

KÖZZÉTETEL
PÉLDÁNYSZUPRAVEZETŐ KÁBEL ÉS VEZETŐÉR, TOVÁBBÁ ELJÁRÁS BEFOGOTT VÉGŰ
SZUPRAVEZETŐ KÁBELBEN HŰTÉS HATÁSÁRA ÉBREDŐ LONGITUDINÁLIS IRÁNYÚ
HÚZÓFESZÜLTSEGEK KORLÁTOZÁSÁRA

KIVONAT

A találmány tárgya olyan szupravezető kábel (1), amelynek legalább egy szupravezető rétege, a szupravezető réteget tartón elrendezett cső alakú hordozója (6), valamint a szupravezető réteg szupravezető anyagát a kritikus hőmérséklettel megegyező vagy annál alacsonyabb üzemi hőmérsékletre hűtőn kialakított hűtőköre van. A találmány tárgya emellett olyan szupravezető vezetőér ($3a_1-3c_2$) is, amelynek cső alakú hordozón (6) elrendezett legalább egy szupravezető rétege van. A találmány tárgya továbbá egy olyan eljárás is, amely legalább egy szupravezető réteget tartalmazó, befogott végű szupravezető kábel (1) átellenes végeinél lévő rögzítő kábel-saruknál hűlés hatására ébredő húzófeszültségek longitudinális irányú korlátozása szolgál.

A szupravezető kábel (1), illetve a szupravezető vezetőér ($3a_1-3c_2$) lényege, hogy a cső alakú hordozónak (6) első hőtágulási együtthatóval jellemzett első fémes anyag adott mennyiségét tartalmazó első tartományból, valamint legalább 20×10^{-6} 1°C nagyságú hőtágulási együtthatóval jellemzett második nemfémes anyagot tartalmazó második tartományból felépülő kompozit szerkezete van, ahol a cső alakú hordozó (6) eredő hőtágulási együtthatója a szupravezető anyag hőtágulási együtthatójánál nagyobb, továbbá ahol a cső alakú hordozó (6) első és második tartományában lévő első és második anyag mennyisége a legalább egy szupravezető rétegnek a cső alakú hordozó (6) szobahőmérsékletéről üzemi hőmérsékletre, illetve egy, a vezetőeret ($3a_1-3c_2$) tartalmazó szupravezető kábel (1) üzemi hőmérsékletére való hűlését kísérő teljes termikus összehúzódása következtében fellépő deformációját a szupravezető anyag áramvezető képességének csökkenését kiváltó mértékű deformációnál alacsonyabb értéken tartón van megválasztva.

A találmány szerinti eljárás lényege, hogy abban a találmány szerinti szupravezető kábelt (1) használják (1. ábra).

1. ábra

P. Nagy

**SZUPRAVEZETŐ KÁBEL ÉS VEZETŐÉR, TOVÁBBÁ ELJÁRÁS BEFOGOTT VÉGŰ
SZUPRAVEZETŐ KÁBELBEN HŰTÉS HATÁSÁRA ÉBREDŐ LONGITUDINÁLIS IRÁNYÚ
HÚZÓFESZÜLTSEGEK KORLÁTOZÁSÁRA**

A jelen találmány tárgya egyrészt villamos áramnak ún. szupravezető feltételek, azaz majdnem zérus nagyságú villamos ellenállás melletti vezetésére használandó olyan szupravezető kábel, amelynek legalább egy szupravezető rétege, ezt tartó cső alakú hordozója, valamint a szupravezető réteg szupravezető anyagát a kritikus hőmérséklettel megegyező vagy annál alacsonyabb üzemi hőmérsékletre hűtőn kialakított hűtőköre van. A találmány tárgya másrészt olyan szupravezető vezetőér, amelynek cső alakú hordozón elrendezett legalább egy szupravezető rétege van. A találmány tárgyát képezi továbbá egy olyan eljárás is, amely szupravezető réteget tartalmazó, befogott végű szupravezető kábel átellenes végeinél lévő rögzítő kábelsaruknál hűlés hatására ébredő húzófeszültségek longitudinális irányú korlátozására szolgál.

Az alábbiakban a "szupravezető anyag" megjelölés alatt speciálisan például nióbbium-titán ötvözetek, vagy réz-, bárium- és ittriumoxidok, vagy bizmut-, ólom-, stroncium-, kalcium-, réz-, tallium- és higanyoxidok keverékén alapuló kerámiák képezte anyagot értünk, amely egy adott hőmérséklet, az ún. T_c kritikus hőmérséklet alatt gyakorlatilag zérus ellenállású szupravezető fázissal rendelkezik.

"Nagyteljesítményű kábel" alatt általában 3000 A-t meghaladó nagyságú áramok továbbítására szolgáló olyan kábelt értünk, amelynél az indukált mágneses tér a szupravezető feltételek között elérhető áramsűrűség maximális értékét csökkenteni kezdi.

A továbbiakban "szupravezető kábel" alatt szupravezető feltételek mellett villamos áram továbbítására alkalmas tetszőleges eszközt értünk, például hordozómagra felcsévélte szupravezető anyagú szalagokat.

A szupravezető kábeleknek a szupravezető anyagot tartó cső alakú hordozót magába foglaló szerkezeti elemük van.

Az EP-97202433.5 sz. európai szabadalmi bejelentés polimer anyagból, jellemzően poli(tetrafluor-etilén)-ből vagy poliamidból kialakított, teljes egészében



egyetlen cső alkotta hordozót ismertet. A szóban forgó európai szabadalmi bejelentés emellett fémes anyagból, például acélból, rézből vagy alumíniumból készített cső alakú hordozót ugyancsak ismertet.

A szupravezető kábelt, hasonlóan a (kábelsarukhoz vezető) villamos és a (szupravezető kábel hűtőkörével csatlakoztatott) hidraulikus csatlakozásokhoz szobahőmérsékleten építik be. A beépítést követően a kábelt hűtőközeg segítségével üzemi hőmérsékletre hűtik. Ezen hűtés során a szupravezető kábel valamennyi komponense az összetevő anyagok hőtágulási együtthatói által meghatározott módon termikus eredetű mechanikai feszültségeknek van kitéve. Speciálisan, mechanikai feszültség ébred a szupravezető anyagrétegekben, valamint a kábel végeire csatlakoztatott kábelsaruknál.

A hőmérséklet változásának hatására a kritikus áramsűrűség tekintetében csökkenést nem mutató, kiválóan reprodukálható hőmérsékleti jellemzővel rendelkező szupravezető vezeték biztosítása problémájának megoldására az EP-0,451,864 sz. európai szabadalom olyan szupravezető vezeték alkalmazását mutatja be, amely valamilyen oxid alapú szupravezető anyagból, valamint azzal a hő hatására bekövetkező tágulás és összehúzódás során szervesen együttműködő hordozóból épül fel.

Vizsgálataink során arra a következtetésre jutottunk, hogy a hordozónak nem csupán annyi a feladata, hogy a szupravezető réteg(ek)nek kielégítő mechanikai alátámasztást biztosítson, hanem ezzel egyidejűleg számos további, a szupravezető kábel megfelelő működéséhez nem kevésbé fontos funkciókat is be kell töltenie.

Speciálisan, a szóban forgó hordozónak

- (i) biztosítani kell, hogy a szupravezető kábel lehűtése során se a szupravezető anyagban, sem pedig a kábel végeinél ne ébredjenek belső feszültségek;
- (ii) biztosítani kell a szupravezető kábel mechanikai stabilitását, vagyis a kábelnek a kábeldobok átmérőivel összhangban álló hajlítási sugarakban kell meghajlíthatónak lennie, hogy szállítása céljából kábeldobra legyen feltekerhető;
- (iii) beépítés során hozzá kell járulnia a kábel mechanikai ellenállóságához; továbbá
- (iv) rövidzár esetén jelentős mértékben hozzá kell járulnia a kábel kriostabilitásához, amely kriostabilitáson egyrészt a szupravezető anyag kritikus hőmérséklet alatt tartását, másrészt a hűtőközeg folyékony halmazállapotban való megtartását értjük.



Vizsgálataink során arra a következtetésre jutottunk, hogy egy lényegében kompozit szerkezetű, cső alakú hordozó alkalmazása egyaránt lehetővé teszi a szupravezető anyagnak radiális és longitudinális irányban átadott feszültségek csökkentését, miközben ezzel egyidejűleg elegendő mennyiségű fémes anyagot biztosít a kábel kriostabilitásának biztosításához is.

A fentiek fényében tehát egyrészt olyan szupravezető kábelt fejlesztettünk ki, amelynél a cső alakú hordozónak első hőtágulási együtthatóval jellemzett első fémes anyag adott mennyiségét tartalmazó első tartományból, valamint legalább $20 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ nagyságú hőtágulási együtthatóval jellemzett második nemfémes anyagot tartalmazó második tartományból felépülő kompozit szerkezete van, ahol a cső alakú hordozó eredő hőtágulási együtthatója a szupravezető anyag hőtágulási együtthatójánál nagyobb, továbbá ahol a cső alakú hordozó első és második tartományában lévő első és második anyag mennyisége a legalább egy szupravezető rétegnek a cső alakú hordozó szobahőmérsékletről üzemi hőmérsékletre való hűlését kísérő teljes termikus összehúzódása következtében fellépő deformációját a szupravezető anyag áramvezető képességének csökkenését kiváltó mértékű deformációnál alacsonyabb értéken tartón van megválasztva.

