



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 312 232**

⑫ Número de solicitud: 200501962

⑬ Int. Cl.:
H01B 11/02 (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

⑮ Fecha de presentación: **04.08.2005**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **16.02.2009**

Fecha de la concesión: **09.09.2009**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **22.09.2009**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:
22.09.2009

⑲ Titular/es: **Universidad de Vigo
Campus Universitario Lagoas Marcosende
36310 Vigo, Pontevedra, ES**

⑳ Inventor/es: **Martínez-Peñalver Freire, Carlos;
Lorenzo López, José Carlos;
Marcos Acevedo, Jorge;
Lago Ferreiro, Alfonso;
Doval Gandoy, Jesús;
Nogueiras Meléndez, Andrés Augusto;
Vilas Iglesias, José Manuel;
Rodríguez Martínez, Benito;
Camiña Kaphammel, Ana y
Caballero Campo, Belén**

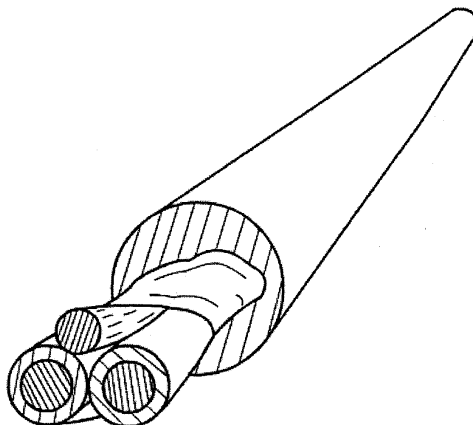
㉑ Agente: **No consta**

㉒ Título: **Procedimiento de predicción y control de la inductancia de un cable de par trenzado con drenaje, apantallado con lámina de doble capa y con cubierta protectora, mediante la variación del paso del trenzado.**

㉓ Resumen:

Procedimiento de predicción y control de la inductancia de un cable de par trenzado con drenaje, apantallado con lámina de doble capa y con cubierta protectora, mediante la variación del paso del trenzado.

El procedimiento permite la predicción y el control de la inductancia eléctrica de un cable de par trenzado determinada por las dimensiones y la naturaleza de los elementos que lo conforman, y controlada mediante el parámetro paso del trenzado. El resultado de su aplicación es la obtención de un cable final de inductancia predefinida o la determinación de las características de diseño del cable a fabricar para satisfacer un valor de esta característica eléctrica. El procedimiento y el producto de su aplicación son de interés en la industria de fabricación de cable destinado a transmisión de señal o a alimentación de circuitos electrónicos.



Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de predicción y control de la inductancia de un cable de par trenzado con drenaje, apantallado con lámina de doble capa y con cubierta protectora, mediante la variación del paso del trenzado.

Sector de la técnica

La invención se enmarca en el sector técnico de procesos de fabricación y mejora de características de cable destinado a la transmisión de señales eléctricas o alimentación de circuitos electrónicos.

Estado de la técnica

En la actualidad existen múltiples tipos de cables destinados a transmitir señales eléctricas entre dispositivos electrónicos o a alimentar circuitos electrónicos de finalidades muy dispares. Debido a la repercusión que las características eléctricas de los cables, como medios de transmisión, presentan en la calidad de las señales a transmitir, se hace necesario el control de las mismas.

Uno de los parámetros eléctricos más importantes de una línea de transmisión eléctrica es la inductancia. El control de la inductancia de un cable permite asegurar cierto comportamiento e integridad en la señal eléctrica que se pretende transmitir por dicho medio físico. Este parámetro se suele obtener empíricamente en ensayos de productos finales ya fabricados o de forma aproximada a través de expresiones genéricas poco precisas, que no tienen en cuenta los parámetros de diseño de ciertos cables especiales. Uno de los cables más empleados en transmisión de señal es el par trenzado, que puede llevar incorporados apantallamiento y cubiertas. Cada uno de estos elementos, en función de sus dimensiones y propiedades físicas, y en función del proceso de fabricación a través del cual se incorporan al cable final, aporta una variación de la inductancia al conjunto que es necesario cuantificar y predecir.

Los sistemas de transmisión de señales por cable estandarizados exigen, normalmente, un valor máximo permitido de inductancia, pero suelen estar orientados a tipos de cables muy determinados en cuanto a dimensiones y materiales. El control de este parámetro para cables genéricos está abierto a determinaciones más precisas.

Es de gran interés, por tanto, obtener una racionalización del proceso de fabricación y un modelo de predicción y control de la inductancia de un par trenzado en función del principal parámetro de diseño del mismo, el paso del trenzado o también el número de vueltas por metro, y en función de las características de los elementos (pantallas, drenajes, cubiertas) que se incorporan al mismo para conformar el cable final. La presente invención consiste en un novedoso procedimiento que establece de forma precisa el valor de la inductancia de un cable final (Fig. 1) a partir de la selección de los elementos que lo componen, y mediante la variación de las características del trenzado en el proceso de fabricación, lo que permite controlar su inductancia.

Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a un nuevo procedimiento para el control de la inductancia desde la fabricación de un cable de par trenzado, a partir del control de la relación entre la velocidad de avance y recogida del cable final en la máquina de trenzado, y la velocidad de giro del elemento que aporta la torsión a los cables individuales para establecer la hélice final. El nuevo método también predice y cuantifica la influencia del apantallamiento, con cinta flexible de doble capa y la cubierta aportada por extrusión al conjunto trenzado, sobre la inductancia del cable final.

El primer parámetro que determina este procedimiento es la relación entre el avance y el giro de los conductores en el proceso de trenzado, es decir, el número de vueltas por metro que tiene el trenzado final, que también se caracteriza mediante su inverso, el paso ($p=1/n$), o también por el ángulo de avance de la hélice que forman los conductores. A esta variable fundamental se incorporan los parámetros que definen las características del apantallamiento y la protección con cubierta aislante.

Par trenzado simple

El análisis de la variación de la inductancia del par trenzado (Fig. 2) respecto al número de vueltas por metro (n), o su inverso, el paso ($p=1/n$), aporta una tendencia de incremento de inductancia dependiente del valor de la citada variable (n). El término que expresa la variación de inductancia respecto el aumento del número de vueltas por metro depende de la distancia que separa los conductores y del medio que los rodea, es decir, del espesor y la permeabilidad magnética del aislamiento. Los términos en los que se muestra esta tendencia se establecen según los criterios siguientes:

- El trenzado de un par de conductores para obtener un cable final de longitud predefinida exige una longitud de estos conductores mayor que la del cable final. Es decir, el trenzado implica un incremento de longitud de los cables conforme se reduce el paso para obtener una longitud establecida de cable final. Este aspecto tiene su repercusión en el valor de la inductancia por unidad de longitud del cable trenzado, que sufre un evidente incremento.

- La forma que se origina al trenzar los cables provoca una variación de la inductancia que depende del número de vueltas por unidad de longitud. La reducción del paso del trenzado implica una deformación del aislamiento que aproxima los conductores del cable entre sí, es decir, reduce la distancia entre ellos, y este aspecto provoca una disminución de la inductancia.

Entonces, la expresión de la inductancia por unidad de longitud del par trenzado se establece inicialmente, y sin desarrollar, como se muestra en la ecuación (1):

$$L = \frac{\mu}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2a \cdot s} \right) \right) \cdot [(1 + \Delta l) + \Delta L(n)] \quad (1)$$

que, si se desarrolla el término que expresa el incremento de longitud, se transforma en

$$L = L_i + L_e = \frac{\mu}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2a \cdot s} \right) \right) \cdot \left(1 + n \cdot \left(\sqrt{(2\pi \cdot r_c)^2 + \left(\frac{1}{n} \right)^2} - \frac{1}{n} \right) \right) - L_{\Delta L n}(n), \text{ o también}$$

$$L = L_i + L_e = \frac{\mu}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2a \cdot s} \right) \right) \cdot \left(\sqrt{(tg\theta)^2 + 1} \right) - L_{\Delta L n}(\theta) \text{ (Se debería numerar)}$$

donde la inductancia (L) está formada por la inductancia externa (L_e) y la inductancia interna (L_i) del par de conductores.

n = número de vueltas por metro del trenzado

a = radio de los conductores

d = diámetro total de cada conductor, incluyendo el aislamiento

μ = permeabilidad magnética del medio

θ = ángulo de avance de la doble hélice

s = factor multihilo o stranding factor

$L_{\Delta L n}(\theta)$ = término que expresa la variación de inductancia en función del trenzado

Los valores de inductancia foral difieren entre los distintos modelos de cable, con idénticas condiciones de trenzado, en función de la sección de los conductores y las dimensiones particulares de cada cable (radio medio, espesor de aislamiento). Sin embargo, la tendencia con la que se aproxima la reducción de inductancia respecto al número de vueltas, o respecto al ángulo de avance del trenzado, es común a todos ellos. Esta tendencia es la que se muestra en la ecuación (1) en el término $\Delta L(n)$. Este término cuantifica la influencia de la forma helicoidal del par trenzado en la inductancia de los cables. Con el fin de establecer un modelo común a todos los tipos de cables, se parte del caso de cables paralelos ($n=0$). El valor de inductancia para cada modelo de cable en estas condiciones se toma como umbral. Al dividir el valor de inductancia de cada cable, trenzado con un número de vueltas por metro determinado, entre este valor umbral se deduce la relación entre la inductancia del cable en esas condiciones de trenzado y a cero vueltas por metro. En un espectro lo suficientemente amplio (mínimo 10) de muestras se obtiene la tendencia de variación de la inductancia de cada tipo de cable en función de la variable n ; este modelo lo denominamos **modelo incremental**. La primera e importante aportación de esta invención es la definición del modelo incremental para la determinación de la inductancia del cable, que refleja el incremento de inductancia respecto al par sin trenzar y que se ajusta con gran precisión mediante polinomios de tercer orden. Los valores de los coeficientes de estos polinomios incrementales se establecen a partir de tablas de características y gráficas particulares de cada cable, pero el fabricante puede obtener sus valores mediante ensayos de inductancia según se describe en el apartado de *cálculo del polinomio geométrico*. A partir de este punto cada tipo de cable queda definido mediante el modelo incremental, de tal modo que simplemente con conocer sus dimensiones es posible calcular el valor de inductancia para un número de vueltas por metro determinado, y con un escaso error de estimación.

