



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **326865**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

H01F 27/28 (2006.01)

H01F 30/12 (2006.01)

H02K 3/30 (2006.01)

H02K 3/40 (2006.01)

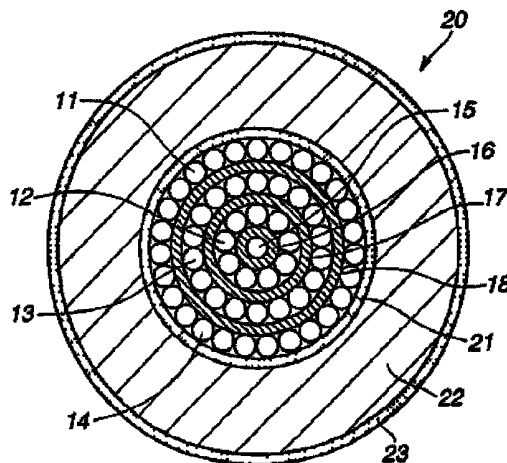
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20033437	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2002.02.01 PCT/SE02/00186
(22)	Inng.dag	2003.08.01	(85)	Videreføringsdag	2003.08.01
(24)	Løpedag	2002.02.01	(30)	Prioritet	2001.02.02, SE, 0100308
(41)	Alm.tilgj	2003.10.01			
(45)	Meddelt	2009.03.09			

(73)	Innehaver	ABB AB, Kopparbergsvägen 2, 72183 VÄSTERÅS, SE
(72)	Oppfinner	Peter Carstensen, Sjövägen 62, S-141 42 Huddinge, SE Bo Hernnäs, Snöflingegatan 7, S-723 50 Västerås, SE Törbjörn Wass, Västra Utanbygatan 8 C, S-722 16 Västerås, SE
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO

(54)	Benevnelse	Induksjonsvikling
(56)	Anførte publikasjoner	WO 97/45930 A1
(57)	Sammendrag	

En induksjonsvikling (20) som består av minst én vinding, inneholdende strømførende midler (10) som omfatter flertrådede ledere (11) anordnet i minst ett lag (12, 13, 14), hvor det minst ene lag er elektrisk isolert fra tilstøtende lag (16, 17, 18), og minst to tilstøtende ledningstråder som utgjør det minst ene lag er uisolert.



Den foreliggende oppfinnelse vedrører en induksjonsvikling som består av minst én vinding og en elektrisk maskin som omfatter induksjonsviklingen. Mer bestemt vedrører den foreliggende oppfinnelse en induksjonsvikling som inneholder strømførende midler som omfatter flertrådede ledere som er anordnet i
5 minst ett lag som er tiltenkt til bruk i statiske elektriske maskiner så som transformatorer, reaktorer, elektromagneter, kompensatorer, frekvensomformere og resonatorer, så vel som roterende maskiner så som motorer og generatorer, primært ved høyspente anvendelser, dvs. spenninger over 10 kV.

Under de siste få tiår har det vært en økende etterspørsel etter høyspente
10 roterende elektriske maskiner. Siden spenningen i et kraftnett normalt ligger ved et høyere nivå enn spenningen i den roterende elektriske maskin, er bruken av en opptransformator nødvendig for å kople den roterende elektriske maskin til kraftnettet. Transformatoren utgjør en ekstra kostnad og reduserer systemets samlede effektivitet. Det er derfor ønskelig å fremstille roterende elektriske
15 maskiner for høye spenninger som kan tilkoples direkte til et kraftnett uten en mellomliggende transformator. Dette krever en egnet høyspent induksjonsvikling.

Det ledende materiale i induksjonsviklinger utsettes for et magnetfelt som induserer virvelstrømmer, hvilket resulterer i tap. Virvelstrømtap kan reduseres ved å bryte opp den ledende vei som er tilgjengelig for dem. Induksjonsviklinger
20 som inneholder midler for å minimalisere størrelsen av virvelstrømtapene er foretrukket, siden de fører til betydelige energibesparelser.

