



⑫

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

④⑤ Veröffentlichungstag der Patentschrift :
07.10.92 Patentblatt 92/41

⑤① Int. Cl.⁵ : **H01F 27/40, H01F 5/00**

②① Anmeldenummer : **89108240.6**

②② Anmeldetag : **08.05.89**

⑤④ **Spulenwicklung.**

③⑩ Priorität : **20.05.88 DE 3817280**

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung :
23.11.89 Patentblatt 89/47

④⑤ Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung :
07.10.92 Patentblatt 92/41

⑧④ Benannte Vertragsstaaten :
AT CH DE ES FR GB LI NL

⑤⑥ Entgegenhaltungen :
FR-A- 2 513 432
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 5, no.
137 (E-72)(809) 29 August 1981, & JP-A-56
73415
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 6, no.
121 (P-126)(999) 06 Juli 1982, & JP-A-57 49803

⑤⑥ Entgegenhaltungen :
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 8, no.
169 (P-292)(1606) 04 August 1984, & JP-A-59
65733
IBM TECHNICAL DISCLOSURE BULLETIN.
vol. 24, no. 6, November 1981, NEW YORK US
Seite 3021 E. MENDEL: "METHOD FOR DE-
TERMINING WAFER TEMPERATURE DURING
POLISHING"

⑦③ Patentinhaber : **ASEA BROWN BOVERI AG**
Haselstrasse
CH-5401 Baden (CH)

⑦② Erfinder : **Boss, Pierre**
188 route de Bernex
CH-1233 Bernex (CH)
Erfinder : **Peter, Andreas**
Im Brühl 304
CH-5235 Rüfenach (CH)
Erfinder : **Schad, Hanspeter, Dr.**
Boldistrasse 6
CH-5415 Nussbaumen (CH)

EP 0 342 468 B1

Anmerkung : Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Technisches Gebiet

- 5 Die Erfindung betrifft eine Spulenwicklung aus einem mit einer Isolation versehenen elektrischen Leiter, welche mit einem Lichtwellenleiter zum Zweck einer verteilten Temperaturmessung überwacht wird.

Stand der Technik

- 10 Es ist heute allgemein anerkannt (siehe z.B. A.J. Wakeling, Colloquium on Power Transformers, CIGRE SC 12, 1985), dass die Lebensdauer eines Leistungstransformators durch die sogenannte Hotspottemperatur bestimmt ist. Seit einiger Zeit werden Transformatoren mit Temperatursensoren überwacht, welche an den vermuteten Hotspots im Transformator angebracht sind (W. Lampe et al, In. Conf. Large high voltage electric systems 12-02, 1984). Eine Glasfaser mit einem optischen Sensor an ihrem Ende wird in möglichst guten thermischen Kontakt mit dem vermuteten (und durch Computersimulation ermittelten) Hotspots gebracht. Es ist nun so, dass der vermutete Hotspot nicht zwingend ein tatsächlicher ist. Diese Diskrepanz lässt sich durch ein als solches bekanntes DTS-System (Distributed Temperature Sensor) überwinden. Wenn nämlich die Sensorfaser, entlang welcher die Temperatur gemessen wird, in die Windungen des Transformators gebracht wird, dann lässt sich der tatsächliche Hotspot ermitteln.

- 20 Zur Messung von Temperaturprofilen von Transformator- oder Drosselspulen ist nicht nur ein geeignetes Messsystem nötig (DTS), sondern man muss auch den Temperatursensor geeignet in die Spule einbringen. Es genügt hierbei nicht, den Lichtwellenleiter nachträglich um die Spule zu wickeln, sondern man muss ihn direkt in den elektrischen Leiter integrieren in Form einer Leiterkombination von Lichtwellenleiter und elektrischem Leiter und aus dieser dann die Spule herstellen. Der Lichtwellenleiter muss jedoch wegen seiner Druck- und Biegeempfindlichkeit vor mechanischen Belastungen gut geschützt untergebracht und ausserdem so integriert sein, dass er die unvermeidlichen, thermischen Ausdehnungen des elektrischen Leiters im Betrieb aushält.