A jelen találmánnyal másrészt olyan szupravezető vezetőeret dolgoztunk ki, amelynél a cső alakú hordozónak (i) első hőtágulási együtthatóval jellemzett első fémes anyag adott mennyiségét tartalmazó első tartományból, valamint (ii) legalább $20 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ nagyságú második hőtágulási együtthatóval jellemzett második nemfémes anyagot tartalmazó második tartományból felépülő kompozit szerkezete van, ahol a cső alakú hordozó eredő hőtágulási együtthatója a szupravezető anyag hőtágulási együtthatójánál nagyobb, továbbá ahol a cső alakú hordozó első és második tartományában lévő első és második anyag mennyisége a legalább egy szupravezető rétegnek a cső alakú hordozó szobahőmérsékletről egy, a vezetőeret tartalmazó szupravezető kábel üzemi hőmérsékletére való hűlését kísérő teljes termikus összehúzódása következtében fellépő deformációját a szupravezető anyag áramvezető képességének csökkenését kiváltó mértékű deformációnál alacsonyabb értéken tartón van megválasztva.

Végezetül a jelen találmánnyal befogott végű szupravezető kábel átellenes végeinél lévő rögzítő kábelsaruknál hűlés hatására ébredő húzófeszültségek longitu-

dinális irányú korlátozására olyan eljárást dolgoztunk ki, amelynél a legalább egy szupravezető réteget cső alakú hordozón rendezzük el, ahol a cső alakú hordozót első hőtágulási együtthatóval jellemzett első fémes anyag adott mennyiségét tartalmazó első tartományból, valamint legalább $20 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ nagyságú hőtágulási együtthatóval jellemzett második nemfémes anyagot tartalmazó második tartományból felépülő kompozit szerkezettel alakítjuk ki, a cső alakú hordozó eredő hőtágulási együtthatóját a szupravezető anyag hőtágulási együtthatójánál nagyobbá tesszük, továbbá a cső alakú hordozó első és második tartományában lévő első és második anyag mennyiségét a legalább egy szupravezető rétegnek a cső alakú hordozó szobahőmérsékletről üzemi hőmérsékletre való hűlését kísérő teljes termikus összehúzódása következtében fellépő deformációját a szupravezető anyag áramvezető képességének csökkenését kiváltó mértékű deformációnál alacsonyabb értéken tartónak választjuk.

A következőkben a "befogott végű szupravezető kábel" megjelöléssel olyan kábelre kívánunk utalni, amelynek átellenes végei mechanikailag megfelelő rögzítő kábelsarukba vannak befogatva oly módon, hogy a szalagok és hordozók között tengelyirányban, továbbá a kábelsarukhoz képest relatív elcsúszás lényegében nem történik.

Az előzőekben említett kompozit szerkezetű, cső alakú hordozó előnyösen nem csupán a szupravezető anyag célnak megfelelő alátámasztására képes, de ugyancsak korlátozza a szupravezető rétegben és a kábel végeire csatlakoztatott kábelsarukban longitudinális irányban ébredő feszültségeket, valamint ezzel egyidejűleg a kábel kriostabilitásához átmeneti rövidzár esetén jelentős mértékben hozzájárulni képes mennyiségben tartalmaz fémes anyagot a szupravezető anyaggal villamos érintkezésben.

Vizsgálataink során speciálisan azt találtuk, hogy az ilyen kompozit szerkezetű, cső alakú hordozó a nagyobb hőtágulási együtthatóval rendelkező második anyag jelenlétének köszönhetően a szupravezető anyag hőtágulási együtthatójánál nagyobb eredő hőtágulási együtthatóval rendelkezik, így a szupravezető kábel hűtési folyamata során a tekintett hordozó a teljesen fémes anyagú hordozókhoz képest radiális irányban nagyobb, vagy egyébként olyan mértékű összehúzódásra képes, ami nem vezet a szalagok elfogadhatatlan deformációjához.



Ily módon a találmány szerinti, kompozit szerkezetű hordozó longitudinális irányban nagyobb összehúzódást tesz lehetővé, miáltal lehetőséget biztosít a szupravezető anyagban a befogott végek hatására fellépő ún. kényszerösszehúzódás következtében ébredő feszültségek longitudinális irányban történő csökkentésére.

Továbbmenve, a kompozit szerkezetű cső alakú hordozó alkalmazása előnyösen lehetőséget biztosít arra is, hogy a szupravezető kábel végei által a kábelsarukra longitudinális irányban kifejtett feszültségeket a teljes egészében fémből lévő cső alakú hordozóhoz képest minden olyan esetben jelentősen mérsékelhessük, amikor a kompozit szerkezetű cső alakú hordozó második anyagának E Young-féle modulusa az első fémes anyag E Young-féle modulusánál kisebb.

A kábel hordozójára működés közben ható longitudinális feszültségek valójában a cső alakú hordozót felépítő anyag hőtágulási együtthatójának és E Young-féle modulusának a szorzatával arányosak.

Továbbmenve, a teljes egészében polimer anyagból készített cső alakú hordozóval ellentétben a találmány szerinti, kompozit szerkezetű cső alakú hordozó minden esetben lehetőséget biztosít arra, hogy a szupravezető anyaggal olyan mennyiségű normál állapotú villamosan vezető anyag legyen villamos kapcsolatban, amely rövidzár esetén a szupravezető kábel kriostabilitásának biztosításához elegendő.

A találmány szerinti megoldásoknál a kompozit szerkezetű cső alakú hordozó első fémes anyagát előnyösen egy olyan fém képezi, amelynek 77 K hőmérsékleten mért ohmikus ellenállása legfeljebb $5 \times 10^{-9} \Omega \text{m}$, 77 K hőmérsékleten mért fajhője legalább $106 \text{ J/m}^3 \text{K}$ és 77 K hőmérsékleten mért hővezető képessége legalább 5 W/mK .

A kompozit szerkezetű hordozó első fémes anyagát előnyösen a réz, az alumínium, valamint ezek ötvözetek közül választjuk.

Az előzőekben említett második anyagot célszerűen olyan nemfémes anyag képezi, amelynek hőtágulási együtthatója legalább $20 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, előnyösen pedig $40 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ és $60 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ közé esik.

A találmány szerinti megoldásoknál a második nemfémes anyagot valamilyen műanyag képezi, amelyet előnyösen a poliamid, például nylon, a poli(tetrafluor-etilén) (PTFE) és a polietilén közül választunk.



A találmány szerinti megoldásoknál használt kompozit szerkezetű hordozó gyártására előnyösen alkalmazható néhány anyag szobahőmérsékletéről 77 K-re történő hűlésekor megfigyelhető relatív ε termikus összehúzódás nagyságát és ugyanezen anyagok E Young-féle modulusát az alábbi, I. táblázatban foglaljuk össze.

I. TÁBLÁZAT

Anyag	ε (%)	E (GPa)
Cu	0,30	100
Al	0,39	77
Ag	0,36	100
PTFE	2,00	5

A találmány szerinti szupravezető kábel, illetve szupravezető vezetőér egyik lehetséges példakénti kiviteli alakjánál a cső alakú hordozó első és második tartományait egymással szomszédos gyűrű alakú zónák formájában alakítjuk ki, mivel egy ilyen kialakítás lehetővé teszi speciálisan a kompozit szerkezetű cső alakú hordozó gyártási lépésének leegyszerűsítését.

Az első, illetve a második anyagból lévő zónák számát, valamint azok elrendezését a kábellel szemben támasztott szerkezeti követelmények fényében a területen járatos szakember könnyedén meghatározhatja. Abban az esetben például, ha különösen nagy termikus összehúzódás szükségeltetik, a fémes rész például 10%-ra vagy az alá csökkenthető, míg ha nagyobb merevség vagy speciális villamos tulajdonságok szükségeltetnek, a polimeres rész megfelelően csökkenthető.

Egy kompozit szerkezetű cső alakú hordozó gyártásánál a zónák száma előnyösen 3 és 50 közé esik. A találmány szerinti szupravezető kábel egyik előnyös kiviteli alakjánál a zónák számát a kompozit szerkezetű cső alakú hordozó külső átmérőjének, valamint az egyes zónák vastagságának a függvényében oly módon választjuk meg, hogy a zóna "s" vastagságának és "l" szélességének "K" hányadosa 0,4 és 0,7 közé essék.

A találmány szerinti megoldásoknál az első, illetve a második anyag képezte, gyűrű alakú zónákat előnyösen egymás után, alapjaikkal érintkezően rendezzük el. Egy ilyen elrendezés valójában a lehető leghomogénebb mechanikai jellemzőkkel rendelkező cső alakú hordozó előállítását teszi lehetővé, aminek eredményeként lehetővé válik egyrészt a cső alakú hordozó gyártására használt kábelfonó gép kielé-

gító dinamikai stabilitásának, másrészt a kábel hűtése során a kompozit szerkezetű cső alakú hordozó, mint egész, mechanikai kongruenciájának a biztosítása.

Az első és második anyag gyűrű alakú zónái előnyösen 5° és 50° közé eső tekercselési szöggel spirálisan vannak feltekercselve. Ily módon lehetőség nyílik arra, hogy a szomszédos zónák között kielégítő és tartós kapcsolódást biztosítsunk.

A találmány szerinti megoldások egy lehetséges újabb kiviteli alakjánál a szupravezető anyag kompozit szerkezetű cső alakú hordozója előnyösen olyan belső, lényegében a második anyag alkotta cső alakú hordozóval rendelkezik, amelyre lényegében az első fémes anyagból lévő vékony fóliák vagy huzalok vannak feltekercselve.

A fázisvezeték előnyösen legalább egy szupravezető szalagot tartalmaz, ahol a szupravezető anyag fémes bevonattal van körülvéve.

A találmány szerinti szupravezető kábel egy lehetséges újabb kiviteli alakjának előnyösen fémes bevonattal körülvett legalább egy szupravezető réteget tartalmazó több szupravezető szalagja van, ahol a szupravezető szalagok legalább egy cső alakú hordozó felületére 5° és 60° közé eső tekercselési szöggel spirálisan vannak feltekercselve. Egy ilyen kiviteli alaknál előnyösen lehetőség van a fentiek szerinti szalagokban esetleg fellépő mechanikai feszültségek további csökkentése.