La variación de la inductancia del par trenzado queda definida en este modelo incremental por medio del **polinomio geométrico**, que aproxima la variación unitaria de inductancia del cable al variar la forma de la hélice del par trenzado. Cada polinomio geométrico aporta la aproximación de la variación de inductancia unitaria (respecto a la inductancia

umbral, que es la inductancia entre dos hilos sin trenzar) debido a la compleja forma que los cables toman en el espacio, teniendo en cuenta la deformación que provoca el trenzado en el aislamiento (Fig. 3), y donde los efectos inductivos se reducen conforme disminuye la distancia entre los conductores, porque con el trenzado se aproxima y se modifica el campo magnético teórico inicial. En consecuencia, se establece un modelo de comportamiento para el incremento de inductancia del par trenzado según el término expresado a continuación:

$$n \cdot L_{\Delta n}(n) = n \cdot (K_n + J_n \cdot n + I_n \cdot n^2) = \theta \cdot (I_\theta + J_\theta \cdot \theta + K_\theta \cdot \theta^2) \quad (2)$$

que, al sustituir en la ecuación (1) da lugar a la siguiente expresión para la inductancia (por unidad de longitud) del par trenzado:

$$L = \frac{\mu}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot \left(\sqrt{(2\pi n)^2 + 1} \right) - \frac{\mu}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot [K_n \cdot n^3 + J_n \cdot n^2 + I_n \cdot n] \quad (3)$$

donde I_n , I_θ , J_n , J_θ , K_n , y K_θ son coeficientes específicos de cada modelo de cable, y dependen de las dimensiones del cable y del tipo de material del aislamiento. Los polinomios geométricos incluyen la influencia de la disposición geométrica de los conductores en el espacio en todos sus aspectos y la deformación que origina el trenzado (Fig. 4). Las variables son (n) [Vueltas/m] o ángulo de avance del par trenzado (θ). La permeabilidad magnética equivalente es $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$, con lo cual la ecuación anterior se establece de la forma siguiente:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot \left(\sqrt{(2\pi n)^2 + 1} \right) - \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot [K_n \cdot n^3 + J_n \cdot n^2 + I_n \cdot n] \quad (4)$$

o también

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot \left[\sqrt{(tg\theta)^2 + 1} \right] - \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot [K_\theta \cdot \theta^3 + J_\theta \cdot \theta^2 + I_\theta \cdot \theta] \quad (5)$$

que son dos expresiones equivalentes y cuya diferencia está en que se emplea como variable el número de vueltas por unidad de longitud (n) o el ángulo de avance (θ), que son magnitudes relacionadas mediante la expresión $n = \frac{tg\theta}{2\pi \cdot r}$.

Los parámetros μ_0 y μ_r son, respectivamente, la permeabilidad magnética del vacío y la permeabilidad magnética relativa del medio que rodea al par de conductores.

La ecuación que expresa esta variación de inductancia se establece entonces de la forma siguiente:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot \left(\left[\sqrt{(tg\theta)^2 + 1} \right] - [K_\theta \cdot \theta^3 + J_\theta \cdot \theta^2 + I_\theta \cdot \theta] \right), \text{ o}$$

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot \left(\left[\sqrt{(2\pi n)^2 + 1} \right] - [K_n \cdot n^3 + J_n \cdot n^2 + I_n \cdot n] \right) \quad (6)$$

Cálculo del polinomio geométrico. El valor de los coeficientes del polinomio geométrico de cada cable se obtiene de tablas (Tabla 1) y gráficas particulares para cada modelo de cable (Fig. 5).

TABLA 1

Coefficientes de los polinomios geométricos de distintos cables

Tipo de cable	Kn	Jn	In
Sección conductor: 0.50 mm ² , 16 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.41mm	3,19E-07	-4,86E-05	3,55E-03
Sección conductor: 0.35 mm ² , 7 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.32mm	2,35E-07	-4,41E-05	3,35E-03

Si no se dispone de datos para un determinado tipo de cable o para un modelo nuevo, se pueden obtener a partir de ensayos, tal y como se indica a continuación. Será necesario elaborar un conjunto de muestras de cable trenzadas con

un número de vueltas por metro variable desde cero a un máximo de $\frac{0,1351}{r}$, donde r es el radio (en metros) del cable

a trenzar. Estas muestras deben ser representativas del rango de vueltas por metro permitido, por lo que el conjunto deberá tener un valor de esta característica adecuadamente repartido en todo el rango de vueltas por metro, y la longitud de las mismas no debe ser inferior a un metro. Además, el número de muestras no debe ser inferior a diez para garantizar la validez de los resultados. Cuanto mayor sea el número de muestras, mayor será la precisión del ajuste en la obtención del polinomio geométrico. A las muestras realizadas se deben añadir un mínimo de tres con conductores paralelos ($n = 0$) bien unidos. La finalidad de este último paso es la de obtener un valor fiable de inductancia del par de cables paralelos para utilizar como valor umbral en el proceso de cálculo. Una vez obtenidas las muestras se procede a realizar la medida de la inductancia en un equipo de medida (anализador de redes, medidor de impedancias) calibrado y con una precisión en la medida del orden de 1 a 10 [nH]. Los ensayos miden inductancia y deben realizarse en condiciones estables de humedad y temperatura, para los cuales los valores de estas características se deben establecer entre un 40% y un 60% para la humedad relativa y $23[^\circ\text{C}] \pm 2[^\circ\text{C}]$ para la temperatura. La recopilación de resultados se analiza con la composición de una función matemática que aporta el valor de inductancia y la variable (n) [Vueltas/m]. Para obtener una función del modelo incremental, en primer lugar se dividen todos los valores de la inductancia obtenidos entre el valor medio de la inductancia de las muestras de conductores paralelos ($n=0$). De este modo se obtienen valores porcentuales de incremento de la inductancia respecto al incremento de la exigencia de trenzado. A la nueva colección de valores se le resta el término que representa, para cada valor de n , el incremento de inductancia debido al incremento de longitud de los conductores, a medida que aumentan las vueltas de trenzado, que se expresa en la ecuación (5). Como resultado se logra un conjunto de valores de inductancia incremental en función de la variable (n) [Vueltas/m]. A partir de ellos se busca una función matemática continua que represente con precisión la tendencia de estos valores. Esta función se establece por ajuste mediante una curva de tendencia modelada con un polinomio de orden 3. La función descrita es el polinomio geométrico del cable que se ensaya. A partir de este resultado se obtienen los valores de los coeficientes, que se pueden guardar en tablas, gráficas o cualquier medio que facilite, en el futuro, la aplicación del procedimiento que se describe en esta patente. También es posible realizar este proceso utilizando como variable el ángulo de avance del trenzado (θ). En estas condiciones se establece que la inductancia del par trenzado en el modelo incremental responde a la expresión mostrada en la ecuación (7).

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot \left(\left[\sqrt{(tg\theta)^2 + 1} \right] - [K_\theta \cdot \theta^3 + J_\theta \cdot \theta^2 + I_\theta \cdot \theta] \right) \quad (7)$$

Influencia del conductor de drenaje

La influencia del conductor de drenaje sobre la inductancia no es tan importante y evidente como sobre otras magnitudes, como por ejemplo la capacidad. Los parámetros de mayor importancia para la modificación del valor de la inductancia son la permeabilidad magnética y la distancia entre los centros efectivos de los conductores que forman el cable.

A pesar de que al introducir el conductor de drenaje se modifica la configuración del conjunto (Fig. 6), los dos parámetros que condicionan el valor de la inductancia del cable apenas se ven afectados. La permeabilidad equivalente de dicho conjunto se altera por haber introducido el nuevo conductor, pero su influencia es despreciable; en consecuencia, se considera nula la variación de su valor sin temor a introducir errores apreciables. El cobre es un material diamagnético con un valor de susceptibilidad de valor $-0.98\text{E-}05$. Por tanto, aún siendo todo el espacio que rodea a los conductores del par de este material, su influencia sería del orden siguiente:

$\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi_m) = \mu_0 \cdot (1 + (-0.98 \cdot 10^{-5})) = \mu_0 \cdot (1 - 0.0000098) = \mu_0 \cdot 0.9999902$, que es prácticamente igual a considerar la permeabilidad magnética del vacío. Este valor será más próximo a uno si se tiene en cuenta que

solamente ocupa una pequeña región de toda la zona que rodea a los conductores del par. Por lo tanto, se concluye que la influencia de la variación de permeabilidad es despreciable.

El segundo de los parámetros que determinan la inductancia del cable es la distancia entre los conductores. El efecto que aporta el conductor de drenaje desde un punto de vista geométrico, en líneas generales, se reduce a la modificación de la distribución del trenzado inicial (par simple); aumenta el radio de giro del cable, pero sin embargo la distancia entre los conductores varía poco respecto a la inicial (d). Al introducir el drenaje en muestras de bajo número de vueltas por metro, se consigue un mayor empaquetamiento del par trenzado; es decir, el drenaje ayuda a una mayor compactación del conjunto, que, si bien es obvio que la distancia teórica entre conductores es constante, la distancia real se reduce (el drenaje no permite tanta desviación en el contacto de los conductores). Como consecuencia, en estos casos la inductancia es ligeramente inferior (no más del 5%) a la del par simple. Al aumentar el número de vueltas por metro en las muestras, se va reduciendo este efecto, e incluso se invierte la relación, porque la existencia del drenaje no permite que los conductores se empaqueten tanto entre sí y deformen su aislamiento tan notablemente. El motivo es que el conductor de drenaje soporta gran parte de esa deformación (no lleva aislamiento, y su forma no es tan rígida) (Fig. 7).

En resumen, se establece el valor de la inductancia la siguiente expresión:

$$L = L_{hilos} + \Delta L_{\Delta l} + \Delta L_{\Delta n} - \Delta L_{drenaje} \quad (8)$$

donde L_{hilos} es la inductancia del par de cables paralelos, $\Delta L_{\Delta l}$ es el incremento de inductancia debido al incremento de longitud por efecto del trenzado y $\Delta L_{\Delta n}$ es el término que refleja el polinomio geométrico. Los parámetros físicos que originan estos términos son la distancia media entre conductores y la posición relativa de ambos. El último término ($\Delta L_{drenaje}$) no es más que la variación de los parámetros que se acaban de comentar al introducir el conductor de drenaje; no implica ningún nuevo parámetro o concepto, sino que se debe a la variación de las características de la **ecuación (6)**.