WO 97/45930 beskriver en leder for høyspentviklinger som omfatter to eller flere konsentriske lag av flertrådede ledere. Hvert lag er elektrisk isolert fra tilstøtende lag for å redusere virvelstrømtap mellom lagene. Annenhver ledningstråd i
25 hvert lag er forsynt med et elektrisk isolerende lag, så som isolerlakk eller ekstrudert høytemperaturplast, slik at to uisolerte ledningstråder ingen steder kommer i elektrisk kontakt med hverandre, hvilket begrenser virvelstrømtap inne i individuelle lag. Å forsyne visse tråder med elektrisk isolasjon er en kostbar og tidkrevende prosess. Videre, hvis en leder som omfatter isolerte og uisolerte
30 ledningstråder komprimeres for å redusere lederens dimensjon, blir isolasjonen meget vanskelig å fjerne, hvilket fører til problemer ved sammenkopling eller skjøting av slike induksjonsviklinger. Det er konstatert at aluminiumsledningstråder, med overflate som er oksidert, kan brukes til å tilveiebringe den nødvendige isolasjon inne i lagene, dette gjør imidlertid viklingen

vanskeligere å resirkulere sammenlignet med en vikling som kun omfatter kopper eller kun aluminiumsledningstråder.

Det er en hensikt med denne oppfinnelse å tilveiebringe en rimeligere og mer miljøvennlig induksjonsvikling som er designet for tilstrekkelig å redusere
5 virvelstrømtap, og en elektrisk maskin som omfatter viklingen.

Denne og andre hensikter med oppfinnelsen oppnås ved å anordne flertrådede ledere i ett lag eller en flerhet av lag som er plassert over hverandre langs omkretsen, hvor hvert lag er elektrisk isolert fra et hvilket som helst tilstøtende lag, men hvor minst to tilstøtende ledningstråder som utgjør det minst ene lag, er
10 uisolert. I en annen foretrukket utførelse av oppfinnelsen er en flerhet av ledningstrådene som utgjør det minst ene lag, uisolert. I en foretrukket utførelse av oppfinnelsen er alle ledningstrådene som utgjør det minst ene laget, uisolert.

Eksperimenter har vist at virvelstrømmer som sirkulerer mellom lagene er den dominerende kilde til virvelstrømtap i det strømførende middel, mens
15 virvelstrømmer inne i de individuelle lag er neglisjerbare. Virvelstrømmene inne i et enkelt lag er små fordi kontaktmotstanden mellom ledningstrådene, og fordi det relativt lave antall av kontaktpunkter, gir opphav til et induksjonsområde. Det anses derfor unødig å forsyne annenhver ledningstråd innenfor et enkelt lag med elektrisk isolasjon. Bruk av hovedsakelig/utelukkende uisolerte ledningstråder
20 fører til en mindre kostbar og mer miljøvennlig induksjonsvikling, ettersom mindre eller ikke noe isolasjonsmateriale er nødvendig.

Det strømførende middel ifølge den foreliggende oppfinnelse omfatter minst ett lag som består av ledningstråder av kopper, aluminium eller et hvilket som helst annet egnet materiale. De flertrådede ledere består av forhåndsformede
25 ledningstråder eller sirkulære ledningstråder som komprimeres etter tvinning for å minimalisere tverrsnittet av det strømførende middel som de utgjør. I en annen utførelse omfatter det strømførende middel flertrådede ledere som har forskjellige tverrsnitt i de forskjellige lag. For å minimalisere virvelstrømtap, er den maksimale dimensjon i tverretning av ledningstrådene 4 mm eller fortrinnsvis 2 mm. I en
30 foretrukket utførelse er flerheten av lag hovedsakelig konsentriske.

Den elektriske isolasjon mellom hvert lag av flertrådede ledere omfatter papir, f.eks. karbonisert ledende papir eller et syntetisk materiale som en termoplast, eller glimmer eller et fornettet materiale. I en foretrukket utførelse

påføres den elektriske isolasjon i lengderetningen eller vikles på lagene av flertrådede ledere.

Foreliggende oppfinnelse vedrører en elektrisk maskin som omfatter minst én induksjonsvikling som består av minst én vinding. Induksjonsviklingen omfatter
5 strømførende midler, som beskrevet ovenfor, som er anordnet i minst ett lag. Minst to tilstøtende ledningstråder som utgjør det minst ene laget, er uisolert.