A találmány szerinti megoldások esetében alkalmazott fázisvezeték egy lehetséges újabb kiviteli alakja célszerűen a szupravezető anyag fémes bevonatával, lényegében megbonthatatlanul, csatlakoztatott fémes anyagból lévő, a szupravezető anyaggal villamos kapcsolatban álló legalább egy merevítő fóliát tartalmaz.

Ily módon rövidzár idején a túláram a szupravezető anyaggal párhuzamosan csatlakoztatott és ohmikus ellenállású vezetőt képező szalagnak és a cső alakú hordozónak a fémes anyaga, valamint a merevítő fólia között megoszlik, és a szupravezető anyagot söntöli. A rövidzárat követően az áramot a szupravezető anyagban ismét szupravezető feltételek között továbbíthatjuk.

Speciálisan, az áramvezető vezetőérben a szalag fémes anyagának egyrészt a cső alakú hordozó fémes anyagával, másrészt pedig a merevítő fóliával való villamos csatlakoztatását vagy az előzőekben említett anyagok egymással közvetlenül érintkező helyzetben történő elrendezésével, vagy önmagában ismert, villamosan vezető elemek közéjük történő beiktatásával valósíthatjuk meg.



A merevítő fólia vastagsága előnyösen a fémes bevonat vastagságának legfeljebb fele, és előnyösen hozzájárul a kábel vezetőerének a beépítés vagy a használat során átadott különféle mechanikai vagy termikus feszültségekkel szembeni ellenállása megnöveléséhez. A merevítő fólia vastagsága ennél előnyösebben 0,03 mm és 0,08 mm közé esik.

A találmány szerinti megoldás egyik előnyös kiviteli alakjánál a szupravezető kábel vezetőerének a neki átadott különböző feszültségekkel szembeni ellenállását tovább fokozhatjuk, ha a szupravezető anyagot longitudinális irányú és előre meghatározott mértékű előfeszítésnek vetjük alá. Ennek megfelelően a találmány szerinti szupravezető kábelben a szupravezető anyag előnyösen longitudinális irányban elő van feszítve.

A szóban forgó előfeszítést előnyösen a merevítő fóliának a szupravezető anyagot tartalmazó szalag bevonata anyagával való csatlakoztatásán keresztül érjük el, miközben a merevítő fóliára ezzel egyidejűleg lényegében longitudinális irányú húzófeszültséget fejtünk ki.

Vizsgálataink során azt találtuk, hogy a szupravezető anyag ilyen előfeszítése képes részben kompenzálni a befogott végű kábelnél a szupravezető anyagra a szobahőmérsékletéről a hűtőközeg hőmérsékletére történő hűtés során ható húzóerőket.

Egy, az előzőekben említett típusú merevített szalagokkal ellátott vezetőeret előnyösen úgy kaphatunk, hogy a merevítő fóliára önmagában ismert eszközök, például két cséve (egy a feltekeréshez, egy pedig az utánengedéshez) segítségével, melyek közül az egyik megfelelően fékezve van, $3,4 \times 10^7$ Pa ($3,5 \text{ kg/mm}^2$) és $34,3 \times 10^7$ Pa (35 kg/mm^2) közé eső nagyságú húzófeszültséget fejtünk ki.

Az ilyen húzófeszültség hatására az ily módon nyert merevített szalagok szupravezető anyaga longitudinális irányban a

$$\gamma = [(Li - Lf) / Li] * 100$$

összefüggéssel meghatározott " γ " előfeszítettséggel rendelkezik, ahol Li a szalag kezdeti hosszúságát, Lf pedig a szalag előfeszítés utáni hosszúságát jelenti. A szupravezető anyag " γ " előfeszítettsége előnyösen 0,05% és 0,2% között van.

A találmány szerinti szupravezető kábel egyik előnyös kiviteli alakja a szupravezető anyag átellenes felületeihez csatlakoztatott fémes anyagból lévő két merevítő fóliát tartalmaz.

A merevítő fólia és a fémes bevonat hegesztéssel vagy forrasztással egymással előnyösen kölcsönösen és lényegében megbonthatatlan módon van csatlakoztatva, mégpedig oly módon, hogy a csatlakoztatás megtörténte után a szupravezető anyag kívánt mértékű előfeszítettsége megmaradjon. A merevítő fólia és a szupravezető anyag fémes bevonata közötti villamos kontaktus előnyösen automatikusan biztosított, ha a csatlakoztatást hegesztéssel vagy forrasztással valósítjuk meg.

A merevítő fólia vagy fóliák és a legalább egy szupravezető szalag fémes bevonata réz, alumínium, ezüst, magnézium, nikkel, bronz, rozsdamentes acél, berillium, valamint ezek ötvözetei közül választott fémből van. A szupravezető szalag vagy szalagok fémes bevonatához csatlakoztatott merevítő fólia vagy fóliák ennél előnyösebben célszerűen nemmágneses rozsdamentes acélból, bronzból, berilliumból, alumíniumból, valamint ezek ötvözeteiből vannak, míg a fémes bevonat célszerűen ezüstből, magnéziumból, alumíniumból, nikkelből, valamint ezek ötvözeteiből van.

A találmány szerinti szupravezető kábel egyaránt készülhet koaxiális és nem koaxiális kiviteli alakban.

A "koaxiális kábel" megjelölés alatt cső alakú hordozót, ezt koaxiálisan körülvevő fázisvezeték, a fázisvezetéken kívül elrendezett dielektrikumréteget, valamint ez utóbbin elrendezett és a fázisvezetékkel koaxiális földvezeték tartalmazó kábelt értünk.

A találmány szerinti szupravezető kábel esetén a földvezetékben a fázisvezetékben folyó árammal megegyező nagyságú, de azzal ellentétes irányú áram folyik, hogy ezáltal a fázisvezetékben keringő áram által keltett mágneses térrel megegyező nagyságú, de azzal ellentétes irányú mágneses tér jöjjön létre. Ennek célja az, hogy a mágneses teret a kábelnek a földvezeték és a fázisvezeték közötti tartományába bezárjuk, továbbá a kábel földvezetékekhez képest kívül lévő tartományaiban disszipatív áramok megjelenését csökkentsük.

A földvezeték előnyösen fémes bevonattal ellátott szupravezető réteget tartalmazó legalább egy szupravezető szalaggal, valamint a fémes bevonattal villamo-

san érintkező, rövidzár esetén a szupravezető anyag stabilizálását biztosító funkcióval bír, előre meghatározott mennyiségű fémes anyaggal (ún. stabilizáló fémmel) rendelkezik. A stabilizáló fém teljes mennyiségét előnyösen a fázisvezeték esetén megkövetelt ugyanazon teljes és adiabatikus stabilitási kritérium alapján határozzuk meg, amit az alábbiakban részletesen ismertetünk majd. A stabilizáló fémet célszerűen több hevederre vagy szalagra felosztott formában biztosítjuk a szupravezető szalag fémes bevonatával közvetlenül érintkezve, például arra 0,1 mm és 5 mm közé eső vastagságban felcsévélve.

Egy lehetséges másik kiviteli alaknál a földvezeték a szupravezető anyag fémes bevonatával előnyösen gyakorlatilag megbonthatatlanul csatlakoztatott, továbbá a szupravezető anyag és a stabilizáló fém közé behelyezett legalább egy fémes merevítő fóliát tartalmaz.

A fázisvezetéknel lejátszódó folyamathoz hasonlóan, ha a földvezeték rövidzár idején szupravezető tulajdonságait elveszíti, akkor az áram a rövidzár végén a szupravezető anyagba történő visszafolyás céljából a stabilizáló fémes anyagon, (jelenléte esetén) a merevítő fólián, valamint (jelenléte esetén) a szalagok fémes bevonatán keresztül folyik.

A földvezetéknek a szupravezető szalagokhoz képest kívül elhelyezett stabilizáló fémje előnyösen például rézből vagy egyéb, arra alkalmas anyagból lévő, a szupravezető szalagokhoz tartozó és ily módon az azonos szalagokkal megegyező módon spirálisan felcsévélte hevederekké vagy huzalokká osztható fel.

A találmány szerinti szupravezető kábelt előnyösen megfelelően nyomás alatt tartott és túlhűtött hűtőközeggel oly módon hűtjük, hogy egyrészt biztosítsuk a kábel működéséhez szükséges hőcserét, másrészt hogy a szupravezető anyag kritikus hőmérsékleténél megfelelően alacsonyabb hőmérséklet fenntartását hosszú kábelek esetén is biztosítsuk. A hűtőközeg áramlása során egyrészt a szupravezető kábelt alkotó elemek által elnyelt hő hatására egyre nagyobb mértékű melegítésnek, másrészt ezzel egyidejűleg a szupravezető kábelen történő áthaladás, továbbá a hűtőközegben fellépő többé-kevésbé turbulens áramlás következtében jelentkező hidraulikus ellenállás eredményeként egyre nagyobb nyomáscsökkenésnek van kitéve.

Ennélfogva a találmány szerinti szupravezető kábel üzemi feltételeit az említett jelenségek figyelembe vételével választjuk meg. Speciálisan, célszerűen olyan

üzemi feltételeket alkalmazunk, amelyek a hűtőközeget a saját telítődési görbéje által meghatározott hőmérséklet- és nyomásértékektől messze tartják. Az így választott üzemi feltételek az ún. "üzemi sávban" teljesülnek, ami a hűtőközeg állapotdiagramján egy olyan tartományt határoz meg, amelyben a hűtőközeg folyékony fázisban való megtartása mellett a szupravezető anyag kritikus hőmérséklet alá hűtése szükségletének tekintetében biztonsági feltételek állnak fenn.