Al considerar la variación de características según se ha descrito, se plantea la siguiente ecuación:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot (\mu_r + \Delta\mu_{r_d})}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + \Delta d_d}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r_{p+d} \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right] \quad (9)$$

en la cual es posible despreciar el incremento de permeabilidad del conjunto ($\Delta\mu_{r_d}$), y donde Δd_d es la variación de la distancia teórica entre los conductores, y r_{p+d} es el radio de la triple hélice formada, de valor teórico:

$$r_{p+d} = \frac{\sqrt{(d-e)^2 + 2 \cdot d^2}}{3}, \text{ donde } e \text{ es el espesor del aislamiento y } d \text{ el diámetro de cada cable.}$$

Variación de la distancia entre conductores (Δd_d)

La variación de la distancia entre conductores Δd_d sigue un modelo de aproximación lineal, tal y como se expresa en la expresión siguiente:

$$\Delta d_d = D_1 \cdot n - D_0 \cdot d$$

donde

D_0 y D_1 son coeficientes adimensionales que dependen de la rigidez del aislamiento

d = distancia inicial entre centros de los conductores (igual al diámetro inicial de cada cable)

n = número de vueltas por metro del trenzado

El valor de los coeficientes D_0 y D_1 se puede determinar a partir de tablas y gráficas específicas para cada modelo de cable (Tabla 2) o mediante ensayos dimensionales.

TABLA 2

Coeficientes de ajuste de la distancia media entre conductores

Tipo de cable	D ₁	D ₀
Sección conductor: 0.50 [mm ²], 16 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.41[mm]	1,5E-06	0,088
Sección conductor: 0.35 [mm ²], 7 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.32[mm]	1,7E-06	0,092

Si no se dispone de valores para estos coeficientes se pueden obtener tal y como se indica a continuación. Se necesita un conjunto de muestras de cable trenzadas con un número de vueltas por metro, variable desde cero a

un máximo de $\frac{0,1351}{r}$, donde r es el radio (en metros) del cable a trenzar; se pueden utilizar las empleadas para

determinar los coeficientes de los polinomios geométricos, si se ha seguido este procedimiento. Al igual que en el citado caso, las muestras deben ser representativas del rango de vueltas por metro permitido, por lo que el conjunto deberá tener un valor de esta característica adecuadamente repartido en todo el rango de vueltas por metro, y la longitud de las mismas no debe ser inferior a un metro. Además, el número de muestras no debe ser inferior a diez para garantizar la validez de los resultados. Cuanto mayor número de muestras, mayor será la precisión del ajuste según el modelo descrito. Sobre estas muestras se deben realizar cortes de precisión que permitan obtener secciones del aislamiento de los cables del par sin modificar la forma que el trenzado ha determinado. Estas secciones deben ser de un espesor inferior a 1 mm (1E-03 m) y de ellas se mide el diámetro medio. La precisión de este procedimiento está directamente condicionada por el equipo y el método de medida utilizados. Una vez obtenidos los valores se procede a realizar los cálculos de ajuste de D_0 y D_1 al modelo descrito; el valor del incremento de la distancia se obtiene al comparar el valor medido para cada sección con el valor teórico. La recopilación de resultados se linealiza o aproxima mediante una función matemática como la descrita para Δd_d y con variable el parámetro (n) [vueltas/m]. Como resultado se establece una expresión de la variación de la distancia entre conductores que se aporta a la ecuación (9), de tal modo que se concluye

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + [D_1 \cdot n - D_0 \cdot d]}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r_{p+d} \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right] \quad (10)$$

También es posible obtener los valores de estos coeficientes de forma indirecta si se realizan ensayos de medida de inductancia de muestras de par trenzado con drenaje de forma análoga a lo descrito para la determinación de los coeficientes del polinomio geométrico y se despejan de la expresión indicada en la ecuación (10).

Par trenzado apantallado

Un efecto más apreciable en la variación de la inductancia lo aporta el hecho de apantallar el cable de par trenzado. Desde un punto de vista cualitativo, se expresa el valor de la inductancia de la nueva configuración (Fig. 8) de la siguiente forma:

$$L = L_{hilos} + \Delta L_{\Delta l} + \Delta L_{\Delta n} - \Delta L_{pantalla} \quad (11)$$

donde $\Delta L_{pantalla}$ expresa un término que reduce el valor de la inductancia del cable de forma más apreciable que en el caso anterior. El motivo de esta reducción se debe a una disminución de la distancia real que separa los conductores del par. A pesar de que se considera una distancia teórica constante, la distancia real se ve reducida porque el apantallamiento ejerce una fuerza de compresión del par que envuelve. Este efecto, menos importante en el caso de la capacidad, por ejemplo, es bastante apreciable en la medida de la inductancia. Por tanto, el término destacado de la ecuación anterior representa la contribución de ese empaquetamiento del par trenzado, provocado por el apantallamiento, a la reducción de la inductancia (Fig. 9). Como en el caso anterior, se considera despreciable la contribución de la pantalla a la variación de la permeabilidad magnética del conjunto. La ecuación de la inductancia para este caso se expresa de la siguiente forma:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot (\mu_r + \Delta \mu_{r_{pant}})}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + \Delta d_{pant}}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot (r + \Delta r_{pant}) \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right] \quad (12)$$

ES 2 312 232 B2

$\Delta\mu_{\text{pant}}$ = incremento de la permeabilidad magnética relativa al introducir la pantalla; se considera próximo a cero, con lo que es posible evitar su consideración.

Δd_{pant} = variación de la distancia entre conductores del par al apantallar; es negativo, y representa la reducción de la distancia entre los conductores (respecto a la distancia teórica o nominal) debida al empaquetamiento que impone la pantalla.

Δr_{pant} = variación del radio medio de cada cable debida a la deformación del aislamiento (resultado de la presión ejercida por la pantalla); su valor es negativo, porque representa la reducción del radio de giro.

El efecto de reducción de distancia debida al apantallamiento es menos apreciable, y tiende a ser nulo, cuando se eleva mucho el número de vueltas por metro. El motivo es que en estas condiciones los conductores del par mantienen una distancia constante porque el trenzado exigente al que han sido sometidos alcanza un grado de empaquetamiento poco deformable. Los conductores del par adoptan una forma que presenta mayor dificultad para deformarse y que sea posible una mayor aproximación sin que se deforme considerablemente el aislamiento (tendencia al máximo empaquetamiento). En esta situación, la cinta que se envuelve sobre el par en el proceso de fabricación, supone muy poca aproximación adicional de los conductores. El concepto de variación de la distancia nominal por efecto de la pantalla se muestra de modo gráfico en la figura 9.

La ecuación 12 se aproxima según se puede ver en la siguiente ecuación:

$$L = \frac{\mu_{eq}}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + \Delta d_{\text{pant}}}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot (r + \Delta r_{\text{pant}}) \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right] \quad (13)$$

Variación de la distancia entre conductores (Δd_{pant}) y del radio de giro del trenzado (Δr_{pant})

La variación de la distancia entre conductores Δd_{pant} cuando se introduce una pantalla de tipo laminar que envuelve al par trenzado sigue un modelo de aproximación cuadrático que depende del parámetro (n) [vueltas/m], tal y como se indica en la expresión siguiente:

$$\Delta d_{\text{pant}} = D_2 \cdot n^2 + D_1 \cdot n + D_0$$

que es un término negativo (disminuye la distancia entre centros de los conductores), y en el cual D_0 , D_1 y D_2 son coeficientes adimensionales que dependen de la rigidez del aislamiento y n es el número de vueltas por metro del trenzado.

El valor de los coeficientes D_0 y D_1 y D_2 se establece a partir de tablas y gráficas específicas para cada modelo de cable (Tabla 3) o mediante ensayos dimensionales.

TABLA 3

Coeficientes de ajuste de la distancia media entre conductores

Tipo de cable	D_0	D_1	D_2
Sección conductor: 0.50 [mm ²], 16 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.41[mm]	-5,2167E-01	6,299E-03	-2,9653E-05
Sección conductor: 0.35 [mm ²], 7 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.32[mm]	-3,9261E-01	6,4542E-03	-2,7713E-05

Si no se dispone de valores para estos coeficientes se pueden obtener por el mismo procedimiento que se aporta para el cálculo del incremento de distancia para el par trenzado con drenaje; la única diferencia reside en que la aproximación al modelo es de segundo orden en lugar de un modelo lineal. De este modo se calculan los valores de los coeficientes del modelo expresado en la ecuación (13), y que se muestra con más detalle en la ecuación (14).

$$L = \frac{\mu_{eq}}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + (D_2 \cdot n^2 + D_1 \cdot n + D_0)}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot (r + \Delta r_{\text{pant}}) \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right] \quad (14)$$

Como en el caso anterior, también es posible obtener los valores de estos coeficientes de forma indirecta si se realizan ensayos de medida de inductancia de muestras de par trenzado apantallado, de forma análoga a lo descrito para la determinación de los coeficientes del polinomio geométrico y se despejan de la expresión indicada en la ecuación (14).

