

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 929 318**

51 Int. Cl.:

A01M 29/28 (2011.01)

G06F 30/00 (2010.01)

G16B 40/00 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.06.2020** **PCT/EP2020/067905**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.12.2020** **WO20260501**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2020** **E 20737099 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2022** **EP 3784036**

54 Título: **Procedimiento para influir en los artrópodos**

30 Prioridad:

25.06.2019 DE 102019117088

13.08.2019 DE 102019121833

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2022

73 Titular/es:

**RUTRONIK ELEKTRONISCHE BAUELEMENTE
GMBH (100.0%)
Industriestrasse 2
75228 Ispringen, DE**

72 Inventor/es:

MANGLER, ANDREAS

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 929 318 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 influir en los artrópodos

La presente invención se basa en el siguiente trabajo: Procedimiento para el modelado sustituyente de estructuras sensores de artrópodos en base a modelos de circuitos equivalentes con estimulación multifrecuencia para patrones de comportamiento de aprendizaje profundo de artrópodos

Contenido

- Definición del objetivo
- Introducción y motivación
- Funciones sensoriales de los artrópodos
- Modelos de puntuación de las funciones sensoriales de los artrópodos
- Principio básico de funcionamiento del sistema
- Parámetros para influir en los patrones de comportamiento
- Generador de señales de estimulación que combina una señal de multiplexación por división de frecuencia (FDM) y una señal de multiplexación por división de tiempo (TDM)
- Modelos de circuitos equivalentes (ECM) para el sistema multisensor de artrópodos
- Transformación en modelos de línea de transmisión (TLM)
- Clasificación de TLM y asignación de las propiedades sensoriales
- Fundamentos matemáticos para el cálculo del espectro de impedancia
- Análisis topográfico y tomográfico mediante cálculo del factor tau
- Extracción de parámetros del modelo de sensor
- Aprendizaje automático a través de un sistema de control adaptativo basado en modelos
- Aplicación de funciones neuronales
- Aprendizaje profundo utilizando un bucle de retroalimentación en los parámetros extraídos y ajustando los parámetros

Resumen:

La espectroscopia de impedancia es un procedimiento de medición reconocido y no invasivo, en particular para la caracterización y el análisis de sistemas electroquímicos y bioquímicos. Actualmente, la espectroscopia de impedancia se utiliza con éxito en condiciones de laboratorio; todavía no se ha llevado a cabo una amplia aplicación industrial y comercial en sistemas integrados. La aplicación de este procedimiento en sistemas bioquímicos como los humanos, los animales y especialmente los artrópodos es compleja. Uno de los desafíos es encontrar algoritmos de modelado escalables y algoritmos de aprendizaje profundo basados en inteligencia artificial que sean universalmente aplicables pero que sigan siendo adecuados para sistemas autónomos integrados en tiempo real con menores requisitos de memoria. Este documento describe un procedimiento para el modelado sustituyente de estructuras de sensores de artrópodos basado en modelos de circuitos equivalentes con estimulación multifrecuencia para patrones de comportamiento de aprendizaje profundo de artrópodos [7].

El procedimiento describe una metodología robusta y aplicada universalmente para la representación paramétrica y no paramétrica del modelo de impedancia no lineal y el comportamiento correlacionado de los artrópodos.

Para la industrialización de software y hardware, es importante que la implementación del generador de señales para la estimulación de artrópodos se pueda realizar en un sistema apoyado en microcontroladores. El establecimiento de la espectroscopia de impedancia y sus generadores de señal para la estimulación en ámbitos de aplicación comerciales con o sin una conexión en línea / nube requiere algoritmos que funcionen idealmente de acuerdo con una serie de procedimientos y algoritmos matemáticos idénticos.

El modelado universalmente utilizable es enormemente importante, especialmente para la gran cantidad de artrópodos. Una representación tridimensional se utiliza típicamente para ilustrar la impedancia de los sistemas bioquímicos. Un algoritmo dirigido al objetivo debe apoyar cualquier tipo de representación paramétrica, por ejemplo, dependiendo de Z real, Z imaginario, frecuencia, tiempo, tiempo de estabilización, tiempo de relajación, temperatura, presión del aire y humedad del aire. El procedimiento permite influir y estimular a los artrópodos y ajustar los algoritmos a través de un número limitado de parámetros para extender el uso a diferentes clases de artrópodos [7].

Este procedimiento se ha deducido de un llamado enfoque de big data, que tiene como objetivo describir cualquier número de modelos no lineales diferentes con un solo algoritmo.

A través de la combinación especial de diferentes enfoques de procedimientos matemáticos y procedimientos físicos reconocidos ha sido posible desarrollar un nuevo algoritmo optimizado con el que se puede influir y estimular el comportamiento específico de los artrópodos.

Sensores bioquímicos de artrópodos

De manera representativa para los artrópodos, las propiedades del sensor se explican utilizando el ejemplo de mosquitos. Las reacciones de olor se desencadenan por la activación de las neuronas sensoriales olfativas (OSN), que se localizan principalmente en antenas, palpos maxilares, herramientas bucales (que consisten en probóscide y labelo) y tarsos. Estos apéndices sensoriales pueden percibir estímulos extrínsecos muy diferentes como, por ejemplo, olores volátiles y no volátiles o feromonas, temperatura, humedad, tacto inofensivo o dañino y fuerza de gravedad para activar una compleja compilación de diferentes vías de percepción de artrópodos.

El modelado de las propiedades eléctricas y bioquímicas, así como la estimulación de los artrópodos, representa un gran desafío. La definición de propiedades dinámicas no lineales basadas en parámetros definidos es un proceso muy complejo. Para comparar los resultados determinados experimentalmente con el modelo actual, los artrópodos deben mantenerse en un estado operativo definido y lo más estable posible. En condiciones de laboratorio, esto es posible en gran medida con un cierto esfuerzo técnico, pero en la práctica, dentro de sistemas integrados, como dispositivos móviles o portátiles, solo hasta cierto punto. Cuatro características describen la actividad típica de los artrópodos en condiciones reales en términos de desafíos.

En primer lugar, está la volatilidad, es decir, la actividad y los cambios dinámicos, la velocidad de los cambios y las influencias externas en las que cambia el entorno de los artrópodos. El segundo desafío es la incertidumbre de la medición y los datos asociados con esta, la falta de previsibilidad de los eventos, la falta de conocimiento y de comprensión de los eventos y sus efectos en los artrópodos. En tercer lugar, la complejidad es un problema real, ya que una serie de parámetros influyen simultáneamente en los artrópodos y hacen imposible asignar desviaciones directamente definidas por las causas. La cuarta y última característica es la ambigüedad, que puede conducir a malas interpretaciones y falta de definición de los diferentes estados de los artrópodos. Con esto en mente, se lanzó el proyecto de investigación para desarrollar un algoritmo generalmente reconocido y aplicable que sea robusto e implícitamente simplifique el problema y lo divida en etapas definidas.

El siguiente contenido es el objeto y el contenido del procedimiento y de la protección procedimental.

- Un marco de software que nos permite comprender los datos y el patrón de comportamiento de los artrópodos, lo que conduce a conocimiento aprovechable que mejora automáticamente los algoritmos del patrón de frecuencia.
- Uso de aprendizaje automático y algoritmos de aprendizaje profundo en sistemas integrados
- Correlación entre el comportamiento de los artrópodos y el patrón de frecuencia de la señal de estimulación
- Parametrización del comportamiento del sistema nervioso basado en modelos de diagramas de circuitos de reemplazo equivalentes (ECM)
- En particular, el uso de modelos de línea de transmisión TLM para modelar diagramas de circuitos de reemplazo equivalentes
- Uso de diagramas de circuitos de reemplazo simplificados como, por ejemplo, los modelos de Infinite Voigt para determinar los espectros de impedancia a partir de datos determinados empíricamente
- Estimulación ganglionar no invasiva con patrones de frecuencia adaptativa
- Estimulación no invasiva con patrones de frecuencia adaptativos que influyen en la autorresonancia de los receptores sensoriales de los artrópodos
- Uso de ECM comprimidos y parámetros de modelo mediante la normalización de parámetros como elementos de fase constante CPE y circuitos de Infinite Voigt
- Simplificación de la estructura del sensor y del sistema nervioso de los artrópodos mediante el análisis de las propiedades químicas, biológicas y físicas. Las propiedades de sensor fusionadas de los artrópodos se dividen para desagregar las complejas estructuras de sensor
- Análisis y representación de las propiedades sensoriales de los artrópodos en el espectro de impedancia
- Uso de diferentes representaciones de impedancia para desagregar las operaciones compleja
- s con la ayuda del diagrama de Nyquist, procedimiento de distribución DRT de tiempo de relajación, impedancia en función del ángulo de fase y la frecuencia
- Uso de la transformada de Fourier y la transformada rápida de Fourier (FFT) y en particular la transformada de Fourier inversa (retransformación) para analizar la función de imagen $Y(\omega)$ y la función original $y(t)$
- Uso de la DFT de transformada de Fourier discreta para el uso eficiente de la memoria de los algoritmos basados en un microcontrolador con la inclusión de un algoritmo de Goertzel para la evaluación de la señal, especialmente cuando se utiliza más de una frecuencia de estimulación
- Uso de la transformada de Laplace para el análisis de señales continuas en el tiempo y el análisis de la función inferior de imagen $F(s)$ y la función original o función superior $f(t)$ y en particular la retransformada, la transformada de Laplace inversa
- Uso de la transformada z para el análisis de señales discretas en el tiempo y su transformada Z inversa
- Uso del análisis vectorial como un análisis plano o espacial de funciones de tiempo, funciones de frecuencia y, en particular, espectros de impedancia para describir puntos extremos significativos en el espectro
- Descripción de un procedimiento para la implementación en sistemas basados en MCU sin conectividad o con conectividad en la nube
- Generación de un modelo de referencia para la estimulación de los artrópodos mediante patrones de frecuencia con el fin de forzar un patrón de comportamiento definido de los artrópodos (por ejemplo, modo de relajación o sueño) o para influir en la función de los receptores sensoriales

- Actualización y adaptación del patrón de frecuencia mediante transmisión de radio o un patrón de frecuencia calculado de modo autónomo por el microcontrolador instalado internamente en el dispositivo
- Generación de pulsos de trichel para la simulación de pulsos de descarga de corona
- Generación de secuencias de pulsos de trichel y secuencias de pulsos por ráfaga con un modulador PWM basado en microcontrolador
- Generación de patrones de frecuencia para la simulación de operaciones de ionización y sus progresiones temporales
- Adaptación de patrones de frecuencia basados en la función gráfica del espectro de impedancia mediante análisis vectorial
- Generación universalmente ajustable de patrones de frecuencia y utilización en una red basada en radio
- Determinación de los parámetros para influir en patrones de comportamiento y funciones físicas y relacionadas con el ambiente
- Uso de modelos de circuitos de reemplazo equivalentes (ECM) para el sistema multisensor de artrópodos, en particular modelos de líneas de transmisión TLM
- Extracción de parámetros de los modelos de sensores divididos
- Uso del factor de tortuosidad para la descripción y evaluación de datos de imágenes tomográficas y topográficas
- Combinación de multiplexación por división de tiempo (TDM), multiplexación por división de frecuencia (FDM) y señales de dither para estimular los modelos de sensores ECM segmentados y comprimidos de los artrópodos
- Ampliación de los algoritmos de aprendizaje automático para cubrir diferentes tipos de artrópodos en diferentes regiones
- Análisis de las familias de curvas en el espectro de impedancia y ajuste de las curvas por medio de gradientes y vectores
- Extensión de algoritmos para aprendizaje profundo para adaptar automáticamente los algoritmos a las condiciones ambientales cambiantes y a los diferentes tipos de artrópodos
- Esto da como resultado conocimiento factible que mejora los algoritmos de software para definir los llamados modelos de referencia y modelado de referencia.
- Uso de modelos de Infinite Voigt para la determinación empírica de constantes de tiempo y patrones de frecuencia de estimulación y, en particular, en el análisis DRT (Distribution Relaxation Time)

El análisis conductual de los artrópodos es complejo. Para operarlos de manera efectiva se necesita una visión general completa del entorno real por medio de mediciones y de parámetros que afectan a los artrópodos. Sobre la base de algoritmos basados en IA y el procedimiento descrito, es posible realizar funciones cognitivas que influyen específicamente en el sistema sensor y el sistema nervioso de los artrópodos sin un cambio continuo específico del programa.

Esto da lugar a otro conocimiento como:

- Comprensión de los artrópodos en su entorno respectivo
- Percibir como artrópodos
- Protección más eficaz y adaptable contra enfermedades
- Algoritmos funcionales de todas las áreas en todos los países

Fig. 1: El objetivo es un análisis predictivo o sistema analítico para adaptar algoritmos en el período previo a los eventos.

Fig. 2: Los tres pasos del análisis descriptivo mediante datos predictivos hasta aprendizaje profundo

Motivación

Motivación del proyecto:

El mosquito tigre asiático *Aedes albopictus* es una especie altamente invasora y potencial portadora de varios arbovirus (por ejemplo, fiebre del dengue, Chikunguña, Zika) y parásitos (por ejemplo, *Dirofilaria*), que son de enorme importancia para la salud mundial. [1 Lombardo et al.] En comparación con otras especies, las hembras de *Ae. albopictus* es un comportamiento particularmente peligroso para humanos y animales, a saber, la búsqueda general de huéspedes y un comportamiento de mordedura muy agresivo. Varios comportamientos complejos como la búsqueda del huésped, la alimentación, el apareamiento o la puesta de huevos se basan en provocaciones olfativas estimuladas y basadas por una serie de neuronas sensoriales que están ubicadas principalmente en formaciones especiales de apéndices de la cabeza, como antenas, palpos maxilares y herramientas bucales.

Fig.3: Ejemplo de un artrópodo

El mosquito tigre asiático es un portador agresivo, picante y diurno de varios arbovirus patógenos humanos. [1] *Ae. albopictus* ha sido descrito como una de las 100 peores especies invasoras del mundo (Global Invasive Species Database, <http://www.issg.org/database/>). De hecho, el impacto en la salud humana depende de la rápida y agresiva propagación global desde el área de distribución nativa (sudeste asiático), así como de la adaptabilidad ecológica

debido a diversas características, que incluyen, sobre todo, el comportamiento dietético, la diapausa y la competencia vectorial. Las señales biológicas que son absorbidas del medio ambiente y percibidas por el sentido del olfato y otras modalidades quimiosensoriales desempeñan un papel central en la adaptación de comportamientos como la búsqueda del huésped, la alimentación, el apareamiento, la puesta de huevos y la absorción de repelentes. Las respuestas olfativas se desencadenan por la activación de las neuronas sensoriales olfativas (OSN) que se encuentran principalmente en antenas, palpos maxilares, herramientas bucales (que consisten en probóscide y labelo) y tarsos. Estos apéndices sensoriales pueden percibir estímulos extrínsecos muy diferentes, como olores volátiles y no volátiles o feromonas, temperatura, humedad, tacto inofensivo o dañino y fuerza de gravedad para activar una compleja recopilación de diferentes formas de la percepción del mosquito. La percepción de los estímulos químicos, es decir, quimiosensoriales, se basa en neuronas quimiosensoriales que son activadas selectivamente por diversos compuestos volátiles como, por ejemplo, moléculas de fragancia y feromonas. Los componentes moleculares subyacentes a la transmisión de señales olfativas periféricas incluyen una serie de relaciones intracelulares y extracelulares. La complejidad de los factores olfativos junto con los diferentes efectos y/o diversidad contribuye directamente a la estimulación del comportamiento específico de las especies de mosquitos. Desde un punto de vista centrado en el receptor, el sistema de quimiosensores en artrópodos se basa en gran medida en diferentes representantes de tres familias de genes que se expresan principalmente en OSN, que a su vez se encuentran en sensilias especiales en apéndices olfativos: receptores olfativos (OR), receptores del gusto (GL) y receptores ionotrópicos (IR). Las sustancias olorosas y los compuestos químicos atraviesan la cutícula a través de los poros de sensilias y llegan así a la linfa de sensilia acuosa.

Esto les permite ser reconocidos y transportados a sus receptores correspondientemente específicos en las membranas dendríticas OSN. Esto sucede debido a un número diverso de proteínas extracelular de unión a sustancia aromatizante (OBP) y proteínas de unión a feromonas (PBP), que son secretadas por una red de células secundarias y se encuentran en la base de la sensilia del artrópodo. Hay varios tipos de sensilias quimiosensoriales que albergan las OSN y otras neuronas sensoriales, así como las células secundarias asociadas, que a su vez se distribuyen en los apéndices sensoriales del artrópodo.

Figura 4: Representación esquemática de una cabeza femenina con antenas resaltadas (FA, marcadas en rojo) y palpos (FP, parte superior del gráfico) [1 Lombardo et al.], cabeza masculina (MH), cuerpo completo del artrópodo hembra (FB, parte inferior del gráfico).

Figura 5: Comparaciones de muestras pareadas. Diagrama de Venn proporcional que muestra comparaciones por pares entre antenas y palpos de una hembra y cabezas de un macho. Se compararon entre sí los subconjuntos de genes resaltados en cada muestra en comparación con el cuerpo femenino de acuerdo con el valor de umbral edgeR a una significación de $P < 0,001$ (véase tabla). Las superposiciones (y los números relativos) representan subconjuntos de genes que se distribuyen de manera diferente en más de un tejido.

Descripción general de las antenas de una hembra de *Ae. aegypti*

El *Aedes aegypti* es un mosquito fuertemente antropofílico responsable de transmitir el dengue y la fiebre amarilla en todo el mundo. Al igual que con otros mosquitos, el comportamiento de picadura y preferencia del huésped de este vector de la enfermedad está influenciado en gran medida por el sentido del olfato, que se cree que se ve reforzado por las cascadas de señalización del receptor acopladas a la proteína G. Esto se conoce como la identificación y caracterización de la proteína AaOr7, el primer o más importante receptor de olor en *Ae. aegypti*. Este receptor muestra una preservación extremadamente alta de aminoácidos primarios con AgOr7, otro receptor de olor identificado en *Anopheles gambiae* (vector de malaria de Afrotropis), así como varios receptores olfativos previamente identificados en *Drosophila melanogaster* y otros artrópodos. Esto es evidente en los tejidos quimiosensoriales adultos y en varias fases de la vida y el desarrollo de la *Ae. aegypti*. Dentro del sistema olfativo adulto, la proteína AaOr7 se encuentra específicamente en la mayoría de las sensilias de antenas y palpos maxilares, así como en un subconjunto de sensilias de probóscide. Esto es consistente con el papel de AaOr7 como un sensor de olor y sabor, lo que apoya la hipótesis de que AaOr7 y su ortología pueden ser de importancia general para los procesos quimiosensoriales a lo largo del ciclo de vida de un artrópodo [4].

Figura 6: Imagen de una antena de una hembra de la *Ae. aegypti* [4].

(A). En el primer segmento flagelar de las antenas femeninas, la marca específica de AaOr7 se limita al tercio distal (derecha, indicado por flecha), en el que se puede ver una serie de cuerpos celulares neuronales marcados y dendritas que se proyectan.

(B, C) Se observó un etiquetado específico de AaOr7 a lo largo de toda la antena, un ejemplo de un segmento distal, presumiblemente 9-11,

(D, E) se muestra. La marca AaOr7 es visible en dendritas que estimulan sensilias de tricoide (flechas vacías), pero no en sensilias de cono ranurado (flechas llenas). Combinación de imagen al microscopio óptico, etiquetado específico (B, D) de AaOr7 (magenta en [4]), neuronal (verde en [4]) y nuclear (azul en [4]) e imagen única correspondiente de etiquetado específico de AaOr7 (C, E). Identificado con colores, véase [4].

Figura 7: Etiquetado específico de AaOr7 en el palpo maxilar femenino (Capitate-Peg-sensilia, A, B) y la sensilia labial-palpos-T2 (C, D). (A) Imagen compuesta, etiquetado de AaOr7 (magenta en [4]), neural (verde en [4]) y nuclear (azul en [4]). (B) Vista ampliada del marco en (A). (C) Imagen compuesta de una sección óptica (2µm) de la punta de un palpo labial femenino, donde el etiquetado que recuerda a las estructuras dendríticas en estas sensilias es muy débil pero reproduciblemente observable, etiquetado de AaOr7 (magenta en [4]), neuronal (verde en [4]) y nuclear (azul en [4]). (D) Vista ampliada del marco en (C). Identificado con colores, véase [4].

Distribución de la frecuencia de la transcripción en tejidos quimiosensoriales

La clasificación de transcripciones específica de tejidos se evaluó mediante comparaciones por pares entre las muestras. El cambio de pliegue (FC), los valores logarítmicos y las tasas de detección falsa (FDR) se calcularon con edgeR para realizar la validación estadística. En la tabla se seleccionan transcripciones (que están representadas a continuación como genes) que muestran una mayor frecuencia de tejido quimiosensorial (antenas femeninas, palpos femeninos y cabezas masculinas) en comparación con todo el cuerpo femenino y se comparan entre sí. Se utilizó un valor de umbral FDR estadístico definido ($P < 0,001$) para definir subconjuntos de genes altamente amplificados en antenas femeninas (620 cóntigos) y en palpos femeninos (268 cóntigos, Tabla 1 y Fig. 8). Dentro de estos criterios, se enriquecieron 171 cóntigos en cabezas masculinas en comparación con el cuerpo femenino, lo que indica un perfil de frecuencia específico de género (Fig. 8).

Distribución de la expresión génica con edgeR

Tabla 1: . Distribución de la expresión génica con edgeR. Las comparaciones por pares (FA vs. FB, FP vs. FB y MH vs. FB) destacan los genes que aparecen en cada muestra después de diferentes umbrales de probabilidad ($P < 0,05$, $P < 0,01$ y $P < 0,001$).

		$P < 0.05$	$P < 0.01$	$P < 0.001$
FA vs FB	FA UP:	1992	1129	620
	FB UP:	3068	1962	1207
	Total:	5060	3091	1827
FP vs FB	FP UP	1752	731	268
	FB UP	3445	1755	807
	Total:	5197	2486	1075
MH vs FB	MH UP	2137	819	171
	FB UP	2918	1768	1091
	Total:	5055	2587	1262

Figura 8 Análisis diferenciado de la expresión (DE) de genes quimiosensoriales. Los diagramas de volcán muestran la expresión relativa de cóntigos en comparaciones por pares.

El eje x representa el logFC (Fold Change) entre los tejidos. El eje y representa el log10 negativo del valor p (tasa de detección falsa) calculado por medio de la prueba exacta de Fisher.

a. cuerpos femeninos vs. antenas.

b. cuerpos femeninos vs. palpos.

c. cuerpos femeninos vs. cabezas masculinas. En la gráfica solo se muestran cóntigos expresados de manera diferente ($P < 0,05$, logFC < -2 y > 2) (puntos grises en [1]), OBP negro, OR rojo (en [1]), GR verde (en [1]) e IR azul (en [1]). Colores marcados.

Familias de genes quimiosensoriales

Tabla 2: Familias de genes quimiosensoriales. La columna de transcriptomas indica el número de genes pertenecientes a cada familia quimiosensorial identificados en el transcriptoma mediante análisis BLAST manual y automatizado (entre paréntesis). Las otras columnas (antenas, palpos y cabezas masculinas) muestran el número de genes quimiosensoriales en cada subconjunto enriquecido (véase tabla x perfil de expresión génica con edgeR), umbral en FDR $< 0,05$).

	Transcriptomas (33.846)	Antenas (5060)	Palpos (5197)	Cabezas mas - culinas (5055)
OBP	77 (68)	30	26	15
OR	82 (59)	52	11	3
IR	60 (43)	25	6	6
GR	30 (28)	2	4	0
Tot.	249	109	47	24

Con la ayuda de un modelo de puntuación, se pueden analizar, agrupar proteínas de unión al olor (OBP), receptores olfativos (OR), receptores ionotrópicos (IR) y simplificar los modelos de datos. Con valores altos de TPM, se puede analizar la clasificación de las proteínas y receptores responsables de los quimiosensores.

