



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 296 959**

51 Int. Cl.:
G01R 29/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02745309 .1**

86 Fecha de presentación : **23.05.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1389308**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **18.02.2004**

54 Título: **Procedimiento para evaluar niveles de campo eléctrico en la zona próxima a antenas de transmisión.**

30 Prioridad: **23.05.2001 IT TO01A0475**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2008

73 Titular/es: **Telecom Italia S.p.A.**
Piazza Degli Affari, 2
20123 Milano, IT

72 Inventor/es: **Forigo, Davide;**
Gianola, Paolo;
Scotti, Renato y
Vallauri, Roberto

74 Agente: **Ponti Sales, Adelaida**

ES 2 296 959 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para evaluar niveles de campo eléctrico en la zona próxima a antenas de transmisión.

5 La presente invención se refiere a herramientas para planificar sistemas de telecomunicaciones portadores de radio, y particularmente se refiere a un procedimiento para evaluar los niveles de campo eléctrico en zonas cercanas a antenas de transmisión.

10 El aumento de estaciones base de radio (RBSs) para comunicaciones móviles en zonas muy populosas ha provocado una ansiedad creciente en la población que vive cerca de dichas estaciones, preocupada sobre los efectos biológicos de la polución electromagnética sobre el cuerpo humano. A consecuencia de ello, los gobiernos en varios países han establecido límites de exposición rigurosos para el nivel de los campos electromagnéticos radiados en el rango de radiofrecuencia, en zonas donde la población puede estar expuesta durante largos periodos de tiempo. Los operadores de telefonía móvil han de producir una documentación más detallada sobre el cumplimiento de sus estaciones base
15 de radio de los límites prescritos. En consecuencia, la utilización de herramientas de planificación más precisas y fiables es necesaria para evitar intervenciones costosas y difíciles sobre los dispositivos y los sistemas después de su construcción e instalación.

20 El campo eléctrico radiado mediante las antenas de transmisión, particularmente antenas de disposición lineal de estaciones base de radio, actualmente se calcula bajo una hipótesis de campo lejano, expresando una ganancia de antena en coordenadas esféricas $G(\theta, \phi)$ como el producto de diagramas de radiación en los planos horizontal y vertical.

25 La hipótesis de campo lejano se verifica cuando la distancia desde el antena supera $2L_0^2/\lambda$, donde L_0 es la extensión máxima del antena y λ es la longitud de onda. Considerando las antenas de estación base de radio y las bandas de frecuencia del sistema de telefonía celular, esta distancia puede corresponder a más de 40 metros, mientras que en estaciones base de radio en zonas urbanas están usualmente colocadas a menos de 10 metros de edificios no habitados. En consecuencia, es necesaria la utilización de procedimientos más precisos para evaluar los niveles de campo eléctrico en la zona próxima a las fuentes de radiofrecuencia, particularmente antenas de disposición lineal, ampliamente utilizadas en los sistemas de telefonía celular.

30 Un gran número de procedimientos numéricos y herramientas de software para la evaluación del campo electromagnético radiado mediante antenas están actualmente disponibles. Por ejemplo, el software bien conocido NEC-2, descrito en "Numerical Electromagnetic Code - Method of Moment", de Burk G.J. y Poggio A.J., Lawrence Livermore National Laboratory, Enero de 1981, calcula el campo electromagnético de una manera cuidadosa, tanto en el
35 campo lejano como en la zona cercana a la antena de transmisión, pero requiere un buen conocimiento de la técnica de rejilla-alambre para la implementación de archivos de entrada, un presupuesto mecánico preciso de todas las partes de la antena y un tiempo de computación extensivo. En la práctica, sin embargo, el conocimiento de la antena está limitado a sus dimensiones físicas, su ganancia y sus diagramas de radiación en los planos vertical y horizontal.

40 El procedimiento para evaluar los niveles de campo eléctrico en la zona cercana a las antenas de transmisión que es objeto de la invención supera dichos inconvenientes y soluciona los problemas técnicos descritos proporcionando una evaluación precisa requiriendo un número limitado de datos de entrada y un tiempo de procesamiento reducido mediante unidades de procesamiento de datos utilizadas para su cálculo.

45 Específicamente, el objeto de la invención es un procedimiento para evaluar los niveles de campo eléctrico en la zona cercana de las antenas de transmisión, tal como se describe en la parte caracterizadora de la reivindicación 1.