Darstellung der Erfindung

- 30 Aufgabe der Erfindung ist es eine Spulenwicklung aus einem mit einer Isolation versehenen elektrischen Leiter anzugeben, welche mit einem Lichtwellenleiter zum Zweck einer verteilten Temperaturmessung überwacht wird, bei welcher Spulenwicklung ein guter thermischer Kontakt zwischen den beiden Leitern gegeben ist, sich die Temperaturverteilung in der Spulenwicklung genau messen lässt und der Lichtwellenleiter gegen mechanische Ueberbeanspruchung geschützt ist.

- 35 Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen einer solchen Spulenwicklung anzugeben.

- Gemäss der Erfindung besteht die Lösung darin, dass der elektrische Leiter an an der dem Zentrum der Spulenwicklung zugewandten Seite unter der Isolation eine Längsnut aufweist, dass der Lichtwellenleiter lose in der Längsnut liegt und dass der Lichtwellenleiter gegenüber dem elektrischen Leiter eine Ueberlänge hat, welche ausreicht, um ihn bei starker thermischer Ausdehnung des elektrischen Leiters vor übermässiger Dehnung zu bewahren.

- Bei einem erfindungsgemässen Verfahren zum Herstellen einer solchen Spulenwicklung wird zuerst der Lichtwellenleiter in die Längsnut des elektrischen Leiters lose eingelegt, dann der elektrische Leiter auf eine Hilfstrommel mit einem Trommelradius r_T so aufgewickelt, dass die Längsnut mit den eingelegten Lichtwellenleiter nach aussen zu liegen kommt und schliesslich der elektrische Leiter von der Hilfstrommel so zur Spulenwicklung aufgewickelt, dass die Längsnut auf die Innenseite des elektrischen Leiters zu liegen kommt.

- Der Kern der Erfindung ist darin zu sehen, dass der Lichtwellenleiter mit dem elektrischen Leiter zu einer Leiterkombination verbunden wird, bei welcher der Lichtwellenleiter gegenüber dem elektrischen Leiter bei Zimmertemperatur eine Ueberlänge hat, mit welcher er die grosse thermische Ausdehnung des elektrischen Leiters bei der Arbeitstemperatur kompensieren kann.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- 55 Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1a, b, c einen Ausschnitt aus einer erfindungsgemässen Spulenwicklung und

Fig. 2a, b eine schematische Darstellung von Verfahrensschritten zum Herstellen einer erfindungsgemässen

ssen Spulenwicklung.

Wege zur Ausführung der Erfindung

5 Fig. 1a zeigt eine Draufsicht, Fig. 1b einen Querschnitt und Fig. 1c einen Längsschnitt eines Ausschnitts einer erfindungsgemässen Spulenwicklung. In den drei Figuren sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Man geht aus von einem bandförmigen elektrischen Leiter 1, z.B. einem Kupferband einer Dicke von ca. 2,5 mm und einer Breite von ca. 12 mm. Der elektrische Leiter 1 weist eine Längsnut 3 auf, in welcher ein Lichtwellenleiter 2, z.B. eine Allsilica-fiber, liegt. Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform ist der elektrische Leiter 1 und der in der Längsnut 3 liegende Lichtwellenleiter 2 mit einer Papierisolation 4 umwickelt.

10 Aus Fig. 1c erkennt man, dass der elektrische Leiter 1, welcher ja einen Teil einer Spulenwicklung darstellt, gekrümmt ist. Er liegt auf einem Kreis mit einem Radius r_s (Spulenradius). Der Spulenradius r_s wird von einem Zentrum der Spulenwicklung bis zu einer Mittelebene M des bandförmigen elektrischen Leiters 1 gemessen. Die Längsnut 3 liegt auf einer Innenseite des elektrischen Leiters 1 respektive der Spulenwicklung.

15 Der Lichtwellenleiter 2 liegt lose in der Längsnut 3. Zudem besitzt er eine Ueberlänge gegenüber dem elektrischen Leiter 1, d.h. er liegt nicht auf einer geraden Linie in der Längsnut 3, sondern auf einer Schlangenlinie. Oder anders gesagt, wenn man eine volle Windung der Spulenwicklung herausschneiden würde, den elektrischen Leiter 1 und den Lichtwellenleiter 2 strecken würde, dann wäre der Lichtwellenleiter 2 um eine Ueberlänge ΔL länger als der elektrische Leiter 1.