- 5 Proteínas de unión a olores (OBP) y distribución en antenas femeninas (FA), palpos femeninos (FP), cabeza masculina (MH), cuerpo femenino (FB)

Figura 9 Proteínas de unión a olores (OBP) en transcriptomas de *Ae. albopictus*. Área izquierda, perfil de frecuencia: escala de intensidad (gradiente de color de azul a amarillo, véase [1], muestra nivel de valores de TPM altos a bajos), (los colores se representan en gris de negro a blanco a través de gris) como se indica más adelante. Pueden distinguirse nombres OBP asignados, ID en *Ae. albopictus* (VectorBase ID AALFxxxxxxx si está presente o ID de cóntigo en el transcriptoma), número de cisteína, subfamilia OBP, nombre e ID del ortólogo sospechoso de *Ae. aegypti* y porcentaje de identidad.

Receptores olfativos (OR) y distribución en antenas femeninas (FA), palpos femeninos (FP), cabeza masculina (MH), cuerpo femenino (FB)

- 15 Figura 10 Receptores olfativos (OR) en transcriptoma de *Ae. albopictus*. Área izquierda, perfil de frecuencia: Escala de intensidad (gradiente de color de azul a amarillo, véase [1], muestra niveles de valores de TPM altos a bajos), (los colores se representan en gris de negro a blanco a través de gris) como se muestra más adelante. FA: antenas femeninas; FP: palpos femeninos; MH cabezas masculinas y FB, cuerpo femenino.

- 20 Receptores ionotrópicos (IR) y distribución en antenas femeninas (FA), palpos femeninos (FP), cabeza masculina (MH), cuerpo femenino (FB)

Figura 11 receptores ionotrópicos (IR) en transcriptoma de *Ae. albopictus*. Área izquierda, perfil de frecuencia: Escala de intensidad (gradiente de color de azul a amarillo, véase [1], muestra niveles de valores de TPM altos a bajos), (los colores se representan en gris de negro a blanco a través de gris) como se muestra más adelante. FA: antenas femeninas; FP: palpos femeninos; MH cabezas masculinas y FB, cuerpo femenino.

- 25 Los receptores ionotrópicos (IR) son una subfamilia grande y divergente de receptores ionotrópicos de glutamato (iGluRs), [2] [Abuin et.al] Desempeñan un papel importante en los quimiosensores, termosensores e higosensores. De manera análoga a los mecanismos de focalización sináptica de su familia de cepas iGluR, se cree que los IR forman complejos de correceptores ampliamente expresados y receptores de "afinación" expresados selectivamente para la localización en cilios sensoriales. Mientras que el dominio de unión a ligandos extracelulares (LBD) de los receptores define la especificidad sensorial, el papel de estos dominios en los correceptores no está claro. Se ha identificado una secuencia específica del correceptor en el LBD que contiene un sitio de N-glicosilación. Al combinar análisis genéticos moleculares y biológicos celulares, mostramos que este sitio es superfluo para la construcción de complejos IR en neuronas sensoriales olfativas, pero es imprescindible para la salida del retículo endoplásmico de algunos, pero no todos, los complejos IR. Los datos muestran el importante papel del correceptor IR LBD en el control del transporte intracelular. Proporcionan nuevos conocimientos sobre la estequiometría y la estructura de los complejos IR y revelan una heterogeneidad inesperada en la regulación del transporte de esta familia de receptores sensoriales.

Figura 12. El co-receptor IR CREL tiene la tarea en el esquema de transporte subcelular (A) de la organización del dominio de iGluRs, correceptores IR y IRs de afinación. [2] [Abuin et.al.]

- 40 Figura 13 (C) Esquema de un tercer segmento de antena de *Drosophila* que muestra la distribución de diversas sensilias olfativas y otras estructuras sensoriales. La casilla de color naranja resalta una sola sensilia que se puede ver con más detalle en (D). La casilla de color rosa muestra el campo de visión aproximado que se representa en E-F e incluye las neuronas IR8a en el sáculo que expresan el receptor de ajuste IR64a[12]. (Sensilias en el sáculo, que tienen una estructura general similar a las sensilias de superficie como en (D), no están representadas). (D) Representación esquemática de las principales características anatómicas de una neurona sensorial olfativa (OSN); la morfología del cabello cuticular y las ramas de los cilios varían entre las diferentes clases de sensilias (Nota: la mayoría de las sensilias contienen más de una neurona por cabello). [2] [Abuin et.al]

Receptores del gusto (GR) y distribución en antenas femeninas (FA), palpos femeninos (FP), cabeza masculina (MH), cuerpo femenino (FB)

Figura 14: Receptores del gusto (GR) en transcriptoma de *Ae. albopictus*. Área izquierda, perfil de frecuencia: Escala de intensidad (gradiente color de azul a amarillo, véase [1], muestra niveles de valores de TPM altos a bajos), (los colores se muestran en gris de negro a blanco a través de gris) como se indica más adelante. FA: antenas femeninas; FP: palpos femeninos; MH cabezas masculinas y FB, cuerpo femenino.

Perfiles de frecuencia de genes sensoriales y distribución entre femeninos y masculinos

Figura 15: Perfiles de frecuencia de genes sensoriales en *Ae. albopictus*. Perfil de frecuencia: Escala de intensidad (gradiente de color de azul a amarillo, véase [1], muestra niveles de valores de TPM altos a bajos), (los colores se representan en gris de negro a blanco a través de gris) como se indica más adelante. El nombre del gen y el ID de cóntigo (códigos VectorBase, si están disponibles) también son reconocibles.

Validación de qPCR.

La validación de qPCR describe la correlación entre la frecuencia transcripcional de 11 genes tanto en las antenas (a) como también en los palpos maxilares (b)

Figura 16: Validación de qPCR. Correlación entre la frecuencia transcripcional de 11 genes tanto en las antenas (a) como en los palpos maxilares (b), que se muestra por qPCR y RNA-Seq. El grado de frecuencia se define como la relación entre cada valor muestral por encima de la mediana del grupo (cambio de pliegue, Fold Change, FC) en los suplementos de qPCR y RNA-Seq. Para ambas técnicas, se realizó una evaluación estadística de las pruebas de Spearman y Pearson y se presentaron los resultados en las figuras.

Habilidades sensoriales de los artrópodos

Las habilidades sensoriales de los artrópodos también se pueden describir con sensores individuales discretos. Desde un punto de vista físico, se necesita una gran cantidad de sensores con propiedades de sensor fusionadas para reproducir las complejas estructuras de sensores de los artrópodos. Las investigaciones biológicas preliminares han demostrado que existe una clara asignación de las propiedades definidas de los sensores, así como los perfiles de frecuencia de los genes sensoriales y la distribución entre femeninos y masculinos. Estos son las hipótesis ideales para construir modelos matemáticos basados en el cálculo de probabilidades.

Los sensores físicos incluyen:

- Sensor de ionización del aire o del entorno
- Sensores de sabor
- Quimiosensores
- Sensor de gas/sensor de respiración
- Sensor de calidad del aire
- Sensor de CO₂
- Sensor de presión de aire
- Sensor de temperatura
- Sensor de humedad
- Sensor de tiempo de vuelo
- Sensor infrarrojo
- Sensor UV
- Sensor de aceleración
- Sensor de sonido
- Medición de posición y distancia

Los diferentes tipos de artrópodos tienen diferentes capacidades sensoriales y una frecuencia y distribución diferentes de las habilidades sensoriales.

Descripción del procedimiento

Introducción

La espectroscopia de impedancia es un procedimiento de medición reconocido y no invasivo, en particular para la caracterización y el análisis de sistemas electroquímicos y bioquímicos. Actualmente, la espectroscopia de impedancia se utiliza con éxito en condiciones de laboratorio; todavía no se ha llevado a cabo una amplia aplicación industrial y comercial en sistemas integrados. La aplicación de este procedimiento en sistemas bioquímicos como humanos, animales y especialmente artrópodos es exigente. Uno de los desafíos es encontrar algoritmos de modelado escalables y algoritmos de aprendizaje profundo basados en inteligencia artificial que sean universalmente aplicables pero que sigan siendo adecuados para sistemas autónomos integrados en tiempo real con baja demanda de memoria. Este documento describe un procedimiento para el modelado sustitutivo de estructuras de sensores de artrópodos

basado en modelos de circuitos equivalentes con estimulación multifrecuencia para patrones de comportamiento de aprendizaje profundo de artrópodos [7].

El procedimiento describe una metodología robusta y de aplicación universal para la representación paramétrica y no paramétrica del modelo de impedancia no lineal y el comportamiento correlacionado de los artrópodos.

5 Para la industrialización de software y hardware es importante que la implementación del generador de señales para la estimulación de artrópodos se pueda realizar en un sistema apoyado por microcontroladores. El establecimiento de la espectroscopia de impedancia y sus generadores de señal para la estimulación en aplicaciones comerciales con o sin una conexión en línea/nube requiere algoritmos que funcionen idealmente de acuerdo con una serie de procedimientos y algoritmos matemáticos idénticos.

10 El modelado universalmente utilizable es enormemente importante, especialmente para la gran cantidad de artrópodos. Una representación tridimensional se utiliza típicamente para ilustrar la impedancia de los sistemas bioquímicos. Un algoritmo eficaz debe apoyar cualquier tipo de representación paramétrica, por ejemplo, dependiendo de Z real, Z imaginario, frecuencia, tiempo, tiempo de estabilización, tiempo de relajación, temperatura y humedad. El procedimiento permite influir y estimular a los artrópodos y ajustar los algoritmos a través de un número limitado de parámetros para extender el uso a diferentes clases de artrópodos [7].

15 Este procedimiento surgió de un enfoque llamado big data, que tiene como objetivo describir cualquier número de modelos no lineales diferentes con un solo algoritmo.

20 Por medio de la combinación especial de diferentes enfoques de procedimientos matemáticos y procedimientos físicos reconocidos ha sido posible desarrollar un nuevo algoritmo optimizado con el que se puede influir y estimular el comportamiento específico de los artrópodos.

Fig.50 Estructura de proceso simplificada para el modelado esquemático de circuito de reemplazo equivalente de artrópodos

25 La Fig. 50 muestra el proceso de modelado simplificado de la invención. Sobre la base de estudios empíricos, se crean señales en el rango del tiempo y en el rango de la frecuencia para la estimulación de los artrópodos. El procedimiento de estimulación utiliza un procedimiento combinado de TDM y FDM para generar señales multiespectrales. A partir de esto se crea un diagrama de circuito de reemplazo simplificado ECM como, por ejemplo, un modelo de Infinite Voigt, que representa una conexión en serie de combinación RC infinita con diferentes constantes de tiempo. Con la ayuda del patrón de frecuencia generado y la ECM simplificada se deriva un espectro de impedancia. Mediante el análisis DRT se determinan posteriormente las frecuencias características y las constantes temporales del artrópodo. Los datos tomográficos y topográficos existentes del artrópodo simplifican la creación del espectro de impedancia. Del análisis del espectro DRT se derivan nuevos patrones de frecuencia con diferentes frecuencias de estimulación. Estos, a su vez, sirven para determinar un nuevo espectro de impedancia mejorado y derivar de él nuevos modelos de líneas de transmisión estructuradas teniendo en cuenta las condiciones de valor límite. El TLM recién creado se puede utilizar para un proceso posterior de iteración o aproximación.

35 Principio básico de funcionamiento del sistema

40 El principio básico de funcionamiento físico, biológico y bioquímico se basa en las conclusiones e investigaciones ya descritas en las patentes [8], [9], [10], [11]. En estas se genera un patrón de frecuencia que se modula a una señal portadora y luego se emite a través de una antena. El artrópodo recibe las diferentes señales que se ajustan a los diferentes apéndices sensoriales, como antenas, palpos, cabeza y cuerpo y otros apéndices sensoriales. Las señales perturban o influyen en la función sensorial de los apéndices y, por lo tanto, también en el comportamiento de los artrópodos.

Fig. 17: Función simplificada del sistema

Parámetros para influir en los patrones de comportamiento

45 Debido a las múltiples propiedades sensoriales y su función física y bioquímica, se necesitan diferentes patrones de frecuencia para estimular tantas propiedades sensoriales como sea posible de los artrópodos. Estos patrones de frecuencia se pueden enviar al mismo tiempo, simultáneamente o secuencialmente, uno tras otro. Aquí, la topología y la estructura física del artrópodo son decisivas para cuáles apéndices sensoriales se deben estimular. Para estimular los diferentes tipos de artrópodos también son necesarios diferentes patrones de frecuencia. La Fig.18 muestra el principio simplificado para diferentes tipos de artrópodos y diferentes estimulaciones de los apéndices sensoriales. En esto se genera cualquier número n de frecuencias portadoras con cualquier número de frecuencias de modulación. Esto da como resultado posibilidades arbitrarias de generar diferentes señales de estimulación para los patrones de frecuencia.

Figura 19: Para estimular los diferentes artrópodos se utilizan diferentes moduladores de subportador.

Para la generación se utiliza una combinación de una señal de multiplexación por división de frecuencia de la Fig.20 con una señal de multiplexación por división de tiempo de la Fig.21. Cada sección de frecuencia y período de tiempo tiene diferentes parámetros de la Fig.23 y también se puede superponer o modular con una señal de dither definida en las Fig.24, Fig.25 y Fig.26.

- 5 Por lo tanto, al analizar en el rango de la frecuencia, hay fracciones de frecuencia presentes que muestran frecuencias de estimulación para estimular diferentes tipos de artrópodos, así como diferentes apéndices sensoriales.

Figura 22: Representación simplificada del espectro de frecuencias de la señal de modulación de banda base compuesta en diferentes artrópodos

- 10 Figura 23: Representación simplificada de las variables de frecuencia y de las variables de tiempo. Marco y estructura del generador combinado de patrones multifrecuencia basado en FDM y TDM

Se pueden utilizar diferentes principios para generar la señal de dither. La Fig.24, la Fig.25 y la Fig.26 muestran principios conocidos para la modulación de la señal de dither:

Figura 24: Señal de dither grabada en un pulso PWM con amplitud de señal definida

Figura 25: Señal de dither modulada en fase por un pulso PWM con frecuencia definida

- 15 Figura 26: Extensión de la señal con señal de dither modulada por PWM [12]

Estos procedimientos son conocidos por la persona experta.

Parámetros clave para generar el patrón de frecuencia y el generador de pulsos:

- Frecuencia portadora de HF rango de sub-GHz, MHz, GHz
- Frecuencias de modulación
- 20 • Rango de Sub-Hz, Hz - Comportamiento de relajación
- Frecuencias bajas de rango de patrón de frecuencia de 1 Hz a varios cientos de kHz a aprox. 1 MHz
- Tipo de modulación PWM, FM, AM, PFM, TDM, FDM
- Generación de secuencias de impulso variable
- Constantes de tiempo de relajación variables (procedimientos de análisis DRT)
- 25 • Tiempo de aumento de pulso variable
- Tiempo de estabilización variable
- Ciclo de trabajo variable
- Señal de dither modulada en señal TDM y FDM o en combinación de señal de TDM, FDM y dither
- Patrones de tiempo y frecuencia basados en el teorema de los números primos de Dirichlet sobre curvas aritméticas
- 30 • Todas las secuencias de tiempo y frecuencia no tienen relaciones armónicas o subarmónicas, es decir, las partes armónicas y las partes subarmónicas en el espectro de frecuencias difieren en todas las secuencias que se emiten simultáneamente.
- Todas las secuencias de tiempo y frecuencia están basadas en números primos o no tienen múltiplos o divisores armónicos y subarmónicos enteros; esto también es válido para la frecuencia portadora y las frecuencias de modulación.
- 35 • Para la aplicación de varios tipos de artrópodos también se puede utilizar cualquier otro patrón de frecuencia.
- Las secuencias de pulsos forman una secuencia de formación de tiempo de relajación definida (rango τ)
- Modulación de secuencias de señales de dither y superposición de señales de dither en el patrón de pulso
- 40 • Replicación de secuencias de pulsos de Trichel con la ayuda de señales cuadrangulares pulsadas
- Generación de secuencias de pulsos de ráfaga estocásticas
- Generación de pulsos Trichel para la simulación de pulsos de descarga de corona
- Generación de secuencias de pulsos Trichel y secuencias de pulsos de ráfaga con un modulador PWM basado en microcontrolador

- 45 Modelos de circuitos equivalentes (ECM) para el sistema multisensor y los apéndices sensoriales de artrópodos

La simulación de sistemas y la identificación de sistemas son problemas comunes en ciencia y tecnología. En el campo de la electroquímica y la bioquímica esto es de particular interés para sistemas como los electrodos porosos y mecanismos como la difusión. Estos son relevantes para aplicaciones técnicas, así como para la explicación de sistemas bioquímicos. Los modelos que describen el comportamiento eléctrico de tales sistemas se basan no solo en enfoques esquemáticos, físicos, químicos y biológicos, sino también en circuitos equivalentes. A veces se utilizan modelos simplificados de los conductores y la distribución espacial de los parámetros. La representación de Nyquist es una representación bien conocida del comportamiento de impedancia en diferentes frecuencias de estimulación de un sistema.

- 50

Debido a la disponibilidad de muchos modelos de circuitos equivalentes diferentes, la selección de un modelo adecuado para una aplicación determinada, en nuestro caso los artrópodos, es muy difícil. Por lo tanto, la identificación de las similitudes del modelo permite una mejor comprensión de los mecanismos individuales, reduce el número de cálculos matemáticos, simplifica la evaluación del modelo y, por lo tanto, reduce la complejidad.

5 Para explicar el modelo de sensor de un artrópodo se debe describir el comportamiento sensorial y la respuesta del sensor. Para simplificar el modelo bioquímico de los artrópodos se utiliza una visión más general de la impedancia en el sentido de un modelo de línea de transmisión generalizada. Los modelos de líneas de transmisión son adecuados como modelos universalmente utilizables para describir diferentes procesos físicos y bioquímicos y simplificarlos matemáticamente a través de representaciones normalizadas.

10 En este procedimiento se aplican diferentes condiciones límite para obtener la solución para diferentes sistemas electroquímicos y bioquímicos. El Modelo de Circuito Equivalente (ECM) se divide en 6 submodelos para describir los efectos físicos y bioquímicos y finalmente obtener un ECM condensado. Sin embargo, se puede utilizar cualquier número de submodelos, ya que el procedimiento es extensible. El uso de condiciones límite de la línea de transmisión para diversos efectos físicos y electroquímicos es un procedimiento establecido. En nuestro caso hemos descrito
15 modelos para los apéndices sensoriales de artrópodos con sus efectos bioquímicos específicos. Esto es parte principal de la invención.

Para simplificar, en este ejemplo distinguimos 6 submodelos. Las propiedades sensoriales de los artrópodos se pueden complementar con otros modelos o solo se pueden modelar propiedades sensoriales individuales para reducir el número de modelos de ECM.

20 En este ejemplo distinguimos los siguientes 6 modelos:

1. El modelo del electrodo de cepillo, que es un modelo de las antenas del artrópodo.
2. El modelo del electrodo poroso, que es un modelo de los pelos de sensilia porosos.
3. El modelo de difusión general que describe la difusión iónica.
4. El modelo de difusión del Muro No Permeable (NPW por Non-Permeable Wall).

25 5. El modelo de difusión del reservorio ideal.

6. El modelo de cálculo del factor de tortuosidad a partir de datos tomográficos de la superficie de artrópodos.

La asignación de las propiedades sensoriales a los modelos individuales tiene la ventaja de analizar, reducir o incluso eliminar la ambigüedad de las ecuaciones del modelo de impedancia. La eliminación de ambigüedades simplifica el análisis de los parámetros del modelo que afectan el comportamiento de la impedancia y, además, mejora la robustez
30 de las técnicas de optimización de parámetros no lineales. Las relaciones y los resultados de investigación descritas anteriormente en la introducción con la ayuda de la estocástica permiten una asignación directa e indirecta de los modelos.

El modelo de cálculo del factor de tortuosidad a partir de datos tomográficos de la superficie de los artrópodos cuantifica la disminución aparente del transporte difuso resultante de las sinuosidades de las trayectorias de flujo a través de
35 medios porosos, densidades de borde y datos de microestructura basados en imágenes. Existen herramientas matemáticas establecidas [5] para el cálculo eficiente del factor de tortuosidad, así como de las fracciones de volumen, de las superficies y de la estructura tridimensional. Estas herramientas matemáticas se desarrollaron originalmente para mejorar la comprensión de las microestructuras de electrodos en electroquímica; sin embargo, el factor de tortuosidad ha sido de interés durante más de un siglo en una cantidad de campos, incluidas las ciencias de la tierra,
40 la óptica y la biología. Todavía es común usar correlaciones para aproximarse al factor de tortuosidad, pero en los últimos años la creciente disponibilidad de técnicas de imágenes 3D ha despertado el interés en calcular el tamaño de manera más directa. Por lo tanto, los grandes conjuntos de datos típicos de la tomografía moderna se pueden aplicar de forma rápida y precisa sin requerir una alta potencia de cálculo.

ECM (Equivalent Replacement Schematic Models o modelos de circuitos de reemplazo equivalentes) en lugar de
45 enfoques físicos y químicos proporcionan resultados muy similares, en cuyo caso el punto de partida es ligeramente diferente. Para la consideración de los portadores de carga se prefieren enfoques físicos, químicos y bioquímicos. Los ECM, por otro lado, son más adecuados para la investigación del comportamiento del sistema eléctrico. Debido a las similitudes, también son posibles enfoques mixtos [6]. Los ECM pueden simplificar el proceso de identificación de modelos. Al seleccionar correctamente los elementos y parámetros de un modelo de línea de transmisión, es posible
50 identificar el diferente comportamiento de un sistema y también la estructura fractal de un sistema electroquímico. La aplicación de circuitos equivalentes no se limita a los sistemas lineales. Los elementos de la línea de transmisión de dos canales en la Fig. 27 pueden tener una dependencia no lineal de voltaje y corriente. Los parámetros también pueden depender de la posición. En este caso, a menudo se necesitan procedimientos numéricos para calcular la impedancia.

El enfoque discutido [6] para resolver las ecuaciones diferenciales de un modelo de línea de transmisión general permite la simulación de la impedancia de muchos sistemas diferentes utilizando la misma metodología. El uso de diferentes condiciones límite permite la simulación de diferentes sistemas con el mismo modelo. Cambiar los valores de las impedancias permite la simulación de un sistema en diferentes condiciones y también la simulación de diferentes sistemas. Con parámetros adecuados se representan las relaciones con los modelos de los enfoques electroquímicos. El procedimiento permite identificar la relación entre diferentes modelos, por ejemplo, el grado de similitud entre los modelos de difusión y electrodos porosos.

Un aspecto importante del desarrollo de modelos es la influencia de los parámetros del modelo en el comportamiento de un modelo. Esto es necesario para la comprensión completa del sistema modelado y también para la determinación de los parámetros a partir de las mediciones. En este caso, la identificación de ambigüedades es imprescindible para reducir el número de parámetros y determinar conjuntos de parámetros que conducen al mismo comportamiento. Menos parámetros siempre permiten una mejor comprensión de un modelo. Además, no es posible distinguir conjuntos de parámetros ambiguos de las mediciones de impedancia. Siempre se requiere información adicional para distinguir conjuntos de parámetros ambiguos. Esta información debe obtenerse utilizando otros procedimientos de medición. Por ejemplo, en un proceso de difusión, el coeficiente de difusión y la concentración solo se pueden determinar a partir de mediciones de impedancia con geometría exactamente conocida y condiciones de reacción exactamente conocidas. Esto es muy similar para los electrodos porosos: solo se pueden obtener 4 de los 7 parámetros a partir de mediciones de impedancia. La identificación de ambigüedades se puede lograr determinando el cociente, el producto, la diferencia y la suma de diferentes parámetros, que pueden ser reemplazados por un número menor de otros parámetros. En general, esto conduce a una reducción en el número de parámetros. Los parámetros restantes se pueden clasificar como parámetros de escalamiento y estructura. Los parámetros de escalamiento escalan solo los ejes, como el eje de frecuencia o impedancia. Por ejemplo, los modelos de difusión mostrados solo tienen parámetros de escalamiento. Los parámetros estructurales influyen en la estructura del comportamiento del modelo, por ejemplo, la forma de la pendiente de 45° en el modelo de electrodo poroso. Este tratamiento de modelos nos permite analizar qué parámetros se pueden determinar a partir de la medición de la impedancia. Además, permite una comprensión completa de la influencia de los parámetros en el comportamiento de impedancia. La gran ventaja es el uso de un solo procedimiento de modelado para investigar muchos mecanismos diferentes.