Características y ventajas adicionales de la invención se describirán ahora, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos adjuntos, de los cuales:

50 - la figura 1 muestra esquemáticamente una antena de disposición lineal dispuesta a lo largo del eje z de un sistema de referencia cartesiano en posición simétrica respecto al eje x;

55 - la figura 2 representa un alambre fino de longitud arbitraria L dispuesto sobre el eje z de un sistema de referencia cartesiano en una posición simétrica respecto al eje x.

60 Tal como se ha mencionado previamente, un procedimiento simple para estimar el campo eléctrico radiado mediante una antena de disposición lineal de base de radio se basa sobre la hipótesis de que la ganancia de la antena $G(\theta, \phi)$ se puede calcular como el producto de diagramas de radiación en los planos vertical y horizontal. Estos diagramas se pueden determinar mediante mediciones realizadas en las primeras fases del procedimiento, junto con las mediciones dimensionales físicas sobre la antena. Alternativamente, se pueden utilizar los diagramas proporcionados por el fabricante.

65 Según el procedimiento de la invención, la ganancia del antena $G(\theta, \phi)$ se calcula de una manera ligeramente diferente mediante la introducción del ángulo Ψ , es decir:

$$G(\theta, \phi) = G_M D_V(\theta) D_H(\Psi) \quad (1)$$

ES 2 296 959 T3

donde:

- G_M es la ganancia máxima de la antena;

5 - $D_V(\theta)$ es el diagrama de radiación en el plano vertical ($\phi = 0$);

- $D_H(\Psi)$ es el diagrama de radiación sobre una superficie cónica generada mediante la rotación sobre el eje z en la dirección de radiación máxima;

10 - el ángulo Ψ , función de θ , ϕ y τ , se calcula a partir de:

$$15 \quad \psi(\theta, \phi, \tau) = \phi \sin(\beta(\theta, \tau)), \quad \text{donde } \beta(\theta, \tau) = \begin{cases} \theta \frac{\pi}{\pi + 2\tau} & 0 \leq \theta \leq \pi/2 + \tau \\ (\pi - \theta) \frac{\pi}{\pi - 2\tau} & \pi/2 + \tau < \theta \leq \pi \end{cases} \quad (2)$$

20 donde τ es la inclinación hacia abajo del rayo de radiación respecto al plano horizontal.

El ángulo Ψ se introduce para coincidir adecuadamente los lóbulos secundarios del diagrama de radiación. Su expresión analítica se deriva a partir de la determinación de las siguientes restricciones:

25 - la dirección (θ, ϕ) no depende del ángulo ϕ para $\theta = 0, \pi$. Esto es porque para $\phi = 0$, la dirección $(0, \phi)$ es siempre la dirección +z, mientras que para $\theta = \pi$, la dirección $(0, \phi)$ es siempre la dirección -z. En consecuencia, cuando $\theta = 0, \pi$, el valor de $G(\theta, \phi)$ no ha de depender del ángulo ϕ y, específicamente, ha de ser igual al valor del diagrama vertical en $\phi = 0, \pi$: porque $D_H(0) = 1$, el resultado se obtiene ajustando $\Psi = 0$;

30 - para $\phi = \pi/2 + \tau$, la función $G(\theta, \phi)$ ha de coincidir con el diagrama de radiación en el plano horizontal. El resultado se obtiene ajustando $\Psi = \phi$ porque en $\theta = \pi/2 + \tau$ la función $D_V(\theta)$ tiene un valor unitario.

Como es conocido, el campo eléctrico $\underline{E}(r, \theta, \phi)$ en la zona alejada se proporciona mediante:

$$35 \quad \underline{E}(r, \theta, \phi) = \frac{\sqrt{30P_R G(\theta, \phi)}}{r} \hat{p}(\theta, \phi) \quad (3)$$

40 donde P_R es la potencia radiada, r es la distancia desde el centro eléctrico de la fuente y \hat{p} es el vector de polarización.

Supondremos ahora que la separación de los efectos en el plano vertical y en el plano horizontal, tal como se expresa mediante la ecuación (1), es todavía válida en el campo de la zona cercana, particularmente en la zona 2 a 3λ y $2L_0^2/\lambda$, donde L_0 es la extensión máxima del antena. Como la anchura física de la antena de disposición lineal es mucho más pequeña que su altura, la contribución del diagrama horizontal $D_H(\Psi)$ al campo eléctrico en el campo de la zona cercana es aproximadamente igual al mismo en un campo de la zona alejada.