Továbbmenve, a nyomás alatt tartott és túlhűtött hűtőközeg alkalmazása lehetővé teszi előnyösen azt is, hogy stabilizáló fémként kevesebb fémes anyagot használjunk fel.

A szupravezető anyag előnyösen ún. "magashőmérsékletű" szupravezető (vagyis T_c kritikus hőmérséklete kb. 110 K). A szupravezető anyagot kb. 63 K és kb. 90 K közé eső hőmérsékletre hűtjük.

Az ilyen hűtést előnyösen például hűtőközegeként folyékony nitrogént használva 1×10^6 Pa és 2×10^6 Pa közé eső üzemi nyomás mellett érhetünk el.

A találmány szerinti szupravezető kábelnek különféle kiviteli alakjai léteznek. Speciálisan – amint azt az előzőekben ismertettük – a találmány szerinti szupravezető kábel kialakítható koaxiális vagy nem koaxiális formában, a fázis vagy a három létező fázis lehet egyeres vagy többeres, a villamos szigetelés egyaránt eshet kriogén környezetbe (hideg dielektrikum) vagy szobahőmérsékletnek megfelelő környezetbe (meleg dielektrikum), a hőszigetelés megvalósítható fázisonként külön-külön vagy a három egyesített fázison is.

A továbbiakban a találmány szerinti megoldások jellemzőit és előnyeit előnyös példakénti kiviteli alakok kapcsán ismertetjük részletesen a csatolt rajzra hivatkozással, ahol az

- 1. ábra a találmány szerinti szupravezető kábel egy koaxiális, több vezetőérből felépülő, háromfázisú kiviteli alakjának részlegesen bontott keresztmetszeti nézete; a
- 2. ábra az 1. ábrán szemléltetett koaxiális kábel egyik vezetőérének felnagyított perspektivikus és részlegesen bontott keresztmetszeti nézete; a
- 3. ábra az 1. ábrán szemléltetett koaxiális kábel egyik vezetőérének egy lehetséges olyan további kiviteli alakját szemlélteti perspektivikusan felnagyítva és részlegesen bontott keresztmetszetben, amelynél a fázisvezeték és a földvezeték egyaránt el van látva merevítő fóliával; míg a



– 4. ábra a találmány szerinti szupravezető kábel egy lehetséges további, egyfázisú, többeres, nem koaxiális kiviteli alakját szemlélteti felnagyított és részlegesen bontott keresztmetszeti nézetben perspektivikusan.

Amint azt az 1. ábra mutatja, a találmány szerinti koaxiális háromfázisú 1 szupravezető kábel 2 szupravezető maggal, valamint több, fázisonként rendre $3a_1$, $3a_2$, $3b_1$, $3b_2$, $3c_1$, $3c_2$ hivatkozási jelekkel illetett 3 vezetőérrel rendelkezik, amelyek például fémből, például acélból, alumíniumból, valamint ezekhez hasonló fémekből kialakított cső alakú 9 befoglaló hüvelyben, előnyösen lazán vannak elrendezve.

A 3 vezetőerek mindegyike felváltva koaxiális vezetőket, nevezetesen 4 fázisvezetőket és 5 földvezetőket tartalmaz, amelyek mindegyike – amint az a következőkből nyilvánvaló lesz majd – szupravezető anyag legalább egy rétegét hordozza.

A koaxiális 4 fázisvezetőket és 5 földvezetőket egymástól 8 dielektrikumréteggel vannak villamosan szigetelve, ahol az 5 földvezeték közvetlenül ezen 8 dielektrikumrétegen van elrendezve.

Az 1 szupravezető kábelnek olyan alkalmas eszköze is van, amely a 2 szupravezető magnak a kiválasztott szupravezető anyag, az 1. ábrán szemléltetett 1 szupravezető kábel esetén ún. magas hőmérsékletű szupravezető anyag kritikus hőmérsékleténél megfelelően alacsonyabb hőmérsékletre hűtésére adaptált hűtőközeg keringetésére szolgál. A szóban forgó eszköznek önmagában ismert, ebből kifolyólag rajzon nem ábrázolt, alkalmas hűtőközeget, például jellemzően 65-90 K hőmérsékletű folyékony nitrogént a 3 vezetőerekben, valamint a 3 vezetőerek és a 9 befoglaló hüvely közötti térfokokban egyaránt biztosító szivattyúegysége van.

A külső környezetbe irányuló hőveszteség lehető legnagyobb mértékű csökkentése céljából a 2 szupravezető magot például egymáson elrendezett rétegek sokaságából kialakított hőszigetelést és legalább egy 15 védőköpenyt tartalmazó 10 kriosztátban vagy befoglaló szerkezetben helyezünk el. A 10 kriosztát egy, a területen járatos szakember előtt ismeretes példakénti kiviteli alakjának bemutatása megtalálható például az "IEEE Transactions on Power Delivery" című folyóirat 1992. októberében megjelent 7. kötete 4. számának 1745-1753. oldalain.

Közelebbről tekintve, az 1. ábrán szemléltetett kiviteli alaknál a 10 kriosztát poliészter műgyantából készített, felületén fémes bevonattal ellátott néhány (például néhányszor tíz darab) szalagból kialakított és behelyezett 13 köztartók segítségével

lazán feltekercselt 11 szigetelőréteget (ún. "termikus szuperszigetelőt") tartalmaz. A szóban forgó szalagokat cső alakú 14 tartóelem által határolt gyűrű alakú üres 12 térben rendezzük el, ahol ismert eszközök segítségével 10^{-2} N/m² nagyságrendű vákuumot tartunk fenn.

A fémből lévő cső alakú 14 tartóelem a gyűrű alakú üres 12 teret a kívánt mértékű folyadéktömörséggel képes biztosítani, és kívülről a, például polietilénből lévő 15 védőköpennyel van bevonva. A cső alakú 14 tartóelemet előnyösen acélból, rézből, alumíniumból, vagy ezekhez hasonló fémből készített, cső alakúra hajlított és hosszabbik oldalai mentén összehegesztett szalagból, vagy extrudált csőből, vagy ehhez hasonlóan készített csőből alakítjuk ki. Ha az 1 szupravezető kábel hajlíthatóságával szemben támasztott követelmények úgy kívánják, a 14 tartóelem bordázott formában is kialakítható. A 3 vezetőerekre ható mechanikai feszültségek korlátozásának biztosítása érdekében a találmány szerinti 1 szupravezető kábelnek az előzőekben ismertetett elemek mellett a szerkezeti és az alkalmazási követelményeknek megfelelően tengelyirányban, vagy a kerület mentén elrendezett kábelfeszítő elemei is lehetnek. Az ilyen, rajzon nem ábrázolt kábelfeszítő elemeket a területen járatos szakember előtt jól ismert módszerek alkalmazásával a kerület mentén elrendezett, fémből lévő, például sodrott acélhuzalok, illetve egy vagy több tengelyirányú fémhuzal képezte merevítés, vagy valamilyen dielektromos anyagból, például aramid szálakból készített merevítések formájában alakíthatjuk ki.

Fázisonként több szupravezető 3 vezetőér van jelen, amint azt speciálisan az 1. ábrán szemléltetett kiviteli alak mutatja, az a, b, c fázisok mindegyike két-két, rendre az 1 és 2 alsó indexekkel jelölt, $3a_1$, $3a_2$, $3b_1$, $3b_2$, $3c_1$ és $3c_2$ vezetőérrel rendelkezik, ennél fogva valamennyi fázis árama több (a szóban forgó példakénti kiviteli alak esetében két-két) 3 vezetőér között oszlik meg.

A 2. ábrán a találmány szerinti 1 szupravezető kábel 1. ábrán vázolt koaxiális példakénti kiviteli alakjának egyik kiválasztott 3 vezetőere látható perspektivikus felnagyított nézetben. A bemutatás megkönnyítése érdekében a 2-4. ábráknak az 1. ábrán szemléltetett kiviteli alak egy adott alkatrészével szerkezetileg vagy funkciójában megegyező alkatrészére az 1. ábrához kapcsolódóan bevezetett jelöléssel fogunk hivatkozni, és a szóban forgó alkatrészt részletesen már nem tárgyaljuk.



A 2. ábrán felnagyítva ábrázolt $3a_1$ vezetőérnek rendre valamilyen polimer anyagból, például poli(tetrafluor-etilén)-ből és valamilyen fémes anyagból, például rézből kialakított, egymás után felváltva elrendezett és spirálisan feltekercselt 16 és 17 első és második tartományok képezte zónákból felépülő kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozója van.

A koaxiális 4 fázisvezetékek és 5 földvezetékek mindegyike rendre 18a és 18b szupravezető szalagokból áll, amelyek rendre a kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozóra, illetve a 8 dielektrikumrétegre vannak spirálisan felcsévélve. Valamennyi 18a és 18b szupravezető szalag 19 fémes bevonat által körülvett 20 szupravezető réteget tartalmaz. Az 5 földvezetéknek emellett stabilizáló fémként funkcionáló, a 18b szupravezető szalagok 19 fémes bevonatával villamosan érintkezve, önmagában ismert módon rátekercselt számos 7 rézszalagja is van.

A találmány szerinti 1 szupravezető kábel 3. ábrán szemléltetett újabb példakénti kiviteli alakjának $3a_1$ vezetőerénél a koaxiális 4 fázisvezeték és 5 földvezeték a 18a és 18b szupravezető szalagok 19 fémes bevonatához lényegében megbonthatatlan módon, például keményforrasztással csatlakoztatott több fémes 21 merevítő fóliával is rendelkezik.