Mediante la incorporación de modelos de circuitos equivalentes en el plano complejo o mediante el análisis de la distribución de los tiempos de relajación (DRT) [7] es posible investigar, describir y desacoplar las contribuciones relativas a la impedancia de los diversos procesos físicos, electroquímicos y bioquímicos en un artrópodo. Este es un procedimiento para representar el llamado punto de interés en el espectro de impedancia en un rango dinámico y poder distinguir claramente el comportamiento de impedancia diferente de los artrópodos.

Modelos generales de líneas de transmisión (TLM)

La transmisión general puede describirse con el diagrama de circuito de reemplazo equivalente que se muestra antes [6]. Con una conexión en cascada o secuencial de varios de estos diagramas de circuitos de reemplazo general, se pueden modelar sistemas aún más complejos.

Fig. 27 Modelo de línea de transmisión general

La solución de la ecuación diferencial de la referencia al diagrama de circuito de reemplazo y la ley de Kirchhoff para la corriente y el voltaje es la siguiente:

$$I_1(x) = I_1(x + \Delta x) + U_t(x) \underline{Y}'_t \Delta x$$

$$I_2(x + \Delta x) = I_2(x) + U_t(x) \underline{Y}'_t \Delta x$$

$$0 = U_t(x) + I_2(x) \underline{Z}'_2 \Delta x - U_t(x + \Delta x) - I_1(x) \underline{Z}'_1 \Delta x$$

Ecuaciones (1), (2), (3)

Las ecuaciones diferenciales ordinarias se pueden utilizar para determinar los siguientes valores del sistema:

$$I_1(x) = C_1 \frac{\underline{Z}'_2}{\underline{Z}'_1} + \frac{C_2 e^{-x \underline{Y}} - C_3 e^{x \underline{Y}}}{\underline{Z}'_t \underline{Y}}$$

$$I_2(x) = C_1 - \frac{(C_2 e^{-x \underline{Y}} - C_3 e^{x \underline{Y}}) \underline{Y}}{\underline{Z}'_1 + \underline{Z}'_2}$$

$$U_t(x) = C_2 e^{-x\gamma} + C_3 e^{x\gamma}$$

Ecuaciones (4), (5), (6)

donde la constante de propagación compleja (Complex propagation constant) se define de la siguiente manera:

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z'_1 + Z'_2}{Z'_t}}$$

5 Ecuación (7)

Tabla 3: Descripción de los símbolos, unidades físicas y su significado

Símbolo	Unidad	Significado
$\underline{Z}'_1, \underline{Z}'_2$	[Ω/m]	Impedancia longitudinal compleja (admitancia correspondiente: $\underline{Y}'_{1/2} = 1/\underline{Z}'_{1/2}$)
$\underline{Z}'_t$	[Ω m]	Impedancia transversal compleja (admitancia correspondiente: $\underline{Y}'_t = 1/\underline{Z}'_t$)
Z_{el}	[Ω]	Resistencia al final de la línea de transmisión
l_{el}	[m]	Longitud del electrodo o espesor del material
U_t	[V]	Voltaje entre el medio 1 y el medio 2 a través de la impedancia transversal
I_1, I_2	[A]	Corrientes en dirección longitudinal a través de medios 1 y medios 2
I_0	[A]	Corriente aplicada al material poroso
$\underline{\gamma}$	[1/m]	Constante de propagación compleja
C_1	[A]	Constante de integración
C_2, C_3	[V]	Constantes de integración

De acuerdo con las soluciones generalmente válidas de las ecuaciones (1) a (7), cualquier efecto físico puede describirse con TLM. Las condiciones límite (Boundary Conditions) deben tenerse en cuenta aquí. En la tabla siguiente se describen las condiciones del valor límite y los efectos físicos. Utilizando estas condiciones de valor límite, se pueden determinar las constantes de integración desconocidas C_1 , C_2 y C_3 .

Tabla 4: Condiciones de valor límite para simplificar las ecuaciones diferenciales

$x=0$				$x=l_{el}$				Efecto físico
I_1	I_2	U_t		I_1	I_2	U_t		
I_0	0			0^a	I_0			Electrodo poroso, por ejemplo, [2, 25]
I_0	0			I_0	0^a			Material poroso, por ejemplo, [13]
I_0	$-I_0$			$U_t(l_{el})/Z_{el}$				Difusión de iones, conducción electrónica en cables
I_0	$-I_0$			0	0^a			Difusión, pared impermeable (NPW)
I_0	$-I_0$			$-I_2^a$	$-I_1^a$	0		Difusión, reservorio ideal (IR)
^a Este debe ser el resultado después de calcular las constantes de integración								

Esto permite definir los efectos físicos y bioquímicos teniendo en cuenta las condiciones del valor límite. Esto da como resultado la división en 4 modelos TLM para el electrodo poroso, para el material poroso, para la difusión general y la difusión en paredes impermeables y el reservorio ideal.

Fig. 27a -27d: Demarcación de modelos TLM para diferentes efectos físicos

Fig. 28: Descripción de los procesos en modelo de electrodo poroso según fuente [13]

Electrodos porosos y cálculo de impedancia del modelo de línea de transmisión [6]

Fig. 27a: Modelo de línea de transmisión de un electrodo poroso

- 5 Figs. 30 a) a d): Impedancia del modelo de porosidad según la ecuación 4 con la constante de integración $c_2 = 1$ para el electrodo poroso.

$$\underline{Z}_{1,2'} = \frac{l_{el}}{(1/\underline{Z}_2') + (1/\underline{Z}_1')} \left(1 + \frac{2 + ((\underline{Z}_1'/\underline{Z}_2') + (\underline{Z}_2'/\underline{Z}_1')) \cosh(l_{el}\underline{\gamma})}{l_{el}\underline{\gamma} \sinh(l_{el}\underline{\gamma})} \right)$$

Ecuación (8): Cálculo de la impedancia de electrodos porosos

Material poroso y cálculo de impedancia del modelo de línea de transmisión

- 10 Fig. 27b: Modelo de línea de transmisión de material poroso

Teniendo en cuenta las condiciones del valor límite, la impedancia para el material poroso puede calcularse de la siguiente manera:

$$\underline{Z}_{1,2'} = \frac{l_{el}}{(1/\underline{Z}_2') + (1/\underline{Z}_1')} \left(1 + \frac{2 + ((\underline{Z}_1'/\underline{Z}_2') + (\underline{Z}_2'/\underline{Z}_1')) \cosh(l_{el}\underline{\gamma})}{l_{el}\underline{\gamma} \sinh(l_{el}\underline{\gamma})} \right)$$

Ecuación (9): Cálculo de la impedancia del material poroso

- 15 Difusión general y cálculo de impedancia del modelo de línea de transmisión

Para la determinación de la impedancia para la difusión se utiliza un enfoque similar al del electrodo poroso, teniendo en cuenta y aplicando las condiciones de valor límite.

Fig. 27c Modelo de línea de transmisión de difusión iónica

Aquí es válida la ecuación para la impedancia (10):

$$\underline{Z}_{1,2} = \frac{\underline{Z}_1' \underline{Z}_{l_{el}} + \underline{Z}_2' \underline{Z}_{l_{el}} + \underline{Z}_1' \underline{Z}_t' \tanh(l_{el} \underline{\gamma}) \underline{\gamma} + \underline{Z}_2' \underline{Z}_t' \tanh(l_{el} \underline{\gamma}) \underline{\gamma}}{\underline{Z}_1' + \underline{Z}_2' + \underline{Z}_{l_{el}} \tanh(l_{el} \underline{\gamma}) \underline{\gamma}}$$

20

Ecuación (10)

Si se establece que $\underline{Z}_2 = 0$ en condiciones de valor límite, se obtiene la ecuación bien conocida para las líneas de transmisión eléctrica y la difusión general.

$$\underline{Z}_{1,2} = \frac{\underline{Z}_1' \underline{Z}_{l_{el}} + \underline{Z}_1' \underline{Z}_t' \tanh(l_{el} \underline{\gamma}) \underline{\gamma}}{\underline{Z}_1' + \underline{Z}_{l_{el}} \tanh(l_{el} \underline{\gamma}) \underline{\gamma}}$$

- 25 Ecuación (11): Cálculo de la impedancia para la difusión general

Difusión de la pared impermeable y del reservorio ideal y cálculo de la impedancia del Modelo de Línea de Transmisión

Figura 27d Modelo de línea de transmisión para una pared impermeable y difusión en un depósito ideal

Figura 34 Impedancia del modelo de difusión según las ecuaciones 12 y 13

$$\underline{Z}_{1,2,corta} = \frac{\underline{Z}_{1,2,corta}}{\underline{Z}_{N,diff}} = \frac{\tanh(\sqrt{j\Omega})}{\sqrt{j\Omega}}$$

$$Z_{1,2, abierta} = \frac{Z_{1,2, abierta}}{Z_{N, diff}} = \frac{1}{\sqrt{j\Omega \tanh(\sqrt{j\Omega})}}$$

Ecuación (12) y (13): Curva de impedancia (diagrama de Nyquist) de la Fig.35 para salidas abiertas y cortocircuitadas

En este caso es válida la ecuación(14):

$$Z_{N, diff} = R'_1 l_{el}$$

5 Ecuación (14)

Geometría de poros

El comportamiento de impedancia de diferentes geometrías de poros y estructuras de poros (geometría de poros abiertos y cerrados) se puede representar claramente en el espectro de impedancia (diagrama de Nyquist). El comportamiento de impedancia muestra la diversa característica a las simulaciones en caso de estructuras porosas tomográficas y topográficas específicas. Estas conclusiones se pueden utilizar directamente para el modelado TLM de artrópodos y sus señales de estimulación.

En cada simulación, se seleccionaron frecuencias características en un rango de frecuencias de $[\omega_c \times 2^{-4}, \omega_c \times 2^{11}]$.

$$\omega_c = \frac{D}{L^2}$$

Ecuación (15) válida para sistemas abiertos, L es la longitud del volumen controlado (CV) en la dirección a la superficie estimulada y es válida para sistemas cerrados, L es igual a la distancia máxima de penetración de la superficie simulada a la punta de la trayectoria de poro más larga. Para cada frecuencia, la impedancia Z se calculó como la relación entre la amplitud del estímulo de concentración (1 en todos los casos) y el flujo de difusión complejo en las capas límite internas y la impedancia normalizada $\tilde{Z}$ para la comparación simple según la ecuación (16)

$$\tilde{Z} = Z \frac{AD}{L}$$

20 Ecuación (16)

válida para sistemas abiertos, A es la superficie completa de las capas límite CV en la dirección del flujo y vale para sistemas cerrados, A es el "área alcanzable media" que se define como una media algebraica que se puede lograr para la difusión en la profundidad de la red de poros. Cuando se utiliza esta relación formal significa que, en intersecciones de frecuencias más bajas en sistemas abiertos es igual a τ/ϵ , lo que es particularmente útil para caracterizar y comparar diferentes estructuras.

Simulación de una geometría de poro simplemente cerrado

Figura 35 Espectros de impedancia simulados para 2D (izquierda) y 3D (derecha) para 5 estructuras simples de poros cerrados, investigados por Keiser et al. [14], [16]. Las figuras interiores más pequeñas muestran el espectro normalizado para los ejes principales utilizando la ecuación (16). Aquí se puede ver que todos los espectros convergen a un valor como con en un poro recto (1) y por lo tanto las 5 estructuras de los poros se pueden distinguir claramente.

Geometría simple de poros abiertos

Figura 36 Espectro de impedancia simulado de 7 geometrías simples de poros abiertos, en cuyo caso todos tienen el mismo volumen de poros y factor de tortuosidad y una dirección uniforme de la señal de estímulo [14]

Figura 37 izquierda: Espectro de impedancia simulado de fractales 2D, donde el orden fractal aumenta con una alfombra de Sierpinski con capas límite abiertas y en la imagen pequeña la representación normalizada

Figura 38 derecha: Espectro de impedancia simulado de dos fractales 2D, donde el orden fractal aumenta. Aquí se muestra un árbol de Pitágoras para estructuras cerradas.

Figura 39 Comportamiento de impedancia de una serie con diferentes estructuras de los poros. l es la longitud de los poros y λ es el factor de forma [15]

A partir del análisis y las simulaciones del espectro de impedancia y, en particular, del espectro de impedancia normalizado, se puede observar que las diferentes geometrías de poros y estructuras de poros representan patrones de comportamiento típicos en el análisis gráfico y matemático. Por lo tanto, la evaluación y el ajuste de frecuencia a diferentes estructuras de poros es fácil de realizar para la persona capacitada. Con la ayuda del análisis vectorial se pueden determinar vectores de posicionamiento dependientes de parámetros que describen, por ejemplo, las diferentes funciones continuas.

Figura 40 Comportamiento de atenuación de una señal sinusoidal en un poro debido al efecto de penetración de la señal de Levie. [15]. Los 5 valores diferentes muestran las señales a diferentes distancias en el poro. Este comportamiento típico de atenuación debe tenerse en cuenta en la síntesis de señales del patrón de frecuencia en artrópodos.

Espectro de impedancia de electrodos de cepillo como modelo básico para antenas de artrópodos

De Levie muestra la representación del comportamiento de impedancia, que se representa como un elemento de fase constante (CPE - Constant Phase Element). La adaptación a diferentes espectros de impedancia se lleva a cabo aquí por desplazamiento paralelo de las curvas en el eje x (parte real) de la impedancia. Esta abstracción y simplificación es muy útil para modelar las antenas de los artrópodos.

Figura 41 Comportamiento de impedancia típico de un electrodo de cepillo de de Levie en el rango complejo como función de la frecuencia para tres concentraciones diferentes de electrolitos.

Figura 42 Las características del comportamiento de impedancia en el rango complejo para un electrodo poroso con resistencia en serie R_S (de $0 \rightarrow \infty$) y resistencia distribuida acumulativamente, Ω .

Mediante el uso de valores normalizados y el comportamiento típico de los diferentes modelos de líneas de transmisión, los algoritmos de aprendizaje automático (aprendizaje profundo) pueden aplicarse mediante procedimientos matemáticos conocidos y, en particular, el uso de variables estocásticas.

La asignación de propiedades sensoriales a los modelos individuales tiene la ventaja de analizar, reducir o incluso eliminar la ambigüedad de las ecuaciones del modelo de impedancia. La eliminación de ambigüedades simplifica el análisis de los parámetros del modelo que afectan el comportamiento de la impedancia y, además, mejora la robustez de las técnicas de optimización de parámetros no lineales. Las relaciones y los resultados de investigación descritas anteriormente en la introducción con la ayuda de la estocástica permiten una asignación directa e indirecta de los modelos.

En el diagrama de Nyquist, los patrones de comportamiento y la adaptación de los patrones de frecuencia ya se pueden derivar en la representación bidimensional. Con la ayuda de la geometría vectorial y las discusiones de curvas, es posible una evaluación de las funciones matemáticas. Teniendo en cuenta el modelado con elementos de fase constante CPE con ángulo de fase de 45° (modelado de las antenas de los artrópodos), es posible una mayor simplificación del análisis del espectro de impedancia. Con la ayuda del análisis vectorial, también se pueden determinar vectores de posicionamiento dependientes de parámetros, que describen, por ejemplo, las diferentes funciones continuas.

Para la implementación en una aplicación basada en microcontroladores sin el uso de ecuaciones diferenciales, los procedimientos de sustitución con el llamado procedimiento de biblioteca son un enfoque probado. Esto se utilizará principalmente para procedimientos de análisis en el espacio bidimensional o tridimensional. Cuando se utiliza el procedimiento DRT (Distribution Relaxation Time Constant o constante de tiempo de distribución relajación), el tamaño del programa en el microcontrolador puede reducirse extremadamente [7].

Transformación y análisis del espectro de impedancia con el procedimiento DRT

El análisis del espectro DRT se desarrolla hacia un procedimiento establecido. En el análisis DRT, los puntos extremos en funciones de constantes de tiempo $\tau = R \times C$ se pueden representar muy bien. Con el procedimiento DRT, los datos de impedancia se transforman en una función dependiendo de una distribución de constantes de tiempo τ . Este procedimiento también hace posible una simplificación del proceso de ajuste de los modelos de impedancia y, por lo tanto, también la simplificación en la adaptación y la síntesis de señales de los patrones de frecuencia.

La ventaja del procedimiento DRT es una interpretación más simple del patrón de comportamiento, sin un conocimiento exacto de un diagrama de circuito de reemplazo equivalente. El uso del procedimiento DRT en relación con un modelado de Infinite Voigt es un procedimiento probado a partir de datos determinados empíricamente en investigaciones con artrópodos, para crear modelos de diagramas de circuitos de reemplazo equivalentes simplificados. En el proceso de aprendizaje profundo, son posibles ajustes e interpretaciones más rápidos. El espectro DRT muestra máximos, mínimos y puntos de inflexión significativos en el curso de la función. Como resultado, al observar solo estos valores extremos de la función de progresión, solo un número muy limitado de puntos de medición dependientes de la frecuencia puede describir las propiedades de impedancia de los artrópodos.

La Fig.29 muestra un espectro DRT simplificado con diferentes tiempos de relajación.

Con procedimientos de sustitución adecuados a través del llamado procedimiento de biblioteca [7], la función se puede describir ahorrando mucho espacio, de modo que la aplicación de ecuaciones diferenciales no es obligatoriamente necesaria. Sin embargo, las relaciones matemáticas deben entenderse, por ejemplo, en puntos cero en la parte imaginaria del espectro.

- 5 Para utilizar el procedimiento DRT, el circuito de Infinite Voigt se utiliza normalmente en el diagrama de circuito de reemplazo (Fig.43); su impedancia se describe de la siguiente manera Gl. (17):

$$Z(\omega) = \int_0^{\infty} \frac{G(\tau)}{1+i\omega\tau} d\tau$$

Ecuación (17)

Fig. 43 Diagrama de circuito de reemplazo equivalente del circuito de Infinite Voigt

- 10 con $G(\tau)$ como función de distribución de los tiempos de estabilización τ , que caracteriza al sistema respectivo. La unidad física G se da en Ωs^{-1}

Para un R/Q , se aplica la siguiente correlación Ecuación (18):

$$G_{R/Q}(\tau) = \frac{R}{2\pi} \frac{\sin((1-\alpha)\pi)}{\cosh(\alpha \ln(\tau/\tau_{R/Q})) - \cos((1-\alpha)\pi)}$$

Ecuación (18)

- 15 con

$$\tau_{R/Q} = (RQ)^{1/\alpha}$$

Ecuación (19)

Circuito Infinite Voigt

- 20 Para un conjunto dado de parámetros R , Q y α , se puede determinar $G(\tau)$. La abscisa de la punta muestra la constante de tiempo $\tau_{R/Q}$ del circuito y el valor G en la punta se describe de la siguiente manera Ecuación (20)

$$\frac{dG}{d\tau} = 0 \Rightarrow G_p = \frac{R}{2\pi} \tan\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right)$$

Ecuación (20)

La Fig. 44 muestra el DTR teórico de un circuito R/Q según la ecuación (20)

- 25 Además del diagrama de Nyquist, una representación y evaluación extendida del espectro de impedancia es también la representación: cantidad de la parte imaginaria en función de la frecuencia f , el ángulo de fase en función de la frecuencia f , el análisis DRT como representación 3D dependiendo de cualquier tercer parámetro o la determinación del factor tau para describir el proceso de difusión.

- 30 Figura 45 Espectro de impedancia simulado de un paquete sintético de partículas con porosidad. Las líneas sólidas muestran una estructura abierta y las líneas discontinuas una estructura cerrada. En comparación, en el diagrama pequeño, el espectro DRT para la estructura abierta.

Determinación del transporte de difusión a partir de datos sensoriales topográficos y tomográficos del artrópodo

- 35 La llamada determinación del factor tau es un procedimiento muy eficiente para determinar el transporte difuso reducido en sinuosidades y geometrías y estructuras heterogéneas retorcidas y entrelazadas por medio de datos de imágenes microestructurales. Como se describe en la introducción, se dispone de suficiente información de imagen de artrópodos de estudios, que se puede describir con el factor tau.

Este efecto se describe con el siguiente término, el llamado factor de tortuosidad τ o factor de entrelazamiento, de la siguiente manera: Ecuación (21)

$$D^{\text{eff}} = D \frac{\varepsilon}{\tau}$$

Ecuación (21)

donde ε es la fracción de volumen de la fase conductora D y D_{eff} es el comportamiento de difusión efectivo a través de un volumen poroso. Aquí se lleva a cabo un análisis de valor límite en el que el valor $\tau = 1$ o $\tau > 1$. [14], [5]. Las Fig.6 y 7 muestran datos tomográficos y topográficos.

Efecto de la estructura de los poros sobre la impedancia de difusión

- 5 Figura 46 Ángulo de fase simulado en función de la frecuencia logarítmica para 3 microestructuras simples con diferentes proporciones superficiales en el interior y el exterior

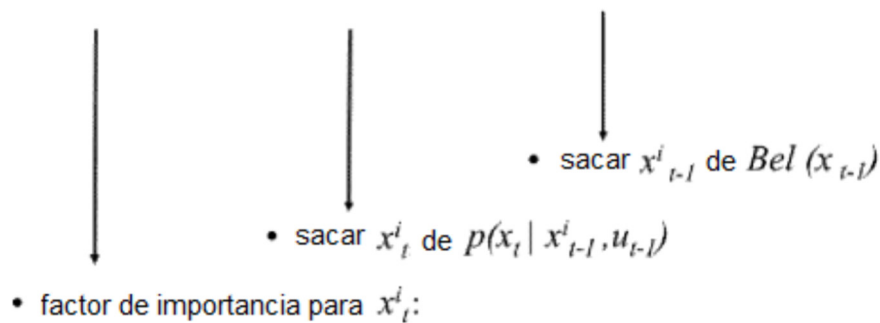
Se pueden utilizar diferentes procedimientos de representación (fig. 46) para representar de forma transparente diferentes propiedades específicas de las microestructuras. A partir del curso de la curva se pueden sacar conclusiones indirectamente sobre la composición estructural del modelo de capas, lo que luego conduce a la reducción de parámetros y variables en el modelado de artrópodos. Con la ayuda del análisis vectorial, se pueden determinar vectores de posicionamiento dependientes de parámetros, que describen, por ejemplo, las diferentes funciones continuas.

Evaluación matemática mediante cálculo probabilístico y procedimientos estadísticos para la evaluación de datos

- 15 En el procesamiento y la evaluación de datos, los procedimientos matemáticos de cálculo de probabilidad y estadística se utilizan típicamente para reducir la cantidad de datos con el objetivo de implementar algoritmos de software en microcontroladores.

Estos procedimientos son conocidos por los expertos en la materia, en donde se utilizan procedimientos definidos para la reducción de datos y el modelado de las curvas características de impedancia. Estos incluyen el uso de la función de densidad de probabilidad, el uso de filtros recursivos, filtros bayesianos y, en particular, filtros de partículas, que son adecuados para procedimientos secuenciales de Monte Carlo para el aprendizaje en línea o automático. Los filtros de partículas son adecuados para el modelado sin parámetros, la predicción como pronóstico de una función básica propuesta, para la corrección y ponderación entre la función objetivo y la función propuesta y la ventaja de mejorar los resultados cuanto más muestras (valores de muestra) se procesan. Esto da como resultado un ajuste del modelo mejor y más rápido y una mejor aproximación entre los valores medidos y los valores propuestos. Los principales pasos en el uso del filtro de partículas son el escaneo de los valores medidos individuales (partículas) utilizando una distribución propuesta, la ponderación de la importancia y el remuestreo, el reemplazo de las muestras que no encajan en la distribución. Cuantas más muestras haya, mejor será la estimación. La ecuación (22) describe la relación matemática.

$$Bel(x_t) = \eta p(z_t | x_t) \int p(x_t | x_{t-1}, u_{t-1}) Bel(x_{t-1}) dx_{t-1}$$



$$w_t^i = \frac{\text{distribución de objetivo}}{\text{distribución de propuesta}}$$

$$w_t^i = \frac{\eta p(z_t | x_t) p(x_t | x_{t-1}, u_{t-1}) Bel(x_{t-1})}{p(x_t | x_{t-1}, u_{t-1}) Bel(x_{t-1})} \propto p(z_t | x_t)$$

Ecuación (22)

Función básica del proceso de aprendizaje profundo Flujo de proceso y estructura de procedimiento para el modelado de referencia de artrópodos

Figura 47 Función básica del proceso de aprendizaje profundo para el aprendizaje de los diferentes modelos de referencia de artrópodos

- 5 En el modelado de referencia de artrópodos, el comportamiento de transmisión deseado del circuito cerrado de control se fija con la ayuda de un modelo de referencia. El primer modelo de referencia puede basarse, por ejemplo, en estudios empíricos. La Fig.47 muestra el diagrama general de bloques del sistema de control para instruir diferentes modelos de referencia. El sistema consiste en un circuito de control de retroalimentación interno y cerrado y el circuito externo responsable de la adaptación. La adaptación de los parámetros del controlador se lleva a cabo, por ejemplo, sobre la base de un criterio de calidad utilizando un procedimiento de gradiente o en otros procedimientos matemáticos conocidos.

