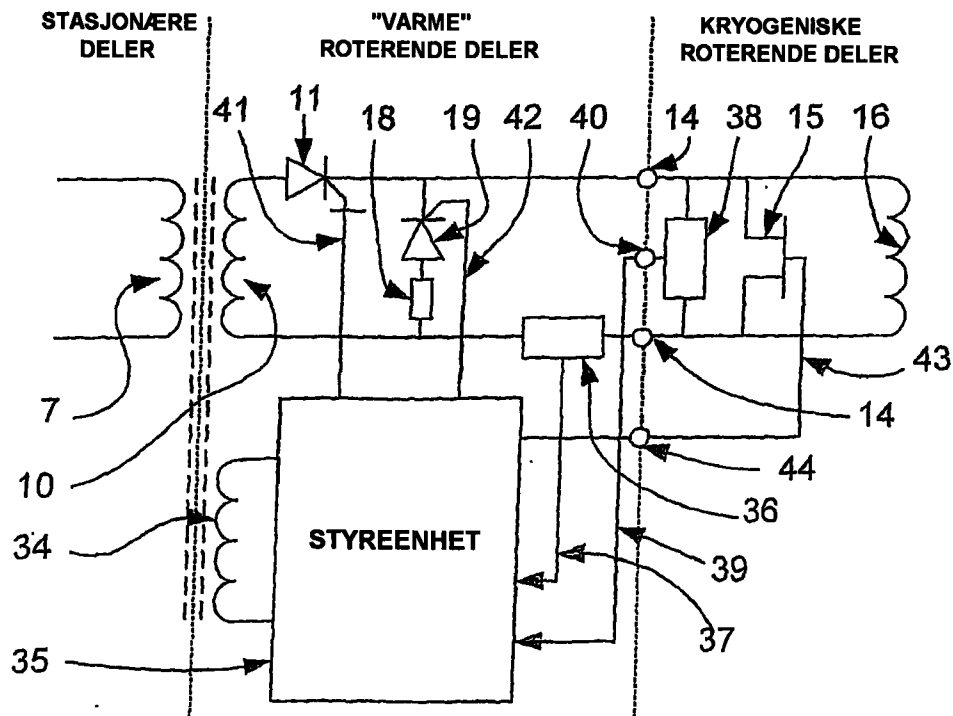
Figur 2

2/11

O-N: I-BLOKKERENDE DIODE (11)