Según esta hipótesis, el campo eléctrico de la zona cercana se puede expresar como:

$$50 \quad |\underline{E}(r, \theta, \phi)| \approx \sqrt{P_R D_H(\Psi)} |\underline{E}(r, \theta)| \quad (4)$$

55 donde $\underline{E}(r, \theta)$ es una función vectorial apropiada que se calcula tal como se describe posteriormente.

La ecuación 4, en consecuencia, se puede utilizar para calcular el campo eléctrico en un punto $P = (r, \theta, \phi)$ del espacio como un producto de dos contribuciones: la primera de las cuales es debida al campo eléctrico en el plano horizontal de la antena $D_H(\Psi)$ y la segunda de las cuales es debida al campo eléctrico en el plano vertical de la antena $D_V(\theta)$.

60 La segunda contribución sostiene calculando el campo eléctrico en la proyección $P_1 = (r, \theta, 0)$ del punto $P = (r, \theta, \phi)$ sobre el plano vertical x, z de la antena, tal como se muestra en la figura 1. En esta figura, la antena de disposición lineal, representada esquemáticamente, esta dispuesta a lo largo del eje z de un sistema de referencia cartesiano x, y, z en una posición simétrica respecto al eje x. El punto P, identificado mediante las coordenadas esféricas r, θ, ϕ , es el punto en el espacio donde se ha de evaluar la intensidad del campo eléctrico. El punto P_1 es la proyección del punto P sobre el plano vertical de la antena (plano x, z) y se obtiene girando el punto P alrededor del eje z, según un ángulo que es igual al valor de la coordenada esférica ϕ .

ES 2 296 959 T3

Para calcular el campo eléctrico en P_1 , introducimos el concepto de “distribución de corriente equivalente”, abreviado como ECD, es decir, la distribución de corriente que genera los mismos efectos de la radiación de una cierta fuente en el campo de la zona cercana y en el campo de la zona lejana.

5 En el caso de una antena de disposición lineal, que está polarizada verticalmente, el ECD se puede definir convenientemente como una corriente de una dimensión a lo largo de un fino alambre de longitud arbitraria L , tal como se muestra a lo largo del eje z en posición simétrica respecto al eje x en el sistema de referencia cartesiano de la figura 2.

10 En la figura, $I(z)$ es la corriente eléctrica que se desplaza en alambre, que se supone polarizada en la dirección z (es decir, $I(z) = I(z) \hat{z}$). El vector r' identifica un elemento de corriente genérico sobre el alambre fino. Las coordenadas $d, \theta_d, \phi_d = 0$ son las coordenadas esféricas del punto P_1 en un sistema de referencia cartesiano, cuyo origen corresponde al elemento de corriente identificado mediante el vector r' .

15 La corriente ECD se obtiene a partir del conocimiento del diagrama de radiación en el plano vertical de la antena: a partir de la teoría de radiación, podemos escribir el diagrama de radiación en términos de tensión $V(\theta)$ en el plano vertical x, z como:

$$20 \quad V(\theta) = \sqrt{D_V(\theta)} = C \sin \theta \int_{-L/2}^{L/2} I(z) \exp(j2\pi z \cos \theta) dz \quad (5)$$

donde C es una constante multiplicadora y $I(z)$ es la corriente generada en el alambre.

25 Definiendo:

$$u = (\cos \theta) / \lambda,$$

$$30 \quad \tilde{V}(u) = V(u) / \sqrt{1 - (\lambda u)^2}$$

y resolviendo (5) respecto a $I(z)$, es decir a ECD, obtenemos:

$$35 \quad I(z) = \int_{-L/2}^{L/2} \tilde{V}(u) \exp(-j2\pi z u) du = \mathfrak{F}\{\tilde{V}(u)\} \quad (6)$$

40 es decir, ECD es la transformada de Fourier el diagrama de radiación previamente definido $V(u)$. Se puede calcular con una transformada rápida de Fourier (FFT), utilizando el teorema de muestra de Nyquist y estimando la extensión física del ECD como χ veces la altura física de la antena. El ECD resultante es consiguientemente discreto, es decir, está formado de un cierto número de muestras de corriente I_n . Los resultados numéricos demuestran que χ en valores en el intervalo entre 2 y 3 son aceptables para disposiciones lineales.