Flujo del proceso de modelado de referencia de artrópodos

- 15 Para el modelado de referencia de artrópodos a continuación se describen cuatro pasos principales del proceso. Si no es necesario para el modelado de artrópodos específicos, pueden omitirse incluso pasos individuales del proceso también o pueden usarse solo parcialmente. Para la solución de ecuaciones diferenciales hay muchos procedimientos diferentes conocidos por la persona experta que no se describen aquí. Asimismo, los procedimientos conocidos por los expertos en la técnica, las aplicaciones de las redes neuronales, la estocástica y el cálculo de probabilidades no se describen porque son suficientemente conocidos.

Flujo de proceso Paso 1 para el modelado de referencia de artrópodos según la Fig. 48a

- 20 Localización de receptores

- 25 El primer paso del modelado de referencia es determinar los órganos sensoriales y, en particular, las superficies y espacios sensoriales de los artrópodos. Usando el ejemplo de un mosquito (Fig.5), estas son las antenas, los palpos, el cuerpo en la hembra y la cabeza en el macho. Otros tipos de artrópodos tienen superficies sensoriales diferentes o adicionales y espacios o partes del cuerpo como, por ejemplo, las alas, la mandíbula superior, los torsos o las piernas. En estas partes del cuerpo hay receptores sensoriales que tienen diferentes propiedades bioquímicas y físicas.

Clasificación/agrupación de las propiedades sensoriales

- 30 Las propiedades sensoriales incluyen los receptores que se muestran en la Fig. 15 para detectar cambios mecánicos, sabor, olor, fragancias, sonido, sensores químicos, temperatura y feromonas. Esto también incluye propiedades sensoriales para la ionización y, por lo tanto, también para la conductividad eléctrica de sustancias gaseosas, líquidas y sólidas, así como la detección de descargas parciales basadas en procesos de ionización. La Fig. 8 muestra un análisis diferenciado de la expresión de genes quimiosensoriales que se determinaron con la ayuda de procedimientos estadísticos.

Aplicación de funciones neuronales

- 35 Con la ayuda de modelos de puntuación y funciones neuronales, estos se pueden utilizar para determinar parámetros. Especialmente cuando se utiliza el procedimiento de Monte Carlo, los resultados determinados empíricamente y los datos bioquímicos son útiles en el proceso de aproximación para la determinación de parámetros desconocidos. Los modelos OLAP y ALEX Net, que son conocidos por la persona experta como procedimientos matemáticos, también son adecuados para estructurar los muchos receptores y propiedades bioquímicas.

Transformación en modelos electroquímicos

- 40 Los resultados bioquímicos son seguidos ahora mediante el análisis de los sensores y receptores en sus propiedades bioquímicas, topográficas y tomográficas y, posteriormente, la transformación de operaciones bioquímicas en modelos de diagramas de circuitos de reemplazo equivalentes (ECM). Aquí, se asigna respectivamente un ECM a las operaciones topológicas, tomográficas y bioquímicas dentro de los artrópodos. Estos incluyen, por ejemplo, electrodos porosos, material poroso, parámetros materiales de material poroso, descripción del comportamiento de los electrodos, 45 electrodos de cepillo, difusión de sustancias y operaciones, ionización en sustancias y operaciones u otros procesos electroquímicos.

Uso de modelos de línea de transmisión

- 50 El siguiente paso es utilizar ECM generalmente válidos. Los modelos de línea de transmisión (TLM) son adecuados para modelar muchos procesos bioquímicos y electroquímicos y también sirven para abstraer procesos y operaciones. El número de TLM diferentes depende del ajuste del modelo requerido. Los TLM también se pueden conectar en cascada (conectados uno tras otro) para reflejar modelos con mayor precisión.

Solución de ecuaciones diferenciales con análisis de valor límite

Para calcular los modelos de impedancia, se utiliza una división en clústeres para los respectivos TLM como se describe en la Fig.28. Además, existe un análisis de valores límite para reducir la complejidad y los parámetros de las relaciones matemáticas. Con la ayuda de ecuaciones diferenciales se describe el TLM y se realiza el análisis en el rango de la imagen, el rango del tiempo o el rango de la frecuencia utilizando la transformada de Fourier y la transformada de Laplace y su retransformada.

Flujo de proceso Paso 2 para el modelado de referencia de artrópodos según la Fig. 48b

Verificación de los modelos utilizados y posible adaptación

En el siguiente paso, los modelos utilizados se verifican y, si es necesario, se ajustan. Es decir, otro modelo base TLM de los 4 modelos de la Fig.28 se utiliza para el modelado. Especialmente en sistemas bioquímicos, es importante considerar estructuras abiertas o cerradas (por ejemplo, poros abiertos o poros cerrados) para reflejar los modelos de impedancia sobre la base de datos tomográficos y topográficos, véase la Fig. 37.

Identificación de la ambigüedad de los modelos de impedancia

El espectro de frecuencias para la estimulación de los receptores de artrópodos es muy grande. Como resultado, una estimulación multifrecuencia puede conducir a una ambigüedad de los resultados. Diferentes procesos bioquímicos deben ser observados y analizados en diferentes rangos de frecuencia. Si no es posible una clasificación clara, ciertos parámetros pueden simplificarse o determinarse directamente mediante el uso de datos topográficos y tomográficos.

Normalización de los parámetros de impedancia

Los parámetros de impedancia normalizados se pueden utilizar para definir modelos generalmente válidos para cada tipo de artrópodo. Junto con el análisis del valor límite contra 0 o contra ∞ , el ajuste de parámetros en el software se simplifica, ya que los ajustes son solo relativos a un valor previamente determinado.

Procedimientos de sustitución para evitar ecuaciones diferenciales

Con el fin de evitar ecuaciones diferenciales en sistemas basados en microcontroladores y reducir el espacio de almacenamiento requerido se utiliza un procedimiento de sustitución en combinación con una biblioteca de funciones [7] para modelar cualquier función no lineal de manera muy eficiente, por ejemplo, para almacenar progresiones de funciones no lineales en tablas de búsqueda en el microcontrolador.

Flujo de proceso Paso 3 para el modelado de referencia de artrópodos según la Fig. 48c (modelado topográfico y tomográfico)

Análisis topográfico y tomográfico

Como se puede ver en las Figs. 6, 7, 13, un análisis topográfico y tomográfico de artrópodos es un medio probado para la comprensión general de las relaciones. Las Figs. 16, 37, 38, 39, 40, 45 y 46 describen los resultados de la simulación y las asignaciones de estructuras en el espectro de impedancia. La asignación de las estructuras modelo se lleva a cabo como se describe en los pasos principales 1 y 2 a través de la localización de los receptores y las propiedades bioquímicas. Sobre la base de los datos topográficos y tomográficos, así como del análisis del valor límite, las geometrías de poros simuladas se pueden clasificar y procesar en representaciones simplificadas de 2 o 3 dimensiones y modelos matemáticos.

Determinación del factor tau

Aquí, el cálculo del factor de tortuosidad τ (factor tau) es un medio conocido en la ciencia para describir datos de imágenes microestructurales. La determinación del factor tau es un procedimiento muy eficiente para determinar el transporte difuso reducido en sinuosidades y geometrías y estructuras heterogéneas retorcidas y entrelazadas por medio de datos de imágenes microestructurales.

Cálculo de la profundidad de penetración de la señal de estimulación

Con la ayuda del factor tau se puede describir la profundidad de penetración de la señal de estimulación [5]. Esto permite tener en cuenta la anatomía específica de los artrópodos. Los resultados del factor tau se pueden utilizar para reducir los parámetros en la descripción del sistema de los artrópodos.

Flujo de proceso Paso 4 para el modelado de referencia de artrópodos según la Fig. 48d

Determinación de parámetros de control o regulación por medio de un sistema de regulación adaptativo

La Fig.44 describe el principio del proceso de aprendizaje profundo basado en un sistema de control adaptativo. Esto se utiliza en particular para enseñar otros modelos de referencia de otros tipos de artrópodos.

Adaptación de los modelos de referencia y sus parámetros

El ajuste de los parámetros del modelo se basa en los resultados anteriores o mediante la observación de los artrópodos y sus patrones de comportamiento.

Observación del patrón de comportamiento de los artrópodos

- 5 Con la estimulación se influye en el comportamiento de actividad de los artrópodos que finalmente se detecta a través de una observación humana o una observación basada en una cámara u otros sensores ópticos adecuados, por ejemplo, sensores infrarrojos o FIR -Time off light.

Almacenamiento del modelo en la biblioteca de funciones

Con el resultado de la observación, el modelo se almacena en la memoria junto con el patrón de frecuencia correspondiente y, por lo tanto, se enseña al sistema de procesamiento de datos.

10 Referencias:

- [1] Deciphering the olfactory repertoire of the tiger mosquito *Aedes albopictus*; Fabrizio Lombardo^{1*}, Marco Salvemini², Carmine Fiorillo¹, Tony Nolan³, Laurence J. Zwiebel⁴, Jose M. Ribeiro⁵ y Bruno Arcà¹, 2017
- [2] In vivo assembly and trafficking of olfactory Ionotropic Receptors; Liliane Abuin¹, Lucia L. Prieto-Godino^{1,+}, Haiyun Pan^{2,+}, Craig Gutierrez², Lan Huang², Rongsheng Jin² and Richard Benton^{1,*} ¹ Center for Integrative Genomics; Genopode Building; Faculty of Biology and Medicine; University of Lausanne, CH-1015 Lausanne, Switzerland; ²Department of Physiology and Biophysics University of California, Irvine California 92697; USA; Oct. 2018
- [3] Chemosensory Transduction in Arthropods; Monika Stengl; The Oxford Handbook of Invertebrate Neurobiology, Editado por John H. Byrne; Subject: Neuroscience, Invertebrate Neurobiology, Molecular and Cellular Systems Online Publication Date: Feb 2017; DOI: 10.1093/oxfordhb/9780190456757.013.15
- 20 [4] Identification of a Chemosensory Receptor from the Yellow Fever Mosquito, *Aedes aegypti*, that is Highly Conserved and Expressed in Olfactory and Gustatory Organs; Ana Claudia A. Melo^{1,2*}, Michael Rützler^{1*}, R. Jason Pitts^{1*} and Laurence J. Zwiebel¹; ¹Department of Biological Sciences, Center for Molecular Neuroscience and Program in Developmental Biology, Vanderbilt University, Nashville, TN, 37235, USA y ²Departamento de Patologia, Universidade Federal do Para, Belem, PA, 66075, Brasil; Chem. Senses 29: 403-410, 2004
- 25 [5] TauFactor: An open-source application for calculating tortuosity factors from tomographic data; S.J. Cooper^{a,*}, A. Berteia, P.R. Shearing^b, J.A. Kilner^c, N.P. Brandona; ^a Electrochemical Science and Engineering, Earth Science and Engineering Department, Imperial College London, South Kensington, Londres, SW7 2AZ, Reino Unido; Electrochemical Innovation Lab, Department of Chemical Engineering, UCL, Londres, WC1E 7JE, Reino Unido; Electroceramics, Materials Department, Imperial College London, South Kensington, Londres, SW7 2AZ, Reino Unido;
- 30 Recibido 5 de julio 2016; recibido y revisado desde 15 de septiembre de 2016; aceptado el 19 de septiembre de 2016
- [6] Generalization of transmission line models for deriving the impedance of diffusion and porous media; Uwe Tröltzsch*, Olfa Kanoun; Chemnitz University of Technology, Chair for Measurement and Sensor Technology, Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz, Alemania; 2012
- 35 [7] Robust and Universal Modeling Algorithm for Impedance Spectroscopy in Embedded Systems; Andreas Mangler; Technische Universität Chemnitz, Chair Measurement and Sensor Technology; Jil Jasmin Ehnis; RUTRONIK Elektronische Bauelemente GmbH ISPRINGEN, Alemania IWIS Conference 2017 Chemnitz 2017
- [8] WO 2012/094768 A1 Título: DEVICE THAT EFFECTTVELY AND CONSTANTLY PROTECTS PEOPLE FROM BLOOD-SUCKFNG ARTHROPODS AND THUS PREVENTS THE SPREAD OF THE EPIDEMIC DISEASES MALARIA, YELLOW FEVER, AND DENGUE FEVER, Kurt Stoll, 19 de julio de 2012
- 40 [9] WO 2016/165035 A1; METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING ELECTROMAGNETIC FIELDS THAT INFLUENCE THE NERVOUS SYSTEM OF INSECTS; Kurt Stoll; 20 de octubre de 2016
- [10] WO 2018/104135 A1; METHOD AND DEVICE FOR INFLUENCING INSECTS; Kurt Stoll; 14 de junio de 2018
- [11] WO 99/55151, Device providing protection against insect bites without modifying the ecological balance, Kurt Stoll, 27 de abril de 1999
- 45 [12] Extension of Pulsewidth Modulation From Carrier-Based to Dither-Based, Shiang-Hwua Yu; Ting-Yu Wu; Sing-Han Wang, Publicado en: IEEE Transactions on Industrial Informatics (Volumen: 9, número: 2, mayo de 2013) Página(s): 1029 - 1036 fecha de publicación: 24 de septiembre de 2012 ISSN Information: INSPEC Accession Number: 13220087, DOI: 10.1109/TII.2012.2220555, editorial: IEEE
- [13] J.P. Meyers, M. Doyle, R.M. Darling, J. Newman, Journal of the Electrochemical, Society 147 (2000) 2930

[14] Simulated impedance of diffusion in porous media; Samuel J. Coopera,* , Antonio Berteib, Donal P. Fineganc,d, Nigel P. Brandonb; Electrochimica Acta 251 (2017) 681-689; disponible en línea el 27 de julio de 2017

[15] E. Barsoukov, J.R. Macdonald, Impedance Spectroscopy: Theory, Experiment, and Applications, 2a edición, (2005)

5 [16] H. Keiser, K.D. Beccu, M.A. Gutjahr, Abschätzung der Porenstruktur poröser Elektroden aus Impedanzmessungen, Electrochimica Acta 21 (1976) 539-543.

A partir de esto se explica la invención. La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para influir en artrópodos por medio de radiación electromagnética.

Estado de la técnica

10 En la publicación WO 99/55151 A1 [11] se divulga un dispositivo de protección contra las picaduras de insectos. El dispositivo tiene osciladores que producen vibraciones de diferentes frecuencias que se propagan a través de la piel humana. Si un insecto se sienta en la superficie de la piel, las vibraciones son percibidas por las sensillas del insecto y se convierten en corrientes de estímulo a través de las células sensoriales del insecto. El insecto es perturbado en la intención de picar al humano y se aleja de la superficie de la piel.

15 La publicación WO 2012/094768 A1 [8] revela un dispositivo que protege a los humanos de los artrópodos chupadores de sangre y, por lo tanto, evita la propagación de epidemias. El dispositivo tiene esencialmente dos microprocesadores y dos emisores que emiten diferentes pulsos y frecuencias de repetición de pulsos. Una señal portadora pulsada en forma de ondas electromagnéticas se emite a través de antenas acopladas a los amplificadores de potencia de los emisores. Como frecuencia portadora se selecciona un espectro de frecuencia promedio de un canal de descarga flash de 565 kHz. Debido a la potencia de transmisión radiada de 5 microvatios, se construye una zona de protección
20 que protege a los humanos de los artrópodos en un radio de aproximadamente dos metros. De esta manera, las influencias externas como, por ejemplo, los rayos, se simulan como señales que son percibidas por los artrópodos, de modo que se inicia una reacción de escape automática en ellos.

25 La publicación WO 2016/165035 A1 [9] divulga un dispositivo y un procedimiento, en donde los insectos están influenciados por un emisor de patrón de pulso de dos canales que irradia dos ondas electromagnéticas desplazadas entre sí 180 grados, moduladas y pulsadas, a través de antenas integradas. Esto crea dos campos electromagnéticos que afectan a las neuronas ubicadas en el ganglio superior e inferior de la garganta de los insectos, así como a las neuronas ubicadas en el sistema nervioso central y periférico de los insectos, de tal manera que se ponen en un estado inactivo para que los insectos no puedan penetrar en la piel humana.

30 Un procedimiento y un dispositivo para influir en los insectos mediante radiación electromagnética se divulgan en la publicación WO 2018/104135 A1 [10]. Un emisor genera una progresión temporal de un suministro de antena con pulsos, que se emite a través de una antena como radiación electromagnética con los pulsos correspondientes. El suministro de la antena tiene ráfagas o paquetes o salvas de pulsos, en cuyo caso el intervalo de tiempo entre pulsos directamente consecutivos de una ráfaga está en el rango de 5 microsegundos a 9 microsegundos y la expansión temporal de las ráfagas es de al menos 0,1 milisegundos.

35 En el documento de ALFAIFI, Bandar et al.: Computer simulation analysis to improve radio frequency (RF) heating uniformity in dried fruits for insect control. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, Vol. 37, pp. 125 - 137, se investiga la influencia de diferentes configuraciones de electrodos en el calentamiento de diferentes geometrías de muestras para minimizar una distribución desigual de la temperatura dentro de diferentes muestras. Para este propósito, la temperatura se simula para diferentes geometrías de muestra. El objetivo es tratar los alimentos por
40 medio de la temperatura de tal manera que las plagas como los insectos se eliminen lo más completamente posible.

45 El documento de WANG, Shaojin, et al.: Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to radio frequency and Microwave treatments. Biosystems Engineering, 2003, Vol. 85, No. 2, pp. 201 - 212 se refiere a la determinación de una característica de radiación para actuar sobre insectos por medio de un modelo de simulación electrónica o modelo de impedancia. Las propiedades dieléctricas se miden a diferentes frecuencias y temperaturas de diferentes muestras, como insectos y alimentos, y se calcula la profundidad de penetración y un factor de pérdida.

50 Todos los procedimientos y dispositivos del estado de la técnica expuesto tienen en común que ciertos pulsos y anchos de pulso (determinados empíricamente) se emiten por medio de un emisor como radiación electromagnética. Para cada artrópodo (por ejemplo, insectos, arañas, orugas) se deben realizar nuevos estudios empíricos para determinar una secuencia de pulso correspondiente a la que reacciona el artrópodo para que no pique a los humanos. Con el fin de determinar las diferentes secuencias de pulsos para influir en el comportamiento de los diferentes artrópodos, por lo tanto, se deben llevar a cabo experimentos intensivos que consumen mucho tiempo para cada artrópodo. Un enfoque sistemático no puede inferirse del estado de la técnica.

Presentación de la invención

55 A partir de este estado de la técnica, la siguiente invención se basa en el objetivo de proporcionar un procedimiento y un dispositivo para influir en los artrópodos (por ejemplo, insectos, arañas, orugas) por medio de radiación

electromagnética, con la ayuda de la cual se pueden determinar rápida, fácil y sistemáticamente las señales y/o patrones de señal correspondientes para cada artrópodo.

Este objetivo se logra mediante un procedimiento que tiene las características de la reivindicación 1 y mediante un dispositivo que tiene las características de la reivindicación 15.

- 5 Los desarrollos ventajosos son objeto de las reivindicaciones de patente dependientes. Las características expuestas individualmente en las reivindicaciones pueden combinarse entre sí de una manera tecnológicamente práctica y pueden complementarse explicando los hechos de la descripción y con detalles de las figuras, en donde se muestran otras variantes de realización de la invención.

- 10 Se sabe por biología el estudio de los artrópodos con respecto a sus órganos sensoriales. Así, por ejemplo, se puede obtener una localización de los órganos sensoriales y en particular de las superficies y espacios sensoriales de los artrópodos. En un mosquito, por ejemplo, estas son las antenas, los palpos, el cuerpo en la hembra y la cabeza en el macho. Otros tipos de artrópodos tienen superficies sensoriales diferentes o adicionales y espacios o partes del cuerpo como las alas, la mandíbula superior, los torsos o las piernas. En estas partes del cuerpo hay apéndices sensoriales físicos y/o bioquímicos que tienen diferentes propiedades físicas, bioquímicas y/o sensoriales. La localización de los apéndices sensoriales se conoce de la biología como se describió anteriormente y se puede tomar de allí, por ejemplo, de las publicaciones correspondientes.

- 15 Los apéndices sensoriales físicos y/o bioquímicos de los artrópodos incluyen, por ejemplo, sensores y/o receptores, por ejemplo, para detectar cambios mecánicos, sabor, olor, fragancias, sonido, sensores químicos, temperatura y feromonas. Estos incluyen, por ejemplo, apéndices sensoriales para la ionización y, por lo tanto, también para la conductividad eléctrica de sustancias gaseosas, líquidas y sólidas, así como la detección de descargas parciales basadas en procesos de ionización.

- 20 Estos apéndices sensoriales reaccionan a diferentes señales y/o patrones de señal; por ejemplo, con una señal correspondiente y/o patrón de señal, por ejemplo, en forma de radiación electromagnética, un artrópodo puede ser influenciado de tal manera que, por ejemplo, toma vuelo o se pone en un estado inactivo. La señal correspondiente y/o el patrón de señal llegan al menos a un cierto apéndice sensorial y/o al menos una propiedad sensorial del artrópodo, que luego influye en los artrópodos de manera correspondiente.

- 25 En el procedimiento inventivo para influir en los artrópodos por medio de la radiación electromagnética, la radiación electromagnética es emitida por al menos un emisor. La característica de la radiación electromagnética, por ejemplo, la progresión temporal de la radiación electromagnética, se crea de acuerdo con la invención con la ayuda de al menos un diagrama de circuito de reemplazo electrónico equivalente (ECM), en el que el diagrama de circuito de reemplazo es un modelo del artrópodo. Como resultado, las señales y/o patrones de señal a los que reacciona el artrópodo correspondiente se pueden obtener de forma rápida, fácil y sistemática para cada artrópodo, en cuyo caso se utiliza el diagrama de reemplazo electrónico equivalente de modelo del artrópodo, como base. Por lo tanto, ya no es necesaria una determinación empírica de las señales y/o patrones de señal a los que reacciona el artrópodo. Más bien, el procedimiento de acuerdo con la invención proporciona un enfoque sistemático para determinar las señales y/o patrones de señal para influir en el artrópodo.

- 30 Los ECM son diagramas de circuitos de reemplazo eléctrico que, por ejemplo, tienen diferentes configuraciones y/o elementos, por ejemplo, de resistencias óhmicas, inductores y condensadores. La interconexión de estos elementos se puede realizar de cualquier manera. Las resistencias complejas Z en los diagramas de circuitos de reemplazo son representativas de una red compleja que consta de al menos uno de estos tres elementos.

Las características de la radiación electromagnética pueden depender de varios factores; son concebibles, por ejemplo, una dependencia temporal, espacial o de frecuencia. En principio, sin embargo, son concebibles otros factores con los que la radiación electromagnética puede ser descrita y/o caracterizada.

- 35 Los ECM (matemáticos y electrotécnicos), en lugar de enfoques físicos, químicos y/o bioquímicos, proporcionan resultados muy similares en donde el punto de partida es algo diferente. Para la consideración de los portadores de carga, se prefieren los enfoques físicos, químicos y/o bioquímicos. Los ECM, por otro lado, son más adecuados para estudiar el comportamiento de un sistema eléctrico. Debido a las similitudes, los enfoques mixtos también son posibles. Los ECM pueden simplificar el proceso de identificación de modelos. La aplicación de ECM no se limita a los sistemas lineales.