La deformación del aislamiento por efecto de la tensión que aporta el apantallamiento origina una reducción de la distancia del centro efectivo de cada conductor al punto de contacto entre los dos cables del par trenzado. Es decir, además de una reducción de la distancia entre centros de los conductores, se produce una reducción del radio de giro de la hélice que forma dicho par. Por tanto, si la aproximación que se describe (Δd_{pant}) presenta un determinado valor,

la reducción del radio de giro en el trenzado será igual a la mitad del mismo, entonces, $\Delta r_{\text{pant}} = \frac{\Delta d_{\text{pant}}}{2}$. Por tanto, la expresión a aplicar en este caso será:

$$L = \frac{\mu_{eq}}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + (D_2 \cdot n^2 + D_1 \cdot n + D_0)}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{2\pi \cdot (r + [(D_2 \cdot n^2 + D_1 \cdot n + D_0)/2] \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right] \quad (15)$$

Par trenzado apantallado con conductor de drenaje

Al realizar el proceso de apantallamiento del par trenzado con conductor de drenaje (Fig. 10) se origina una variación de la inductancia, respecto al caso del par de conductores paralelos, cuantificable y predecible. De forma genérica se establece que

$$L = L_{\text{hilos}} + \Delta L_{\Delta l} + \Delta L_{\Delta n} - \Delta L_{\text{drenaje}} - \Delta L_{\text{pantalla}} \quad (16)$$

La diferencia es de consideración respecto al par trenzado con drenaje, pues se reduce la distancia media entre los conductores entre los que se mide la inductancia, tal y como se ha explicado en el apartado anterior. La expresión que muestra este comportamiento se establece de la forma siguiente:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot (\mu_r + \Delta \mu_{r_{\text{pant+d}}})}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + \Delta d_{\text{pant+d}}}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{2\pi \cdot (r + \Delta r_{\text{pant+d}}) \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right] \quad (17)$$

pero donde $\Delta \mu_{r_{\text{pant+d}}}$ se aproxima a cero. El valor de $(r + \Delta r_{\text{pant+d}})$ presenta un valor teórico igual a $r_{\text{pant+d}} = \frac{\sqrt{(d-e)^2 + 2 \cdot d^2}}{3}$

(si el drenaje fuese rígido); sin embargo, $\Delta r_{\text{pant+d}} = \frac{\Delta d_{\text{pant+d}}}{2}$ y la aproximación de $(r + \Delta r_{\text{pant+d}})$ al valor de r in-

troduce un error mínimo. El término $\Delta d_{\text{pant+d}}$ es similar a Δd_{pant} del apartado anterior; la aportación del drenaje a la inductancia es mínimo y, además de que presenta el mismo comportamiento que el que se ha explicado respecto al par simple, también se observa que su contribución es casi despreciable. Si se busca una aproximación muy precisa en la consecución de un valor de inductancia del cable foral, se puede cuantificar la diferencia según se explica en este apartado, pero también se puede considerar en las mismas condiciones que el par trenzado apantallado. El drenaje reduce levemente la inductancia con valores bajos de n , y la incrementa también de forma reducida conforme se consiguen valores de n elevados en un valor porcentual inferior al 2%. La razón de su escasa influencia es la buena adaptación a la forma del conjunto, que está determinada principalmente por el apantallamiento (Fig. 11). La consideración del conjunto par más drenaje apantallados, es equivalente a la del par apantallado. En la aplicación del procedimiento que se presenta se considera la variación de distancia del par apantallado.

Variación de la distancia entre conductores ($\Delta d_{\text{pant+d}}$) y del radio de giro del trenzado ($\Delta r_{\text{pant+d}}$)

La variación de la distancia entre conductores Δd_d , cuando se introducen un conductor de drenaje y una pantalla de tipo laminar que envuelve la triple hélice sigue un modelo de aproximación cuadrático que depende de la variable (n) [vueltas/m], tal y como se expresa en la expresión siguiente, de forma similar a lo expuesto para el caso del par trenzado simple:

$$\Delta d_{\text{pant+d}} = D_2 \cdot n^2 + D_1 \cdot n + D_0$$

que es un término negativo (disminuye la distancia entre centros de los conductores), y en el cual D_0 , D_1 y D_2 son coeficientes adimensionales que dependen de la rigidez del aislamiento y n es el número de vueltas por metro del trenzado. El aporte del conductor de drenaje limita la aproximación entre los conductores a la que obliga la pantalla.

ES 2 312 232 B2

En una comparación con el caso del par apantallado, se puede establecer que para trenzados de reducido número de vueltas por metro (n), el drenaje contribuye a la compactación de los cables, con lo que se reduce levemente la inductancia. Sin embargo, al elevar la exigencia de torsión de la triple hélice (aumento de n), el drenaje adapta su forma a la del conjunto pero obstaculiza la aproximación de los cables del par; el efecto en este último caso es el de valores de inductancia levemente superiores respecto al caso que se toma de referencia.

El valor de los coeficientes D_0 y D_1 y D_2 se establece a partir de tablas y gráficas específicas para cada modelo de cable (Tabla 3) o mediante ensayos dimensionales.

TABLA 3

Coeficientes de ajuste de la distancia media entre conductores

Tipo de cable	D_0	D_1	D_2
Sección conductor: 0.50 [mm ²], 16 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.41 [mm]	-4,8533E-01	6,3869E-03	-2,5907E-05
Sección conductor: 0.35 [mm ²], 7 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.32 [mm]	-3,5233E-01	6,2174E-03	-2,5812E-05

Si no se dispone de valores para estos coeficientes se pueden obtener por el mismo procedimiento que se aporta para el cálculo del incremento de distancia para el par trenzado con drenaje; la única diferencia reside en que la aproximación al modelo es de segundo orden en lugar de un modelo lineal. De este modo se calculan los valores de los coeficientes del modelo expresado en la ecuación (17), y que se muestra con más detalle en la ecuación (18).

$$L = \frac{\mu_{eq}}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + (D_2 \cdot n^2 + D_1 \cdot n + D_0)}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot (r + \Delta r_{pant+d}) \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right] \quad (18)$$

Como en el caso anterior, también es posible obtener los valores de estos coeficientes de forma indirecta, si se realizan ensayos de medida de inductancia de muestras de par trenzado apantallado, de forma análoga a lo descrito para la determinación de los coeficientes del polinomio geométrico, y se despejan de la expresión indicada en la ecuación (18).

Influencia de la cubierta

El hecho de aportar una cubierta al cable no afecta notablemente a la inductancia del mismo. Como se ha detallado en los apartados precedentes, los distintos pasos seguidos para la conformación del cable final contribuyen en mayor o menor medida a una reducción pequeña de la inductancia. La cubierta aporta rigidez al conjunto, y no permite la deformación del trenzado. Además de aportar una distancia constante entre los conductores del par (la cubierta suele ser de material plástico solidificado en tomo al conjunto anterior), no permite la deformación de lo que recubre. La principal ventaja de esta característica es la gran estabilidad que se consigue en los valores de medida de inductancia.

El procedimiento que se describe en el presente documento se enfoca desde dos puntos de vista diferentes, en función de las variables y requisitos de partida. En este sentido, es posible prever o modificar los parámetros ya indicados del proceso de fabricación del cable en cuestión, que permiten obtener un valor de inductancia predefinido, pero también es posible determinar la inductancia a partir de las dimensiones del cable y las variables especificadas para el proceso de fabricación. La aplicación del procedimiento de predicción y control que se expone en esta descripción, se especifica con mayor concreción en un conjunto de etapas necesarias para la aplicación correcta del mismo. A continuación se exponen de forma resumida y con la consideración de los dos planteamientos comentados:

Procedimiento (I):

Determinación de la inductancia del cable final a partir de las características de los elementos que lo componen y mediante la variable (n) [vueltas/m]

1. *Determinación del tipo de cable.* Definición del tipo de cable en función de la selección de los elementos que se introducen en el proceso de fabricación, como puede ser la pantalla, el drenaje y la cubierta. En esta fase se decide si el cable es un trenzado simple, un trenzado con pantalla, si lleva drenaje y si se incluye alguna cubierta.

ES 2 312 232 B2

2. *Análisis de las características dimensionales y tipos de materiales del cable seleccionado.* Selección de las dimensiones y materiales empleados en la fabricación del cable según las necesidades y exigencias de tipo mecánico, de resistencia de aislamiento, de propagación del fuego y de cualquier otra condición predefinida. Es decir, las exigencias de diseño previas a la determinación de las características, si existen, se aplican en esta fase.
3. *Elección de la forma y partes del cable.* En función del análisis de requisitos de los apartados 1 y 2, se establecen las características, dimensiones y tipos particulares de los elementos a utilizar; es decir, conductores, aislamientos, pantallas y drenaje.
4. *Obtención de los parámetros del modelo.* En función de las características del cable elegido en las fases anteriores, se obtienen los coeficientes del polinomio geométrico y el resto de parámetros del cable según el modelo expuesto.
 - 4.1. *Tablas y modelos estadísticos.*

Si existen tablas y gráficas con los datos anteriores, la determinación de los valores comentados es inmediata.
 - 4.2. *Ensayos de medida.*

La otra opción es realizar los ensayos de medida necesarios para determinar las características del cable que se emplea en el procedimiento y de las cuales no se conocen valores. Este paso solamente es necesario cuando se ensaya un tipo de cable nuevo.
5. *Determinación del valor o rango de valores de vueltas por unidad de longitud deseados.* Definir el paso del trenzado (p) o el número de vueltas por metro ($n=1/p$) deseado.
6. *Obtención del valor de inductancia del cable a fabricar.* Al aplicar el método descrito en este procedimiento se determina el valor de inductancia por unidad de longitud que presenta el cable diseñado. En el caso de que el valor obtenido no sea admitido como válido, se puede reiniciar el proceso volviendo al punto 1. También es posible replantear el proceso desde los puntos 2 y 3 porque se conoce la influencia de los aspectos que en ellos se describen sobre el resultado final.
7. *Deducción del algoritmo de control del proceso de fabricación para establecer la exigencia de trenzado obtenida en el punto anterior.* Cuando se consigue un valor de inductancia admisible, se introduce en el algoritmo de control la información necesaria para obtener los datos que permitan ajustar el proceso de fabricación. La información que se incorpora es el de la relación entre avance y enrollado de los conductores que se trenzan, y las dimensiones y disposición del resto de componentes.
8. *Aplicación al proceso de fabricación.* La implementación de los resultados del punto 7 consiste en la realización del proceso de fabricación con las condiciones deducidas. La relación entre avance y enrollado de los conductores en el trenzado se aplica en la relación que existe entre la velocidad de giro (V_g), del elemento que ejerce la torsión sobre la hélice que se forma con los dos cables, y la velocidad de avance del cable final (V_a). Es decir, si por ejemplo se trenzan los dos conductores a una velocidad de giro de $V_g=50$ [vueltas/s] y el cable avanza en línea a razón de $V_a=5$ [m/s], entonces el cable foral presenta un trenzado de 10 [vueltas/m] (V_g/V_a). La aplicación más evidente es la del control de la velocidad de los motores que provocan el giro y el avance que se describen. Sin embargo esta aplicación no queda restringida a un tipo de máquina de trenzado particular, y describe el control de los parámetros del proceso.