De strømførende midler er innelukket inne i et første halvledende lag som er forsynt med et omgivende massivt isolasjonslag og et annet halvledende lag som omslutter det massive isolasjonslag. I en foretrukket utførelse av oppfinnelsen
10 holdes det første halvledende lag ved et potensiale som hovedsakelig er likt potensialet til de strømførende midler. Det annet halvledende lag er forbundet til et forhåndsbestemt potensiale, så som et jordpotensiale. De halvledende lag danner ekvipotensialflater, og det elektriske felt er enhetlig fordelt inne i det massive isolasjonslaget. Dette eliminerer faren for sammenbrudd i det isolerende materiale
15 på grunn av lokale konsentrasjoner av det elektriske felt. I en annen foretrukket utførelse av oppfinnelsen er det annet halvledende lag jordet, slik at det ikke vil eksistere noe elektrisk felt utenfor dets grenser.

De halvledende lag omfatter fortrinnsvis et lignende materiale som det massive isolasjonslag, men inneholder ledende materiale, f.eks. sot. De halv-
20 ledende lag er anordnet i nær kontakt med det massive isolasjonslag. I en foretrukket utførelse forbindes de halvledende lag og det massive isolasjonslag ved at de ekstruderes sammen for å danne en enkelt enhet som sikrer at det ikke opptrer noe mellomrom mellom lagene. Det er viktig at ikke noe luft tillates å komme inn mellom lagene, ettersom dette vil føre til delutladninger i
25 isolasjonsmaterialet ved høye elektriske feltstyrker.

En større forståelse av den foreliggende oppfinnelse kan fås fra den etterfølgende beskrivelse og de vedføyde krav, sett i sammenheng med den ledsagende tegning, hvor

30 fig. 1 viser de strømførende midler i en induksjonsvikling ifølge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen,

fig. 2 viser et tverrsnittsriss av en induksjonsvikling ifølge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen,

fig. 3 viser en 3-fase-krafttransformator med en laminert kjerne som omfatter en induksjonsvikling ifølge den foreliggende oppfinnelse,

fig. 4 viser skjematisk et aksialt enderiss av en sektor av statoren i en elektrisk maskin ifølge den foreliggende oppfinnelsen,

5 fig. 5 viser en graf over virvelstrømtap ved forskjellige magnetfelt for forskjellige konfigurasjoner av de strømførende midler som har et tverrsnittsareal på 185 mm^2 , og

fig. 6 viser en graf over virvelstrømtap ved forskjellige magnetfelt for forskjellige konfigurasjoner av strømførende midler som har et tverrsnittsareal på
10 70 mm^2 .

Fig. 1 viser strømførende midler 10 som omfatter sirkulære ledningstråder 11, f.eks. av koppertråd med en diameter på 2 mm, anordnet over hverandre langs omkretsen i lag 12, 13, 14 rundt en sentral leder 15. Lagene er anordnet i en vekslende tvinneretning. Elektrisk isolasjon 16, 17, 18 isolerer tilstøtende lag.
15 Ledningstrådene 11 er uisolert. Den sentrale leder og den tilstøtende elektriske isolasjon 16 kan erstattes med luft eller et annet materiale.

De strømførende midler kan selvsagt lages av flere eller færre lag av ledningstråder, avhengig av de krav som settes til de strømførende midler. I en annen utførelse av oppfinnelsen kan lagene omfatte ledningstråder med forskjellig
20 tverrsnitt. I en ytterligere utførelse av oppfinnelsen omfatter induksjonsviklingen et enkelt lag av ledningstråder. Dette enkeltlaget er f.eks. lokalisert rundt omkretsen av isolasjonsmaterialet i senteravviklingen.

Fig. 2 viser et tverrsnittriss gjennom en induksjonsvikling 20 ifølge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen. Induksjonsviklingen inneholder
25 strømførende midler som omfatter sirkulære ledningstråder 11 med ensartet tverrsnitt anordnet i konsentriske lag 12, 13, 14 rundt en sentral flertrådet leder 15. Lagene med elektrisk isolasjon 16, 17, 18 isolerer tilstøtende lag. Et første halvledende lag 21 innelukker de strømførende midler, og et massivt isolasjonslag 22 er anordnet rundt det første halvledende lag. Et annet halvledende lag 23
30 omslutter det massive isolasjonslaget 22.

Det massive isolasjonslaget 22 omfatter f.eks. en termoplast så som polyetylen med lav/høy tetthet, polypropylen, polybutylen, TeflonTM, polyvinylklorid eller glimmer, et fornettet materiale så som fornettet polyetylen eller gummi, f.eks. etylen-propylengummi eller silikongummi.