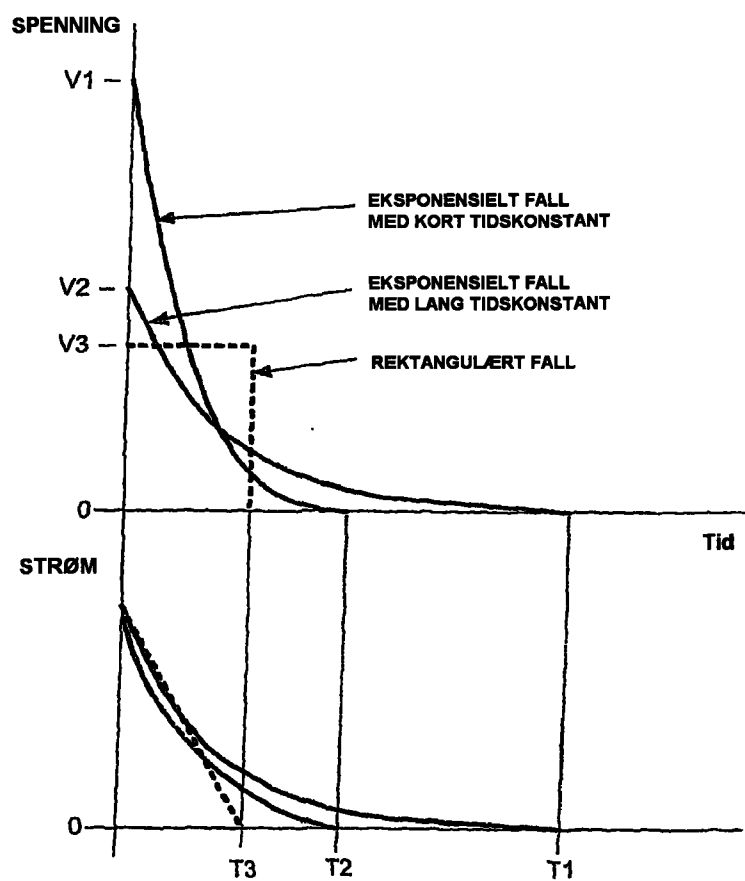


FIGUR 3



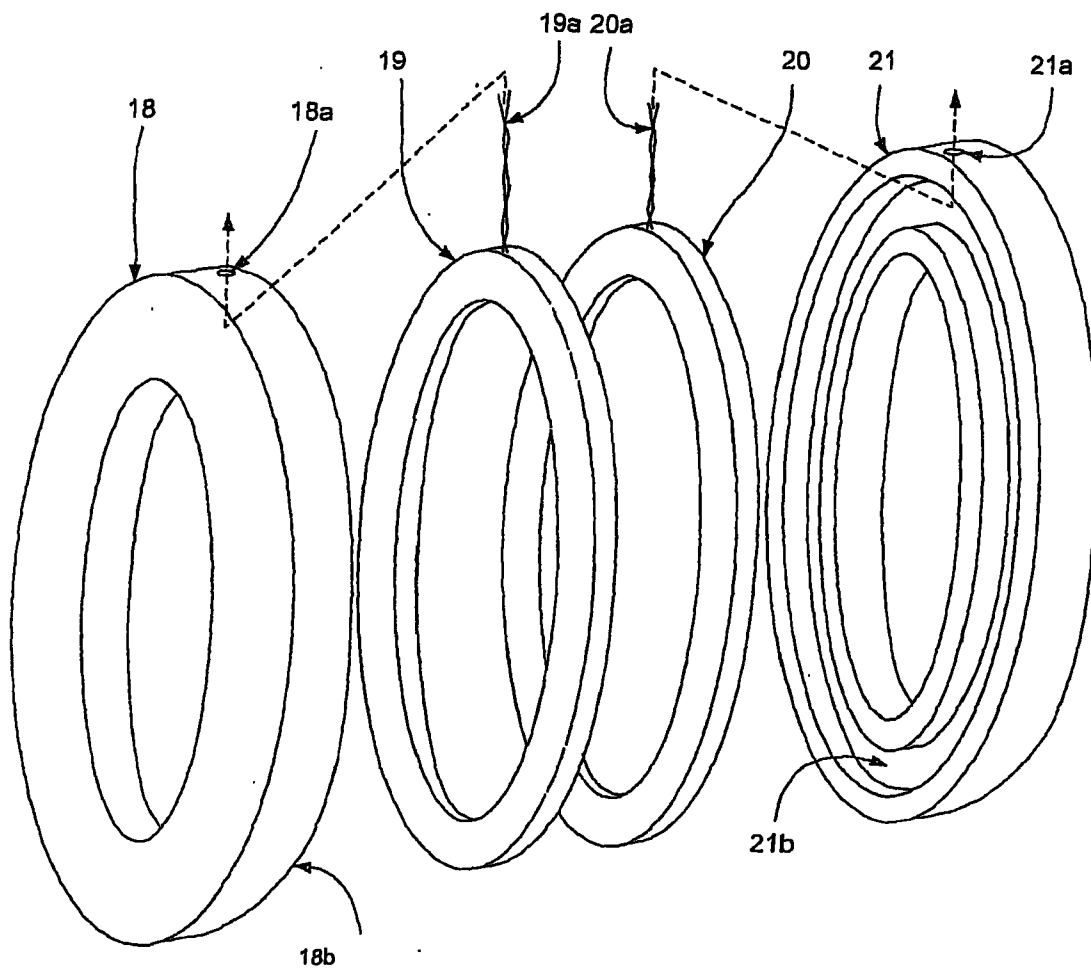