- 40 De modo ventajoso para una influencia precisa y dirigida, el modelo describe al menos un apéndice sensorial y/o al menos una propiedad sensorial del artrópodo. Las capacidades sensoriales de los artrópodos pueden ser descritas por sensores individuales discretos. Desde un punto de vista físico, se necesita una gran cantidad de sensores con propiedades de sensor fusionadas para reproducir las complejas estructuras de sensores de los artrópodos. Ejemplos de sensores físicos incluyen sensores de ionización del aire o del medio ambiente, sensores de sabor, quimiosensores, sensores de gas/respiración, sensores de calidad del aire, sensores de CO₂, sensores de presión de aire, sensores de temperatura, sensores de humedad, sensores de tiempo de vuelo, sensores infrarrojos, sensores UV, sensores de aceleración y sensores de sonido. Los estudios biológicos preliminares han demostrado que existe una clara asignación de propiedades sensoriales definidas, así como perfiles de frecuencia de genes sensoriales y la distribución

y disposición de sensores entre masculinos y femeninos, de modo que las capacidades sensoriales de un artrópodo pueden describirse, por ejemplo, mediante una gran cantidad de sensores físicos. Los diferentes tipos de artrópodos tienen diferentes habilidades sensoriales y una frecuencia y distribución diferentes de las habilidades sensoriales.

Debido a las múltiples propiedades sensoriales y sus funciones físicas y/o bioquímicas, son necesarias diferentes señales y/o patrones de señal, por ejemplo, patrones de frecuencia, para estimular el mayor número posible de apéndices sensoriales de los artrópodos y/o sus propiedades sensoriales. Estos patrones de frecuencia se pueden enviar al mismo tiempo, simultáneamente o secuencialmente, uno tras otro. Aquí, por ejemplo, la topología y/o la estructura física del artrópodo son decisivas para las cuales se deben estimular los apéndices sensoriales. Para estimular los diferentes tipos de artrópodos también son necesarios diferentes patrones de frecuencia.

Para describir el comportamiento eléctrico de los apéndices sensoriales y/o las propiedades sensoriales de los artrópodos, se utilizan esquemas de circuitos electrónicos equivalentes de reemplazo como modelos del artrópodo. Los modelos de línea de transmisión (TLM) se pueden utilizar universalmente como ECM. Al conectar varios TLM en serie, se puede construir cualquier modelo en cascada. Los modelos Infinite Voigts también se pueden construir con la ayuda de TLM conectados uno tras otro. Con diagramas de circuitos electrónicos de reemplazo equivalentes se pueden describir los efectos físicos y/o bioquímicos de los apéndices sensoriales del artrópodo. Los apéndices sensoriales de los artrópodos son, por ejemplo, las antenas, los pelos de sensillas o el cuerpo del artrópodo. Sin embargo, se pueden considerar otros apéndices sensoriales dependiendo del artrópodo.

Mediante el uso de ECM en el plano complejo o mediante el análisis de la distribución de los tiempos de relajación (DRT), es posible investigar, describir y desacoplar ventajosamente las contribuciones relativas a la impedancia de los diversos procesos físicos, electroquímicos y/o bioquímicos en artrópodos. Este es un procedimiento para representar los llamados puntos de interés en el espectro de impedancia en un rango dinámico y para poder distinguir claramente el diferente comportamiento de impedancia de los artrópodos. Los diferentes procedimientos de representación como, por ejemplo, el gráfico de Nyquist o el espectro DRT, muestran puntos significativos en el espectro. Estos puntos significativos se asignan a las propiedades bioquímicas y/o físicas y los patrones de comportamiento de los artrópodos.

El diagrama de circuito de reemplazo es al menos un apéndice sensorial y/o al menos una propiedad sensorial del artrópodo. Así, es posible obtener diferentes modelos y/o diagramas de circuitos de reemplazo para diferentes artrópodos con diferentes apéndices sensoriales y/o propiedades sensoriales. En principio, cualquier número de modelos puede ser utilizado y evaluado conjuntamente. Además, los apéndices sensoriales y/o las propiedades sensoriales de los artrópodos pueden complementarse con submodelos adicionales o solo se pueden modelar apéndices sensoriales individuales y/o propiedades sensoriales para reducir el número de modelos y/o los diagramas de circuitos eléctricos de reemplazo.

Para una determinación ventajosamente rápida de las señales y/o patrones de señal para influir en el artrópodo, se emite preferiblemente al menos un pulso, preferiblemente un pulso Trichel, por ejemplo. En principio, sin embargo, puede ser cualquier pulso. Posteriormente, se registra el espectro de frecuencias del pulso emitido. A partir de entonces, al menos una fracción de frecuencia del espectro de frecuencias del pulso emitido se convierte en un tiempo de estabilización, por ejemplo, mediante una transformada de Fourier y la fracción de frecuencia. A partir del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo, se determina al menos un elemento. Luego se selecciona el al menos un diagrama de circuito de reemplazo electrónico que es equivalente al menos a un determinado elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo y que tiene al menos un miembro RC desconocido con una resistencia R seleccionada de $0 \leq R$ y una capacitancia C de $0 \leq C$. Ahora el al menos un miembro RC desconocido se determina sobre por medio del tiempo de estabilización correspondiente a las constantes de tiempo del miembro RC, que se convierte a partir de la fracción de frecuencia del espectro de frecuencias del pulso emitido, como al menos un miembro RC ahora conocido. Posteriormente se determina al menos un miembro de RC que es significativo para influir en el artrópodo.

Para determinar al menos un miembro significativo de RC, la amplitud de tensión se normaliza preferiblemente en función del al menos un tiempo de estabilización, que se determina con el miembro RC conocido. Después, la determinación se lleva a cabo por medio de la amplitud de tensión normalizada. Preferiblemente, la normalización se lleva a cabo mediante un análisis DRT, el cual resulta ventajosamente en una determinación rápida y fácil. De esta manera también es posible una determinación gráfica mediante el reconocimiento de patrones.

De modo ventajoso para la determinación rápida y fácil de las características de la radiación electromagnética, la progresión temporal del pulso tiene preferiblemente al menos un pulso de Trichel positivo y/o negativo.

Preferiblemente tiene lugar un entrenamiento del artrópodo mediante variación de las constantes de tiempo del al menos un miembro significativo de RC. Por lo tanto, es ventajosamente posible cambiar solo la frecuencia del miembro significativo de RC, en lugar de la de todos los miembros de RC, para determinar las características de la radiación electromagnética.

Para una verificación ventajosa de la plausibilidad o una determinación alternativa con respecto al miembro RC significativo determinado, se determina preferentemente al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo. Posteriormente, cuando se emite al menos un pulso, se detecta un

comportamiento de frecuencia del al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo y se representa gráficamente. También se reconoce y se representa gráficamente un comportamiento de frecuencia de los diagramas de circuitos de reemplazo cuando se emite al menos un pulso. Luego, el comportamiento de frecuencia representado gráficamente de los diagramas de circuito de reemplazo se compara con el comportamiento de frecuencia representado gráficamente del al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo y se determina una similitud de patrones gráficos. Posteriormente se puede hacer una selección del al menos un diagrama de circuito de reemplazo electrónico, que es equivalente a al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo, por medio de determinada similitud.

Para una representación particularmente clara, la representación gráfica se lleva a cabo preferiblemente en un diagrama de Nyquist.

Con el fin de analizar ventajosamente, reducir o incluso eliminar la ambigüedad de las ecuaciones del modelo de impedancia, al menos un efecto físico y/o bioquímico de los apéndices sensoriales y/o las propiedades sensoriales del artrópodo se asigna a un modelo o submodelo. Por ejemplo, el modelo o submodelo de un electrodo de cepillo describe las antenas del artrópodo; el modelo o submodelo de un electrodo poroso describe los pelos porosos de la sensilia del artrópodo; el modelo o submodelo de difusión general describe la difusión iónica. Además, los efectos se describen, por ejemplo, por medio del modelo o submodelo de la difusión de la pared impermeable y/o la difusión de un reservorio ideal. Otro modelo o submodelo es, por ejemplo, un modelo para calcular el factor de tortuosidad a partir de datos tomográficos y/o topográficos de la superficie y/o la estructura interna del artrópodo. La eliminación de ambigüedades también simplifica el análisis de los parámetros del modelo que influyen en el comportamiento de la impedancia y también mejora la robustez de las técnicas de optimización de parámetros no lineales.

Por ejemplo, el modelo de cálculo del factor de tortuosidad (= factor tau) a partir de datos tomográficos de la superficie de artrópodos cuantifica la disminución aparente en el transporte difuso resultante de las sinuosidades de las trayectorias de flujo a través de medios porosos, datos de microestructura ajustados a los bordes y basados en imágenes. Existen herramientas matemáticas establecidas como, por ejemplo, el cálculo del factor tau para el cálculo eficiente del factor tau, así como las proporciones de volumen, las superficies y la estructura tridimensional. Con la ayuda del factor tau se puede describir la profundidad de penetración de la señal de estimulación. Esto permite tener en cuenta la anatomía específica de los artrópodos. El cálculo del factor tau es un procedimiento muy eficiente para determinar el transporte difuso reducido en giros y geometrías y estructuras heterogéneas retorcidas y entrelazadas por medio de datos de imágenes microestructurales. Los resultados del factor tau se pueden utilizar para reducir los parámetros en la descripción del sistema de los artrópodos. Por ejemplo, las correlaciones se pueden utilizar para aproximar el factor de tortuosidad. En los últimos años, sin embargo, la creciente disponibilidad de tecnologías de imágenes 3D ha despertado el interés en calcular la magnitud más directamente. De esta manera, los grandes conjuntos de datos típicos de la tomografía moderna se pueden aplicar de forma rápida y precisa sin requerir una alta potencia de cálculo.

Las propiedades sensoriales de los artrópodos se pueden complementar con otros modelos o solo se pueden modelar propiedades sensoriales individuales para reducir el número de modelos de diagramas de circuitos electrónicos de reemplazo. Al eliminar ambigüedades se simplifica el análisis de los parámetros del modelo que influyen en el comportamiento de la impedancia y se mejora adicionalmente la robustez de la tecnología de optimización de parámetros no lineales. Las relaciones descritas anteriormente y los resultados de la investigación con la ayuda de la estocástica permiten una clasificación directa e indirecta de los modelos.

Dado que existen soluciones ventajosamente generalmente válidas para modelos de líneas de transmisión (TLM) y, por lo tanto, por ejemplo, cualquier efecto físico y/o bioquímico se puede describir con TLM, se utiliza al menos un TLM para generar el diagrama de circuito de reemplazo. Por lo tanto, el TLM se puede utilizar universalmente como ECM. Con el uso de TLM, se pueden generar diagramas de circuitos de reemplazo equivalentes porque, por ejemplo, para los elementos complejos individuales Z_x también se pueden asumir condiciones de valor límite (por ejemplo, $Z_x = 0$ o $Z_x = \infty$). Por ejemplo, es posible utilizar un ECM como TLM u otra estructura de circuito ECM que consiste en elementos complejos como, por ejemplo, resistencia, condensador o inductividad. Al seleccionar correctamente los elementos y parámetros del TLM, por ejemplo, diferentes resistencias, condensadores, bobinas, impedancias, corrientes y/o voltajes, es posible identificar el diferente comportamiento de un sistema y también la estructura fractal de un sistema físico y/o electroquímico. Los elementos de un TLM pueden tener, por ejemplo, una dependencia de voltaje y corriente no lineal. Los parámetros también pueden ser dependientes de la posición o de la frecuencia, por ejemplo. En este caso, a menudo se necesitan procedimientos numéricos para calcular la impedancia. La solución de las ecuaciones diferenciales de un TLM general permite, por ejemplo, la simulación de la impedancia de muchos sistemas diferentes con la misma metodología. El uso de diferentes condiciones límite permite la simulación de diferentes sistemas con el mismo modelo. Cambiar los valores de las impedancias permite la simulación de un sistema en diferentes condiciones y también la simulación de diferentes sistemas. Con parámetros adecuados se representan las relaciones con los modelos de los enfoques electroquímicos. Por lo tanto, se hace posible una identificación de la relación entre diferentes modelos, por ejemplo, el grado de similitud entre los modelos de difusión y de electrodos porosos. También es concebible que los diagramas de circuitos electrónicos de reemplazo, divididos en submodelos, se describan por medio del TLM.

En principio, los diagramas de circuitos de reemplazo (ECM) representan un enfoque electrotécnico para describir un modelo, por ejemplo, un artrópodo, mientras que los modelos de línea de transmisión general (TLM) representan un enfoque matemático generalmente válido para describir el ECM o el modelo. Un TLM general abstrae el ECM convencional mediante el uso de elementos complejos Z válidos generalmente en el esquema de circuito de reemplazo. Un ECM utiliza, por ejemplo, diagramas de circuitos (electrotécnicos) con elementos correspondientes, por ejemplo, resistencias, condensadores y/o bobinas para describir un modelo, mientras que un TLM es un enfoque generalmente válido en el que los elementos complejos Z generalmente se eligen para simplificar los sistemas de ecuaciones. Por lo tanto, las soluciones de las ecuaciones diferenciales se pueden resolver matemáticamente simplificadas con la ayuda del TLM. Para el modelado simplificado de los procesos electroquímicos y bioquímicos de los artrópodos, se utilizan condiciones de valor límite para describir el ECM y/o el modelo. Con ECM y/o TLM, se puede obtener información sobre el modelo. Para simplificar la simulación del sistema y la identificación del sistema de artrópodos, especialmente en la descripción de los procesos de difusión, las estructuras porosas como el cabello poroso de sensillas, se deben utilizar diferentes modelos. También es posible cambiar entre una descripción electrotécnica de un ECM y una descripción matemática de un TLM por medio de transformadas. Para una determinación empírica de patrones de frecuencia, el modelado con la ayuda de modelos Infinite Voigt (ECM) es un procedimiento de modelado simplificado que describe el comportamiento de relajación de los artrópodos.

Para una representación y uso ventajosamente universal, tanto como sea posible, de diagramas de circuitos de reemplazo, se utiliza preferiblemente al menos un modelo de línea de transmisión para determinar al menos un miembro RC del diagrama de circuito de reemplazo.

Con el fin de modelar ventajosamente sistemas aún más complejos y/o para reproducir modelos con mayor precisión, al menos dos o más diagramas de circuitos de reemplazo se conectan uno tras otro. Por ejemplo, se pueden modelar artrópodos con varios apéndices sensoriales y/o propiedades sensoriales, por ejemplo, diferentes pelos de sensillas y con varias antenas diferentes. Al conectar varios ECM en serie, se puede construir cualquier modelo en cascada. Con la ayuda de ECM conectado uno tras otro, también se pueden construir modelos Infinite Voigt. Además, es posible obtener un diagrama de circuito electrónico de reemplazo, condensado, en el que varios modelos de líneas de transmisión están dispuestos en serie. Un ejemplo de un esquema de circuito condensado de reemplazo son los modelos de Infinite Voigt o los modelos que utilizan elementos de fase constante (CPE).

Si se utiliza al menos una condición de valor límite con el TLM para describir el modelo del artrópodo, se puede realizar ventajosamente una simulación de diferentes sistemas con el mismo modelo. Por lo tanto, es posible una delimitación de los efectos físicos y/o bioquímicos de los apéndices sensoriales y/o las propiedades sensoriales del artrópodo teniendo en cuenta las condiciones del valor límite. Por ejemplo, existen diferentes corrientes y/o voltajes en el TLM para describir las antenas o pelos de sensillas del artrópodo.

Para un modelo ventajosamente simplificado, la condición de valor límite tiene al menos una consideración de valor límite de al menos una impedancia, por ejemplo, contra 0 y/o infinito, por lo que el TLM se convierte en un diagrama de circuito de reemplazo simplificado. Por lo tanto, es ventajosamente posible describir y/o calcular el modelo de manera más simple y con menos esfuerzo computacional.

Si se determina al menos un espectro de impedancia con la ayuda del diagrama de circuito de reemplazo o el diagrama de circuito de reemplazo simplificado, entonces los puntos de interés relevantes se pueden deducir rápida y fácilmente de este espectro. Por ejemplo, con diagramas de circuitos de reemplazo simplificados como, por ejemplo, los modelos de Infinite Voigt, es posible determinar los espectros de impedancia a partir de datos determinados empíricamente. Los espectros de impedancia también se pueden determinar, por ejemplo, a partir de diagramas empíricos de circuitos de reemplazo.

Para obtener resultados ventajosamente más precisos, el espectro de impedancia se determina con la ayuda de datos tomográficos y/o topográficos. Por ejemplo, los datos tomográficos y/o topográficos pueden provenir de publicaciones correspondientes. Por ejemplo, los espectros de impedancia se pueden crear a partir de ECM empíricos y datos tomográficos y/o topográficos.

Con el espectro de impedancia y al menos un análisis, por ejemplo, de un análisis DRT (Distribution Relaxation Time Constant), para una influencia dirigida ventajosa del artrópodo, es posible determinar al menos un parámetro de la característica de la radiación electromagnética, por ejemplo, al menos una frecuencia característica y/o una constante de tiempo. Sin embargo, en principio son concebibles otros parámetros, como el voltaje, la corriente o el curso del tiempo también. Por ejemplo, es concebible que las frecuencias características para influir en el comportamiento de los artrópodos se puedan determinar a partir de un ECM empírico como, por ejemplo, un modelo de Infinite Voigt con la ayuda del análisis, por ejemplo, el análisis DRT.

Para una influencia ventajosamente mejorada, con ayuda de al menos un parámetro de la característica (por ejemplo, una frecuencia característica y/o constante de tiempo), por ejemplo, a partir de este parámetro, se deriva al menos un nuevo parámetro (por ejemplo, frecuencias de estimulación), por ejemplo, con un análisis DRT, para generar al menos un nuevo espectro de impedancia y a partir de este derivar al menos un nuevo TLM. Es posible, por ejemplo, crear un ECM de los apéndices sensoriales de los artrópodos a partir del espectro DRT y del comportamiento de relajación con tiempos de asentamiento característicos y determinar frecuencias características adicionales y/o constantes de tiempo

con la ayuda del análisis DRT para, a partir de estas, derivar nuevas frecuencias de estimulación, para generar a su vez, a partir de estas, nuevos espectros de impedancia y derivar nuevos TLM estructurados a partir de ellos.

Con el fin de lograr ventajosamente una delimitación de los efectos físicos y/o bioquímicos de los apéndices sensoriales y/o los efectos sensoriales del artrópodo, el TLM se divide en al menos uno de los siguientes modelos de línea de transmisión subdividida: TLM para el electrodo poroso, TLM para el material poroso, TLM para difusión general y/o en paredes no permeables y un reservorio ideal (IR/NPW). También es concebible que se utilicen todos los TLM o solo uno, dos, tres o cuatro. También es concebible que, por ejemplo, se describa el modelo o submodelo del electrodo del cepillo, que describe las antenas del artrópodo por medio del TLM para el electrodo poroso, los pelos de sensilia porosa del artrópodo por medio del TLM para el material poroso, la difusión iónica por medio del TLM de la difusión general y la difusión de la pared impermeable y/o la difusión de un reservorio ideal por medio del TLM de la difusión IR/NPW.

Las ecuaciones diferenciales describen el TLM. Para ampliar ventajosamente el procedimiento, por ejemplo, a diferentes clases de artrópodos, se resuelve al menos una ecuación diferencial del TLM para la determinación de parámetros para las características de la radiación electromagnética, por ejemplo, corriente, voltaje, frecuencia, dependencia temporal. En el caso de TLM subdividido, por ejemplo, se puede resolver cualquier TLM. Por ejemplo, la solución se puede representar como una representación del comportamiento de impedancia, por ejemplo, como una gráfica de Nyquist. En principio, sin embargo, también son concebibles otras representaciones de la solución, por ejemplo, como una representación en el rango de imagen, de tiempo, de frecuencia, de corriente y/o de voltaje. También es posible cambiar entre las diferentes representaciones a través de transformaciones como, por ejemplo, la transformada de Fourier, la transformada de Laplace y/o su retransformada. Por ejemplo, se puede cambiar de la representación de Nyquist a una representación en forma de curva de frecuencia que indica directamente las características de la radiación electromagnética, por ejemplo, la progresión temporal de la radiación electromagnética. Aplicando, por ejemplo, la transformada de Fourier, la transformada de Laplace y/o su retransformada, el análisis se puede llevar a cabo, por ejemplo, en el rango de la imagen, el rango del tiempo o el rango de la frecuencia.

Para obtener una solución más rápida y precisa, la ecuación diferencial se resuelve mediante al menos una condición límite. El uso de diferentes condiciones límite permite ventajosamente la simulación de diferentes sistemas con el mismo modelo. Las condiciones límite resultan, por ejemplo, especificando parámetros fijos como, por ejemplo, la temperatura, la presión y/o la humedad. Por ejemplo, una dependencia complicada de la temperatura se puede sacar asumiendo la temperatura como constante. En principio, sin embargo, son concebibles otros parámetros que ocurren en los sistemas correspondientes. Las condiciones límite también reducen la complejidad y los parámetros de las relaciones matemáticas. Al resolver la ecuación diferencial por medio de al menos una condición límite, es posible, por ejemplo, con un análisis gráfico con la ayuda de una discusión de curva basada en DGL, reconocer las propiedades características de los artrópodos y, por lo tanto, simplificar la determinación de nuevos patrones de frecuencia.

Una representación particularmente ventajosa de la solución de la ecuación diferencial es la representación del espectro de impedancia, por ejemplo, la representación de Nyquist. El espectro de impedancia permite representar la solución claramente y analizarla rápidamente, ya que, por ejemplo, los puntos de interés se hacen evidentes rápidamente. Por lo tanto, la solución de la ecuación diferencial puede ser preferiblemente representada y/o analizada en un espectro de impedancia. Por lo tanto, por ejemplo, la influencia de la geometría del poro (por ejemplo, poro abierto/cerrado) en el comportamiento de impedancia o el comportamiento de impedancia de los electrodos del cepillo se puede analizar muy cómodamente como un modelo de las antenas de los artrópodos. Sin embargo, también se pueden analizar otras influencias, por ejemplo, la influencia de la geometría de la antena del artrópodo.

El TLM utilizado se verifica y/o adapta con la ayuda de al menos otro TLM y/o un ECM simplificado, por lo que se pueden lograr resultados ventajosamente más precisos. Por ejemplo, se utiliza otro TLM con otros parámetros y/o elementos de los cuatro modelos subdivididos mencionados anteriormente o, por ejemplo, se utiliza un modelo de Infinite Voigt como base.

Con el fin de analizar, reducir o incluso eliminar ventajosamente la ambigüedad de las ecuaciones del modelo de impedancia, se determinan los parámetros del TLM para la asignación inequívoca del TLM al apéndice sensorial correspondiente del artrópodo. La eliminación de ambigüedades simplifica el análisis de los parámetros del modelo que afectan el comportamiento de la impedancia y, además, mejora la robustez de las técnicas de optimización de parámetros no lineales.

Las relaciones descritas anteriormente y los resultados de la investigación con la ayuda de la estocástica permiten una asignación directa e indirecta de los modelos. En particular, los tiempos de estabilización de los modelos RC simplificados ofrecen una buena posibilidad de generar patrones de frecuencia correlacionados. Por ejemplo, se puede obtener una asignación directa del ECM a una propiedad sensorial del artrópodo.

El espectro de frecuencias para la estimulación de los apéndices sensoriales de los artrópodos es muy grande. Como resultado, una estimulación multifrecuencia puede conducir a una ambigüedad de los resultados. Diferentes procesos físicos y/o bioquímicos deben ser observados y analizados en diferentes rangos de frecuencia. Si no es posible una asignación clara, ciertos parámetros pueden simplificarse mediante el uso de datos topográficos y/o tomográficos y/o determinarse directamente, por ejemplo, mediante ecuaciones diferenciales. Por lo tanto, mediante el uso de datos

topográficos y/o tomográficos del artrópodo, por ejemplo, a partir de publicaciones correspondientes, los parámetros del TLM se simplifican y/o se determinan directamente. Con la ayuda de los datos tomográficos y/o topográficos, por ejemplo, se pueden hacer asignaciones sobre si son estructuras porosas, permeables y semipermeables. Esto, a su vez, permite asignar TLM específico a la información tomográfica y/o topográfica. Por lo tanto, la complejidad de los modelos puede reducirse ventajosamente.

Con el fin de definir ventajosamente modelos generalmente válidos para cada tipo de artrópodos y comparar modelos, los parámetros, por ejemplo, los parámetros de impedancia, se normalizan. Por ejemplo, en la gráfica de Nyquist los parámetros suelen normalizarse al valor 1, lo que resulta en una mejor comparabilidad con otros parámetros y/o datos. Con la normalización de los parámetros es posible, por ejemplo, crear ECM generalmente válidos para diferentes artrópodos.

De modo ventajoso para una simplificación del ajuste de parámetros, por ejemplo, en un software, los parámetros se ajustan con un análisis de valor límite. Por ejemplo, se logra una simplificación con un análisis de valor límite frente a cero o frente a infinito, ya que los ajustes son solo relativos a un valor previamente determinado.