Fig. 3 viser en 3-fase-krafttransformator som omfatter en induksjonsvikling 3 ifølge den foreliggende oppfinnelse og en laminert kjerne. Kjernen omfatter tre ben 30, 31, 32 og to åk 33, 34. Induksjonsviklinger ifølge den foreliggende oppfinnelse er konsentrisk viklet rundt kjernens ben. Tre slike konsentriske induksjonsviklinger 5 35, 36, 37 er vist. Den indre induksjonsvikling 35 er en primær induksjonsvikling og de andre to 36, 37 representerer sekundære induksjonsviklinger. Avstandsstykker 38 og 39 er plassert mellom induksjonsviklingene. Avstandsstykkene kan enten omfatte elektrisk isolerende materiale og funksjonere slik at de fremmer avkjøling og mekanisk støtte for induksjonsviklingene, eller de kan omfatte 10 elektrisk ledende materiale og funksjonere som en del av jordingssystemet for induksjonsviklingene.

Fig. 4 viser skjematisk et aksialt enderiss av en sektor av stator 40 av en elektrisk maskin ifølge den foreliggende oppfinnelse. Figuren viser en sektor av maskinen som korresponderer til en poldeling. Fra et åkparti 42 av kjernen som 15 befinner seg radiallyt ytterst, strekker et antall tenner 43 seg radiallyt innover mot maskinens rotor 41. Tennene er adskilt av nøter (spor) 44 i hvilke statorens induksjonsvikling er anordnet. Kun de strømførende midler 10 i induksjonsviklingen har av hensyn til klarheten, blitt vist. Hver not 44 har varierende tverrsnitt med vekslende bredere deler 45 og smalere deler 46. De bredere deler 45 er 20 hovedsakelig sirkulære og omgir induksjonsviklingens gjennomføringer. De smalere deler tjener til radial posisjonering av hver av induksjonsviklingens gjennomføringer. Tverrsnittet av noten 44 som en helhet, blir litt smalere i retning radiallyt innover. Dette er fordi spenningen i induksjonsviklingens gjennomføringer er lavere jo nærmere de befinner seg den radiallyt indre del av statoren. Smalere 25 kabelgjennomføringer kan derfor her brukes, mens økende bredere kabelgjennomføringer er nødvendig lenger ut. I den viste utførelse brukes induksjonsviklinger med tre forskjellige dimensjoner, anordnet i tre motsvarende dimensjonerte seksjoner 47, 48, 49 av nøtene 44.

Ved å bruke en induksjonsvikling ifølge den foreliggende oppfinnelse, f.eks. 30 i statorviklingen i en generator, kan spenningen i generatoren økes til et slikt nivå at den kan tilkoples direkte til et kraftnett uten behov for en mellomliggende transformator. Løsningen ifølge den foreliggende oppfinnelse fører følgelig til besparelser, både økonomisk uttrykt og med hensyn til plassbehov for installasjoner som omfatter en roterende elektrisk maskin.

Fig. 5 viser virvelstrømtap ved forskjellige vekslende (50 Hz) magnetfelt, hvor magnetfeltet befant seg i rette vinkler i forhold til de strømførende midler. Grafen sammenligner beregnede verdier for en massiv kopperleder som har et tverrsnittsareal på 185 mm² med eksperimentelle verdier som fremkommer fra målinger på trettiseks sirkulære kopperledningstråder som har det samme samlede tverrsnittsareal som den massive leder. Kopperledningstrådene var anordnet i tre forskjellige konfigurasjoner. I en første konfigurasjon var de uisolert og komprimert. Dataene viser at bruk av denne konfigurasjonen leder til en reduksjon i virvelstrømtap sammenlignet med den massive leder. I en annen konfigurasjon var alle ledningstrådene isolert, men ikke komprimert, hvilket førte til en ytterligere reduksjon i virvelstrømtap. I en tredje konfigurasjon var alle uisolert, men de var lagisolert og komprimert ifølge en utførelse av foreliggende oppfinnelse, hvilket ga praktisk talt det samme resultat som de ukomprimerte isolerte ledningstråder over området for de målte magnetfelt. Denne grafen viser at virvelstrømtap innenfor individuelle lag av komprimerte lagisolerte ledningstråder, er neglisjerbare, og derfor kan all elektrisk isolasjon innenfor individuelle lag utelates uten at dette har en vesentlig negativ effekt.