A 4 fázisvezeték 21 merevítő fóliái előnyösen a 19 fémes bevonat sugárirányban tekintett belső felületéhez csatlakoznak, ennél fogva a kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozó és a 18a szupravezető szalagok között helyezkednek el, minek eredményeként biztosítják a 18a szupravezető szalagok mechanikai védelmét. Továbbmenve, a 21 merevítő fóliák – elrendezésükből kifolyólag – a 18a szupravezető szalagok 19 fémes bevonatával és a kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozó fémes anyaga képezte 17 első tartománnyal villamosan egyaránt érintkeznek.

Az 5 földvezeték 21 merevítő fóliái előnyösen a 4 fázisvezeték szerkezetéhez képest tükörképszerűen vannak elrendezve, vagyis a 18b szupravezető szalagok 19 fémes bevonatának sugárirányban tekintett külső felületéhez csatlakoznak, minek eredményeként a 7 rézszalagok és a 18b szupravezető szalagok között helyezkednek el és ily módon biztosítják a 7 rézszalagok mechanikai védelmét. Az 5 földvezeték 21 merevítő fóliái – elrendezésükből fakadóan – a 18b szupravezető szalagok 19 fémes bevonatával, valamint a stabilizáló fém funkcióját betöltő 7 rézszalagokkal villamosan egyaránt érintkeznek.



Továbbmenve, a koaxiális 4 fázisvezeték és 5 földvezeték 21 merevítő fóliái rövidzár esetén előnyösen egyrészt hozzájárulnak az 1 szupravezető kábel kriostabilitásának biztosításához, másrészt olyan esetekben, amikor a 21 merevítő fóliák a 18a és 18b szupravezető szalagokhoz a szupravezető anyagnak előre meghatározott mértékű előfeszítettséget átadó módon vannak csatlakoztatva, hozzájárulnak az 1 szupravezető kábel kábelsaraira ható húzófeszültségek megfelelő mértékű csökkentéséhez.

A 4. ábra a találmány szerinti 1 szupravezető kábelnek egy nem koaxiális, egyfázisú példakénti kiviteli alakját szemlélteti, melynek 3^I , 3^{II} , ..., 3^{VII} vezetőerei csupán a 4 fázisvezetékét tartalmazzák, ahol a 4 fázisvezeték ebben az esetben a kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozóra spirálisan feltekercselt 18 szupravezető szalagokból áll.

Szükség esetén a 10 kriosztát ellátható egy olyan, a 9 befoglaló hüvely és egy cső alakú 23 tartóelem által kijelölt üres 22 csatornával is, amelyben folyékony nitrogén kering.

A szóban forgó nem koaxiális, egyfázisú 1 szupravezető kábel külső felületén félvezető anyagból lévő, cső alakú 25 és 26 elemek között az 1 szupravezető kábel villamos szigetelése céljából 24 dielektrikumréteg van elrendezve.

A következőkben – az előzőekben elmondottak fényében – a találmány szerinti 1 szupravezető kábel néhány előnyös példakénti kiviteli alakjának rövidzár bekövetkezésekor mutatott viselkedését, valamint a bennük fellépő mechanikai feszültségeket kívánjuk néhány példán keresztül ismertetni.

1. ÉS 2. PÉLDA

A találmány szerinti 1 szupravezető kábelnek szám szerint két darab, koaxiális 3 vezetőeres nagyteljesítményű prototípusát készítettük el. A szóban forgó 1 szupravezető kábelek mindegyike egy-egy pár 4 fázisvezetékét és 5 földvezetékét tartalmaz. A szóban forgó 4 fázisvezeték és 5 földvezeték megfelelő tartóelemre spirálisan feltekercselt 18a, 18b szupravezető szalagokból áll. Jelen esetben a 4 fázisvezetékben a tartóelemet a kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozó, míg a földvezetékben a tartóelemet a 8 dielektrikumréteg képezi.



Speciálisan a kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozót (első fémes anyagként) rézből és a polimer anyagként poli(tetrafluor-etilén)-ből lévő, egymás után felváltva elrendezett gyűrű alakú zónákból alakítottuk ki.

Az 1. példabeli 1 szupravezető kábel esetén a 4 fázisvezeték (kompozit szerkezetű 6 hordozóhoz csatlakoztatott) 18a, 18b szupravezető szalagjait és az 5 földvezeték (7 rézszalagok képezte stabilizáló fémhez csatlakoztatott) 18a, 18b szupravezető szalagjait egyaránt elláttuk egy fémből lévő, a 18a, 18b szupravezető szalagok 19 fémes bevonatához csatlakoztatott 21 merevítő fóliával, míg a 2. példabeli 1 szupravezető kábel esetén az említett 18a, 18b szupravezető szalagokat ilyen 21 merevítő fóliával nem láttuk el.

A 21 merevítő fólia 18a, 18b szupravezető szalagokkal történő csatlakoztatásának lépését oly módon hajtottuk végre, hogy a 21 merevítő fóliát első lépésben egy lényegében longitudinális irányú húzófeszültségnek vetettük alá, majd egy második lépésben a szupravezető anyag előfeszítettségének elérése céljából a 18a, 18b szupravezető szalagokkal csatlakoztattuk azt. A 21 merevítő fóliát speciálisan mintegy $15,4 \times 10^7$ Pa ($15,7$ kg/mm²) nagyságú húzófeszültségnek vetettük alá, amivel a szupravezető anyag γ előfeszítettségét kb. 0,1%-ra állítottuk be.

Az 1. példa szerinti 1 szupravezető kábel 4 fázisvezetékének 21 merevítő fóliáját és a kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozó fémes anyagát a 18a, 18b szupravezető szalagokkal önmagában ismert módon csatlakoztattuk villamosan.

A szóban forgó 1 szupravezető kábelek gyártásánál figyelembe vett üzemi jellemzők a következők voltak:

– teljesítmény	1,7 GVA;
– névleges feszültség (fázis-fázis)	132 kV;
– névleges áramerősség	3070 A;
– kritikus áramerősség	9210 A;
– hossz	50 km.

A szóban forgó 1 szupravezető kábeleket úgy méreteztük, hogy azok a következő rövidzárási feltételek mellett stabilan működjenek:

– I_{cc} rövidzárási áramerősség	50 kA;
– Δt_{cc} rövidzár időtartama	0,5 s,

feltételezve továbbá, hogy

1) a rövidzár fennállása alatt disszipálódó teljesítmény teljes egészében a szupravezető réteg, a szupravezető anyagot körülvevő 19 fémes bevonat, valamint az azzal bármilyen módon villamosan csatlakoztatott fém (cső alakú 6 hordozó, fémes 21 merevítő fólia és 7 rézszalagok) hőmérsékletemelkedésévé alakul;

2) a disszipáció a rövidzárási áram teljes egészének a szupravezető anyaggal villamosan csatlakoztatott fémes anyagon történő átfolyása mellett rezisztív jellegű; végezetül

3) a szupravezető anyag rövidzár végén elért maximális hőmérséklete jóval a T_{amm} maximálisan megengedett hőmérséklet alatt marad, ahol a T_{amm} maximálisan megengedett hőmérsékletet a szupravezetés kritikus hőmérséklete és a hűtőközeg legkisebb üzemi nyomás melletti forráspontja közül a kisebb hőmérséklettel definiáljuk, feltéve, hogy a rövidzár hatására bekövetkező ΔT hőmérsékletnövekedés a

$$\Delta T_{amm} \leq (T_{amm} - T_{working\ max}) / f$$

összefüggést követi, ahol $T_{working\ max}$ a legmagasabb üzemi hőmérsékletet jelöli, míg f egy biztonsági állandó.

A fentiekben ismertetett üzemi jellemzőkkel előállított szupravezető kábel folyékony nitrogént használva a következő üzemi hőmérséklet- és nyomástartományokkal rendelkezik:

– legkisebb üzemi hőmérséklete	63,2 K;
– legnagyobb üzemi hőmérséklete	82 K;
– legnagyobb üzemi nyomása	2×10^6 Pa; és
– legkisebb üzemi nyomása	1×10^6 Pa.

Feltételezve, hogy a magashőmérsékletű szupravezető anyagként egy, kb. 110 K kritikus hőmérsékletű BSCCO anyagot használunk, valamint figyelembe véve, hogy 1×10^6 Pa nyomás mellett a folyékony nitrogén forráspontja 104 K, a T_{amm} maximálisan megengedhető hőmérséklet ezen utóbbi értékkel esik egybe.

A szupravezető kábel rövidzár melletti kriostabilitásának biztosításához szükséges fémes anyag mennyiségének a meghatározását a

$$\Delta T_{amm} = \left[(\sum R_i I_{cci}^2) / (\sum m_i c_{pi}) \right] * \Delta t_{cc} \quad (I)$$

összefüggés alapján végeztük el, ahol

ΔT_{amm} a rövidzár hatására bekövetkező maximálisan megengedhető hőmérséklet-emelkedést;

R_i a szupravezető kábel i -edik elemének ohmikus ellenállását;

I_{cci} a szupravezető kábel i -edik elemében folyó rövidzárási áramot;

m_i a szupravezető kábel i -edik elemének tömegét;

C_{pi} a szupravezető kábel i -edik elemének fajhőjét; és

Δt_{cc} a rövidzárási áram időtartamát jelenti.

Az (I) összefüggésben szereplő m_i mennyiséget a

$$m_i = \delta_i * V_i = \delta_i * S_i * l_i \quad (II)$$

összefüggéssel számíthatjuk, ahol

δ_i az i -edik elem tömegsűrűségét;

V_i az i -edik elem térfogatát;

S_i az i -edik elem keresztmetszetét; míg

l_i az i -edik elem hosszát jelöli.

Továbbmenve, az R_i mennyiségre az

$$R_i = \rho_i * (l_i / S_i) \quad (III)$$

összefüggés teljesül, ahol ρ_i az i -edik elem fajlagos villamos ellenállását jelenti.