FIGUR 4

3/11



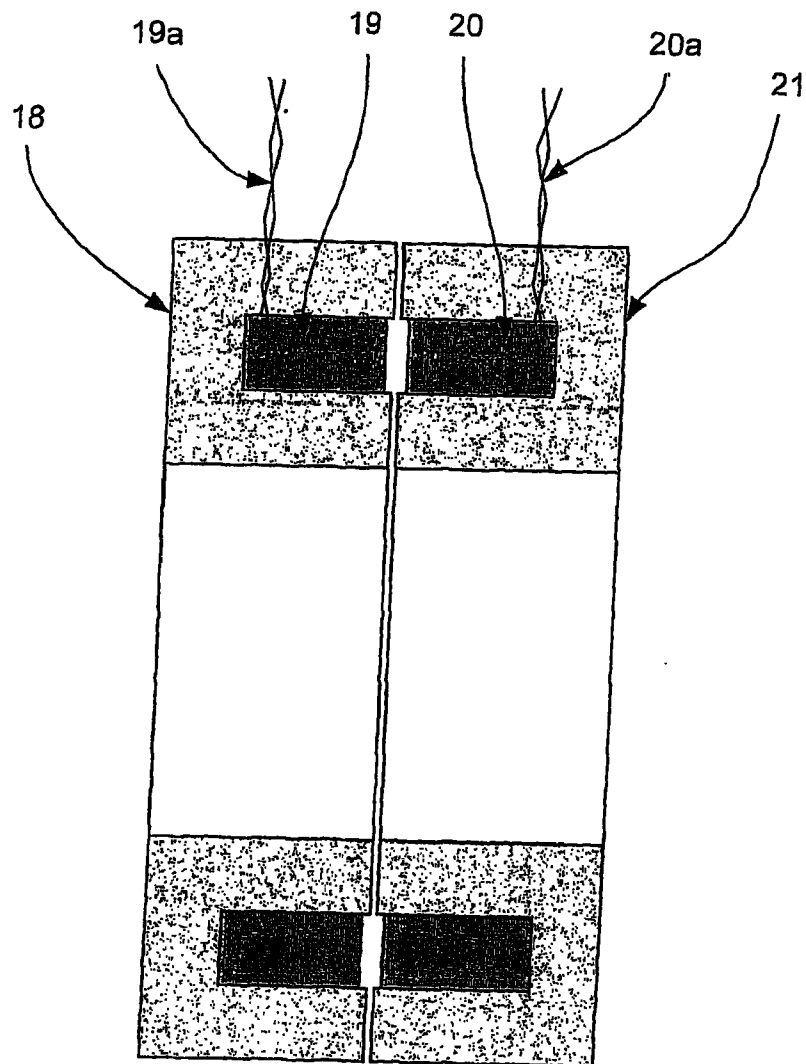
Figur 5

4/11