Fig. 6 viser virvelstrømtap ved forskjellige vekslende (50 Hz) magnetfelt, hvor magnetfeltet var i rette vinkler i forhold til de strømførende midler. Grafen sammenligner beregnede verdier for en massiv induksjonsvikling som omfatter en massiv kopperleder som har et tverrsnittsareal på 70 mm² med eksperimentelle verdier som ble fremskaffet fra målinger på induksjonsviklinger som inneholder sirkulære kopperledningstråder som har det samme samlede tverrsnittsareal som den massive lederen. Kopperledningstrådene var anordnet i tre forskjellige konfigurasjoner. I en første konfigurasjon var de uisolert og komprimert. Dataene viser at bruk av denne konfigurasjonen fører til en reduksjon i virvelstrømtap sammenlignet med den massive leder. I en annen konfigurasjon var alle ledningstrådene isolert, men ikke komprimert, hvilket førte til en ytterligere reduksjon i virvelstrømtap. I en tredje konfigurasjon var de alle uisolert, men de var lagisolert og komprimert ifølge en utførelse av den foreliggende oppfinnelse som ga praktisk talt det samme resultat som den konfigurasjon som omfatter ukomprimerte isolerte ledningstråder over det målte område av magnetfelt.

Selv om kun visse trekk ved den foreliggende oppfinnelse er blitt illustrert og beskrevet, vil mange modifikasjoner og endringer være opplagt for fagpersoner

innen området. Det skal derfor forstås at alle slike modifikasjoner og endringer ved den foreliggende oppfinnelse faller innenfor omfanget av kravene.

PATENTKRAV

1. Induksjonsvikling (20) bestående av minst én vinding, inneholdende strøm-
5 ledende midler (10) som omfatter flere ledningstråder (11) anordnet i minst ett lag,
karakterisert ved at minst to tilstøtende ledningstråder som utgjør
det minst ene laget, er uisolert.
2. Induksjonsvikling ifølge krav 1,
10 **karakterisert ved** at induksjonsviklingen omfatter en flerhet av lag
(12, 13, 14) som er anordnet over hverandre langs omkretsen, hvor hvert lag er
elektrisk isolert fra tilstøtende lag (16, 17, 18).
3. Induksjonsvikling ifølge krav 2,
15 **karakterisert ved** at flerheten av lag som er anordnet over hverand-
re langs omkretsen, er hovedsakelig konsentriske.
4. Induksjonsvikling ifølge et av de foregående krav,
karakterisert ved at flerheten av ledningstråder som utgjør det minst
20 ene lag, er uisolert.
5. Induksjonsvikling ifølge et av de foregående krav,
karakterisert ved at alle ledningstrådene som utgjør det minst ene
25 lag, er uisolert.
6. Induksjonsvikling ifølge et av de foregående krav,
karakterisert ved at ledningstrådene har et forformet tverrsnitt.
7. Induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-4,
30 **karakterisert ved** at ledningstrådene er komprimert etter tvinning.
8. Induksjonsvikling ifølge et av de foregående krav,
karakterisert ved at den maksimale tverrgående dimensjon av led-
ningstrådene er 4 mm, fortrinnsvis 2 mm.

9. Induksjonsvikling ifølge et av de foregående krav,
karakterisert ved at den elektriske isolasjon mellom hvert lag av flertrådede ledere (16, 17, 18) omfatter papir eller et syntetisk materiale.
- 5 10. Induksjonsvikling ifølge krav 8,
karakterisert ved at den elektriske isolasjon mellom hvert lag (16, 17, 18) er påført i lengderetningen på lagene av flertrådede ledere (12, 13, 14).
11. Induksjonsvikling ifølge krav 8,
10 **karakterisert ved** at den elektriske isolasjon mellom hvert lag (16, 17, 18) er viklet på lagene av flertrådede ledere (12, 13, 14).
12. Elektrisk maskin omfattende minst én induksjonsvikling (20) bestående av minst én vinding,
15 **karakterisert ved** at viklingen (20) omfatter strømførende midler (10) ifølge et av de foregående krav, innelukket i et første halvledende lag (21), som er forsynt med et omgivende massivt isolasjonslag (22), og et andre halvledende lag (23) som omslutter det massive isolasjonslag.
- 20 13. Elektrisk maskin ifølge krav 12,
karakterisert ved at den omfatter midler for å holde det første halvledende lag (21) ved et potensiale som hovedsakelig er likt potensialet i de strømførende midler.
- 25 14. Elektrisk maskin ifølge krav 12 eller 13,
karakterisert ved at det annet halvledende lag (23) er anordnet til å utgjøre en hovedsakelig ekvipotensial flate som omgir de strømførende midler.
- 30 15. Elektrisk maskin ifølge et av kravene 12-14,
karakterisert ved at det annet halvledende lag (23) er forbundet til et forhåndsbestemt potensiale.