45 Alternativamente, el ECD se puede obtener con el método de muestreo de Woodward-Lawson (por ejemplo, ver el artículo de G.A. Somers “A proof of the Woodward-Lawson sampling method for a finite linear array”, Radio Science, Vol. 28, N°. 4, pp. 481-485, Julio-Agosto 1993).

50 El ECD determinado de esta manera es una distribución de corriente discreta, por lo tanto la función vectorial $\underline{E}(r, \theta)$, requerida para computar el campo eléctrico en el plano vertical según la ecuación (4), es proporcionada mediante:

$$55 \quad \underline{E}(r, \theta) = j \frac{Z_0}{2\lambda} \sum_n \frac{\exp(-jnk_0 d)}{d} I_n \sin \theta_d \hat{\theta}_d \quad (7)$$

60 donde Z_0 es la impedancia característica del vacío, igual a 377Ω , λ es la longitud de onda, $k_0 = 2\pi/\lambda$ es la constante de propagación en vacío, I_n es la muestra de ECD n -ésima, y d y θ_d , tal como se ha mencionado anteriormente, son las coordenadas esféricas del punto P_1 en el que se computa el campo eléctrico en la referencia cartesiana centrada en la muestra de corriente I_n n -ésima, tal como se muestra en la figura 2.

65 Naturalmente, se pueden implementar numerosos cambios en la construcción y en las realizaciones de la invención aquí previstas sin apartarse del alcance de la presente invención, tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para evaluar niveles de campo eléctrico $|E(r, \theta, \phi)|$ en un punto $P(r, \theta, \phi)$ en la zona próxima a antenas de transmisión, particularmente antenas de disposición lineal situadas en el origen de un sistema de referencia cartesiano identificado mediante las coordenadas ortogonales (x, y, z) y las coordenadas esféricas (r, θ, ϕ) , en el que:

- se establece la potencia (P_R) de la radiofrecuencia transmitida por la antena;
- se determina el diagrama de radiación (D_V) de la antena en el plano vertical ($\phi = 0$);
- se determina el diagrama de radiación (D_H) de la antena en el plano horizontal;
- se mide la altura física de la antena;

caracterizado por el hecho de que dicha potencia de señal (P_R) y dichos diagramas de radiación (D_V, D_H) se utilizan como entradas para medios de procesamiento de datos para determinar el nivel del campo eléctrico según la siguiente expresión:

$$|E(r, \theta, \phi)| = \sqrt{P_R D_H(\Psi)} |E(r, \theta)|$$

donde: $D_H(\Psi)$ es el diagrama de radiación sobre una superficie cónica generada por la rotación alrededor del eje z en la dirección de radiación máxima; el ángulo Ψ , función de θ, ϕ y τ , se proporciona mediante:

$$\psi(\theta, \phi, \tau) = \phi \sin(\beta(\theta, \tau)), \quad \text{donde } \beta(\theta, \tau) = \begin{cases} \theta \frac{\pi}{\pi + 2\tau} & 0 \leq \theta \leq \pi/2 + \tau \\ (\pi - \theta) \frac{\pi}{\pi - 2\tau} & \pi/2 + \tau < \theta \leq \pi \end{cases}$$

siendo τ la inclinación hacia abajo del rayo de radiación respecto al plano horizontal (x, y) ; y $E(r, \theta)$ es una función vectorial resultante de:

$$E(r, \theta) = j \frac{Z_0}{2\lambda} \sum_n \frac{\exp(-jnk_0 d)}{d} I_n \sin \theta_d \hat{\theta}_d$$

donde Z_0 es la impedancia característica del vacío, λ es la longitud de onda, k_0 es la constante de propagación en vacío, I_n es la muestra de ECD n -ésima, y d y θ_d son las coordenadas esféricas de la proyección $P_1 = (r, \theta, 0)$ de dicho punto $P(r, \theta, \phi)$ en el plano vertical (x, y) .

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por el hecho de que se utiliza la siguiente transformada de Fourier $\mathfrak{F}\{\tilde{V}(u)\}$ para determinar dicha corriente unidimensional mediante medios de procesamiento de datos; donde

$$I(z) = \int_{-L/2}^{L/2} \tilde{V}(u) \exp(-j2\pi zu) du = \mathfrak{F}\{\tilde{V}(u)\}$$

$$\cos(\theta)/\lambda \text{ y } \tilde{V}(u) = V(u)/\sqrt{1 - (\lambda u)^2},$$

siendo $V(u)$ el diagrama de redacción de voltaje en el plano vertical (x, y) , resultante de la teoría de radiación de dicho diagrama de radiación (D_V).