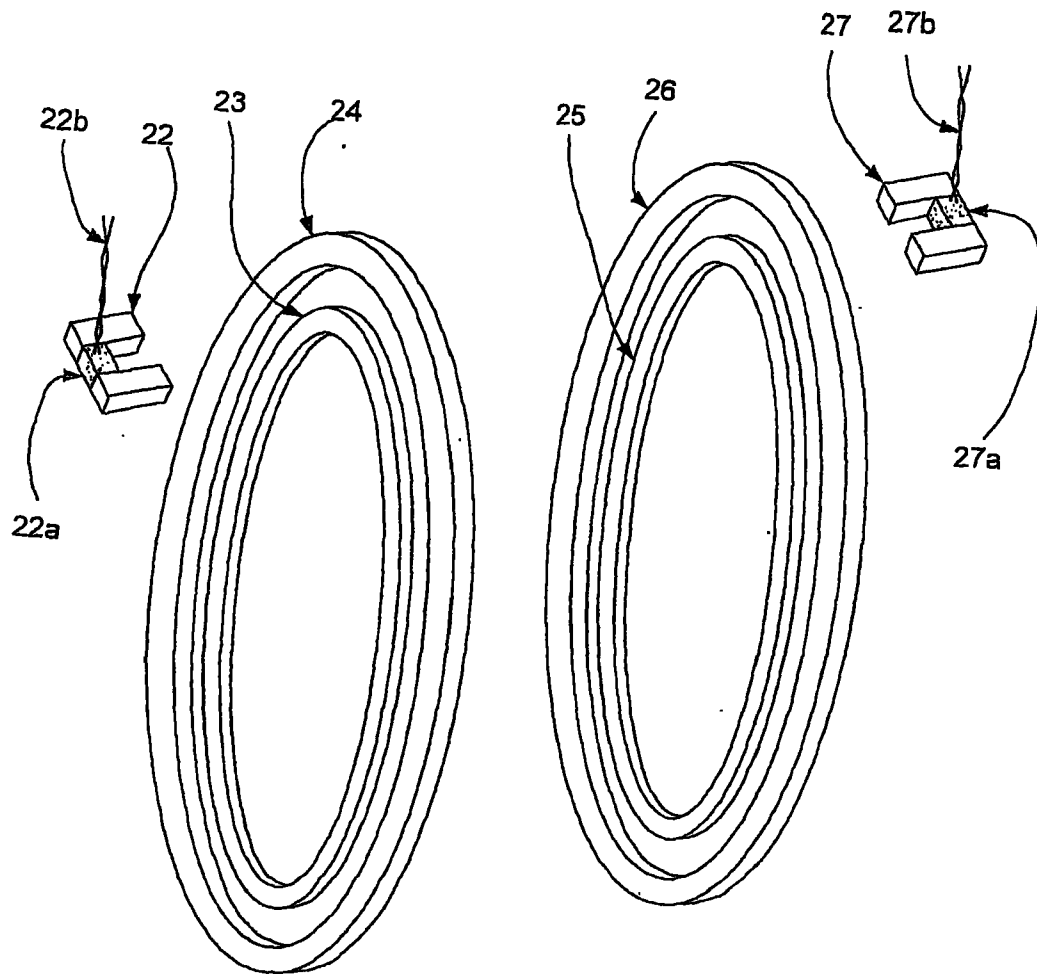


Figur 6a

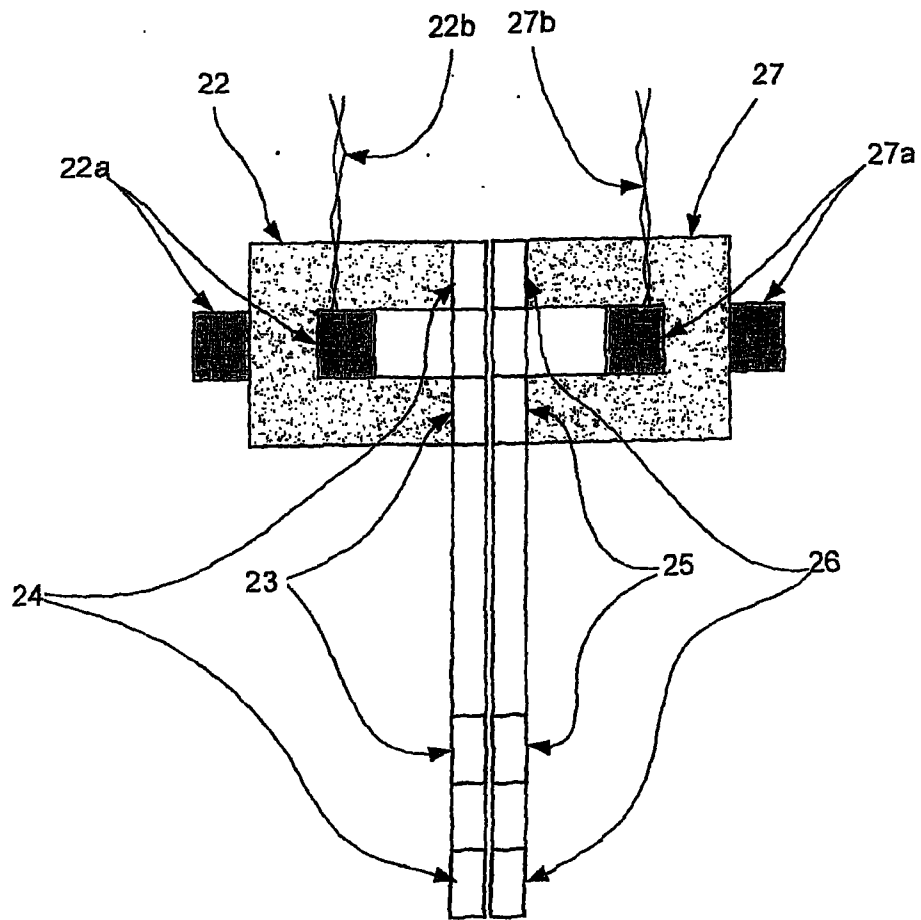
5/11

**Figur 6b**

6/11