Mivel a 18a és 18b szupravezető szalagokra, a fémes 21 merevítő fóliákra és a 7 rézszalagokra vonatkozó ΔT_{amm} , δ_i , l_i , ρ_i , I_{cci} , C_{pi} , és Δt_{cc} mennyiségek, valamint az S_i keresztmetszetek ismert méretezési adatok, a (II) és a (III) összefüggéseket az (I) összefüggésbe helyettesítve a cső alakú 6 hordozó fémes anyagának keresztmetszete könnyedén meghatározható.

A találmány szerinti 1 szupravezető kábel két prototípusának szerkezeti jellemzőit, speciálisan csupán a 4 fázisvezetékre korlátozódva, az alábbi, II. táblázatban foglaltuk össze. Figyelembe véve, hogy az 5 földvezetéken rövidzár esetén ugyanakkora rövidzárási áram folyik át, mint a 4 fázisvezetéken, az 5 földvezeték szerkezeti jellemzőit hasonló módon határozhatjuk meg.

Egy kiválasztott zóna méreteit lényegében a beépítési és a hűtési korlátozásoknak megfelelően választottuk meg, vagyis az egyes zónák belső átmérője 38,7 mm, külső átmérője pedig 48,5 mm volt, amely adatokat alapul véve a szóban forgó zónák számára célszerűen tizennégy adódott.



A prototípusokat ezt követően számos vizsgálatnak vetettük alá, amelyek lehetővé tették a szupravezető anyagban fellépő deformációk, továbbá a befogott állapotban való összehúzódás következményeként a szupravezető kábel által a kábelsarukra kifejtett húzóerő kiértékelését. Ezen vizsgálatok eredményeit az alábbiakban következő III. táblázatban foglaltuk össze, amelyben a fenti adatok mellett a kritikus deformáció értékét is megadtuk, vagyis a deformáció azon értékét, amely fölött a szupravezető anyag áramvezető képességének csökkenése figyelhető meg (valószínűleg a szupravezető anyagban fellépő törések és szemcseszeparáció következtében).

Továbbmenve, a szóban forgó III. táblázatban a szupravezető kábel teljes és adiabatikus stabilitásának a találmány szerinti kritérium kielégítéséhez szükséges mennyiségéhez képest felhasznált villamosan vezető anyag mennyiségét ugyancsak megadtuk.

3. PÉLDA

Összehasonlítási cézzal több 3 vezetőeret tartalmazó 1 szupravezető kábelt készítettünk, amelyben valamennyi 3 vezetőér megfelelő tartóelemekre spirálisan feltekercselt 18a, 18b szupravezető szalagokat tartalmazó 4 fázisvezetékkel és 5 földvezetékkel rendelkezett. Ebben az esetben a 4 fázisvezeték és az 5 földvezeték tartóelemeit a 4 fázisvezeték esetében teljes egészében fémből, az 5 földvezeték esetében pedig teljes egészében dielektrikumból lévő cső alakú hordozók képezték.

A teljes egészében fémből készített cső alakú hordozó fémes zónákat, speciálisan rézből lévő zónákat tartalmazott.

Az 1. és 2. példák kapcsán részletesen ismertetett módszert követve a jelen példa szerinti kábelt a találmány szerinti kriostabilitási feltételnek megfelelően méreteztük oly módon, hogy a kábel az előzőekben ismertetett rövidzárási feltételek mellett ugyanúgy stabil maradjon.

Az így nyert 1 szupravezető kábel szerkezeti jellemzőit ugyancsak az alábbi, II. táblázatban foglaltuk össze.

A példakénti kábelnél a zónák belső átmérőjét 38,7 mm-nek, külső átmérőjét pedig 45,7 mm-nek választottunk. Egy ilyen kiviteli alak esetén a gyűrű alakú zónák száma vizsgálataink szerint előnyösen tizenhat.



A kábelt az előzőekhez hasonlóan az 1. és 2. példák kapcsán ismertetett vizsgálatoknak vetettük alá az abban ébredő mechanikai feszültségek, valamint az általa a kábelsarukra kifejtett feszültségek meghatározása céljából. Ezen vizsgálataink eredményeit ugyancsak a III. táblázatban foglaltuk össze.

Továbbmenve, a III. táblázatban ugyancsak feltüntettük a példakénti kábelben a rövidzárási feltételek melletti stabilitás biztosításához szükséges fémes anyag minimális mennyiségéhez képest ténylegesen felhasznált fémes anyag mennyiségét is.

Ami a kábel geometriáját illeti, a belső átmérőket a fenti három példában szereplő valamennyi 1 szupravezető kábel esetén egyaránt 38,7 mm-nek választva – hidraulikai megfontolások alapján – azon gyakorlat, miszerint a 3. példabeli hordozót szerkezeti okokból teljes egészében fémből készítjük, az 1. és 2. példákban ismertetett kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozónál alkalmazott rézből lévő zónák 138%-ának megfelelő mennyiségű rezet tartalmazó zónák alkalmazását kívánja meg.

4. (ÖSSZEHASONLÍTÓ) PÉLDA

Ugyancsak összehasonlítási célból a 3. példában szereplő 1 szupravezető kábel jellemzőivel megegyező tulajdonságú kábelt állítottunk elő, azzal az eltéréssel, hogy jelen esetben a cső alakú 6 hordozót valamilyen polimer anyagból, speciálisan poli(tetrafluor-etilén)-ből készített cső alakú tartóelem formájában valósítottuk meg.

Az így nyert, teljes egészében polimerből lévő cső alakú tartóelemet a találmány szerinti prototípusokkal csupán a szupravezető anyagban, valamint a kábelsaruknál ébredő mechanikai feszültségek tekintetében hasonlítottuk össze, mivel a példabeli kábel a rövidzárási feltételek mellett nem kriostabil, hiszen a jelentős áram vezetésére szolgáló fémes anyag lényegében hiányzik belőle.

A III. táblázatban foglalt eredményekből nyilvánvaló, hogy az 1. és a 2. példában ismertetett prototípusok esetében a szupravezető anyagot érő deformációk a kritikus értéknél egyaránt lényegesen kisebbek, továbbá ugyancsak lényegesen alacsonyabbak a 3. példában ismertetett kábel prototípusánál mért értéknél is, ami további bizonyítékkal szolgál a kompozit szerkezetű cső alakú 6 hordozó szupravezető anyagnak longitudinális irányban átadott feszültségek nagysága csökkentése tekintetében megfigyelt hatékonyságát illetően is.



A kritikus deformáció értékét tekintve a III. táblázatban szereplő értékekből azonnal látszik, hogy az 1. példában ismertetett, 21 merevítő fóliával is ellátott 1 szupravezető kábel kritikus deformációjának értéke az ilyen 21 merevítő fóliával nem rendelkező 1 szupravezető kábel kritikus deformációjának értékénél nagyobb. Ez a szupravezető rétegnek a 21 merevítő fólia 18a, 18b szupravezető szalagok 19 fémes bevonatával történő csatlakoztatási lépését követően megjelenő előfeszítettségnek tudható be.

Azt is megfigyelhetjük továbbá, hogy a 3. példa szerinti kábel esetén a szupravezető anyag deformációja a kritikus deformációnál nagyobb, ami befolyásolja a szupravezető feltételek mellett átbocsátott áram szupravezetési képességét.

A 3. példában ismertetett prototípushoz képest az 1. és 2. példákban bemutatott 1 szupravezető kábelek a kábelsarukra lényegesen kisebb húzóerőt fejtenek ki, ami a kábelek mechanikai stabilitásának előnyére szolgál.

Habár a vezetők deformációja, a kritikus deformáció, valamint a kábelsarukra kifejtett húzóerők tekintetében a találmány szerinti 1 szupravezető kábel és a 4. példában ismertetett kábel összehasonlítása az utóbbi kábelt előnyösebbnek mutatja ugyan – mivel az anélkül biztosítana nagyobb áramvezető képességet, hogy a szupravezetőkben ébredő mechanikai feszültségekhez kapcsolódó problémák jelentkeznenek –, a hordozóban foglalt fémes anyag mennyiségéhez kapcsolódó, valamint az esetlegesen fellépő rövidzárási körülmények elviseléséhez szükséges adatok fényében arra a következtetésre jutottunk, hogy a 4. példában ismertetett szupravezető kábel rövidzár kockázatával kísért (és egyéb védőelemek használatától mentes) alkalmazások számára nem megfelelő.

II. TÁBLÁZAT

		cső alakú hordozó fémes anyaga	belső SC	ΔT (°C)
1. példa	zóna.mm ²	335	88,6	10
	Cu/SC	3,8		
2. példa	zóna.mm ²	335	88,6	10
	Cu/SC	3,8		
3. példa	zóna.mm ²	464	88,6	5,6
	Cu/SC	5,2		

belső SC – belül lévő vezeték (vagyis a fázisvezeték) szupravezető rétege
 ΔT – a szupravezető anyag hőmérsékletnövekedése.