Procedimiento (II):

Determinación de la variable (n) [vueltas/m] del trenzado de un cable final a partir de las características de los elementos que lo conforman y el valor de inductancia deseada entre los conductores

1. *Determinación del tipo de cable.* Definición del tipo de cable en función de la selección de los elementos que se introducen en el proceso de fabricación, como puede ser la pantalla, el drenaje y la cubierta. En esta fase se decide si el cable es un trenzado simple, un trenzado con pantalla, si lleva drenaje y si se incluye alguna cubierta.
2. *Análisis de las características dimensionales y tipos de materiales del cable seleccionado.* Selección de las dimensiones y materiales empleados en la fabricación del cable según las necesidades y exigencias de tipo mecánico, de resistencia de aislamiento, de propagación del fuego y de cualquier otra condición predefinida. Es decir, las exigencias de diseño previas a la determinación de las características, si existen, se aplican en esta fase.
3. *Elección de la forma y partes del cable.* En función del análisis de requisitos de los apartados 1 y 2, se establecen las características, dimensiones y tipos particulares de los elementos a utilizar; es decir, conductores, aislamientos, pantallas y drenaje.

ES 2 312 232 B2

4. *Obtención de los parámetros del modelo.* En función de las características del cable elegido en las fases anteriores, se obtienen los coeficientes del polinomio geométrico y el resto de coeficientes que definen el cable según el modelo expuesto.

4.1. *Tablas y modelos estadísticos.*

Si existen tablas y gráficas con los datos anteriores, la determinación de los valores comentados es inmediata.

4.2. *Ensayos de medida.*

La otra opción es realizar los ensayos de medida necesarios para determinar las características del cable que se emplea en el procedimiento y de las cuales no se conocen valores. Este paso solamente es necesario cuando se ensaya un tipo de cable nuevo.

5. *Determinación del valor o rango de valores de inductancia deseados para el cable final.* Definir el valor de inductancia por unidad de longitud que se pretende establecer para el cable final.

6. *Obtención del valor de vueltas por unidad de longitud en el trenzado del cable a fabricar.* Al aplicar el método descrito en este procedimiento se determina el valor de vueltas por unidad de longitud, o el paso, que debe realizarse para cumplir las exigencias impuestas en el punto 5. En el caso de que el valor obtenido no sea admitido como válido, se puede reiniciar el proceso volviendo al punto 1. También se puede volver a los puntos 2 y 3 porque se conoce la influencia de los aspectos que en ellos se describen sobre el resultado final.

7. *Deducción del algoritmo de control del proceso de fabricación para establecer la exigencia de trenzado obtenida en el punto anterior.* Cuando se consigue un valor de inductancia deseada, se introduce en el algoritmo de control la información necesaria, para lograr dicho valor en el proceso de fabricación. La información que se incorpora es el de la relación entre avance y enrollado de los conductores que se trenzan, y las dimensiones y disposición del resto de componentes.

8. *Aplicación al proceso de fabricación.* La implementación de los resultados del punto 7 consiste en la realización del proceso de fabricación con las condiciones deducidas. La relación entre avance y enrollado de los conductores en el trenzado se aplica en la relación que existe entre la velocidad de giro (V_g), del elemento que ejerce la torsión sobre la hélice que se forma con los dos cables, y la velocidad de avance del cable final (V_a). Es decir, si por ejemplo, se trenzan los dos conductores a una velocidad de giro de $V_g=10$ [vueltas/s] y el cable avanza en línea a razón de $V_a=0,5$ [m/s], entonces el cable final presenta un trenzado de 20 [vueltas/m] (V_g/V_a). La aplicación más evidente del proceso para conseguir el número de vueltas por metro del cable a fabricar, es la del control de la velocidad de los motores que provocan el giro y el avance descritos. Sin embargo esta aplicación no queda restringida a un tipo de máquina de trenzado particular, y describe el control de los parámetros del proceso.

Descripción de las figuras

La figura 1 representa un cable de par trenzado con pantalla, cubierta y conductor de drenaje.

La figura 2 representa un par trenzado simple.

La figura 3 muestra el efecto de deformación que se produce en los cables del par al realizar el proceso de trenzado. El efecto es más importante conforme se aumentan las exigencias, es decir, conforme aumenta el número de vueltas por metro.

La figura 4 muestra el concepto de deformación del aislamiento que aporta el trenzado del par de cables.

La figura 5 representa los polinomios geométricos de doce cables, diferentes por sus dimensiones y el tipo de aislamiento. La variable respecto a la cual se representan estos polinomios es el ángulo de avance de la hélice del trenzado (θ).

La figura 6 aporta un fragmento de cable de par trenzado con conductor de drenaje y un elevado número de [vueltas/m].

La figura 7 aporta dos imágenes que permiten comparar el efecto de la deformación del drenaje en la forma del conjunto. La imagen superior representa la sección de un par trenzado ideal con conductor de drenaje. En la imagen inferior se muestra una sección equivalente en la cual el conductor de drenaje se deforma por efecto de las tensiones aplicadas en el proceso de trenzado.

La figura 8 representa un cable de par trenzado con pantalla de cinta flexible.

La figura 9 aporta un fragmento de cable de par trenzado de elevado número de [vueltas/m] con conductor de drenaje y pantalla

La figura 10 muestra dos vistas de un par trenzado con drenaje (triple hélice) y pantalla de tipo laminar.

Modos de realización de la invención

La invención que se presenta en este documento se ilustra mediante los siguientes ejemplos, que resumen las conclusiones obtenidas al aplicar el procedimiento que se expone. Estos ejemplos no pretenden limitar el alcance o ámbito de aplicación de la invención, sino que simplemente pretenden aportar una muestra que ilustre sus conclusiones.

Ejemplo 1

Cable foral formado por dos conductores individuales unidos helicoidalmente en una máquina de trenzado. En base a los puntos 1, 2, y 3 de los procedimientos (I) y (II) detallados en la descripción de la invención se aportan las características del cable a utilizar:

- Conductores de cobre, sección media de 0.50 [mm²] (5E-09 [m²]) y formados por 16 hilos

- Aislamiento de cada cable con un espesor medio de 0.41 [mm] (0.00041 [m])

- Material del aislamiento: PVC

- Coeficientes del polinomio geométrico: obtenidos de la Tabla 1. Sus valores son los siguientes:

$I_n = 3,55E-03$; $J_n = -4,86E-05$; $K_n = 3,19E-07$. En el caso de no disponer de valores para los coeficientes es necesario realizar el procedimiento de cálculo que se explica en la descripción de la invención.

Para un trenzado de 20 [vueltas/m] (paso = 50 [mm] = 0.05 [m]) el método que se aporta predice un valor de inductancia entre conductores del cable final de 710,1 [nH/m] (71,01 E-08 [H/m]).

En estas condiciones la relación entre velocidad de avance del cable en línea de fabricación (V_a , con unidad [m/s]) y la velocidad de giro para realizar el trenzado (V_g , expresada en [revoluciones/s]) presenta un valor aproximado

$$\text{igual a } \frac{V_g[r.p.m.]/60[s/min.]}{V_a[m/s]} = 20[vueltas/m] \cdot$$

El método permite controlar la característica inductancia en el proceso de fabricación. De esta forma, si se modifica la relación entre las dos magnitudes que controlan el trenzado (V_a y V_g) a un valor de 55 se produce un decremento en la inductancia del cable final hasta un valor de 702.0 [nH/m] (70.2 E-08 [H/m]).

Si se añade un apantallamiento mediante el enrollado de una cinta de doble capa, aluminio-poliéster, de espesor 0.01 [mm] (1E-07 [m]), ancho de 14 [mm] (0.014 [m]), ángulo de avance igual a 20.5°, y teniendo en cuenta los coeficientes del modelo de reducción de la distancia debida al apantallamiento de la Tabla 3 ($D_0=-5,2167E-01$, $D_1=6,299E-03$, $D_2=2,9653E-05$), entonces, se reduce el valor de inductancia del conjunto a 651.3 [nH/m] (65.13 E-08 [H/m]). La introducción de un drenaje en el proceso de trenzado implica, con un conductor de drenaje de cobre, con sección 0.50 [mm²] (5E-09 [m²]) y sin aislamiento, un valor de inductancia igual a 638,1 [nH/m] (63,81 E-08 [H/m]). La modificación de este cable por la aplicación de un proceso de extrusión para aportar una cubierta protectora de PVC, con un espesor medio de 0.45 [mm] (45 E-05 [m]), implica una estabilización del valor anterior de inductancia.

Ejemplo 2

Cable final formado por dos conductores individuales unidos helicoidalmente en una máquina de trenzado. En base a los puntos 1, 2, y 3 de los procedimientos (I) y (II) detallados en la descripción de la invención, se aportan las características del cable a utilizar:

- Conductores de cobre, sección media de 0.35 [mm²] (35E-09 [m²]) y formados por 7 hilos.

- Aislamiento de cada cable con un espesor medio de 0.32 [mm] (0.00032 [m]).

- Material del aislamiento: PVC.

- Coeficientes del polinomio geométrico: obtenidos de la Tabla 1. Sus valores son los siguientes:

$I_n = 3,35E-03$; $J_n = -4,41E-05$; $K_n = 2,35E-07$. En el caso de no disponer de valores para los coeficientes es necesario realizar el procedimiento de cálculo que se explica en la descripción de la invención.

Se pretende fabricar un cable final formado por un par trenzado según las características que se muestran y una cubierta protectora de PVC. El espesor de la cubierta debe aproximarse a 0.44 [mm] y el material requerido es PVC. En estas condiciones, se pretende obtener el parámetro de control del trenzado en el proceso de fabricación, que asegure un valor de inductancia entre conductores para el cable foral de un valor aproximado de 702 [nH/m] (70,2 E-08 [H/m]).