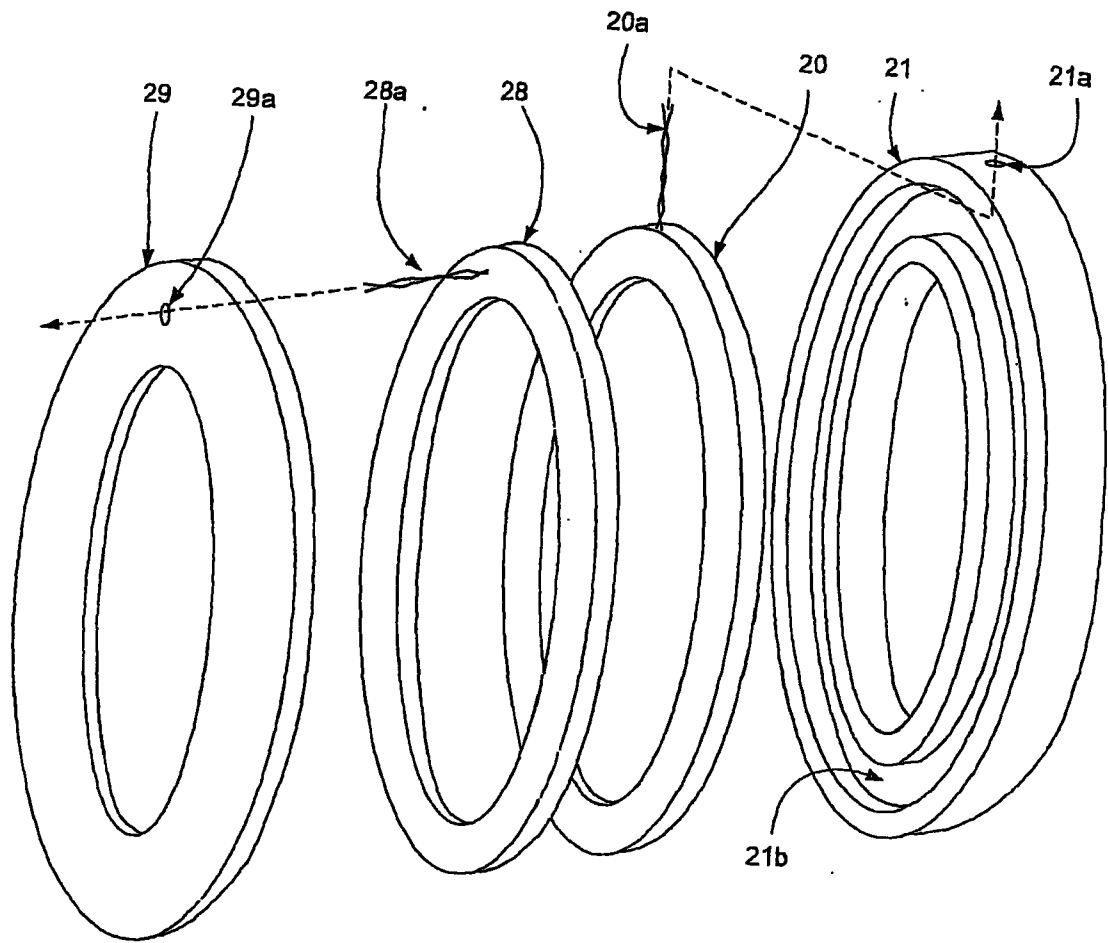
**Figur 7a**

7/11

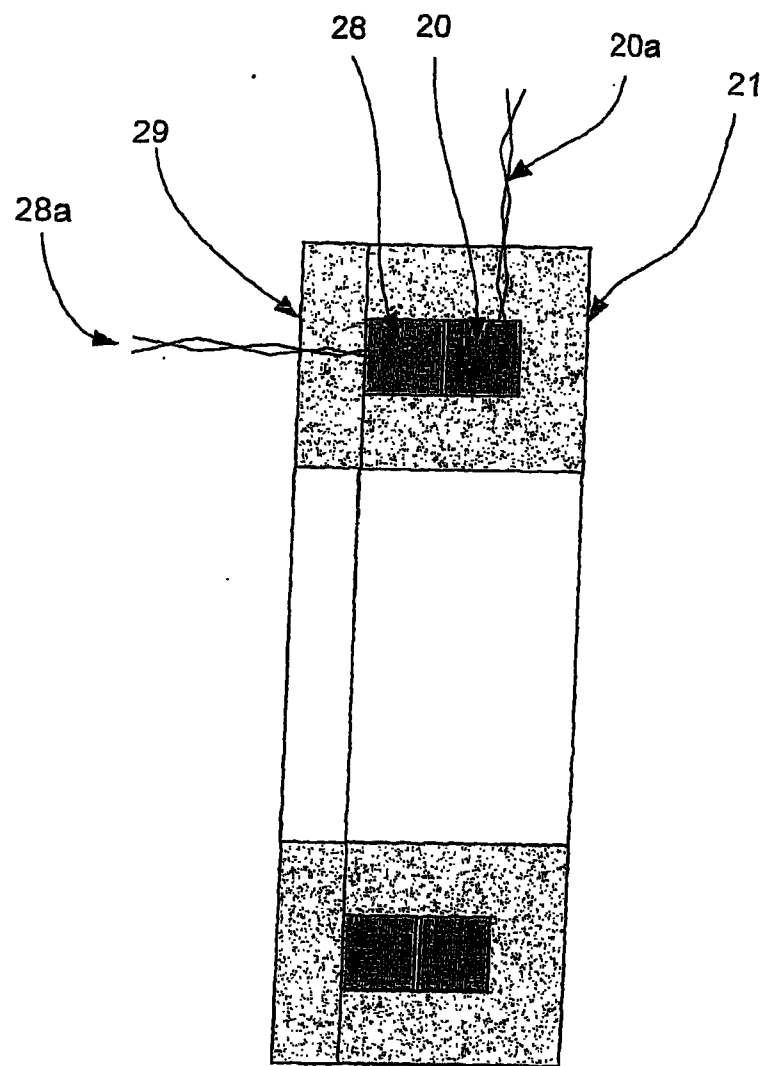