III. TÁBLÁZAT

	1. példa	2. példa	3. példa	4. példa
szupravezető anyag deformációja (%)	0,18	0,18	0,31	0,05
kritikus deformáció (%)	0,5	0,29	0,29	0,29
húzóerő (kg)	12500	12000	18600	5400
felhasznált réz mennyisége (%)	100	100	138	–

SZABADALMI IGÉNYPONTOK

1. Szupravezető kábel (1), amelynek legalább egy szupravezető rétege (20), a szupravezető réteget (20) tartón elrendezett cső alakú hordozója (6), valamint a szupravezető réteg (20) szupravezető anyagát a kritikus hőmérséklettel megegyező vagy annál alacsonyabb üzemi hőmérsékletre hűtőn kialakított hűtőköre van, *azzal jellemezve*, hogy a cső alakú hordozónak (6) első hőtágulási együtthatóval jellemzett első fémes anyag adott mennyiségét tartalmazó első tartományból (17), valamint legalább $20 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ nagyságú hőtágulási együtthatóval jellemzett második nemfémes anyagot tartalmazó második tartományból (16) felépülő kompozit szerkezete van, ahol a cső alakú hordozó (6) eredő hőtágulási együtthatója a szupravezető anyag hőtágulási együtthatójánál nagyobb, továbbá ahol a cső alakú hordozó (6) első és második tartományában (17, 16) lévő első és második anyag mennyisége a legalább egy szupravezető rétegnek (20) a cső alakú hordozó (6) szobahőmérséklet-ről üzemi hőmérsékletre való hűlését kísérő teljes termikus összehúzódása következtében fellépő deformációját a szupravezető anyag áramvezető képességének csökkenését kiváltó mértékű deformációnál alacsonyabb értéken tartón van megválasztva.
2. Az 1. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a cső alakú hordozó (6) első és második tartományai (17, 16) egymással szomszédos gyűrű alakú zónák formájában vannak kialakítva.
3. A 2. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a gyűrű alakú zónák egymás után, alapjaikkal érintkezően vannak elrendezve.
4. A 2. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a gyűrű alakú zónák 5° és 50° közé eső tekercselési szöggel spirálisan vannak feltekercselve.
5. Az 1. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy az első fémes anyag egy olyan fém, amelynek 77 K hőmérsékleten mért ohmikus ellenállása legfeljebb $5 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$, 77 K hőmérsékleten mért fajhője legalább $106 \text{ J/m}^3\text{K}$ és 77 K hőmérsékleten mért hővezető képessége legalább 5 W/mK .
6. Az 1. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a második nemfémes anyag hőtágulási együtthatója $40 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ és $60 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ közé esik.

7. A 6. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a második nemfémes anyag poliamid, poli(tetrafluor-etilén) és polietilén közül választott polimer anyag.

8. Az 1. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a szupravezető anyag fémes bevonattal (19) van körülvéve.

9. A 8. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy fémes bevonattal (19) körülvett legalább egy szupravezető réteget (20) tartalmazó több szupravezető szalagja (18a, 18b) van, ahol a szupravezető szalagok (18a, 18b) legalább egy cső alakú hordozó (6) felületére 5° és 60° közé eső tekercselési szöggel spirálisan vannak feltekercselve.

10. A 8. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a szupravezető anyag fémes bevonatával (19) csatlakoztatott fémes anyagból lévő, a szupravezető anyaggal villamos kapcsolatban álló legalább egy merevítő fóliát (21) tartalmaz.

11. A 8. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a szupravezető anyag átellenes felületeihez csatlakoztatott fémes anyagból lévő két merevítő fóliát (21) tartalmaz.

12. A 10. vagy a 11. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a szupravezető anyag longitudinális irányban elő van feszítve.

13. A 12. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a szupravezető anyag longitudinális irányú előfeszítettsége (γ) $0,05\%$ és $0,2\%$ közé esik.

14. A 10. vagy a 11. igénypont szerinti szupravezető kábel (1), *azzal jellemezve*, hogy a merevítő fólia (21) és a szupravezető szalagok (18, 18a, 18b) fémes bevonata (19) réz, alumínium, ezüst, magnézium, nikkel, bronz, rozsdamentes acél, berillium, valamint ezek ötvözeteként közül választott fémből van.

15. Szupravezető vezetőér (3), amelynek cső alakú hordozón (6) elrendezett legalább egy szupravezető rétege (20) van, *azzal jellemezve*, hogy a cső alakú hordozónak (6) (i) első hőtágulási együtthatóval jellemzett első fémes anyag adott mennyiségét tartalmazó első tartományból (17), valamint (ii) legalább $20 \times 10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}$ nagyságú második hőtágulási együtthatóval jellemzett második nemfémes anyagot tartalmazó második tartományból (16) felépülő kompozit szerkezete van, ahol a cső

alakú hordozó (6) eredő hőtágulási együtthatója a szupravezető anyag hőtágulási együtthatójánál nagyobb, továbbá ahol a cső alakú hordozó (6) első és második tartományában (17, 16) lévő első és második anyag mennyisége a legalább egy szupravezető rétegnek (20) a cső alakú hordozó (6) szobahőmérsékletéről egy, a vezetőeret (3) tartalmazó szupravezető kábel (1) üzemi hőmérsékletére való hűlését kísérő teljes termikus összehúzódása következtében fellépő deformációját a szupravezető anyag áramvezető képességének csökkenését kiváltó mértékű deformációnál alacsonyabb értéken tartón van megválasztva.

16. A 15. igénypont szerinti szupravezető vezetőér (3), *azzal jellemezve*, hogy a cső alakú hordozó (6) első és második tartományai (17, 16) egymással szomszédos gyűrű alakú zónák formájában vannak kialakítva.

17. A 16. igénypont szerinti szupravezető vezetőér (3), *azzal jellemezve*, hogy a gyűrű alakú zónák egymás után, alapjaikkal érintkezően vannak elrendezve.

18. A 16. igénypont szerinti szupravezető vezetőér (3), *azzal jellemezve*, hogy a gyűrű alakú zónák 5° és 50° közé eső tekercselési szögben spirálisan vannak feltekercselve.

19. A 15. igénypont szerinti szupravezető vezetőér (3), *azzal jellemezve*, hogy az első fémes anyag egy olyan fém, amelynek 77 K hőmérsékleten mért ohmikus ellenállása legfeljebb $5 \times 10^{-9} \Omega\text{m}$, 77 K hőmérsékleten mért fajhője legalább $106 \text{ J/m}^3\text{K}$ és 77 K hőmérsékleten mért hővezető képessége legalább 5 W/mK .

20. A 15. igénypont szerinti szupravezető vezetőér (3), *azzal jellemezve*, hogy a második nemfémes anyag hőtágulási együtthatója $40 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ és $60 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ közé esik.

21. A 20. igénypont szerinti szupravezető vezetőér (3), *azzal jellemezve*, hogy a második nemfémes anyag poliamid, poli(tetrafluor-etilén) és polietilén közül választott polimer anyag.

22. A 15. igénypont szerinti szupravezető vezetőér (3), *azzal jellemezve*, hogy fémes bevonattal (19) körülvett legalább egy szupravezető réteggel (20) rendelkező legalább egy szupravezető szalagot (18a, 18b), valamint a fémes bevonattal (19) csatlakoztatott fémes anyagból lévő legalább egy merevítő fóliát (21) tartalmaz.

23. Eljárás legalább egy szupravezető réteget (20) tartalmazó, befogott végű szupravezető kábel (1) átellenes végeinél lévő rögzítő kábelsaruknál hűlés hatására

ébredő húzófeszültségek longitudinális irányú korlátozására, *azzal jellemezve*, hogy a legalább egy szupravezető réteget (20) cső alakú hordozón (6) rendezzük el, ahol a cső alakú hordozót (6) első hőtágulási együtthatóval jellemzett első fémes anyag adott mennyiségét tartalmazó első tartományból (17), valamint legalább $20 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ nagyságú hőtágulási együtthatóval jellemzett második nemfémes anyagot tartalmazó második tartományból (16) felépülő kompozit szerkezettel alakítjuk ki, a cső alakú hordozó (6) eredő hőtágulási együtthatóját a szupravezető anyag hőtágulási együtthatójánál nagyobbá tesszük, továbbá a cső alakú hordozó (6) első és második tartományában (17, 16) lévő első és második anyag mennyiségét a legalább egy szupravezető rétegnek (20) a cső alakú hordozó (6) szobahőmérsékletéről üzemi hőmérsékletre való hűlését kísérő teljes termikus összehúzódása következtében fellépő deformációját a szupravezető anyag áramvezető képességének csökkenését kiváltó mértékű deformációnál alacsonyabb értéken tartónak választjuk.



A bejelentő helyett
a meghatalmazott:



DANUBIA

Szabadalmi és Védjegy Iroda Kft.