Die Abmessungen der Längsnut 3 sind von zentraler Bedeutung.

Ein erster wichtiger Punkt ist, dass sie asymmetrisch angeordnet ist und zwar bezüglich der Mittelebene M des elektrischen Leiters 1. D.h., dass sie im wesentlichen nicht tiefer als bis zur Mittelebene M eindringt. Die genannte Bedingung hat zum Ziel, dass eine Achse A eines in der Längsnut 3 liegenden Lichtwellenleiters 2 eine minimale Distanz d zur Mittelebene M hat.

20 Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform dringt die Längsnut 3 gerade bis zur Mittelebene M ein, so dass die Distanz d gerade einem halben Durchmesser des Lichtwellenleiters 2 entspricht.

Ein zweiter wichtiger Punkt ist der, dass die an sich geradlinig verlaufende Längsnut 3 Querabmessungen hat, welche es erlauben, die Ueberlänge des Lichtwellenleiters 2 in der Form einer Schlangenlinie aufzunehmen. Deshalb soll sie vorzugsweise zwei- bis fünfmal so breit wie der Durchmesser des Lichtwellenleiters 2 sein. Im gleichen Sinne sollte sie etwa ein- bis zweimal so tief wie der Durchmesser des Lichtwellenleiters 2 sein. Auf jeden Fall muss gewährleistet sein, dass sich der Lichtwellenleiter 2 in der Längsnut 3 frei verschieben lässt und dass er nicht irgendwie festgeklemt wird (z.B. durch die Isolation).

30 Im Ausführungsbeispiel von Fig. 1a bis c sorgt die Papierisolation 4 dafür, dass der Lichtwellenleiter 2 nicht aus der Längsnut 3 herauskommen kann. Auch wenn der Lichtwellenleiter 2 nicht flächenmässig in Kontakt mit dem elektrischen Leiter 1 steht, ist der thermische Kontakt zwischen den beiden Leitern gegeben, sei es nun, weil der Lichtwellenleiter 2 von drei Seiten vom elektrischen Leiter 1 umgeben ist, sei es, weil die Spulenwicklung insgesamt in ein Ölbad getaucht ist.

40 Die relative Ueberlänge, die nötig ist, um den Lichtwellenleiter gegen mechanische Belastung bei der grossen thermischen Ausdehnung des elektrischen Leiters zu bewahren, lässt sich wie folgt ermitteln.

Tabelle I zeigt typische Materialien und deren Ausdehnung bei einem Temperaturanstieg von 0 auf 300° C:

Quarzglas	$0.19 \cdot 10^{-3}$
Kupfer	$5.2 \cdot 10^{-3}$
Aluminium	$7.7 \cdot 10^{-3}$

45 Tabelle I: Thermische Ausdehnung von Quarzglas, Kupfer und Aluminium zwischen 0 - 300 °C.

Daraus ergibt sich, dass eine relative Ueberlänge $\frac{\Delta L}{L}$ mindestens ca. 0.001, vorzugsweise ca. 0.005 betragen sollte.

50 Da die Ueberlänge zu einer Mäandrierung des Lichtwellenleiters 2 führt, kann es bei zu grosser Ueberlänge zu einer so starken lokalen Krümmung (Micro-Macrobending) des Lichtwellenleiters 2 kommen, dass eine biegebedingte Dämpfung auftritt, d.h. dass Licht ausgekoppelt wird.

In einem Versuch war eine erfindungsgemässe Spulenwicklung aus einem Kupferband einer Dicke von 2.5 mm und einer Breite von 12 mm hergestellt worden. Die Längsnut 3, welche an der Innenseite des Kupferbandes angebracht war, war 1.2 mm breit und ebenso tief. Die Längsnut 3 drang also gerade etwa bis zur Mittelebene M ein. Die lose in der Längsnut liegende Glasfaser hatte einen Durchmesser von etwa 0.6 mm. Das Kupferband war mit einer Papierisolation umwickelt. Die ganze Spulenwicklung wurde in ein Ölbad getaucht.