El método predice el valor de la variable (**n**) [vueltas/m] para satisfacer esta característica del producto final, y se concluye para este caso un valor de $n = 22$ [vueltas/m], que es equivalente a un paso de 45,45 [mm] (0.04545 [m]). En consecuencia, en el proceso de trenzado se debe establecer la relación entre el avance y el giro en los cables a un valor de 22. Es decir, en una máquina de trenzado convencional, la relación entre las velocidades citadas

$$\frac{Vg(rpm)/60}{Va(m/s)} = 22[vueltas/m]$$
 El control de los parámetros de la máquina es inmediato; si, por ejemplo, la velocidad

Va es constante, el control de la característica se reduce al control de la velocidad de giro del elemento que trenza según la expresión: $Vg(rpm) = 22[vueltas/m] \cdot 60 \cdot Va[vueltas/m]$. En un caso genérico donde se dan estas condiciones se plantea la solución de control según la expresión $Vg[rpm] = n[vueltas/m] \cdot 60 \cdot Va[m/s]$, donde **n** se obtiene al aplicar el método descrito.

En la presente invención no se pretende limitar el tipo de máquina de trenzado a un tipo o modelo particular, sino que se establecen los parámetros de la misma que condicionan los resultados que se plantean. Es decir, se ha establecido como parámetro de control, en los ejemplos 1 y 2, la relación entre el avance de los cables en línea de producción y el giro de torsión con el que se trenzan. Este parámetro se refiere, en definitiva, al paso final del trenzado del cable a fabricar, que es un dato que se determina indirectamente también por medio del número de vueltas por metro o el ángulo de avance de la hélice para cables de dimensiones conocidas. Tampoco se limita el tipo de control de las velocidades de avance y giro a un modelo particular sino que se extiende a cualquier tipo de control mecánico o electrónico que realice la misma función.

Aplicación industrial de la invención

La aplicación industrial de la invención es inmediata en el sector de la técnica que se ha establecido al inicio de la presente descripción. Dicha invención aporta una mejora de gran interés en el sector de la fabricación de cable eléctrico y permite el control de la inductancia en esta línea de productos industriales a través de la variación de los parámetros de trenzado que se describen.

REIVINDICACIONES

1. Nuevo procedimiento para la predicción y el control de la inductancia eléctrica de un cable de par trenzado en el proceso de fabricación según un valor predefinido y determinado por las dimensiones y la naturaleza de los elementos que lo conforman y controlado mediante el parámetro paso del trenzado, o también los parámetros equivalentes número de vueltas por metro y ángulo de avance de la hélice, en la máquina de trenzado, y donde dicho procedimiento está **caracterizado** por la etapa de trenzado del par de conductores que comprende el cálculo del valor de la inductancia final del cable a partir de un modelo incremental, que refleja el incremento de inductancia respecto al par sin trenzar y que se ajusta con gran precisión mediante polinomios de tercer orden, tal como se indica en la siguiente expresión:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d}{2as} \right) \right) \cdot \left(\left[\sqrt{(tg\theta)^2 + 1} \right] - [K_\theta \cdot \theta^3 + J_\theta \cdot \theta^2 + I_\theta \cdot \theta] \right)$$

La determinación de los coeficientes del polinomio geométrico se pueden obtener a partir de ensayos tal y como se indica a continuación.

- Elaborar un conjunto de muestras de cable trenzadas con un número de vueltas por metro variable desde cero a un máximo de $\frac{0,1351}{r}$, donde r es el radio (en metros) del cable a trenzar. Estas muestras deben ser

representativas del rango de vueltas/metro permitido, por lo que el conjunto deberá tener un valor de esta característica adecuadamente repartido en todo el rango de vueltas/metro, y la longitud de las mismas no debe ser inferior a un metro. Además, el número de muestras no debe ser inferior a diez para garantizar la validez de los resultados. Cuanto mayor número de muestras, mayor será la precisión del ajuste en la obtención del polinomio geométrico. A las muestras realizadas se deben añadir un mínimo de tres con conductores paralelos (n = 0) bien unidos. La finalidad de este último paso es la de obtener un valor fiable de inductancia del par de cables paralelos para utilizar como valor umbral en el proceso de cálculo.

- Una vez obtenidas las muestras se procede a realizar la medida de la inductancia en un equipo de medida calibrado y con una precisión en la medida del orden de 1 a 10 nH. Los ensayos deben realizarse en condiciones estables de humedad y temperatura, para los cuales los valores de estas características se deben establecer entre un 40% y un 60% para la humedad relativa y en torno a los 23°C + 2[°C] para la temperatura. La recopilación de resultados se analiza con la composición de una función matemática que aporta el valor de inductancia y la variable (n) [vueltas/m] (n).
- Para obtener una función del modelo incremental, en primer lugar se dividen todos los valores de la inductancia obtenidos entre el valor medio de la inductancia de las muestras de conductores paralelos (n=0). De este modo se obtienen valores porcentuales de incremento de la inductancia respecto al incremento de la exigencia de trenzado (número de vueltas por metro). A la nueva colección de valores se le resta el término que representa, para cada valor de n, el incremento de inductancia debido al incremento de longitud de los conductores conforme aumentan las vueltas de trenzado. Como resultado se logra un conjunto de valores de inductancia incremental en función de la variable (n) [vueltas/m].
- A partir del conjunto de valores de inductancia incremental se establece una función matemática continua que representa con precisión la tendencia de estos valores mediante una curva de tendencia modelada con un polinomio de orden 3. La función descrita es el polinomio geométrico del cable que se ensaya y se indica a continuación:

$$n \cdot L_{\Delta n}(n) = n \cdot (K_n + J_n \cdot n + I_n \cdot n^2) = \theta \cdot (I_\theta + J_\theta \cdot \theta + K_\theta \cdot \theta^2)$$

2. Nuevo procedimiento para la predicción y el control de la inductancia eléctrica de un cable de par trenzado con conductor de drenaje en el proceso de fabricación según un valor predefinido y determinado por las dimensiones y la naturaleza de los elementos que lo conforman y controlado mediante el parámetro paso del trenzado, o también los parámetros equivalentes número de vueltas por metro y ángulo de avance de la hélice, en la máquina de trenzado, y donde dicho procedimiento está **caracterizado** por la etapa de trenzado del par de conductores que comprende el cálculo del valor de la inductancia de un cable de par trenzado con conductor de drenaje a partir de la siguiente expresión:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + [D_1 \cdot n - D_0 \cdot d]}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left(\left[\sqrt{(2\pi \cdot r_{p+d} \cdot n)^2 + 1} \right] - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right)$$

ES 2 312 232 B2

La determinación de los coeficientes del polinomio D_0 y D_1 se pueden obtener a partir de ensayos tal y como se indica a continuación.

- Elaborar un conjunto de muestras de cable trenzadas con un número de vueltas por metro que puede variar desde cero a un máximo de $\frac{0,1351}{r}$, donde r es el radio (en metros) del cable a trenzar. Se pueden utilizar las muestras empleadas para determinar los coeficientes de los polinomios geométricos, tal como se indica en la reivindicación 1, si se ha seguido este procedimiento. Al igual que en el citado caso, las muestras deben ser representativas del rango de vueltas por metro permitido, por lo que el conjunto deberá tener un valor de esta característica adecuadamente repartido en todo el rango de vueltas por metro, y la longitud de las mismas no debe ser inferior a un metro. Además, el número de muestras no debe ser inferior a diez para garantizar la validez de los resultados. Cuanto mayor número de muestras, mayor será la precisión del ajuste según el modelo descrito.
- Sobre estas muestras se deben realizar cortes de precisión que permitan obtener secciones del aislamiento de los cables del par sin modificar la forma que el trenzado ha determinado. Estas secciones deben ser de un espesor inferior a 1 mm (1E-03 m) y de ellas se mide el diámetro medio. La precisión de este procedimiento está directamente condicionada por el equipo y el método de medida utilizados.
- Una vez obtenidos los valores se procede a realizar los cálculos de ajuste de D_0 y D_1 al modelo descrito; el valor del incremento de la distancia se obtiene al comparar el valor medido para cada sección con el valor teórico.
- La recopilación de resultados se linealiza o aproxima mediante una función matemática como la descrita para Δd_d y en función de la variable (n) [vueltas/m] y del diámetro inicial de cada cable (d), tal como se indica a continuación:

$$\Delta d_d = D_1 \cdot n - D_0 \cdot d$$

3. Nuevo procedimiento para la predicción y el control de la inductancia eléctrica de un cable de par trenzado apantallado y sin conductor de drenaje en el proceso de fabricación según un valor predefinido y determinado por las dimensiones y la naturaleza de los elementos que lo conforman y controlado mediante el parámetro paso del trenzado, o también los parámetros equivalentes número de vueltas por metro y ángulo de avance de la hélice, en la máquina de trenzado, y donde dicho procedimiento está **caracterizado** por la etapa de trenzado del par de conductores que comprende el cálculo del valor de la inductancia de un cable de par trenzado apantallado y sin conductor de drenaje a partir de la siguiente expresión:

$$L = \frac{\mu_{eq}}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + (D_2 \cdot n^2 + D_1 \cdot n + D_0)}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot (r + \Delta r_{pant+d}) \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right]$$

El valor de los coeficientes D_0 y D_1 y D_2 se puede obtener por el mismo procedimiento que se aporta para el cálculo del incremento de distancia para el par trenzado con drenaje, expuesto en la reivindicación 2; la única diferencia reside en que la aproximación al modelo es de segundo orden en lugar de un modelo lineal.

4. Nuevo procedimiento para la predicción y el control de la inductancia eléctrica de un cable de par trenzado apantallado y con conductor de drenaje en el proceso de fabricación según un valor predefinido y determinado por las dimensiones y la naturaleza de los elementos que lo conforman y controlado mediante el parámetro paso del trenzado, o también los parámetros equivalentes número de vueltas por metro y ángulo de avance de la hélice, en la máquina de trenzado, y donde dicho procedimiento está **caracterizado** por la etapa de trenzado del par de conductores que comprende el cálculo del valor de la inductancia de un cable de par trenzado apantallado, y con conductor de drenaje a partir de la siguiente expresión:

$$L = \frac{\mu_{eq}}{\pi} \left(0,25 + \cosh^{-1} \left(\frac{d + (D_2 \cdot n^2 + D_1 \cdot n + D_0)}{2a(s)} \right) \right) \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot (r + \Delta r_{pant+d}) \cdot n)^2 + 1} \right) - [I \cdot n^3 + J \cdot n^2 + K \cdot n] \right]$$

El valor de los coeficientes D_0 y D_1 y D_2 se puede obtener por el mismo procedimiento que se aporta para el cálculo del incremento de distancia para el par trenzado con drenaje, expuesto en la reivindicación 2; la única diferencia reside en que la aproximación al modelo es de segundo orden en lugar de un modelo lineal.