Para evitar ecuaciones diferenciales, por ejemplo, en sistemas basados en microcontroladores y para reducir el espacio de almacenamiento necesario, se utiliza un procedimiento de sustitución en combinación con al menos una base de datos, por ejemplo, para modelar cualquier función no lineal de manera muy eficiente, por ejemplo, para almacenar progresiones de funciones no lineales en tablas de búsqueda en el microcontrolador. En este procedimiento de sustitución, las funciones no lineales se sustituyen, por ejemplo, en secciones por medio de funciones electrónicas, funciones gaussianas o funciones lineales. Esto permite que cualquier función no lineal para el microcontrolador ahorre espacio de almacenamiento y evite ecuaciones diferenciales complejas. También es concebible, por ejemplo, que se use una transformada de Fourier discreta (DFT) para el aprovechamiento eficiente de la memoria de los algoritmos basados en un microcontrolador con la integración de un algoritmo de Goertzel para la evaluación de la señal, especialmente cuando se utiliza más de una frecuencia de estimulación.

Para un aprovechamiento ventajoso y eficiente de la memoria del procedimiento basado en un microcontrolador, se utiliza al menos una transformada de Fourier discreta (DFT) con la integración de un algoritmo de Goertzel. Por lo tanto, es posible implementar el procedimiento y/o el algoritmo resultante de este en un microcontrolador de una manera que ahorre memoria, de modo que no se tengan que utilizar unidades informáticas grandes y potentes.

Para que la solución de la ecuación diferencial se aplique ventajosamente a un artrópodo real y/o el modelo pueda adaptarse a condiciones reales, la solución de la ecuación diferencial se verifica y/o adapta mediante un sistema de control basado en al menos un modelo de referencia, por ejemplo, un sistema de control autoajutable o adaptativo como, por ejemplo, un proceso de aprendizaje profundo. Por lo tanto, es posible que se puedan entrenar modelos de referencia adicionales ventajosos de otros tipos de artrópodos. El modelo de referencia puede tener, por ejemplo, datos empíricos y/o datos de un modelo ya determinado.

En el caso de que no se conozcan (todavía) datos de modelos, el modelo de referencia puede determinarse a partir de datos empíricos. En principio, también es posible determinar el modelo de referencia a partir de datos empíricos y/o a partir de datos del modelo (previamente determinado).

Con el fin de poner a disposición del emisor las características de la radiación electromagnética de manera rápida y fácil, las características de la radiación electromagnética se almacenan en una memoria, por ejemplo, en una base de datos o en una nube. Por ejemplo, es posible que el emisor reciba las características de la radiación electromagnética de forma inalámbrica, por ejemplo, a través de WiFi, Bluetooth, infrarrojos u otras redes de datos desde la memoria. El emisor también puede transmitir las características, por ejemplo, a otro emisor. Sin embargo, también son concebibles otras opciones de recepción y transmisión. Además, es concebible que, dependiendo de la posición del emisor, las características de la radiación electromagnética de los artrópodos ubicados en esta posición se transmitan desde la memoria, por ejemplo, de forma inalámbrica y estas luego sean emitidas por el emisor.

Para que la radiación electromagnética se emita ventajosamente en un alcance mayor, la característica, por ejemplo, la progresión temporal, de la radiación electromagnética se modula con al menos una señal portadora. En principio, las frecuencias portadoras son concebibles, por ejemplo, en el rango de sub-megahercios, megahercios y gigahercios. Además, se pueden concebir diferentes tipos de modulación como, por ejemplo, PWM, FM, AM, PFM, TDM y FDM.

Con el fin de lograr ventajosamente un alcance más alto de radiación electromagnética, la característica, por ejemplo, la progresión temporal, de la radiación electromagnética se modula con al menos una señal de dither.

Con el fin de ahorrar corriente ventajosamente, lograr un mayor alcance y una potencia de transmisión mejorada de la radiación electromagnética, la señal portadora se modula adicionalmente con al menos una señal de dither. Por lo tanto, es posible modular una tercera frecuencia a la señal portadora. La modulación de dither se puede describir, por ejemplo, mediante una ventana de tiempo desplazada hacia adelante y hacia atrás en la frecuencia a través de la representación del tiempo. Por ejemplo, se puede generar una señal de dither modulada en la señal TDM y en la señal FDM o en la combinación de señal TDM, señal FDM y señal de dither.

- También son necesarios diferentes patrones de frecuencia para simular y/o estimular los diferentes tipos de artrópodos. De manera ventajosa para la generación de cualesquiera señales de estimulación diferentes, la característica, por ejemplo, la progresión temporal, de la radiación electromagnética se genera con un generador de patrones de frecuencia múltiple, que se basa en una señal de multiplexación por división de frecuencia (FDM) y una
- 5 señal de multiplexación por división de tiempo (TDM). Con un FDM, se emite respectivamente una frecuencia durante todo el tiempo. Por el contrario, con un TDM, todo el espectro de frecuencias se emite por ciertos intervalos de tiempo. Una combinación de FDM y TDM permite emitir las más diversas frecuencias en los más diversos períodos de tiempo. De esta manera se puede generar cualquier característica de la radiación electromagnética.
- 10 Con el fin de lograr ventajosamente una estimulación efectiva adicional de los artrópodos, la característica de la radiación electromagnética tiene al menos un impulso de estallido, que simula al menos una descarga de corona en el aire y cuyo curso temporal tiene al menos un pulso Trichel positivo y/o negativo.
- Para una efectividad ventajosamente mayor de influir en los artrópodos, la característica no tiene relaciones armónicas y/o subarmónicas. Así, por ejemplo, las fracciones armónicas y las partes subarmónicas en el espectro de frecuencias difieren en todas las secuencias que se emiten simultáneamente. También es concebible que la característica de las
- 15 frecuencias emitidas simultáneamente en el rango del tiempo y/o en el rango de la frecuencia no tenga relaciones armónicas y/o subarmónicas.
- Para una mayor efectividad de la influencia, la característica se basa en el número primo. De esta manera, la característica no tiene enteros armónicos y/o subarmónicos múltiples y/o partes.
- 20 Para una efectividad particularmente mayor, la característica se basa en el teorema de números primos de Dirichlet sobre progresiones aritméticas. El teorema de los números primos de Dirichle es una afirmación del subcampo matemático de la teoría de números que establece que una secuencia aritmética contiene un número infinito de números primos si esto no es imposible por razones triviales.
- El objetivo también se resuelve mediante un dispositivo para influir en los artrópodos por medio de radiación electromagnética. El dispositivo tiene al menos un emisor que emite la radiación electromagnética. La característica
- 25 de la radiación electromagnética se crea con la ayuda de al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo equivalente, en el que el diagrama de circuito de reemplazo es un modelo de un artrópodo. Ejemplos de dispositivos son pulseras o dispositivos que se pueden instalar, por ejemplo, en espacios o en el exterior, por ejemplo, en sombrillas.
- En el dispositivo se proporciona además como un medio para determinar las características de la radiación electromagnética al menos un diagrama de circuito de reemplazo electrónico equivalente, en donde el diagrama de
- 30 circuito de reemplazo es un modelo de al menos un apéndice sensorial y/o al menos una propiedad sensorial de un artrópodo.
- Para una determinación ventajosamente rápida de las señales y/o patrones de señal para influir en el artrópodo, el dispositivo tiene además preferiblemente medios para emitir al menos un pulso, medios para detectar el espectro de
- 35 frecuencias del pulso emitido, medios para determinar al menos una fracción de frecuencia del espectro de frecuencias del pulso emitido y medios informáticos para convertir la fracción de frecuencia en un tiempo de estabilización, medios para determinar al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo, medios de selección para seleccionar al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo que sea
- 40 equivalente a al menos un elemento determinado del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo y que tenga al menos un miembro RC desconocido con una resistencia R de $0 \leq R$ y una capacitancia C de $0 \leq C$, medios para determinar al menos un miembro RC desconocido por medio del tiempo de estabilización correspondiente a las constantes de tiempo del miembro RC, que se convierte a partir de la fracción de frecuencia del espectro de frecuencias del pulso emitido, como al menos un miembro RC ahora conocido y medios para determinar al menos un miembro RC significativo para la influencia del artrópodo.
- 45 Para una determinación ventajosamente rápida y simple, los medios para determinar el al menos un miembro RC significativo comprenden preferiblemente medios de normalización de la amplitud de voltaje en función del al menos un tiempo de estabilización, que se determina con el miembro RC conocido.
- De modo ventajoso, para una determinación rápida y fácil de las características de la radiación electromagnética, el medio para emitir el pulso está configurado preferiblemente para emitir al menos un pulso Trichel positivo y/o negativo.
- 50 Para una comprobación ventajosa de la plausibilidad o una determinación alternativa con respecto al miembro significativo del RC determinado, el dispositivo tiene preferiblemente medios para determinar al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo, medios para detectar y medios para representar gráficamente un comportamiento de frecuencia de al menos un elemento del grupo que comprende
- 55 el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo cuando se emite al menos un pulso, medios para detectar y medios para representar gráficamente un comportamiento de frecuencia de diagramas de circuitos de reemplazo cuando se emite al menos un pulso, medios para comparar el comportamiento de frecuencia representado gráficamente de los diagramas de circuitos de reemplazo con el comportamiento de frecuencia representado gráficamente del al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del

artrópodo y para determinar una similitud de patrones gráficos y medios de selección para seleccionar el al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo que es equivalente al, al menos uno, elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial y la propiedad sensorial del artrópodo por medio de la similitud determinada.

- 5 Para una representación clara particularmente ventajosa y, por lo tanto, también para el procesamiento en el caso de reconocimiento de patrones, los medios para la representación gráfica se configuran preferiblemente para llevar a cabo la representación gráfica en un diagrama de Nyquist.

Dado que, ventajosamente, para TLM existen soluciones generalmente válidas e incluso con TLM, por ejemplo, se pueden describir cualesquiera efectos físicos y/o bioquímicos, el diagrama de circuito de reemplazo se genera con la ayuda de al menos un TLM.

- 10 Con el fin de emitir ventajosamente cualquier frecuencia y/o arbitrariamente larga para llegar así a diferentes clases de artrópodos, se proporciona un generador de patrones multifrecuencia combinados, que se basa en una señal de multiplexación por división de frecuencias (FDM) y una señal de multiplexación por división de tiempo (TDM), que genera la característica, por ejemplo, la progresión temporal, de la radiación electromagnética.

- 15 Para un propósito de empleo variable con respecto a diferentes artrópodos, por ejemplo, dependiendo de la ubicación, se proporcionan medios con los que las características, por ejemplo, la progresión temporal, de la radiación electromagnética de una memoria, por ejemplo, de una base de datos o de una nube, pueden transferirse al dispositivo. Por ejemplo, es concebible la transmisión inalámbrica, por ejemplo, a través de WiFi, Bluetooth, infrarrojos u otras redes de datos. Sin embargo, también son concebibles otras opciones de transmisión.

- 20 Si no es posible una transmisión desde la memoria, por ejemplo, porque no hay medios correspondientes para la transmisión o no hay red de datos, se proporcionan medios como, por ejemplo, un microcontrolador, con los que se pueden crear, por ejemplo, calcular las características de la radiación electromagnética en el dispositivo. En principio, también son concebibles otros medios con los que se pueden crear las características de la radiación electromagnética.

- 25 Para una influencia más fuerte y eficiente en los artrópodos, la característica tiene al menos una secuencia de pulsos de Trichel para la simulación de una descarga de corona en la atmósfera.

Para una influencia efectiva adicional ventajosa en los artrópodos, la característica tiene al menos un impulso de estallido, que simula al menos una descarga de corona en el aire y cuyo curso temporal tiene al menos un pulso Trichel positivo y/o negativo.

- 30 Otras ventajas resultan de las reivindicaciones dependientes y de la siguiente descripción de los ejemplos de realización preferidos. Las características expuestas individualmente en las reivindicaciones pueden combinarse entre sí de una manera tecnológicamente práctica y pueden complementarse con hechos explicativos de la descripción y por medio de detalles de las figuras, en donde se muestran otras variantes de realización de la invención.

Breve descripción de las ilustraciones

Fig. 1 un análisis o sistema analítico predictivo para adaptar algoritmos en el período previo a los eventos,

- 35 Fig. 2 los tres pasos del análisis descriptivo hacia el aprendizaje profundo por medio de datos predictivos

Fig. 3 Ejemplo de un artrópodo,

Fig. 4 Ejemplos de apéndices sensoriales: Representación esquemática de una cabeza femenina con antenas (FA) y palpos (FP) resaltados (oscuros) [1], cabeza masculina (MH), cuerpo completo del artrópodo hembra (FB),

Fig. 5 comparaciones de muestras por pares: Diagrama proporcional de Venn,

- 40 Fig. 6 Antena de una hembra de *Ae. Aegypti* [4],

Fig. 7 Palpos de una hembra de *Ae. Aegypti*; Marcaje específico de AaOr7 en los palpos del maxilar femenino (Capitate-Peg-Sensilia, A, B) y las sensilias de palpos labiales-T2 (C, D),

Fig. 8 Análisis diferenciado de la expresión (DE) de genes quimiosensoriales,

Fig. 9 Proteínas de unión a olores (OHP) en transcriptomas de *Ae. Albopictus*,

- 45 Fig. 10 Receptores olfativos (OR) en el transcriptoma de *Ae. albopictus*,

Fig. 11 receptores ionotrópicos (IR) en el transcriptoma de *Ae. albopictus*,

Fig. 12 el co-receptor IR CREL,

- Fig. 13 Diagrama de un tercer segmento de antena de *Drosophila*, que muestra la distribución de diversas sensillas olfativas y otras estructuras sensoriales, (D) muestra una sección de (C),
- Fig. 14 Receptores del gusto (GR) en el transcriptoma de *Ae. albopictus*,
- Fig. 15 Perfiles de frecuencia de genes sensoriales en *Ae. Albopictus*,
- 5 Fig. 16 Validación de qPCR,
- Fig. 17 una función simplificada del sistema,
- Fig. 18 un principio funcional simplificado del procedimiento para diferentes artrópodos y diferente estimulación de los apéndices sensoriales,
- Fig. 19 un principio de funcionamiento simplificado para la estimulación de diferentes artrópodos,
- 10 Fig. 20 una señal de multiplexación por división de frecuencia (FDM),
- Fig. 21 una señal de multiplexación por división de tiempo (TDM),
- Fig. 22 una representación simplificada del espectro de frecuencias de la señal de modulación de banda base compuesta en diferentes artrópodos,
- Fig. 23 una representación simplificada del marco y la estructura de las variables de frecuencia y de tiempo del generador combinado de patrones multifrecuencia,
- 15 Fig. 24 una señal de dither grabada en un pulso PWM de amplitud de señal definida,
- Fig. 25 una señal de dither modulada en fase en un impulso PWM con una frecuencia definida (izquierda), señal PWM sin modulación de dither (derecha),
- Fig. 26 una extensión de la señal con señal de dither modulada por PWM [12],
- 20 Fig. 27 un modelo de línea de transmisión general (TLM),
- Fig. 27a un TLM de un electrodo poroso,
- Fig. 27b un TLM de material poroso,
- Fig. 27c un TLM de difusión iónica,
- Fig. 27d un TLM para una pared impermeable y difusión en un reservorio ideal,
- 25 Fig. 28 Descripción de las operaciones en un modelo de electrodo poroso [13],
- Fig. 29 Espectro DRT con diferentes tiempos de relajación (tiempos de estabilización) de ECM de un artrópodo,
- Fig. 30a - d representaciones gráficas de la solución de la ecuación diferencial del TLM de la Fig. 27a, impedancia del modelo de porosidad según la ecuación 4 con $c_2 = 1$,
- Fig. 31 - 33 curso temporal de un pulso Trichel positivo, un pulso Trichel negativo y una secuencia de pulso Trichel (respectivamente como sobrecargas de corriente medidas y simuladas)
- 30 Fig. 34a - d representaciones gráficas de la solución de la ecuación diferencial del TLM de la Fig. 27d, impedancia del modelo de difusión según las ecuaciones 12 y 13,
- Fig. 35 espectros de impedancia simulados para 2D (izquierda) y 3D (derecha) para 5 estructuras simples de poros cerrados [14], [16],
- 35 Fig. 36 espectro de impedancia simulado de 7 geometrías simples de poros abiertos, en donde todas tienen el mismo volumen de poros y el mismo factor de tortuosidad y una dirección uniforme de la señal de estímulo [14],
- Fig. 37 espectro de impedancia simulado de fractales 2D,
- Fig. 38 Espectro de impedancia simulado de dos fractales 2D (Aquí se muestra un árbol de Pitágoras para estructuras cerradas.),
- 40 Fig. 39 Comportamiento de impedancia de una serie con diferentes estructuras de los poros (l es la longitud de los poros y λ es el factor de forma [15]),

Fig. 40 Comportamiento de atenuación de una señal sinusoidal en un poro debido al efecto de penetración de la señal de Levie [15],

Fig. 41 Comportamiento de impedancia típico de un electrodo de cepillo de Levie en el rango complejo en función de la frecuencia para las concentraciones de electrolitos,

- 5 Fig. 42 Características del comportamiento de impedancia en el rango complejo para un electrodo poroso con resistencia en serie R_S (de $0 \rightarrow \infty$) y resistencia distribuida acumulativamente, Ω ,

Fig. 43 diagrama de circuito de reemplazo equivalente del circuito de Infinite Voigt,

Fig. 44 DTR teórico de un circuito R/Q según ecuación (20),

Fig. 45 espectro de impedancia simulado de un paquete sintético de partículas con porosidad,

- 10 Fig. 46 ángulo de fase simulado en función de la frecuencia logarítmica para 3 microestructuras simples,

Fig. 47 un diagrama de un sistema de control (función básica del proceso de aprendizaje profundo para el entrenamiento para diferentes modelos de referencia de artrópodos),

Fig. 48a - d Flujo de proceso Paso 1-4 para el modelado de referencia de artrópodos,

Fig. 49 un principio funcional simplificado del procedimiento según la invención,

- 15 Fig. 50 un procedimiento de modelado simplificado,

Fig. 51 - 54 Diagramas de circuitos de reemplazo de diversos apéndices sensoriales,

Fig. 55 Diferentes modelos para diagramas de circuitos de reemplazo transformados,

Fig. 56 Descripción de las propiedades características del espectro de impedancia DRT por medio de vectores y escalares,

- 20 Fig. 57 Modelo equivalente de un pulso Trichel positivo,

Fig. 58 una secuencia de pulsos de aguja genera un pulso Trichel según la Fig. 57,

Fig. 59 Señal de patrón de pulso con ventanas de tiempo variables,

Fig. 60 señal de patrón de pulso con ventanas secundarias de tiempo variables,

Fig. 61 Espectro de constante de tiempo Tau

- 25 Fig.62 una representación esquemática de un dispositivo según la invención, instrumentos de medición y PC con Matlab

Fig.63 una representación esquemática de la integración de un dispositivo según la invención en un teléfono móvil.

Descripción de ejemplos de realización preferidos

- 30 La invención se explica ahora con más detalle a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos. Sin embargo, los ejemplos de realización son solo ejemplos que no pretenden limitar el concepto inventivo a una disposición determinada. Antes de que la invención se describa en detalle, debe tenerse en cuenta que no se limita a los componentes respectivos del dispositivo y a los pasos respectivos del procedimiento, ya que estos componentes y procedimientos pueden variar. Los términos utilizados en este documento están destinados únicamente a describir formas de realización particulares y no se utilizan de forma restrictiva. Además, si los artículos singulares o indefinidos se utilizan en la descripción o en las reivindicaciones, esto también se refiere a la mayoría de estos elementos, siempre que el contexto general no deje claro ostensiblemente lo contrario.
- 35

Se sabe por la biología que se pueden determinar las propiedades de los sensores de, por ejemplo, artrópodos (por ejemplo, insectos, arañas, orugas). También es posible la localización de los apéndices sensoriales correspondientes. Esto se explica a continuación:

- 40 Las reacciones olfativas de un artrópodo se desencadenan, por ejemplo, por la activación de las neuronas sensoriales olfativas (OSN), que se localizan principalmente, por ejemplo, en antenas, palpos maxilares, herramientas bucales (que consisten en probóscide y labelo) y torsos. Estos apéndices sensoriales pueden percibir estímulos extrínsecos muy diferentes como, por ejemplo, olores volátiles y no volátiles o feromonas, temperatura, humedad, tacto inofensivo o dañino y fuerza de gravedad para activar una compleja compilación de diferentes vías de percepción de artrópodos.
- 45 La percepción de los estímulos químicos, es decir, quimiosensoriales, se basa en neuronas quimiosensoriales que son activadas selectivamente por diversos compuestos volátiles, como moléculas de fragancia y feromonas. Los

componentes moleculares subyacentes a la transmisión de señales olfativas periféricas incluyen una serie de relaciones intracelulares y extracelulares. La complejidad de los factores olfativos junto con diferentes efectos y/o diversidad contribuye directamente a la estimulación del comportamiento específico de las especies de artrópodos. Desde un punto de vista centrado en el receptor, el sistema quimiosensorial en los artrópodos se basa en gran medida en diferentes representantes de tres familias de genes que se expresan principalmente en OSN, que a su vez se encuentran en sensilias especiales en apéndices olfativos: por ejemplo, receptores olfativos (OR), receptores del gusto (GL) y receptores ionotrópicos (IR). Las sustancias olorosas y los compuestos químicos pasan a través de la cutícula a través de los poros de sensilias y así llegan a la linfa de sensilia acuosa.

De esta manera se reconocen y se transportan a sus receptores correspondientemente específicos en las membranas dendríticas de OSN. Esto se hace mediante un número diverso de proteínas de compuesto de fragancia extracelular (OBP) y proteínas de unión a feromonas (PBP), que son secretadas por una red de células secundarias y se encuentran en la base de la ensilla del artrópodo. Hay diversos tipos de sensilias quimiosensoriales que albergan las OSN y otras neuronas sensoriales, así como las células secundarias asociadas, que a su vez se distribuyen en los apéndices sensoriales del artrópodo.

La Fig. 4 muestra ejemplos de apéndices sensoriales 16 de un artrópodo 12: la antena femenina, los palpos femeninos, el cuerpo femenino y la cabeza masculina (de [1]). En principio, dependiendo del artrópodo, existen otros y/o adicionales apéndices sensoriales 16.

Por ejemplo, *Aedes aegypti* es un artrópodo fuertemente antropofílico responsable de transmitir la fiebre del dengue y la fiebre amarilla en todo el mundo. Al igual que con otros artrópodos, el comportamiento de mordida y preferencia del huésped de este vector de la enfermedad está influenciado en gran medida por el sentido del olfato, que presumiblemente se mejora mediante cascadas de señalización de receptores acoplados a proteínas G. Aquí se habla de la identificación y caracterización de AaOr7, el primer o más importante receptor de olor en *Ae. aegypti*. Este receptor muestra una preservación extremadamente alta de aminoácidos primarios con AgOr7, otro receptor de olor identificado en *Anopheles gambiae* (vector de malaria de *Afrotrópis*), así como varios receptores olfativos previamente identificados en *Drosophila melanogaster* y otros artrópodos. Esto es evidente en los tejidos quimiosensoriales adultos y en varias fases de la vida y el desarrollo de *Ae. aegypti*. Dentro del sistema olfativo adulto, la proteína AaOr7 se encuentra específicamente en la mayoría de las sensilias de antenas y de palpos maxilares, así como en un subconjunto de sensilias de probóscide. Esto es consistente con el papel de AaOr7 como un sensor de olor y sabor, lo cual apoya la hipótesis de que AaOr7 y su ortología pueden ser de importancia general para los procesos quimiosensoriales a lo largo del ciclo de vida de un artrópodo.

En la Fig. 6A a 6E está representada una antena de una hembra de un *Ae. Aegypti* (véase [4]), donde la Fig. 6B y 6D representan una combinación de imagen de microscopio óptico, AaOr7, marcado neuronal y nuclear específico y figs. 6C y 6E representan una imagen única correspondiente del marcado específico de AaOr7. La Fig. 6A muestra el primer segmento flagelar de las antenas femeninas, con la marca específica de AaOr7 limitada al tercio distal (derecha, marcado por flecha), en el que se pueden ver una serie de cuerpos celulares neuronales marcados y dendritas salientes. La marca específica de AaOr7 se observó a lo largo de toda la antena (Fig. 6B, 6C). Las Figs. 6D y 6E muestran un ejemplo de un segmento distal. La marca de AaOr7 es visible en dendritas que estimulan tricoide (flechas vacías en la Fig. 6D, 6E), pero no en sensilias de cono ranurado (flechas llenas en Figs. 6D, 6E).