Figur 7b

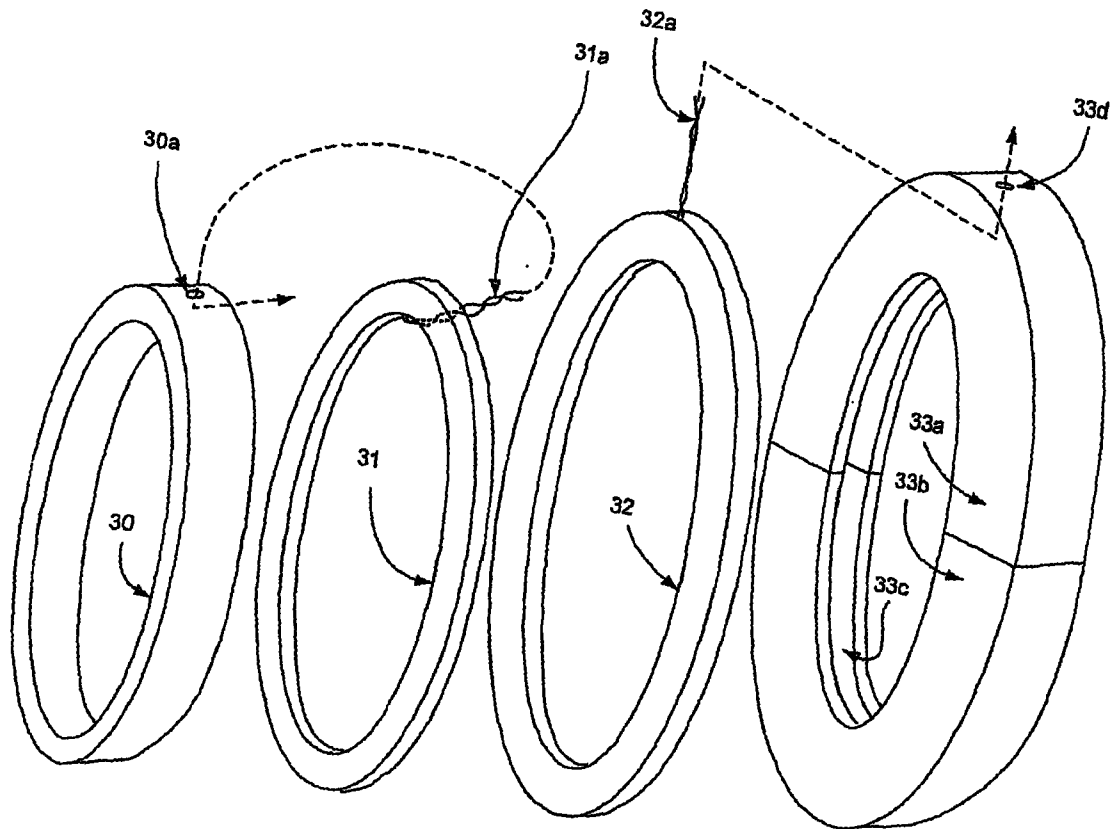
8/11

**Figur 8a**