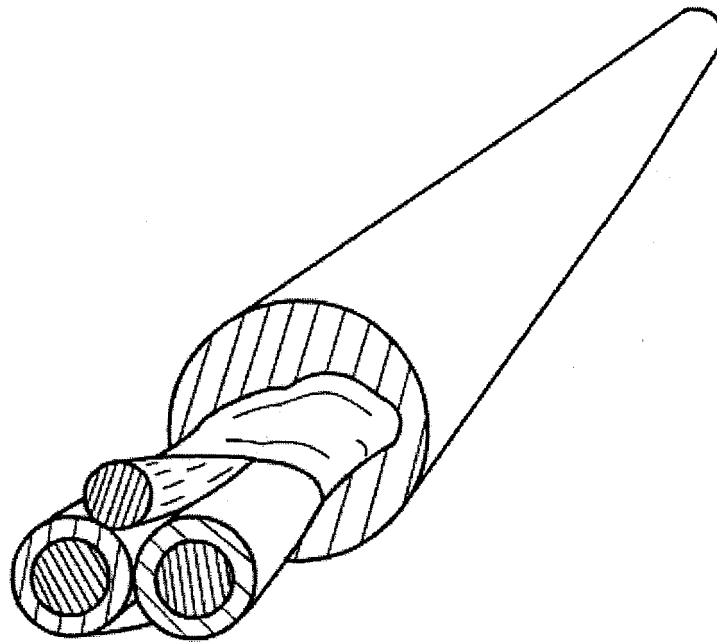


Fig. 1

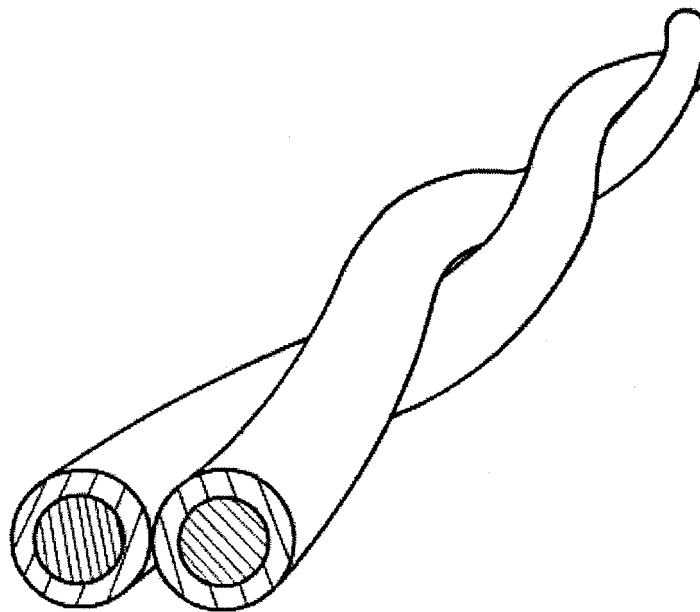


Fig. 2

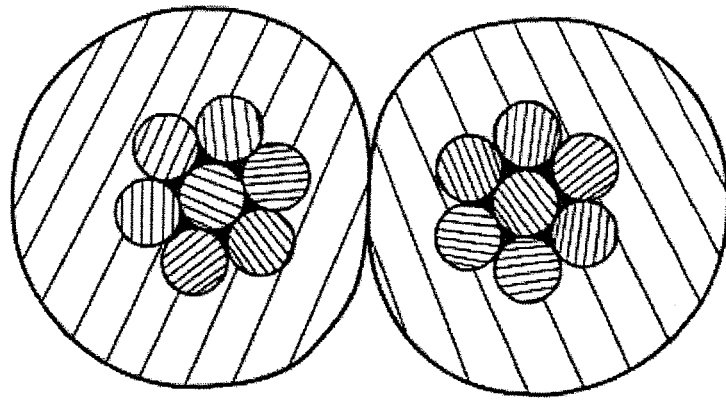


Fig. 3

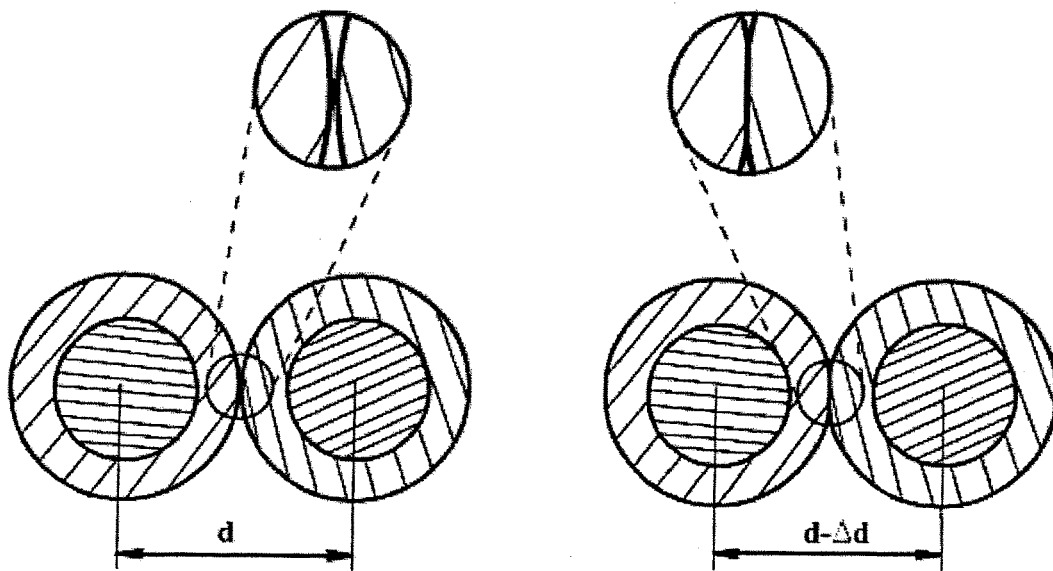


Fig. 4

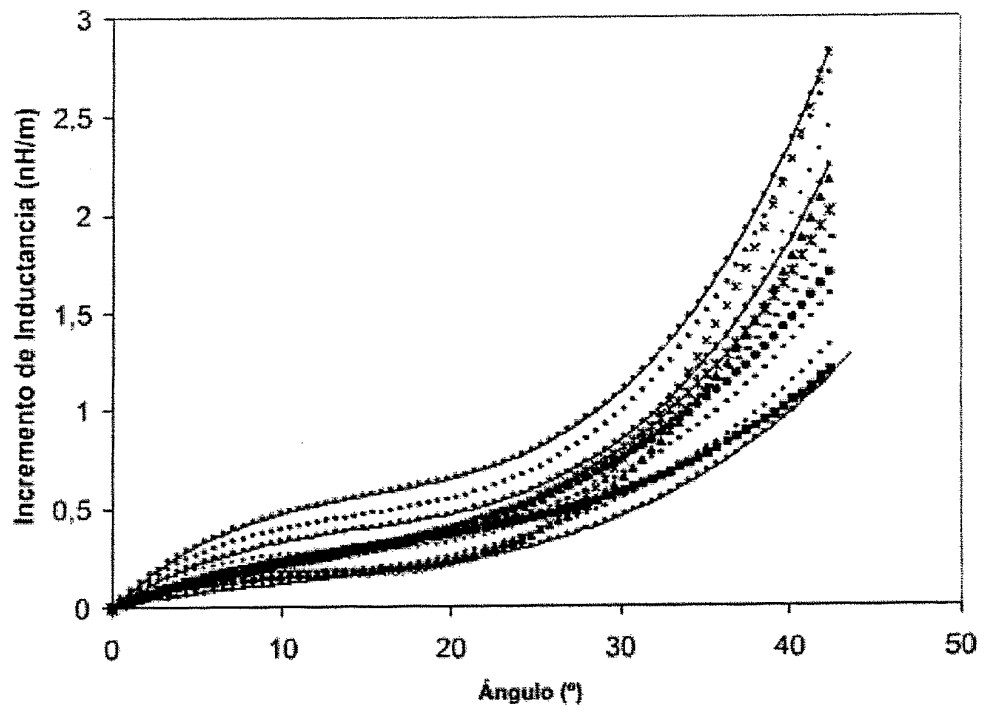


Fig. 5

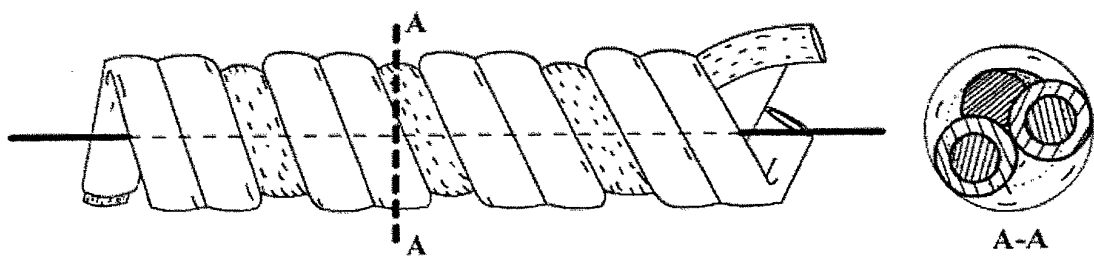


Fig. 6

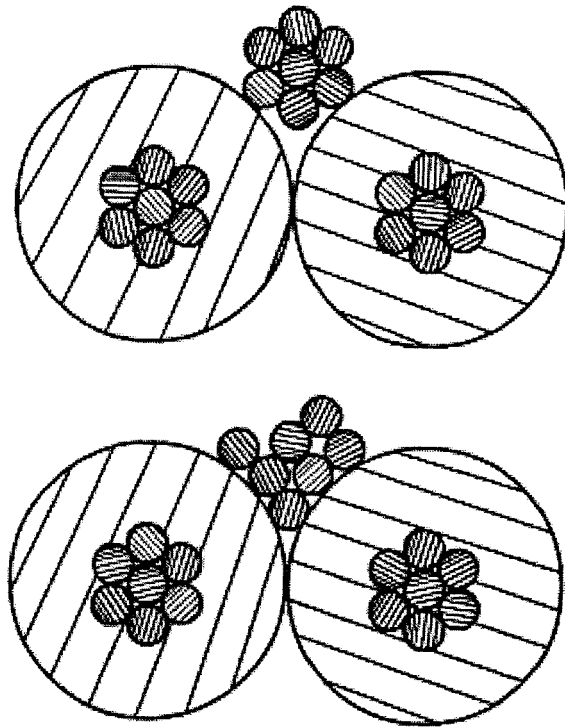


Fig. 7

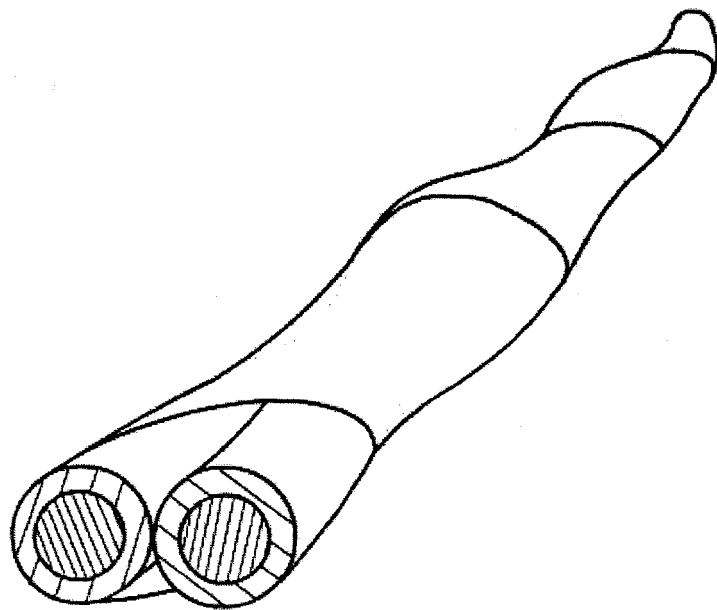


Fig. 8

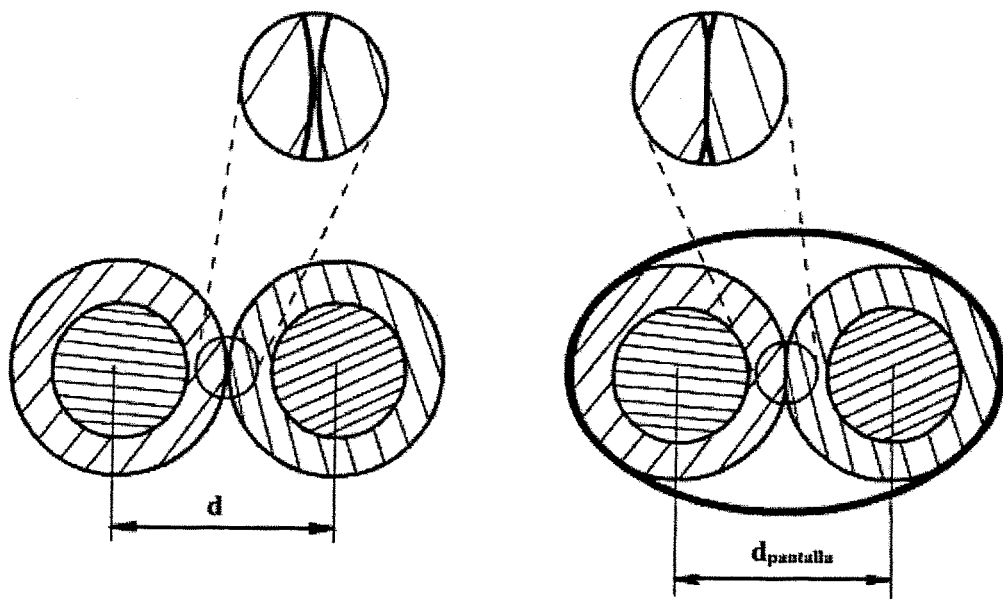


Fig. 9

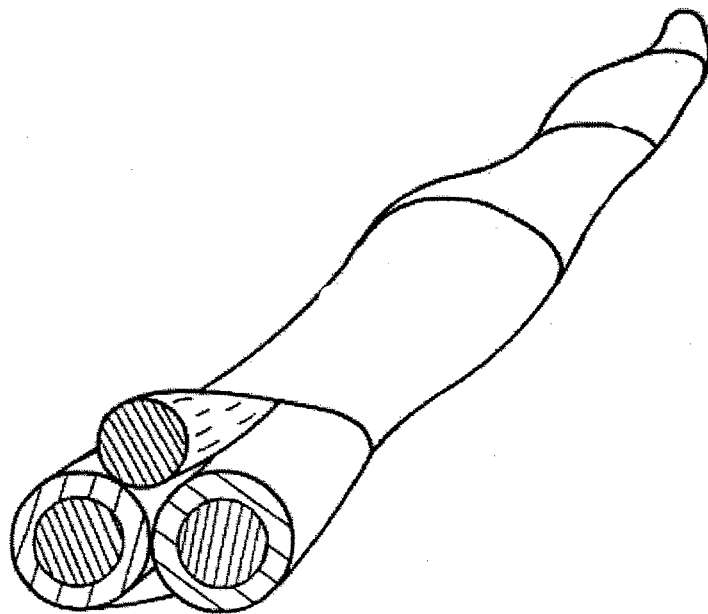


Fig.10

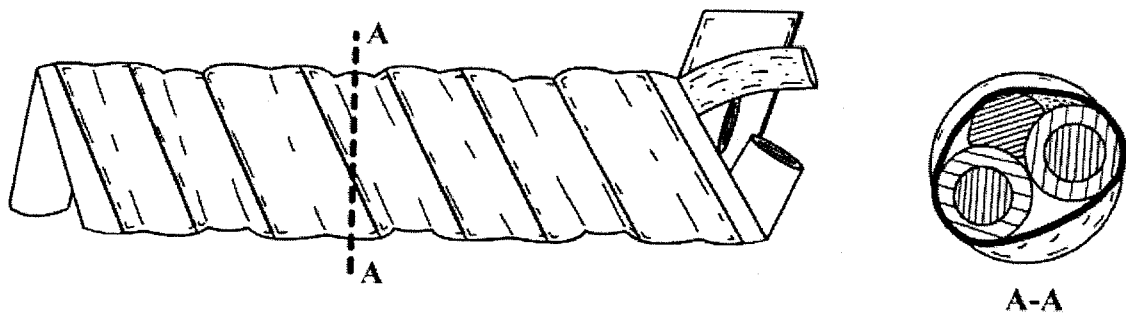


Fig. 11



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 312 232

⑫ Nº de solicitud: 200501962

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: **04.08.2005**

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **H01B 11/02** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑯ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	GB 2281400 A (G.P.T. LTD.) 01.03.1995, resumen.	1-4
A	WO 0074079 A1 (PRESTOLITE WIRE CORP. [US]) 07.12.2000, resumen; página 3 líneas 8-33; figuras.	1-4

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

26.01.2009

Examinador

P. López Sabater

Página

1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

Nulo

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

Nulo

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 26.01.2009

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1-4	SÍ
	Reivindicaciones		NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1-4	SÍ
	Reivindicaciones	1-4	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión:

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

1. Documentos considerados:

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	GB 2281400 A	01.03.1995

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

La solicitud objeto de esta opinión escrita, versa sobre un procedimiento para la predicción y el control de la inductancia de un cable de par trenzado con drenaje, apantallado con lámina de doble capa y con cubierta protectora. La variable a partir de la cuál se ha desarrollado el método de control es la variación del paso de trenzado.