Las Figs. 7A - 7D, de manera similar a las Figs. 6A - 6E, muestran un palpo maxilar femenino de una hembra de *Ae. Aegypti* (véase [4]). Las Figs. 7A y 7B muestran la marca específica de AaOr7 en los palpos maxilar femenino (Capitate-Peg-Sensilia) y las Fig. 6C y 7D en el Labial-Palpen-T2-Sensilia. La Fig. 7A muestra una imagen compuesta con una marca de AaOr7, neuronal y nuclear. La Fig. 7B muestra una vista ampliada del marco en la Fig. 7A. La Fig. 7C muestra una imagen compuesta de una sección óptica (2µm) de la punta de un palpo labial femenino, donde puede observarse que la marca, que recuerda a las estructuras dendríticas en estas sensilias, es muy débil pero reproducible. La Fig. 7D muestra una vista ampliada del marco en la Fig. 7C.

Las Figs. 6A - 6E y 7A - 7D dan como resultado una clara localización de un sensor o receptor de olor en las antenas o palpos de una hembra de *Ae. Aegypti*. En principio, tales estudios también se pueden llevar a cabo en otros artrópodos, de modo que también se puede efectuar una asignación a partir de estos exámenes.

Con la ayuda de, por ejemplo, un modelo de puntuación, se pueden analizar, agrupar las proteínas de unión al olor (OBP), los receptores olfativos (OR), los receptores ionotrópicos (IR) y simplificar los modelos de datos. Con valores altos de TPM se puede analizar la asignación de las proteínas y receptores responsables de los quimiosensores. La Fig. 15 muestra los perfiles de frecuencia de los genes sensoriales en *Ae. Albopictus*, donde la progresión de la oscuridad a la luz indica valores altos a bajos de TPM. El nombre del gen y el ID de cóntigo (códigos VectorBase, si están disponibles) también son reconocibles. Con la ayuda del modelo de puntuación se puede llevar a cabo una localización y asignación exactas de los apéndices sensoriales individuales a las propiedades físicas y/o bioquímicas correspondientes. Como se puede ver en la Fig. 15, por ejemplo, las antenas femeninas son responsables de la detección de ruido en contraste con las antenas masculinas que casi no tienen sensibilidad aquí (cuarto "bloque" en la Fig. 15).

Las capacidades sensoriales de los artrópodos 12 también se pueden describir, por ejemplo, con sensores individuales discretos. Desde un punto de vista físico, un gran número de sensores con propiedades de sensor fusionadas son necesarios para reproducir las complejas estructuras de sensores de los artrópodos 12. Las investigaciones preliminares biológicas antes mencionadas han demostrado que existe una clara asignación de propiedades definidas de sensores y/o receptores a los apéndices sensoriales 16 de los artrópodos 12. También existe una clara distribución entre hembra y macho por medio de los perfiles de frecuencia de los genes sensoriales. Los sensores físicos incluyen, por ejemplo, sensor de ionización del aire o del entorno, sensores de sabor, quimiosensores, sensor de gas/sensor de respiración, sensor de calidad del aire, sensor de CO₂, sensor de presión de aire, sensor de temperatura, sensor de humedad, sensor de tiempo de vuelo, sensor infrarrojo, sensor UV, sensor de aceleración, sensor de sonido, medición de posición y distancia, así como otros sensores.

La Fig. 49 muestra el principio funcional básico para influir en los artrópodos 12 mediante radiación electromagnética 10. Aquí, la radiación electromagnética 10 es emitida por un emisor 14. El artrópodo 12 recibe la radiación electromagnética 10, que se ajusta con los diferentes apéndices sensoriales 16 como antenas, palpos, cabeza y cuerpo y otros apéndices sensoriales 16 y/o propiedades sensoriales. La radiación electromagnética 10 perturba o influye en las funciones sensoriales de los apéndices sensoriales 16 y por lo tanto también en el comportamiento del artrópodo 12. Por ejemplo, por la biología primero se localizan los apéndices sensoriales 16 del artrópodo 12, que tienen diferentes propiedades físicas y/o bioquímicas.

Debido a las múltiples propiedades sensoriales y sus funciones físicas y/o bioquímicas, son necesarias diferentes señales y/o patrones de señal, por ejemplo, patrones de frecuencia, para estimular, en lo posible, todas las propiedades sensoriales de los artrópodos 12. Estos patrones de frecuencia pueden enviarse, por ejemplo, al mismo tiempo, simultáneamente o secuencialmente uno detrás de otro. Aquí, por ejemplo, la topología y la estructura física del artrópodo 12 son determinantes para lo cual se deben estimular los apéndices sensoriales 16 y/o las propiedades sensoriales. Para estimular los diferentes tipos de artrópodos también son necesarios diferentes patrones de frecuencia en forma de diferentes características 18 de radiación electromagnética 10, por ejemplo, de diferentes progresiones temporales de radiación electromagnética. Las características de la radiación electromagnética pueden depender de varios factores, por ejemplo, una dependencia temporal, espacial o de frecuencia son concebibles. En principio, sin embargo, son concebibles otros factores con los que la radiación electromagnética puede ser descrita y/o caracterizada.

La Fig. 18 muestra el principio simplificado para diferentes tipos de artrópodos 12 y diferentes estímulos de apéndices sensoriales 16. Aquí, por ejemplo, se genera cualquier número n de características 18, por ejemplo, una progresión temporal de radiación electromagnética 10 con cualquier número de frecuencias de modulación (Fig. 19). Esto da lugar a posibilidades cualesquiera de generar diferentes señales de estimulación para la característica 18 de la radiación electromagnética 10. En principio, también es concebible que no se modulen las características 18 de la radiación electromagnética 10. En la Fig. 18, se recibe la característica correspondiente 18 de la radiación electromagnética 10 dependiendo del artrópodo o apéndice sensorial 16 y/o propiedad sensorial y se influye en el comportamiento del artrópodo 12.

Con los resultados físicos y/o bioquímicos obtenidos previamente de la biología se efectúa la descomposición de los anexos sensoriales 16, por ejemplo, en sus propiedades físicas, bioquímicas, topográficas y tomográficas y, posteriormente, la transformación de procesos físicos y/o bioquímicos en diagramas de circuitos de reemplazo equivalentes (ECM). Aquí se asigna un ECM, por ejemplo, a los procesos topológicos, tomográficos, físicos y/o bioquímicos dentro de los artrópodos 12 (véase, por ejemplo, la Fig. 27 y la Fig. 27a hasta d). Estos incluyen, por ejemplo, electrodos porosos, material poroso, parámetros materiales de material poroso, descripción del comportamiento de los electrodos, electrodos de cepillo, difusión de sustancias y operaciones, ionización en sustancias y operaciones u otros procesos electroquímicos. La Fig. 45 muestra el espectro de impedancia, así como también el espectro DRT con diferentes propiedades tomográficas y topográficas, en particular las propiedades características del espectro de impedancia en estructuras abiertas y cerradas. Por lo tanto, el diagrama de circuito de reemplazo puede considerarse como un modelo de un artrópodo.

El modelo a su vez describe al menos un apéndice sensorial 16 y/o al menos una propiedad sensorial del artrópodo 12. Con la ayuda del modelo y/o del diagrama de circuito de reemplazo se puede determinar luego una característica 18 de una radiación electromagnética 10, con la que se puede influir en los artrópodos 12. En principio, es concebible que el modelo también describa el artrópodo completo 12 o todos los apéndices sensoriales 16 y/o propiedades sensoriales del artrópodo 12. También es concebible que el modelo describa dos o más, por ejemplo, diferentes artrópodos 12 y/o tipos de artrópodos o sus apéndices sensoriales y/o propiedades sensoriales.

Para simplificar, en un ejemplo de realización preferido, el modelo se divide en al menos un submodelo que describe al menos un apéndice sensorial y/o al menos una propiedad sensorial del artrópodo. Por ejemplo, con un submodelo se puede describir la antena del artrópodo 12, mientras que con otro submodelo se describen los pelos de sensillas del artrópodo 12. En principio, se puede utilizar cualquier número de submodelos.

En un ejemplo de realización particularmente preferido, a al menos un modelo o submodelo se asigna al menos uno de los siguientes efectos físicos y/o bioquímicos de los apéndices sensoriales y/o propiedades sensoriales del artrópodo 12:

- un modelo de un electrodo de cepillo que es un modelo de las antenas del artrópodo,
 - un modelo de un electrodo poroso que es un modelo de los pelos de sensilia porosos del artrópodo,
 - un modelo de difusión general que describa la difusión iónica,
 - un modelo de difusión de una pared impermeable (NPW),
- 5 • un modelo de difusión de un reservorio ideal,

10 • un modelo para calcular el factor de tortuosidad a partir de datos tomográficos de la superficie y/o la estructura interna del artrópodo,

15 • un modelo para calcular el factor de tortuosidad a partir de datos topográficos de la superficie y/o la estructura interna del artrópodo.

En principio, sin embargo, son concebibles otras asignaciones de efectos físicos y/o bioquímicos de los apéndices sensoriales del artrópodo 12 a modelos o submodelos.

En otro ejemplo de realización particularmente preferido se utiliza al menos un modelo de línea de transmisión (TLM) 20 para generar el diagrama de circuito de reemplazo. La Fig. 27 muestra un TLM 20 general. Con el uso de TLM 20, se pueden generar diagramas de circuitos de reemplazo equivalentes, porque, por ejemplo, para los elementos

15 complejos individuales Z_x también se pueden asumir condiciones de valor límite (por ejemplo, $Z_x = 0$ o $Z_x = \infty$).

Para modelar sistemas complejos se pueden conectar al menos dos o más diagramas de circuitos de reemplazo uno tras otro en un ejemplo de realización adicional. Al conectarse en serie, los resultados de los modelos también son más precisos. En principio, cualquier número de diagramas de circuitos de reemplazo se pueden conectar uno tras otro. Ejemplos de ECM condensado son los elementos de fase constante (CPE) y los circuitos de Infinite Voigt.

20 En un ejemplo de realización preferido se utiliza al menos una condición de valor límite con el TLM 20 para describir el modelo del artrópodo 12. En la Tabla 4 mencionada se representan ejemplos de condiciones de valor límite para el TLM en la Fig. 27.

Tabla 4

$x=0$				$x=l_{el}$				Efecto físico
I_1	I_2	U_t		I_1	I_2	U_t		
I_0	0			0^a	I_0			Electrodo poroso, por ejemplo, [2, 25]
I_0	0			I_0	0^a			Material poroso, por ejemplo, [13]
I_0	$-I_0$			$U_t(I_{el})/Z_{el}$				Difusión de iones, conducción electrónica en cables
I_0	$-I_0$			0	0^a			Difusión, pared impermeable (NPW)
I_0	$-I_0$			$-I_2^a$	$-I_1^a$	0		Difusión, reservorio ideal (IR)
^a Este debe ser el resultado después de calcular las constantes de integración								

- 25 Por ejemplo, las condiciones de valor límite para un electrodo poroso que es un modelo de los pelos de la sensilia porosa, son para $x=0$: $I_1=I_0$, $I_2=0$; para $x=l_{el}$: $I_1=0$, $I_2=I_0$. En principio, dependiendo del modelo, se pueden concebir otras condiciones de valor límite. También es posible modelar los apéndices sensoriales 16 y/o propiedades sensoriales descritas por medio del modelo del artrópodo 12 con condiciones de valor límite del TLM 20.

- 30 Además, la condición de valor límite puede tener al menos un análisis de valor límite de al menos una impedancia, por ejemplo, contra cero y/o contra infinito, por lo que el TLM 20 se convierte en un diagrama de circuito de reemplazo simplificado. Por ejemplo, el diagrama de circuito de reemplazo (complejo) se puede simplificar, por lo que pueden encontrarse soluciones más rápidas y más fáciles.

- 35 Con la ayuda del diagrama de circuito de reemplazo simplificado es concebible, en un ejemplo de realización adicional determinar al menos un espectro de impedancia. Los diagramas de circuitos de reemplazo simplificados, como los modelos de Infinite Voigt, se pueden usar, por ejemplo, para determinar los espectros de impedancia a partir de datos determinados empíricamente. Por ejemplo, la Fig. 45 muestra un espectro de impedancia, así como un espectro DRT con diferentes propiedades tomográficas y topográficas, en particular se muestran las propiedades características del espectro de impedancia en estructuras abiertas y cerradas. Para determinar un espectro de impedancia a partir de un ECM existe, por ejemplo, el procedimiento de constantes de tiempo de relajación distribuidas (Distribution of Relaxation Times, DRT). El procedimiento DRT no requiere ninguna suposición de modelo, sino solo una red de Voigt
- 40 infinitamente larga (R paralelo C) (Fig.43) para reproducir todas las constantes de tiempo. Con este enfoque es posible reproducir todos los espectros lineales compatibles con invariantes en el tiempo (LTI). El procedimiento DRT es la búsqueda de correlaciones en el espectro del espécimen con el comportamiento de relajación de un miembro paralelo

RC con la constante de tiempo $\tau=RC$. Si tal comportamiento existe, el procedimiento DRT mostraría un impulso de Dirac en la frecuencia límite correspondiente. Sin embargo, dado que la señal debe filtrarse fuera del área de la imagen antes de la retransformada, por ejemplo, por medio de una transformada de Fourier rápida (FFT), se produce una distribución de las constantes de tiempo de los procesos de relajación incluso con una correlación perfecta en el procedimiento DRT. Si esta distribución es asimétrica al máximo en una aplicación logarítmica sobre la frecuencia $f=(2\pi \tau)^{-1}$, se puede suponer otro proceso cercano a f .

En otro ejemplo de realización preferido se determina el espectro de impedancia para obtener resultados más precisos con la ayuda de datos tomográficos y/o topográficos. Por ejemplo, los datos tomográficos y/o topográficos pueden provenir de publicaciones correspondientes. Las fig. 35 a 39 muestran, por ejemplo, impedancias en estructuras de poros tomográficas y topográficas específicas. Por ejemplo, los espectros de impedancia se pueden crear a partir de ECM empíricos y datos tomográficos y/o topográficos.

En un ejemplo de realización particularmente preferido, para una influencia dirigida ventajosa del artrópodo es posible determinar al menos un parámetro de la característica 18 de la radiación electromagnética 10, por ejemplo, al menos una frecuencia característica y/o constante de tiempo con el espectro de impedancia y al menos un análisis, por ejemplo, un análisis DRT (Distribution Relaxation Time Constant o (constante de tiempo de relajación de distribución). La Fig. 29 muestra varias constantes de tiempo tau y frecuencias correspondientes. En principio, sin embargo, también son concebibles otros parámetros como el voltaje, la corriente o la progresión del tiempo. Por ejemplo, es concebible que las frecuencias características para influir en el comportamiento de los artrópodos se puedan determinar a partir de un ECM empírico como, por ejemplo, un modelo de Infinite Voigt con la ayuda del análisis, por ejemplo, el análisis DRT.

Para una influencia ventajosamente mejorada con ayuda del al menos un parámetro de la característica (por ejemplo, una frecuencia característica y/o constante de tiempo), por ejemplo, de este parámetro, se deriva al menos un nuevo parámetro (por ejemplo, frecuencias de estimulación), por ejemplo, con un análisis DRT (Fig. 50) para generar al menos un nuevo espectro de impedancia y derivar de este al menos un nuevo TLM. Es posible, por ejemplo, crear un ECM de los apéndices sensoriales de los artrópodos a partir del espectro DRT y del comportamiento de relajación con tiempos de estabilización característicos y determinar frecuencias características adicionales y/o constantes de tiempo con la ayuda del análisis DRT para derivar nuevas frecuencias de estimulación a partir de esto para generar a su vez nuevos espectros de impedancia y derivar nuevos TLM estructurados a partir de ellos.

El TLM 20 comprende en un ejemplo de realización preferido adicional al menos uno de los siguientes TLM 20 subdivididos:

- TLM para el electrodo poroso,
- TLM para material poroso,
- TLM para la difusión general,
- TLM para la difusión en paredes impermeables y un reservorio ideal.

Las Figs. 27a - 27d muestran, por ejemplo, el TLM respectivo para diferentes efectos físicos y/o bioquímicos. La Fig. 27a muestra el TLM para el electrodo poroso. La Fig. 27b muestra el TLM para material poroso. La Fig. 27c muestra el TLM de difusión general. La Fig. 27d muestra el TLM para la difusión de la pared impermeable y del reservorio ideal. Por ejemplo, también es posible combinar varios efectos físicos y/o bioquímicos en un TLM (véase, por ejemplo, Fig. 27d). La Fig. 27d resume la difusión de la pared impermeable y del reservorio ideal en un TLM.

TLM 20 se describe generalmente, por ejemplo, mediante una ecuación diferencial. En otro ejemplo de realización preferido se resuelve al menos una ecuación diferencial de TLM 20 para determinar los parámetros de la característica 18 de la radiación electromagnética 10. La ecuación 23 muestra la solución del TLM general de la Fig. 27.

$$I_1(x) = I_1(x + \Delta x) + U_t(x) \underline{Y}'_t \Delta x$$

$$I_2(x + \Delta x) = I_2(x) + U_t(x) \underline{Y}'_t \Delta x$$

$$0 = U_t(x) + I_2(x) \underline{Z}'_2 \Delta x - U_t(x + \Delta x) - I_1(x) \underline{Z}'_1 \Delta x$$

Ecuación 23

La ecuación 23 se puede utilizar, por ejemplo, para determinar los valores del sistema que se muestran en la ecuación 24,

$$I_1(x) = C_1 \frac{\underline{Z}'_2}{\underline{Z}'_1} + \frac{C_2 e^{-x \underline{Y}} - C_3 e^{x \underline{Y}}}{\underline{Z}'_t \underline{Y}}$$

$$I_2(x) = C_1 - \frac{(C_2 e^{-x\gamma} - C_3 e^{x\gamma}) \gamma}{Z'_1 + Z'_2}$$

$$U_t(x) = C_2 e^{-x\gamma} + C_3 e^{x\gamma}$$

Ecuación 24

donde en la ecuación 25 se define una constante de retardo compleja.

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z'_1 + Z'_2}{Z'_t}}$$

Ecuación 25

Los símbolos utilizados, su unidad y su significado.

Símbolo	Unidad	Significado
Z'_1, Z'_2	[Ω/m]	Impedancia longitudinal compleja (admitancia correspondiente $Y'_{1/2} = 1/Z'_{1/2}$)
Z'_t	[Ω m]	Impedancia transversa compleja (admitancia correspondiente : $Y_t = 1/Z'_t$)
Z_{1el}	[Ω]	Resistencia en el extremo de la línea de transmisión
l_{el}	[m]	Longitud de electrodo o grosor de material
U_t	[V]	Voltaje entres medios 1 y medios 2 a través de la impedancia transversa
I_1, I_2	[A]	Corrientes en dirección longitudinal a través de medios 1 y medios 2
I_0	[A]	Corriente aplicada a material poroso
γ	[1/m]	Constante de propaqación compleja
C_1	[A]	Constante de integración
C_2, C_3	[V]	Constantes de integración

Por ejemplo, es posible determinar las constantes de integración indefinidas C_1 , C_2 y C_3 con las condiciones de valor límite de la Tabla 4.

En otro ejemplo de realización preferido, la ecuación diferencial se resuelve por medio de al menos una condición de límite. Por ejemplo, la solución del TLM del electrodo poroso en la ecuación 26 se puede obtener utilizando las condiciones de valor límite para el electrodo poroso de la Tabla 4 para resolver el TLM en la Fig. 27 o las ecuaciones diferenciales en la ecuación 23.

$$Z_{1,2'} = \frac{l_{el}}{(1/Z'_2) + (1/Z'_1)} \left(1 + \frac{2 + ((Z'_1/Z'_2) + (Z'_2/Z'_1)) \cosh(l_{el}\gamma)}{l_{el}\gamma \sinh(l_{el}\gamma)} \right)$$

Ecuación 26

Para la impedancia se obtienen las soluciones gráficas para diferentes constantes de integración mostradas en las Figs. 30a - 30d, donde en este ejemplo $C_2=1$. En consecuencia, se obtiene la solución de la impedancia en la ecuación 27 para el material poroso.

$$Z_{1,2} = \frac{l_{el}}{(1/Z'_2) + (1/Z'_1)} \left(1 + \frac{2 + ((Z'_1/Z'_2) + (Z'_2/Z'_1)) \cosh(l_{el}\gamma)}{l_{el}\gamma \sinh(l_{el}\gamma)} \right)$$

Ecuación 27

Para la difusión general se obtiene la impedancia mostrada en la ecuación 28,

$$Z_{1,2} = \frac{Z'_1 Z_{1el} + Z'_2 Z_{1el} + Z'_1 Z'_t \tanh(l_{el}\gamma) \gamma + Z'_2 Z'_t \tanh(l_{el}\gamma) \gamma}{Z'_1 + Z'_2 + Z_{1el} \tanh(l_{el}\gamma) \gamma}$$

Ecuación 28 en la cual, en este caso, con $Z_2=0$ se obtiene la solución de la impedancia mostrada en la ecuación 29.

$$Z_{1,2} = \frac{Z'_1 Z_{l_{el}} + Z'_1 Z'_t \tanh(l_{el} \gamma) \gamma}{Z'_1 + Z_{l_{el}} \tanh(l_{el} \gamma) \gamma}$$

Ecuación 29

Para la difusión de la pared impermeable y del reservorio ideal se obtienen las soluciones de impedancia presentadas en las ecuaciones 30 y 31,

$$Z_{1,2,corta} = \frac{Z_{1,2,corta}}{Z_{N,diff}} = \frac{\tanh(\sqrt{j\Omega})}{\sqrt{j\Omega}}$$

$$Z_{1,2,abierta} = \frac{Z_{1,2,abierta}}{Z_{N,diff}} = \frac{1}{\sqrt{j\Omega} \tanh(\sqrt{j\Omega})}$$

Ecuaciones 30, 31

donde la ecuación 30 representa la curva de impedancia para la salida abierta y la ecuación 31 representa la curva de impedancia para la salida cerrada, así como la relación representada en la ecuación 32.

$$Z_{N,diff} = R'_1 l_{el}$$

Ecuación 32

Las Figs. 34a - 34d muestran una solución gráfica de la impedancia según las ecuaciones 30 y 31.

Las curvas mostradas, por ejemplo, en las Figs. 30a - 30d y las Figs. 34a - 34d, se pueden obtener mediante transformaciones adecuadas, por ejemplo, mediante transformada de Fourier, transformada de Laplace y/o su retransformada, por lo que es posible un análisis, por ejemplo, en el rango de la imagen, el rango del tiempo y/o el rango de la frecuencia. Por lo tanto, se representa y/o se analiza la solución de la ecuación diferencial, por ejemplo, de las ecuaciones 26, 30 y/o 31 en un ejemplo de realización preferido en un espectro de impedancia. Por ejemplo, el comportamiento de impedancia de diferentes geometrías de poros y estructuras de poros (geometrías de poros abiertos y/o cerrados) puede representarse claramente en un espectro de impedancia, por ejemplo, el diagrama de Nyquist y, por lo tanto, compararse con la solución de la ecuación diferencial en el espectro de impedancia. Estos hallazgos se pueden utilizar directamente para el modelado TLM de artrópodos 12 y sus señales de estimulación. Con el resultado en el espectro DRT se pueden sacar conclusiones directamente sobre las frecuencias de estimulación. Además, las curvas características, como se muestra en la Fig.38 y la Fig. 45, se pueden utilizar directamente. El procedimiento DRT no requiere ninguna suposición de modelo, sino solo una red de Voigt infinitamente larga (R paralelo C) (Fig.43) para reproducir todas las constantes de tiempo. Con este enfoque es posible reproducir todos los espectros lineales compatibles con invariantes en el tiempo (LTI). EL DRT es la búsqueda de correlaciones en el espectro del espécimen con el comportamiento de relajación de un miembro paralelo RC con la constante de tiempo $\tau=RC$. Si tal comportamiento existe, el procedimiento DRT mostraría un impulso de Dirac en la frecuencia límite correspondiente. Sin embargo, dado que la señal debe filtrarse fuera del área de la imagen por medio de una transformada de Fourier rápida (FFT o Fast Fourier Transform) antes de la retransformada, se produce una distribución de las constantes de tiempo de los procesos de relajación incluso con una correlación perfecta en el procedimiento DRT. Si esta distribución es asimétrica al máximo en una aplicación logarítmica sobre la frecuencia $f=(2\pi \tau)^{-1}$, se puede suponer otro proceso cercano a f.