Mit einer DTS-Messung wurde die effektive Temperatur entlang des Kupferbandes gemessen. Dabei war

erstmal deutlich zu sehen, wie periodisch mit den Windungen das Temperaturprofil ansteigt und abfällt. Ebenso war zu sehen, wie der Mittelwert des Temperaturprofils von den unten im Oelbad liegenden Windungen zu den oben liegenden leicht ansteigt.

Im folgenden wird ein erfindungsgemässes Verfahren zum Herstellen der Spulenwicklung beschrieben.

5 Es umfasst im wesentlichen zwei Schritte: Erstens das Aufwickeln der Leiterkombination (elektrischer Leiter + Lichtwellenleiter) auf eine Hilfstrommel und zweitens das Umwickeln der Leiterkombination von der Hilfstrommel auf die Spulenwicklung.

10 Fig. 2a zeigt den ersten Verfahrensschritt. Der elektrische Leiter 1 sei bereits mit einer erfindungsgemässen Längsnut versehen. In dieser wird zuerst lose, d.h. ohne Zugspannung, der Lichtwellenleiter 2 eingelegt. Danach wird der elektrische Leiter 1 und der Lichtwellenleiter 2 mit einer Papierisolation 4 umwickelt. Diese Leiterkombination wird nun auf eine Hilfstrommel so aufgewickelt, dass die Längsnut 3 nach aussen zu liegen kommt.

Da die Achse A des Lichtwellenleiters 2 um eine Distanz d gegenüber der Mittelebene M weiter aussen liegt, liegt der Lichtwellenleiter auf einem etwas grösseren Kreis als der elektrische Leiter.

15 Fig. 2b zeigt den zweiten Verfahrensschritt. Die Leiterkombination wird von der Hilfstrommel 5 abgewickelt und zur Spulenwicklung 6 gewickelt. Dabei muss der Windungssinn invertiert werden, d.h. die Spulenwicklung 6 wird so gewickelt, dass die Längsnut 3 des elektrischen Leiters 1, welche auf der Hilfstrommel 5 nach aussen lag, auf der Spulenwicklung 6 auf die Innenseite zu liegen kommt.

20 Auf der Hilfstrommel 5 liegt der Lichtwellenleiter 2 auf einer geraden Linie in der Längsnut 3. Beim Abwickeln der Hilfstrommel 5 entsteht erstmals eine Ueberlänge und beim Wickeln der Spulenwicklung entsteht zum zweiten Mal eine Ueberlänge. Die Ueberlänge wird allein durch die asymmetrische Längsnut 3, d.h. die Distanz d geschaffen.

Immer unter der Voraussetzung, dass die Mittelebene M des elektrischen Leiters 1 die neutrale Ebene bei der Biegung desselben ist, ergibt sich durch das erfindungsgemässe Verfahren eine relative Ueberlänge $\frac{\Delta L}{L}$ von

$$\frac{\Delta L}{L} = d \left(\frac{1}{r_s} + \frac{1}{r_t} \right) \quad (1)$$

30 Die relative Ueberlänge $\frac{\Delta L}{L}$ ist definiert durch eine Längendifferenz L zwischen Lichtwellenleiter und elektrischem Leiter 1 bezogen auf eine Länge L des elektrischen Leiters 1. Die Distanz d wurde im Zusammenhang mit Fig. 1b definiert. r_t bezeichnet den Trommelradius und r_s den Spulenradius.

Beim oben beschriebenen Versuch war $r_t = 0.3$ m und $r_s = 0.2$ m. Mit der Distanz d = 0.6 mm ergibt sich 35 die relative Ueberlänge von $\frac{\Delta L}{L} \cong 0.005$. Die Breite von 1.2 mm der Längsnut 3 reicht aus, um eine relative Ueberlänge von bis zu 0.02 aufzunehmen, ohne eine merkliche zusätzliche Dämpfung durch Micro- resp. Macrobending zu verursachen.