16. Elektrisk maskin ifølge krav 15,
karakterisert ved at det forhåndsbestemte potensiale er jordpotensiale.

5 17. Fremgangsmåte til frembringelse av strømførende midler for en induksjonsvikling,
karakterisert ved at den omfatter trinn med anordning av flertrådede ledere i minst et lag (12, 13, 14), slik at minst to uisolerte ledningstråder (11) anordnes tilstøtende hverandre inne i det minst ene laget og elektrisk isolering av
10 hvert lag fra tilstøtende lag.

18. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 i en statisk elektrisk maskin.

15 19. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 i en roterende elektrisk maskin.

20. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 ved høyspenningsanvendelser.

20 21. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 i en transformator.

25 22. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 i en reaktor.

23. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 i en elektromagnet.

30 24. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 i en kompensator.

25. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 i en frekvensomformer.

26. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 i en motor.
27. Anvendelse av en induksjonsvikling ifølge et av kravene 1-11 eller en fremgangsmåte ifølge krav 17 i en generator.

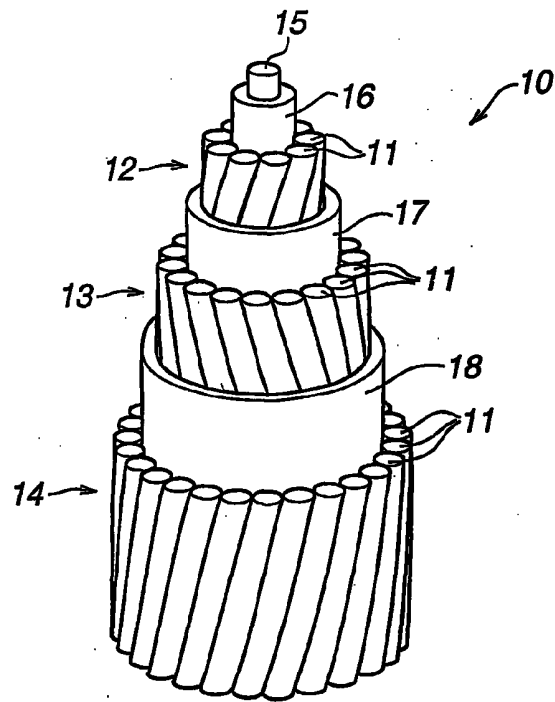


Fig. 1

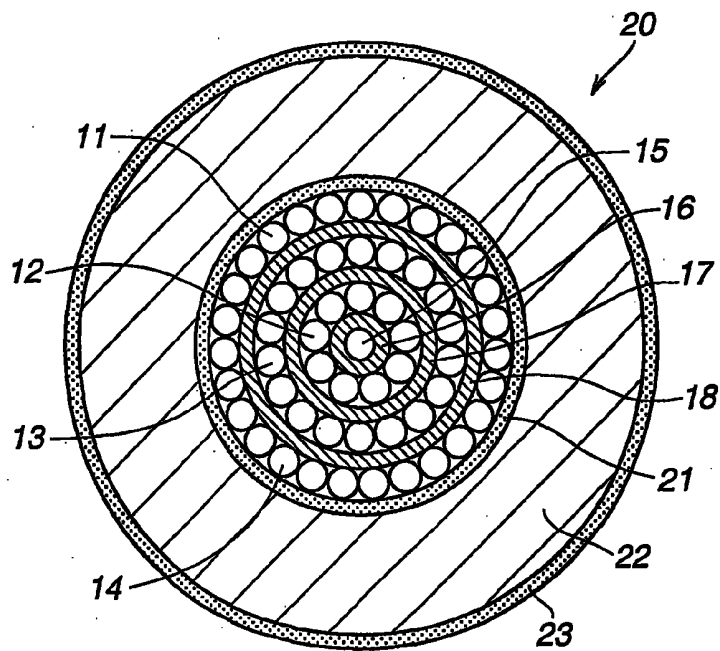


Fig. 2

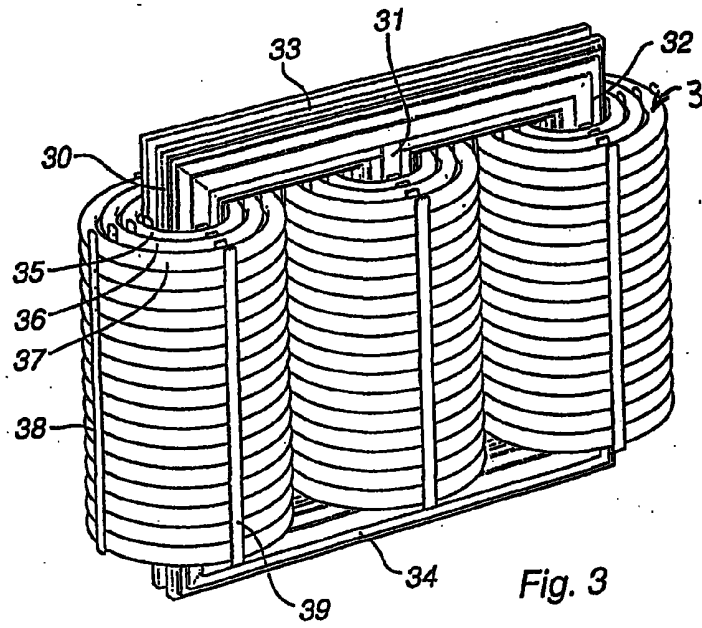


Fig. 3

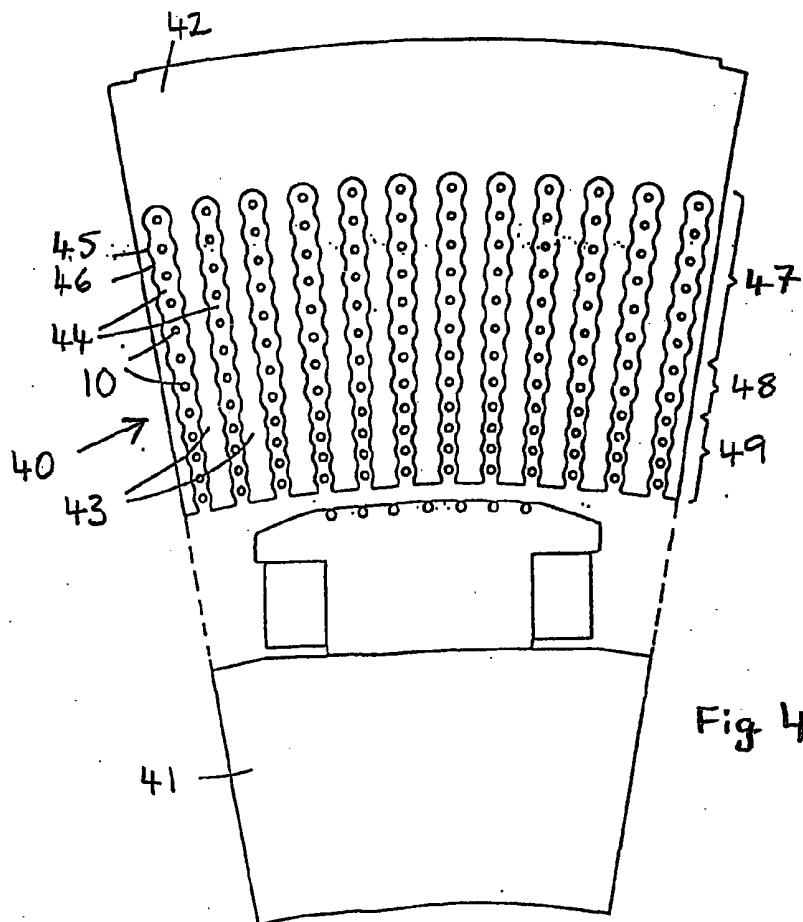


Fig 4

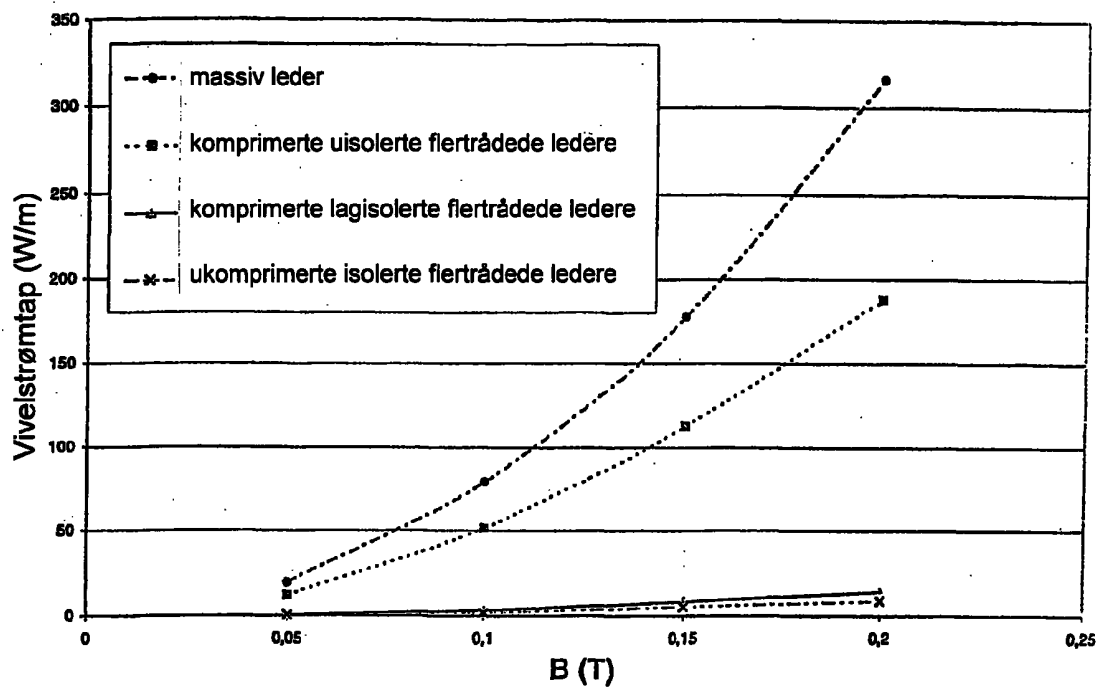


Fig. 5

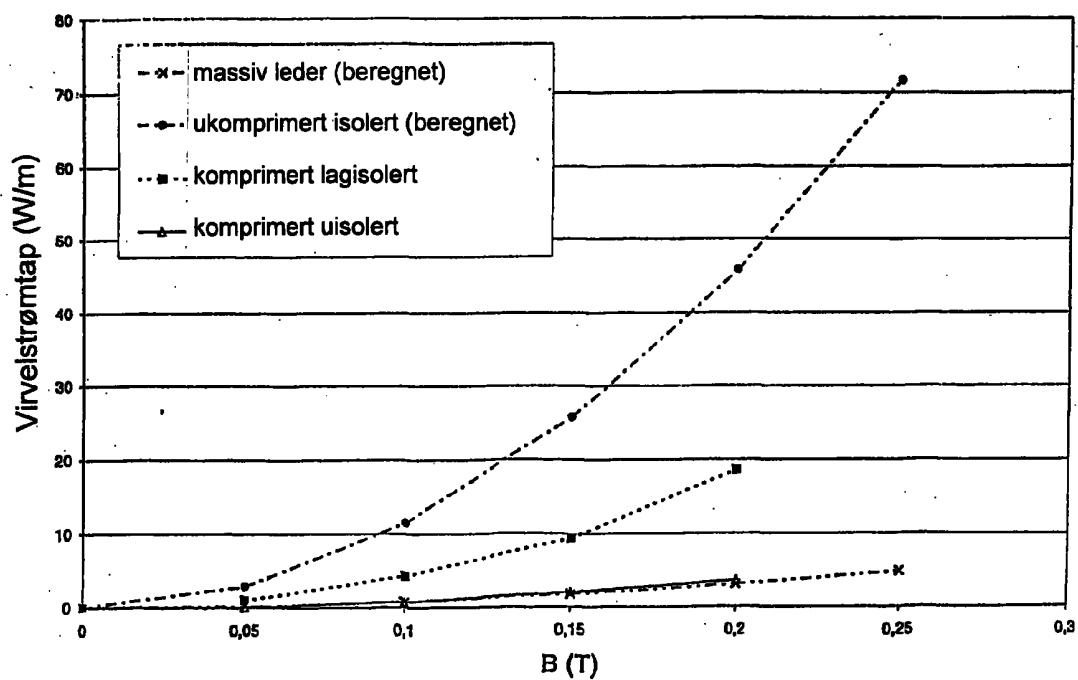


Fig. 6