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** por el hecho de que dicha transformada de Fourier se calcula mediante dichos medios de procesamiento de datos con una Transformada Rápida de Fourier estándar, utilizando el teorema de muestreo de Nyquist y estimando la extensión física de dicha corriente unidimensional como χ veces dicha altura física de la antena, estando comprendido χ entre 2 y 3.

4. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** por el hecho de que dicha corriente unidimensional se calcula mediante medios de procesamiento de datos según el método de muestreo de Woodward-Lawson.

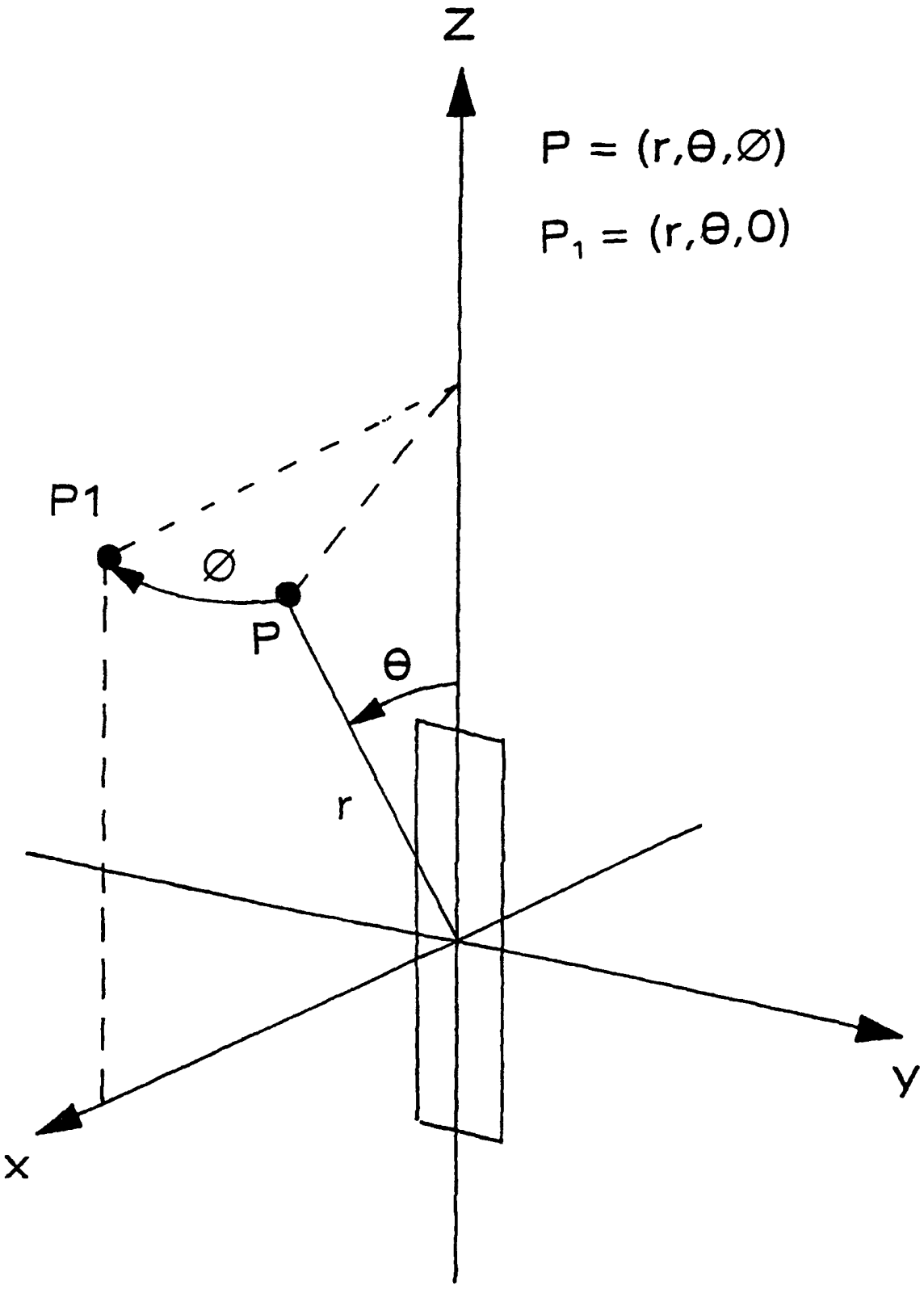


Fig. 1

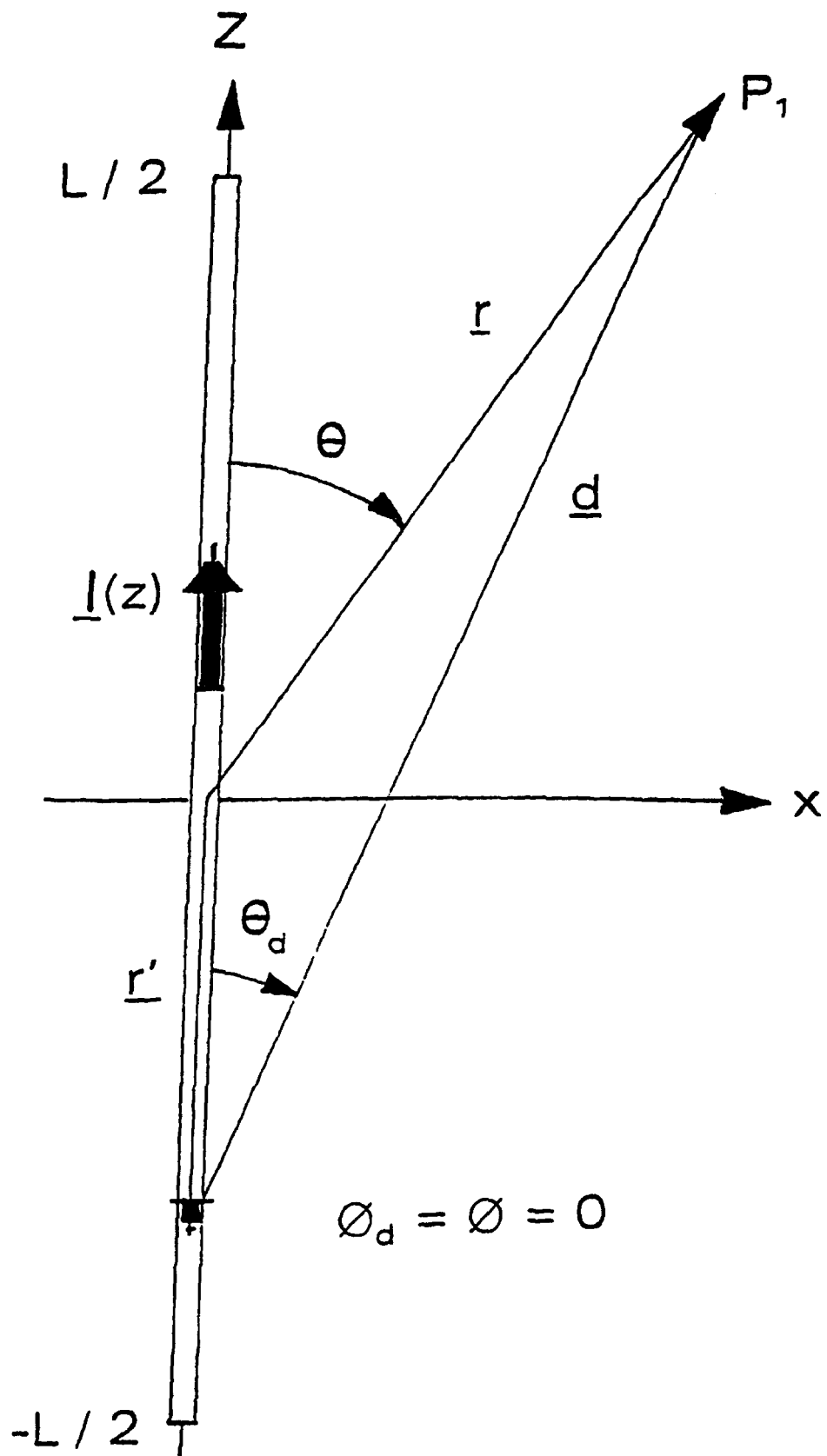


Fig. 2