Es versteht sich, dass beim erfindungsgemässen Verfahren der elektrische Leiter 1 nicht zuerst vollständig auf die Hilfstrommel 5 aufgewickelt werden muss, bevor zu einer Spule gewickelt werden kann. Es genügt 40 grundsätzlich, ihn über Umlenktrummeln zu führen, welche einen geeigneten Krümmungsradius haben. Es ist aber jedenfalls darauf zu achten, dass nach den Umlenktrummeln die gewünschte erste Ueberlänge entsteht und auch erhalten bleibt.

Eine zusätzliche Ueberlänge kann auch durch eine verstärkte Mäandrierung des Lichtwellenleiters 2 in der Längsnut erzielt werden. Dies lässt sich durch Hilfsnoppen erzwingen, welche vor dem Einlegen des Lichtwellenleiters 1 in der Längsnut angebracht werden und sich beim Betrieb der Spulenwicklung auflösen. 45

Beispielsweise können in der Längsnut 3 Noppen aus Wachs angebracht werden, zwischen welchen sich der Lichtwellenleiter 2 durchschlängelt. Nach dem Wickeln der Spule werden sie thermisch zerstört oder im Imprägnieröl des Oelbades aufgelöst.

50 Abschliessend kann gesagt werden, dass mit der Erfindung die Voraussetzungen geschaffen werden, um DTS bei Spulenwicklungen wie z.B. Drosselspulen und Transformatoren anwenden zu können.

Patentansprüche

- 55 1. Spulenwicklung aus einem mit einer Isolation (4) versehenen elektrischen Leiter (1), welche mit einem Lichtwellenleiter (2) zum Zweck einer verteilten Temperaturmessung überwacht wird, dadurch gekennzeichnet, dass
- a) der elektrische Leiter (1) an der dem Zentrum der Spulenwicklung zugewandten Seite unter der Iso-

lation eine Längsnut (3) aufweist,

b) dass der Lichtwellenleiter (2) lose in der Längsnut (3) liegt und

c) dass der Lichtwellenleiter (2) gegenüber dem elektrischen Leiter (1) eine Ueberlänge hat, welche ausreicht, um ihn bei starker thermischer Ausdehnung des elektrischen Leiters (1) vor übermässiger Dehnung zu bewahren.

2. Spulenwicklung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsnut (3) nicht tiefer als bis zu der biege-neutralen Mittelebene (M) des elektrischen Leiters (1) eindringt, so dass die Längsachse (A) des Lichtwellenleiters (2) um eine Distanz d bezüglich der Mittelebene (M) gegen das Zentrum der Spulenwicklung hin verschoben ist.

3. Spulenwicklung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsnut 1 - 2 Mal so tief und 2 - 5 Mal so breit ist wie ein Durchmesser des Lichtwellenleiters (2).

4. Spulenwicklung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Ueberlänge ($\frac{\Delta L}{L}$) des Lichtwellenleiters grösser als 0.001 ist.

5. Spulenwicklung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Ueberlänge ($\Delta L/L$) grösser als 0.005 ist.

6. Spulenwicklung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolation eine Papierisolation (4) ist, welche den Lichtwellenleiter (2) in der Längsnut seitlich verschiebbar festhält.

7. Verfahren zum Herstellen einer Spulenwicklung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
a) der Lichtwellenleiter (2) in die Längsnut (3) des elektrischen Leiters (1) lose eingelegt wird,
b) dass der elektrische Leiter (1) auf eine Hilfstrommtel (5) mit einem Trommelradius r_T so aufgewickelt wird, dass die Längsnut (3) mit dem eingelegten Lichtwellenleiter (2) nach aussen zu liegen kommt,
c) dass der elektrische Leiter (1) danach von der Hilfstrommtel (5) so zur Spulenwicklung (6) aufgewickelt wird, dass die Längsnut (3) auf die Innenseite des elektrischen Leiters (1) zu liegen kommt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass zum Fixieren des Lichtwellenleiters (2) in der Längsnut (3), der elektrische Leiter (1) nach dem Einlegen des Lichtwellenleiters (2) mit einer Papierisolation (4) umwickelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass Distanz d, Trommelradius r_T und Spulenradius r_s so gewählt sind, dass die relative Ueberlänge $\Delta L/L$ aufgrund der Formel

$$\frac{\Delta L}{L} = d \left(\frac{1}{r_s} + \frac{1}{r_T} \right)$$

gegeben ist.