De entre los documentos hallados en el estado de la técnica más próximo a esta solicitud, se ha escogido el documento de patente británica, GB 2281400 A "Cable Testing" de G.P.T. Ltd., publicado el 01.03.1995. En este documento, al que en adelante llamaremos D01, se desarrolla un test para determinar si un cable de par trenzado es apto para una Red Digital de Servicios Integrados, (RDSI). A tal fin, se evalúa primero la capacitancia entre dos cables del par trenzado, en segundo lugar la resistencia del terminal y, en último lugar, las pérdidas entre los dos cables del par trenzado, así como entre cada uno de los cables del par y tierra. A partir de los datos obtenidos, se determinan las pérdidas totales, G, y se estima la inductancia, L, tal y como se ve entre los dos cables del par trenzado.

Con los datos obtenidos se calcula el valor de la atenuación usando la fórmula: $GAMMA = \sqrt{(R + j W L) (G + j W C)}$

Estudio de la novedad y actividad inventiva de las reivindicaciones de la solicitud. Reivindicación 1:

La primera reivindicación de la solicitud en estudio, independiente, presenta el procedimiento por el que se calcula la inductancia final del cable a partir de un método incremental, que halla dicha inductancia a partir del par sin trenzar, y que se ajusta mediante un polinomio de tercer orden cuyos coeficientes se determinan a partir de ensayos. D01 se plantea el problema técnico de calcular la inductancia L, de un cable de par trenzado ya manufacturado.

La solución planteada por este documento consiste, como ya hemos mencionado más arriba, en obtener los datos de capacitancia, resistencia y pérdidas para, a partir de ellos, determinar la inductancia. Existen diferencias obvias entre D01 y esta primera reivindicación. En primer lugar, D01 sólo permite un cálculo de la inductancia a posteriori, cuando el método que estudiamos aquí permite su cálculo a priori. Y además, los pasos a dar tampoco resultan equivalentes.

Así pues, no puede considerarse que D01 anticipe esta primera reivindicación que, por lo tanto, resulta tener novedad y actividad inventiva. La segunda reivindicación de la solicitud aborda el procedimiento de cálculo de la inductancia a priori cuando el cable a fabricar incluye un conductor de drenaje.

La tercera reivindicación de la solicitud se centra en un tipo de cable apantallado y sin conductor de drenaje. Por último, la cuarta reivindicación contempla un cable apantallado y con conductor de drenaje.

A pesar de que estas reivindicaciones sean independientes, podemos valorarlas en su conjunto, puesto que el documento más cercano en el estado de la técnica a todas ellas sigue siendo D01. Haciendo esto llegaremos a la misma conclusión que con la primera. Es decir, que son nuevas y tienen actividad inventiva.