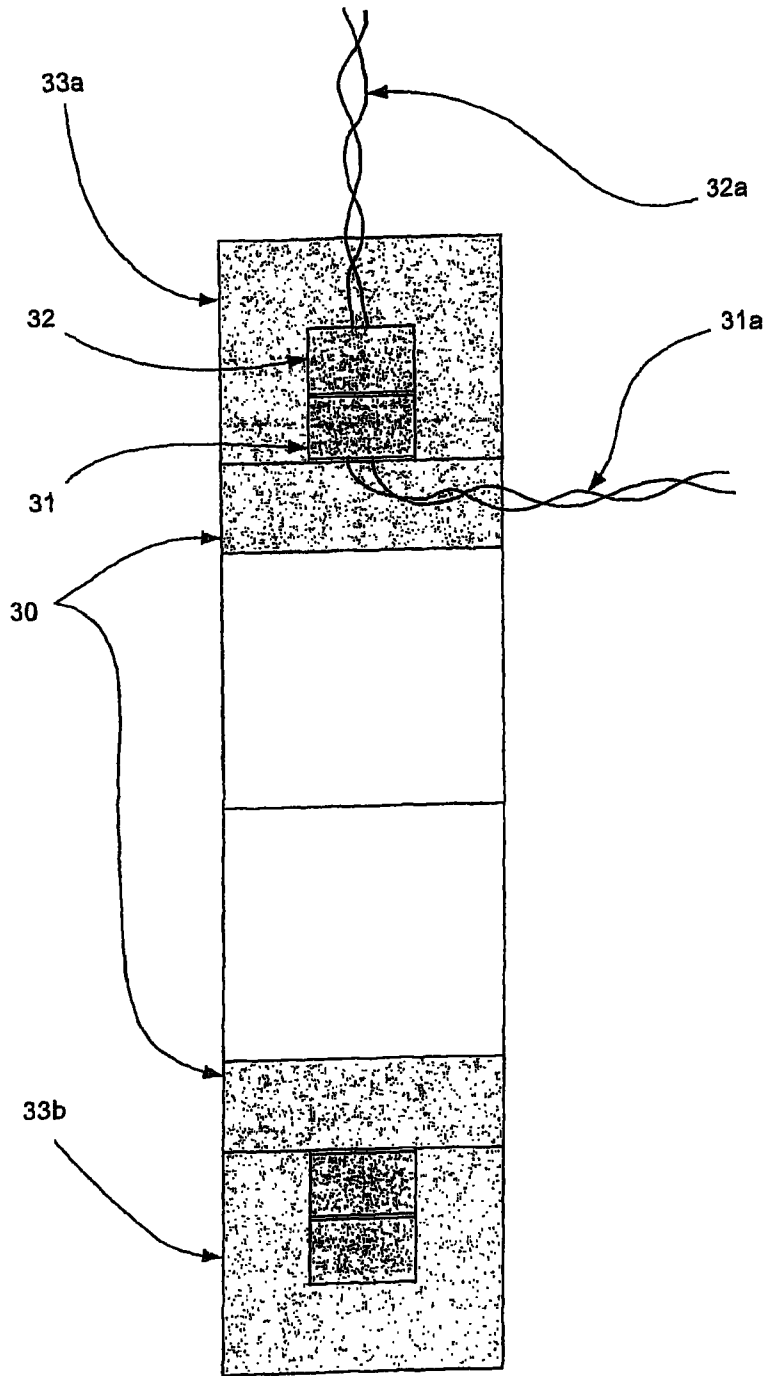
9/11

**Figur 8b**

10/11

**Figur 9a**

11/11



Figur 9b