Claims

1. Coil winding made from an electric conductor (1) provided with insulation (4), which winding is monitored by means of an optical fibre (2) for the purpose of a distributed temperature measurement, characterised in that

a) on its side facing the centre of the coil winding the electric conductor (1) has a longitudinal groove (3) under the insulation,

b) the optical fibre (2) lies loosely in the longitudinal groove (3), and

c) the optical fibre (2) has an excess length with respect to the electric conductor (1) which suffices to protect it against excessive strain in the event of strong thermal expansion of the electric conductor (1).

2. Coil winding according to Claim 1, characterised in that the longitudinal groove (3) penetrates no deeper than up to the flexurally neutral central plane (M) of the electric conductor (1), so that the longitudinal axis (A) of the optical fibre (2) is displaced towards the center of the coil winding by a distance d with respect to the central plane (M).

3. Coil winding according to Claim 2, characterised in that the longitudinal groove is 1 - 2 times as deep and

2 - 5 times as wide as the diameter of the optical fibre (2).

4. Coil winding according to Claim 2, characterised in that the relative excess length $\frac{(\Delta L)}{L}$ of the optical is greater than 0.001.
5. Coil winding according to Claim 4, characterised in that the relative excess length $(\Delta L/L)$ is greater than 0.005.
6. Coil winding according to Claim 3, characterised in that the insulation is paper insulation (4) which retains the optical fibre (2) in the longitudinal groove in a laterally displaceable fashion.
7. Method for producing a coil winding according to Claim 1, characterised in that
 - a) the optical fibre (2) is loosely inserted in the longitudinal groove (3) of the electric conductor (1),
 - b) the electric conductor (1) is wound up on to an auxiliary drum (5) having a drum radius of r_T in such a way that the longitudinal groove (3) with the inserted optical fibre (2) comes to lie outside, and
 - c) the electric conductor (1) is thereafter wound up by the auxiliary drum (5) to form the coil winding (6) in such a way that the longitudinal groove (3) comes to lie on the inside of the electric conductor (1).
8. Method according to Claim 7, characterised in that for the purpose of fixing the optical fibre (2) in the longitudinal groove (3) the electric conductor (1) is wrapped with paper insulation (4) after insertion of the optical fibre (2).
9. Method according to Claim 7, characterised in that the distance d , drum radius r_T and coil radius r_S are selected in such a way that the relative excess length $\Delta L/L$ is given by the formula

$$\frac{\Delta L}{L} = d \frac{(1)}{r_S} + \frac{1}{r_S}$$

30 Revendications

1. Bobine de spires composée d'un conducteur électrique (1) pourvu d'une isolation (4), qui est surveillée avec un guide d'ondes lumineuses (2) en vue d'une mesure répartie de température, caractérisée en ce que
 - a) le conducteur électrique (1) présente sous l'isolation une rainure longitudinale (3) sur le côté tourné vers le centre de la bobine de spires, en ce que
 - b) le guide d'ondes lumineuses (2) est posé librement dans la rainure longitudinale (3), et en ce que
 - c) le guide d'ondes lumineuses (2) présente, par rapport au conducteur électrique (1), une surlongueur qui suffit pour le protéger contre un allongement excessif lors d'une dilatation thermique importante du conducteur électrique (1).
2. Bobine de spires suivant la revendication 1, caractérisée en ce que la rainure longitudinale (3) ne pénètre essentiellement pas, en profondeur, plus loin que le plan moyen neutre de flexion (M) du conducteur électrique (1), de sorte que l'axe longitudinal (A) du guide d'ondes lumineuses (2) est décalé d'une distance (d) par rapport au plan moyen (M) dans le sens opposé au centre de la bobine de spires.
3. Bobine de spires suivant la revendication 2, caractérisée en ce que la rainure longitudinale est 1 - 2 fois aussi profonde et 2 - 5 fois aussi large qu'un diamètre du guide d'ondes lumineuses (2).
4. Bobine de spires suivant la revendication 2, caractérisée en ce que la surlongueur relative $(\Delta L/L)$ du guide d'ondes lumineuses est supérieure à 0,001.
5. Bobine de spires suivant la revendication 4, caractérisée en ce que la surlongueur relative $(\Delta L/L)$ est supérieure à 0,005.
6. Bobine de spires suivant la revendication 3, caractérisée en ce que l'isolation est constituée par un papier isolant (4), qui laisse le guide d'ondes lumineuses (2) mobile latéralement dans la rainure longitudinale.
7. Procédé pour fabriquer une bobine de spires suivant la revendication 1, caractérisé en ce que