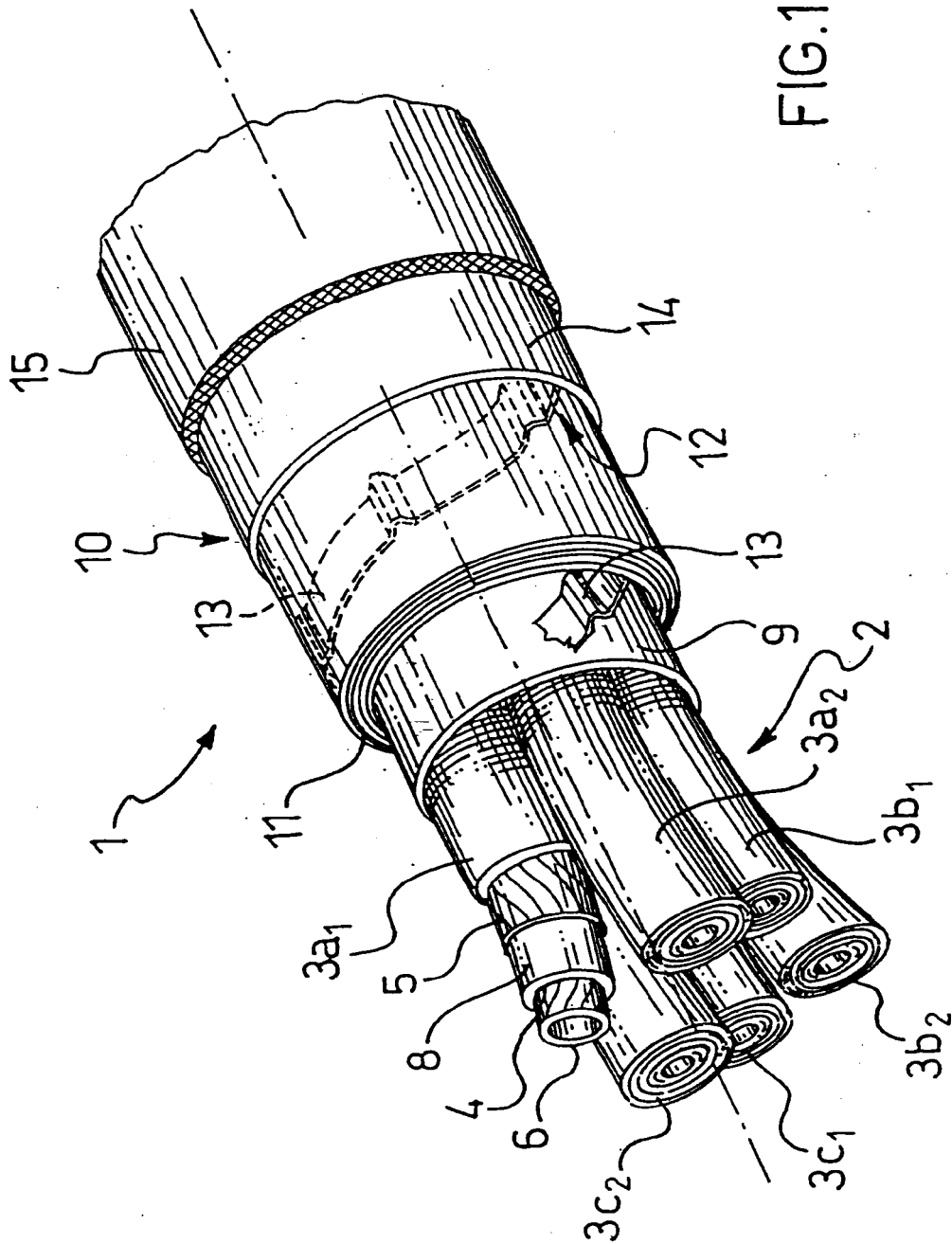
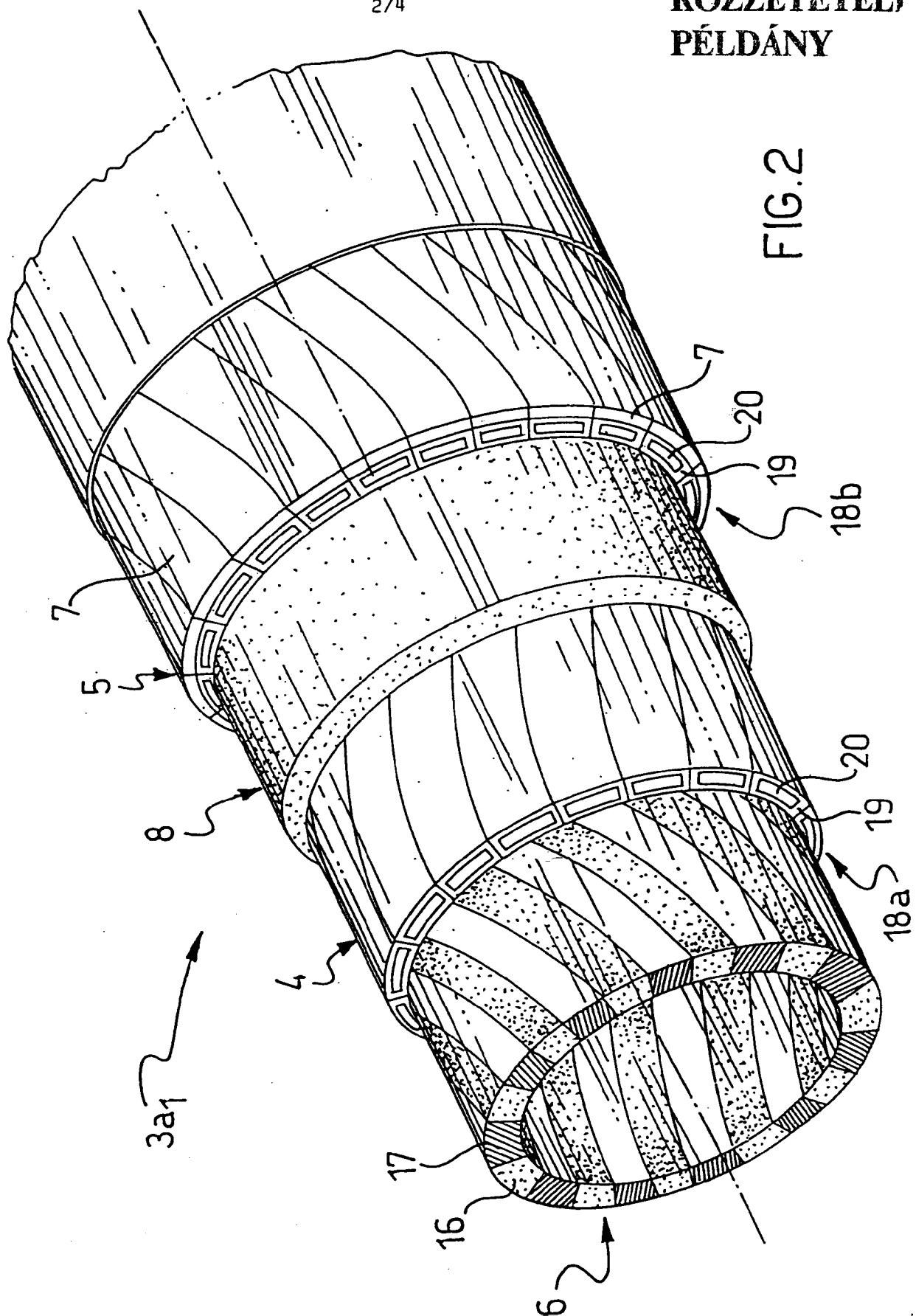


FIG. 1

KÖZZÉTÉTELI
PÉLDÁNY

2/4

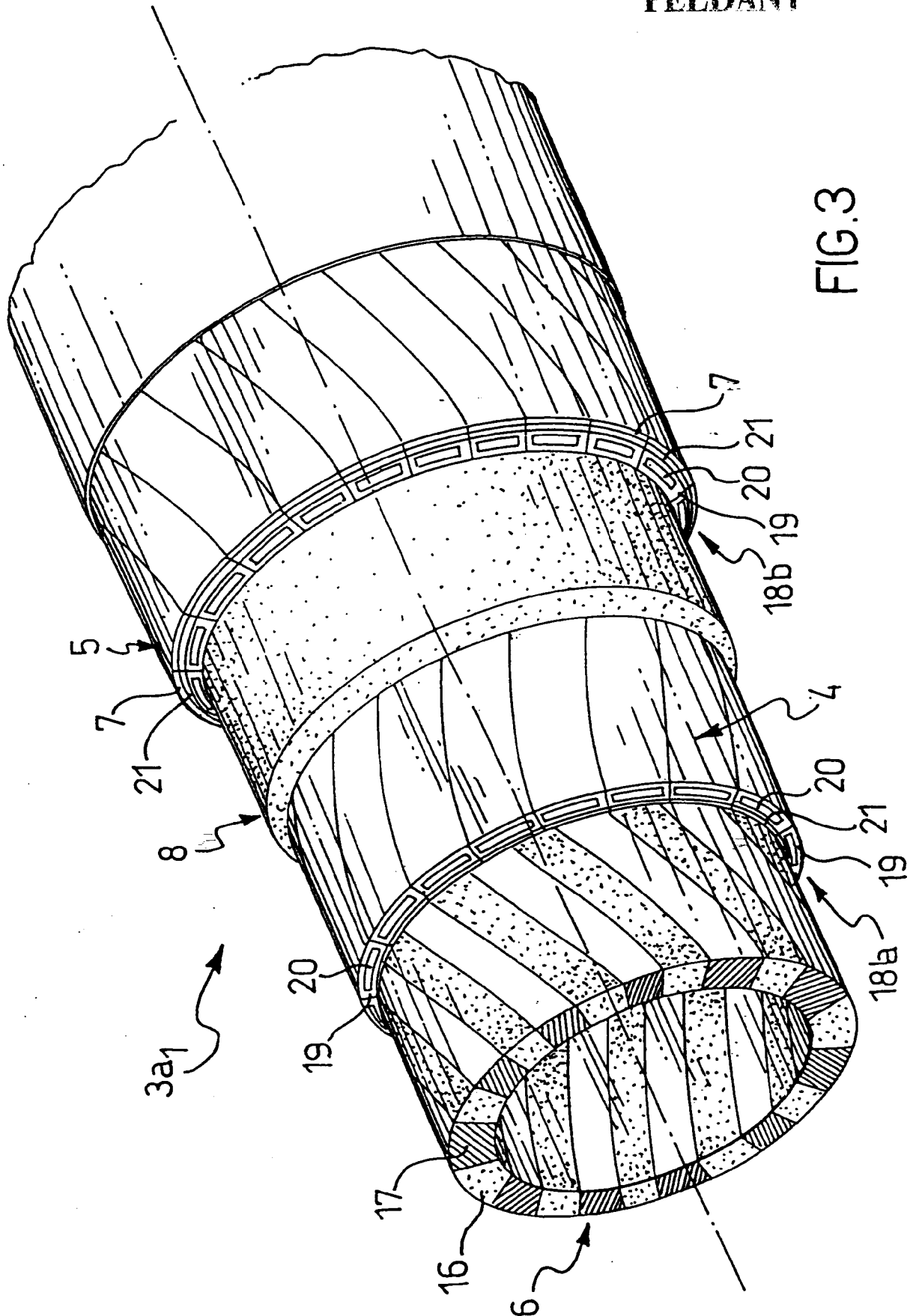
FIG. 2



KÖZZÉTETEL
PÉLDÁNY

3/4

FIG.3



KÖZZÉTÉTEL PÉLDÁNY

FIG. 4