- a) on pose le guide d'ondes lumineuses (2) librement dans la rainure longitudinale (3) du conducteur électrique (1), en ce que
- b) on enroule le conducteur électrique (1) sur un tambour auxiliaire (5) avec un rayon de tambour r_T , de telle façon que la rainure longitudinale (3) dans laquelle est posé le guide d'ondes lumineuses (2) se dispose vers l'extérieur, et en ce que
- c) on déroule ensuite le conducteur électrique (1) du tambour auxiliaire (5) et on l'enroule en une bobine de spires (6) de telle façon que la rainure longitudinale (3) vienne se placer sur le côté intérieur du conducteur électrique (1).

8. Procédé suivant la revendication 7, caractérisé en ce que, pour la fixation du guide d'ondes lumineuses (2) dans la rainure longitudinale (3), on enrobe le conducteur électrique (1) avec un papier isolant (4), après la pose du guide d'ondes lumineuses (2).

9. Procédé suivant la revendication 7, caractérisé en ce que la distance (d), le rayon de tambour (r_T) et le rayon de bobine (r_S) sont choisis de façon telle que la surlongueur relative ($\Delta L/L$) soit donnée par la formule:

$$\frac{\Delta L}{L} = d \left(\frac{1}{r_S} + \frac{1}{r_T} \right)$$

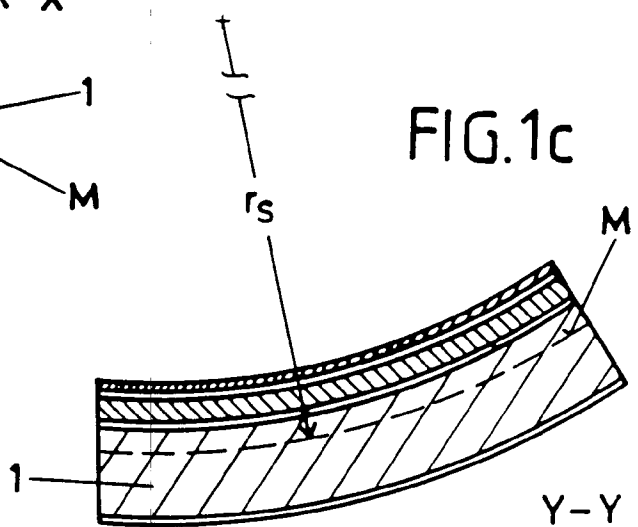
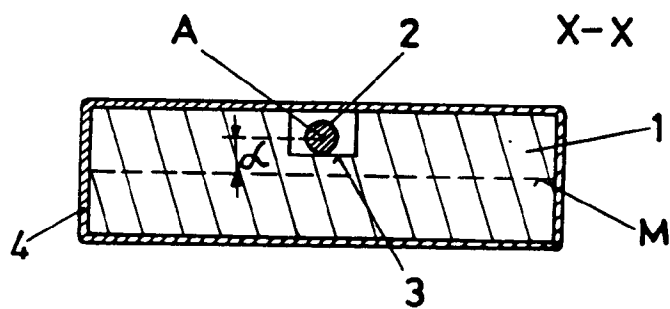
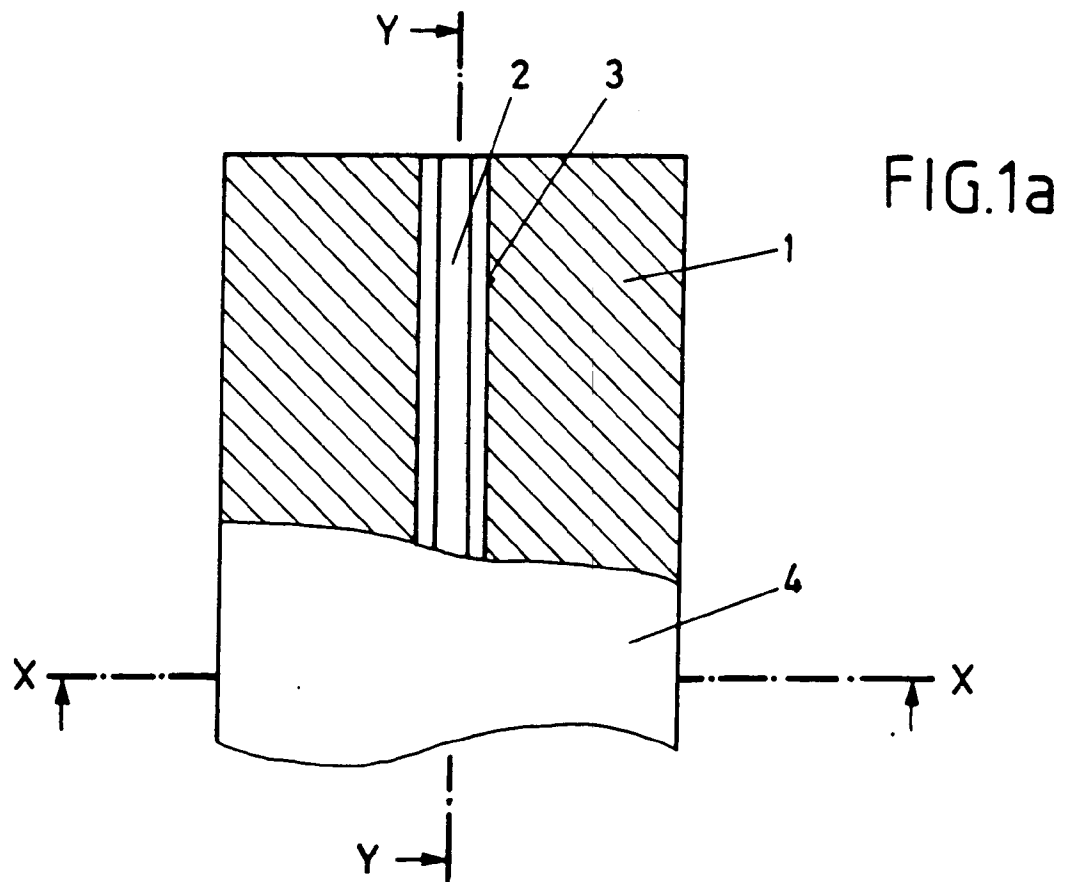


FIG. 2a

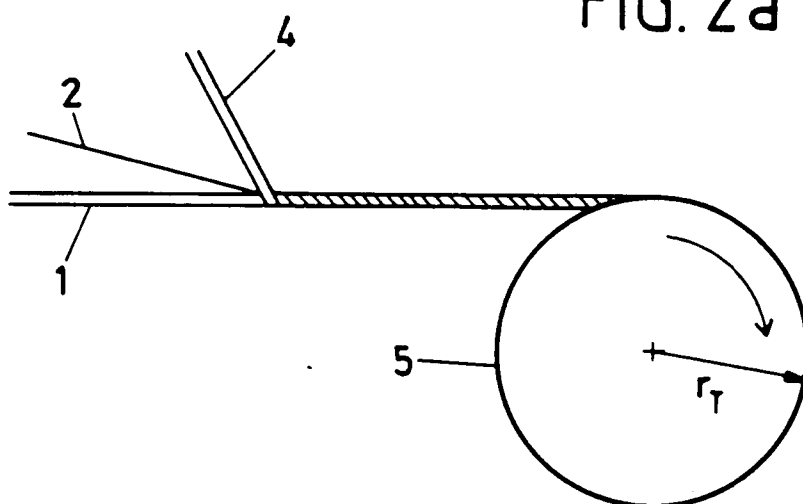


FIG. 2b