En el espectro DRT, los tiempos de estabilización (tiempos de relajación) son visibles en relación con la red InfiniteVoigt. La relación formal $f=(2\pi \tau)^{-1}$ puede utilizarse para sacar conclusiones sobre las frecuencias de estimulación. La Fig. 38 muestra, por ejemplo, un espectro de Nyquist con diferentes estructuras porosas. La Fig. 45 también muestra un espectro de Nyquist y en la imagen cuadrada pequeña el espectro DRT correlacionado.

El comportamiento de impedancia muestra diferente rasgo en las simulaciones de las Figs. 35 - 39 para estructuras de poros tomográficas y topográficas específicas; la Fig. 35 representa simulaciones de una geometría de poros simplemente cerradas y la Fig. 36 simulaciones de una geometría de poros simplemente abiertos. Las Fig. 37 y 38 muestran respectivamente un espectro de impedancia simulada de fractales 2D. La Fig. 39 muestra el comportamiento de impedancia de una serie con diferentes estructuras de los poros, donde l es la longitud de los poros y lambda es el factor de forma. A partir del análisis y las simulaciones del espectro de impedancia y, en particular, del espectro de impedancia normalizado se puede ver que diferentes geometrías de poros y estructuras de poros representan patrones de comportamiento típicos en el análisis gráfico y matemático. Por lo tanto, la evaluación y el ajuste de frecuencia en

diferentes estructuras de poros es fácil de realizar. En principio, los vectores de posicionamiento dependientes de parámetros también se pueden determinar con la ayuda del análisis vectorial, por ejemplo, que describen, por ejemplo, las diferentes funciones continuas. Por lo tanto, dependiendo de la geometría de los poros del artrópodo, la característica 18 se puede adaptar a la radiación electromagnética 10.

- 5 En otro ejemplo de realización preferida, el TLM 20 utilizado se verifica y/o ajusta con la ayuda de al menos otro TLM. Por ejemplo, se puede utilizar un modelo determinado empíricamente en forma de, por ejemplo, un patrón de frecuencia para la verificación. Como se muestra en la Fig. 50, se pueden generar nuevos modelos de TLM, por ejemplo, a partir de patrones de frecuencia determinados empíricamente y el uso de modelos de Infinite Voigt. Por ejemplo, también es concebible que para el modelado se utilice un modelo base TLM diferente de los cuatro modelos de la Fig. 27a - 27d. Especialmente en sistemas físicos y/o bioquímicos, la consideración de, por ejemplo, estructuras abiertas o cerradas (por ejemplo, poros abiertos o poros cerrados) es importante para reproducir modelos de impedancia basados en datos tomográficos y/o topográficos; véase, por ejemplo, la Fig. 37.

- 15 El espectro de frecuencias para la estimulación de los apéndices sensoriales 16 y/o las propiedades sensoriales de los artrópodos 12 es muy grande. Como resultado, una estimulación multifrecuencia puede conducir a una ambigüedad de los resultados. Diferentes operaciones físicas y/o bioquímicas deben ser observadas y analizadas en diferentes rangos de frecuencia. Por lo tanto, en un ejemplo de realización preferida adicional se determinan parámetros del TLM para la asignación inequívoca del TLM al apéndice sensorial correspondiente del artrópodo. La Fig. 29 muestra, por ejemplo, el espectro DRT con el espectro distribuido del comportamiento de relajación (distribución de los tiempos de estabilización, DRT) con los tiempos de estabilización característicos como reproducción de las estructuras de los artrópodos. En el primer paso de la Fig. 50, este espectro se determinó empíricamente de tal manera que el artrópodo mostró un comportamiento pasivo (sin picar, estado de reposo) cuando se estimulaba con el patrón de frecuencia. Debido a la anatomía topográfica y/o tomográfica y la estructura de los artrópodos, se pueden asignar frecuencias específicas. La Fig. 50 muestra el proceso de modelado simplificado. A partir de estudios empíricos se determinan diagramas de circuitos de reemplazo simplificados y patrones de frecuencia. Estos patrones de frecuencia pueden tener un espectro de banda ancha. A partir de esto se deriva un espectro de impedancia. Con la ayuda del análisis DRT se determinan frecuencias características y constantes de tiempo. Las nuevas frecuencias de estimulación se derivan de este espectro DRT. Estos, a su vez, sirven para determinar un nuevo espectro de impedancia y a partir de este derivar un nuevo modelo de línea de transmisión estructurada.

- 30 Si no es posible una asignación clara, en un ejemplo de realización particularmente preferido, por ejemplo, ciertos parámetros del TLM pueden simplificarse y/o determinarse directamente mediante el uso de, por ejemplo, datos topográficos y/o tomográficos del artrópodo. Por ejemplo, los parámetros correspondientes se pueden determinar mediante datos topográficos del artrópodo y simulaciones de impedancia de diferentes geometrías de poros. Por ejemplo, con la ayuda de discusiones de curvas y/o ecuaciones diferenciales, se pueden asignar las diferentes propiedades de los poros (véase, por ejemplo, la Fig. 38).

- 35 En un ejemplo de realización preferido, los parámetros se normalizan. Con la ayuda de parámetros normalizados, por ejemplo, parámetros de impedancia, se pueden definir modelos generalmente válidos para cada tipo de artrópodos. Con la normalización de, por ejemplo, el espectro de impedancia al factor de referencia 1, las desviaciones o cambios relativos pueden determinarse fácilmente y, por lo tanto, son fácilmente reconocibles durante el análisis.

- 40 Junto con un análisis del valor límite, por ejemplo, contra cero y/o contra infinito, el ajuste de parámetros se simplifica, por ejemplo, en un software utilizado, ya que los ajustes solo son relativos a un valor previamente determinado. Por lo tanto, en un ejemplo de realización adicional, los parámetros se ajustan con un análisis de valor límite. Con el análisis del valor límite, por ejemplo, se simplifican los términos dentro de las ecuaciones diferenciales. Esto es importante cuando se realizan los algoritmos en un microcontrolador.

- 45 En un ejemplo de realización particularmente preferido, cualquier función no lineal se modela mediante un procedimiento de sustitución en combinación con al menos una base de datos, por ejemplo, una biblioteca de funciones. Para el procedimiento de sustitución, las funciones gráficas se reemplazan sección por sección, por ejemplo, por funciones electrónicas, funciones gaussianas y/o funciones lineales. Esta función parcial como función de sección puede representarse a su vez como un ECM, por ejemplo, como una combinación de resistencia y condensador. Así, por ejemplo, al implementar el procedimiento en un sistema basado en microcontroladores, se pueden evitar ecuaciones diferenciales almacenando progresiones de funciones no lineales, por ejemplo, en tablas de búsqueda en un microcontrolador y, por lo tanto, reduciendo el espacio de almacenamiento. También es concebible, por ejemplo, que se utilice una transformada de Fourier discreta (DFT) para el uso eficiente de la memoria de los algoritmos basados en un microcontrolador con la integración de un algoritmo de Goertzel para la evaluación de la señal, especialmente cuando se utiliza más de una frecuencia de estimulación.

- 55 En un ejemplo de realización adicional se utiliza al menos una transformada de Fourier discreta (DFT) con la participación de un algoritmo de Goertzel para un aprovechamiento ventajosamente eficiente de la memoria del procedimiento basado en un microcontrolador. Por lo tanto, es posible implementar el procedimiento y/o el algoritmo resultante de este en un microcontrolador de una manera que ahorre espacio, de modo que no se tengan que utilizar unidades informáticas grandes y potentes.

En un ejemplo de realización preferido, la solución de la ecuación diferencial se comprueba y/o se ajusta mediante un sistema de regulación adaptativo 50 basado en al menos un modelo de referencia, por ejemplo, un sistema de regulación autoajutable 50. La Fig. 47 muestra un diagrama general de circuitos en bloque de un sistema de regulación 50 para entrenar diferentes modelos de referencia. La adaptación puede llevarse a cabo, por ejemplo, sobre la base de los resultados anteriores y/o mediante la observación de los artrópodos y sus patrones de comportamiento. Los artrópodos se estimulan, por ejemplo, por la característica de radiación electromagnética obtenida al resolver la ecuación diferencial. Esta solución sirve como modelo de referencia. Con la estimulación se influye en el comportamiento de la actividad de los artrópodos, el final, por ejemplo, a través de una observación humana o una cámara u otros sensores ópticos adecuados, por ejemplo.

Se detectan sensores infrarrojos o FIR de tiempo de vuelo. El sistema incluye un circuito de control de retroalimentación interno y cerrado y un circuito externo responsable de la adaptación. La adaptación de los parámetros del controlador se lleva a cabo, por ejemplo, sobre la base de un criterio de calidad utilizando un procedimiento de gradiente o en otros procedimientos matemáticos conocidos. En el modelado de referencia de artrópodos, el comportamiento de transmisión deseado del circuito de control cerrado se especifica con la ayuda del modelo de referencia. El primer modelo de referencia puede basarse, por ejemplo, incluso en estudios empíricos. La Fig. 47 describe un modelo de regulación adaptativo basado en un conjunto de parámetros de regulación variables Θ . Esto se adapta por la ley de adaptación (adaptación de parámetros de regulación) de tal manera que el comportamiento de entrada/salida del sistema regulado corresponde a un modelo de referencia del artrópodo. La variable de ajuste es, por ejemplo, el patrón de frecuencia ω . Por ejemplo, el regulador ajusta la progresión temporal de la señal de estimulación.

El modelo de referencia, por ejemplo, el primer modelo de referencia, puede basarse, por ejemplo, en datos empíricos y/o datos de un modelo ya determinado del artrópodo. Por lo tanto, los modelos de referencia pueden ser modelos determinados anteriormente del artrópodo y/o modelos a partir de datos empíricos, que ahora se adaptan.

En un ejemplo de realización preferida, la característica de la radiación electromagnética se almacena en una memoria, por ejemplo, una base de datos o una biblioteca de funciones. Por ejemplo, la característica puede enviarse de forma inalámbrica a la memoria y almacenarse allí. Más tarde, la característica se puede transmitir de forma inalámbrica desde la memoria, por ejemplo.

En el ejemplo de realización de la Fig. 18, la característica 18 de la radiación electromagnética 10 se modula con al menos una señal portadora 22. En principio, es posible una amplia variedad de tipos de modulación, por ejemplo, PWM, FM, AM, PFM, TDM, FDM. La Fig. 25 (izquierda y derecha) muestra una señal PWM. También se pueden combinar varios tipos de modulación. Por ejemplo, todas las frecuencias de modulación pueden estar basadas en números primos y/o no tener armónicos enteros y divisores y/o múltiplos subarmónicos. Las frecuencias pueden estar en el rango de sub-GHz, MHz o GHz, por ejemplo.

De modo particularmente preferible, en un ejemplo de realización adicional, la característica 18 de la radiación electromagnética 10 se modula con al menos una señal dither. Por lo tanto, es posible obtener ventajosamente un mayor alcance y/o potencia de transmisión de las características de la radiación electromagnética y así ahorrar electricidad. Más preferiblemente, la señal portadora 22 se modula adicionalmente con al menos una señal dither. La Fig. 25 (izquierda) muestra un ejemplo de una señal PWM con señal de dither modulada.

En un ejemplo de realización adicional en la Fig. 23, las características de la radiación electromagnética se generan con un generador de patrones multifrecuencia combinado 24 que se basa en una señal de multiplexación por división de frecuencia (FDM) (Fig. 20) y una señal de multiplexación por división de tiempo (TDM) (Fig. 21). Por lo tanto, es posible generar cualquier característica de la radiación electromagnética, tanto en el rango de la frecuencia como en el del tiempo. Por otro lado, una señal de multiplexación por división de frecuencia (FDM) en la Fig. 20 o una señal de multiplexación por división de tiempo (TDM) en la Fig. 21 solo permite generar un determinado rango de frecuencia durante todo el tiempo o varias frecuencias durante un rango de tiempo determinado.

Para una influencia más precisa y efectiva de los artrópodos 12, la característica 18 de la radiación electromagnética 10 en un ejemplo de realización adicional tiene al menos un pulso de estallido que simula al menos una descarga de corona en el aire, cuya progresión tiene al menos un pulso Trichel positivo y/o negativo. Las figs. 31 y 32 muestran pulsos Trichel positivos y negativos respectivamente. Las descargas de corona son descargas de gas de baja corriente a presión atmosférica y una intensidad de campo eléctrico localmente alta, por ejemplo, en electrodos o cables. La Fig. 31 muestra la progresión temporal de un pulso de Trichel positivo (sobrecarga eléctrica medida y simulada) y la Fig. 32 muestra la progresión temporal de un pulso de Trichel negativo (sobrecarga eléctrica medida y simulada). Los estudios empíricos sobre artrópodos han demostrado que tales patrones, que simulan descargas de corona en el aire, influyen significativamente en el comportamiento de los artrópodos. La Fig. 33 muestra la progresión temporal de una secuencia de pulsos de Trichel como sobrecarga eléctrica medida y simulada.

Para una efectividad ventajosamente mayor de la influencia, la característica 18 no tiene relaciones armónicas y/o subarmónicas. Por lo tanto, las fracciones armónicas y las fracciones subarmónicas difieren, por ejemplo, en el espectro de frecuencias, en todas las secuencias que se emiten simultáneamente. Por ejemplo, la característica de

frecuencias emitidas simultáneamente en el rango del tiempo y/o en el rango de la frecuencia no tiene relaciones armónicas y/o subarmónicas.

Para una mayor efectividad de la influencia, la característica 18 se basa en números primos. Por lo tanto, la característica 18 no tiene múltiplos y/o partes enteros armónicos y/o subarmónicos.

- 5 Para una efectividad particularmente mayor, la característica 18 se basa en el teorema de números primos de Dirichlet sobre progresiones aritméticas. El teorema de los números primos de Dirichle es una afirmación del subcampo matemático de la teoría de números, que establece que una secuencia aritmética contiene un número infinito de números primos si esto no es imposible por razones triviales.

- 10 En un ejemplo de realización adicional, en la Fig. 49 se muestra un dispositivo 100 para influir en los artrópodos 12 por medio de la radiación electromagnética 10, en cuyo caso el dispositivo 100 tiene al menos un emisor 14 que emite una característica 18 de la radiación electromagnética 10, en donde la característica 18 de la radiación electromagnética 10 se crea con la ayuda de al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo equivalente, donde el diagrama de circuito de reemplazo es un modelo de un artrópodo 12.

- 15 El modelo describe en un ejemplo de realización adicional al menos un apéndice sensorial 16 y/o al menos una propiedad sensorial del artrópodo 12.

En un ejemplo de realización preferido, el diagrama de circuito de reemplazo se genera con la ayuda de al menos un TLM 20. Existen soluciones generalmente válidas para TLM y con TLM también se pueden describir cualesquiera efectos físicos y/o bioquímicos, por ejemplo.

- 20 Tal como en el ejemplo de realización de la Fig. 49, el dispositivo 100 puede tener, por ejemplo, un generador de patrones multifrecuencia 24 que genera las características de la radiación electromagnética 10. Opcionalmente, el dispositivo puede tener adicionalmente un modulador 26, un amplificador 28, un oscilador 30 y una antena 32. El generador de patrones multifrecuencia 24 genera la radiación electromagnética 10, en cuyo caso la señal se modula después con el modulador 26 y/o el oscilador 30, por ejemplo, por medio de PWM, FM, AM, PFM, TDM, FDM u otros tipos de modulación. Después de eso, la señal se amplifica en el amplificador 28 y luego es emitida por la antena 32.

- 25 Además, en un ejemplo de realización preferido, en la Fig. 49 se proporcionan los medios 34 con los que las características de la radiación electromagnética pueden transferirse desde una memoria, por ejemplo, desde una base de datos o una nube, al dispositivo. En principio se toma en consideración cualquier medio y/o tipo de transmisión, por ejemplo, tipos de transmisión inalámbrica como Wifi, Bluetooth, infrarrojos u otras redes de datos.

- 30 En un ejemplo de realización adicional, en la Fig. 49 se proporcionan los medios 36 con los que se pueden crear las características de la radiación electromagnética 10 en el dispositivo 100, por ejemplo, calcular con un microcontrolador o una unidad de computación, por ejemplo.

Para una influencia más fuerte y eficiente en los artrópodos 12, la característica 18 puede tener adicionalmente al menos una secuencia de pulsos Trichel (Fig. 33), (Fig. 31), (Fig. 32) para la simulación de una descarga de corona en la atmósfera.

- 35 En resumen, un biólogo examina primero un insecto en sus órganos sensoriales y los clasifica. Estos órganos sensoriales o apéndices sensoriales pueden percibir estímulos muy diferentes, por ejemplo, olores volátiles y no volátiles, moléculas de fragancia, temperatura, humedad o sabor. El biólogo sabe exactamente dónde se encuentran los respectivos órganos sensoriales con los receptores en el artrópodo.

- 40 Además, por medio de investigaciones el biólogo es ampliamente consciente de cómo se ve la estructura celular y cómo tienen lugar las relaciones exactas con la transmisión de señales dentro del artrópodo. Los exámenes microscópicos y otros procedimientos de análisis por imágenes han proporcionado al biólogo información completa e inequívoca sobre la composición estructural del artrópodo. Además, el biólogo sabe qué genes, familias de genes y neuronas quimiosensoriales son responsables de la percepción sensorial respectiva.

- 45 El biólogo esboza con esto una imagen completa del artrópodo y determina todas las estructuras sensoriales. Por lo tanto, el biólogo también es consciente de dónde se encuentran exactamente las ramas celulares, las estructuras porosas, las capas y membranas permeables y semipermeables, los engrosamientos, los cuellos de botella en la ruta de transmisión de la señal y dónde puede tener lugar la difusión. A partir de esto, el biólogo conoce las vías de transmisión de señales de los estímulos y las propiedades topológicas responsables de la transmisión de señales.

- 50 El biólogo también es consciente de que la radiación electromagnética se utiliza en la terapia con mamíferos y que la radiación electromagnética y las señales de luz en el rango nanométrico influyen en el comportamiento de los artrópodos.

Debido al estado de conocimiento del biólogo de que la radiación electromagnética influye directa e indirectamente en el comportamiento de los artrópodos, surge la conclusión según la invención de que las propiedades sensoriales

pueden modelarse con diagramas de circuitos eléctricos de reemplazo para abstraer la topología compleja del artrópodo con la ayuda de diagramas de circuitos eléctricos de reemplazo.

De esto se deduce que es útil el uso de diagramas de circuitos de reemplazo para influir en los artrópodos.

Debido a la similitud de algunos órganos sensoriales a componentes de ingeniería eléctrica como, por ejemplo, la antena y el sensor, se reconoció que existe una proximidad a las soluciones en ingeniería eléctrica. Esto lleva a la suposición de que es útil reemplazar directamente los órganos sensoriales con elementos de ingeniería eléctrica. Por ejemplo, los sensores de antena tienen la misma estructura biomecánica y óptica que un electrodo de cepillo en ingeniería eléctrica. Sobre la base de este enfoque se proporciona una selección de diagramas de circuitos de reemplazo y se seleccionan los diagramas de circuitos de reemplazo que más se corresponden con los órganos sensoriales.

Así se efectúa una asignación de la topología del artrópodo a los diagramas de circuitos de reemplazo.

Las Figs. 51 - 54 exponen diagramas de circuitos de reemplazo de diversos apéndices sensoriales de un artrópodo con diagramas de circuitos de reemplazo asignados correspondientemente. La asignación de los hallazgos biológicos al diagrama de circuito de reemplazo se efectúa a partir del estado actual de la tecnología médica. La representación de la conductividad eléctrica y, por lo tanto, también la conductividad eléctrica y las curvas de impedancia resultantes de esta forman otra suposición útil.

En este momento, sin embargo, se desconocen los valores de las resistencias y capacitancias en el diagrama de circuito de reemplazo (Figs. 51 - 54).

Se efectúa una transformación de los diagramas de circuitos de reemplazo (eventualmente conectados en serie) a, por ejemplo, un modelo Voigt, Maxwell, Ladder/conductor, conductor extendido o TLM (Fig. 55). Todos los modelos de la Fig. 55 son aplicables de manera equivalente. Sin embargo, el modelo TLM es universalmente aplicable. Universalmente aplicable significa que todos los diagramas de circuitos de reemplazo o todos los diagramas de circuitos de reemplazo conectados de cualquier manera se pueden describir con un TLM.

Para el análisis y la determinación de la conductividad, impedancia y conductancia de sistemas desconocidos son adecuados, por ejemplo, los modelos Voigt y TLM.

En este punto tampoco se conocen los valores de las resistencias y capacidades.

Independientemente de los diagramas de circuitos de reemplazo determinados hasta ahora y de las suposiciones, ahora se emite un pulso Trichel conocido (o cualquier otro pulso) o se usa inicialmente para irradiar el artrópodo.

Los pulsos de Trichel son señales en el rango del tiempo que a menudo están presentes en la naturaleza. En particular, el sol genera radiación electromagnética que conduce a descargas de choque en el aire y que el artrópodo puede percibir en particular como un cambio en su entorno atmosférico. El pulso Trichel es, por lo tanto, un pulso natural que los artrópodos perciben básicamente y simulan un cambio natural. En pocas palabras, el pulso Trichel es el lenguaje o la señal con el cual o con la cual se comunica el artrópodo, también en el contexto de la invención. El uso de un pulso y, en particular, un pulso Trichel es, por lo tanto, otra suposición útil para influir en los artrópodos.

El pulso Trichel emitido proporciona un espectro de frecuencias. Por ejemplo, la transformada de Fourier se utiliza para analizar un espectro de frecuencias de señales en el rango del tiempo. Con la ayuda de la transformada de Fourier ahora también se determinan las fracciones de frecuencia de los pulsos Trichel. Las fracciones de frecuencia de las descargas de choque, como un pulso Trichel, pueden determinarse característicamente en el espectro de frecuencias.

Cada fracción de frecuencia característica determinada en el pulso Trichel se convierte luego en un tiempo de estabilización T (tau). Este tiempo de estabilización corresponde a las constantes de tiempo de un miembro RC en el diagrama de circuito de reemplazo, por ejemplo, del modelo de Voigt (Fig. 29). Esto significa que en este punto la conexión con el artrópodo se establece a través del al menos un diagrama de circuito de reemplazo. Por lo tanto, utilizando los tiempos de estabilización tau determinados, preferiblemente todas las constantes de tiempo de todos los miembros RC en el diagrama de circuito de reemplazo se pueden resolver. Cada frecuencia significativa en el espectro de frecuencias es representativa de un tiempo de estabilización de un miembro RC. Por lo tanto, esta es otra suposición útil.

Como ya se ha descrito anteriormente, los diagramas de circuitos de reemplazo de resistencias y condensadores se utilizan para representar la conductividad eléctrica y, por lo tanto, también la conductancia eléctrica y la impedancia de las estructuras biológicas. Por medio de la ley de Ohm y las reglas de Kirchhoff, hay una relación directa entre la corriente, el voltaje, la conductividad y la conductancia. Esta representación es extremadamente útil cuando se trata de determinar las variables de influencia determinantes, es decir, una representación de las amplitudes normalizadas (voltaje) en el espectro de frecuencias (eje y) en función de los tiempos de estabilización de los miembros RC (eje x).

- Debido a la relación directa entre corriente, voltaje y conductancia, ahora se utiliza la representación normalizada del valor de conductancia (eje y) dependiendo de los tiempos de estabilización de los miembros RC. Esta representación se denomina análisis DRT o espectro de impedancia DRT. En el análisis DRT, los valores de conductancia (valor recíproco de la impedancia compleja) de los miembros de RC se establecen en relación con los tiempos de estabilización de los miembros individuales RC. Por esta razón, el análisis DRT se utiliza para la representación gráfica y, si es necesario, el análisis. Debido a los diferentes valores de conductancia complejos en el espectro de impedancia DRT, se pueden reconocer directamente los miembros RC significativos y los menos significativos y, por lo tanto, las variables influyentes para influir en el artrópodo.
- Por lo tanto, el espectro de impedancia DRT es la primera señal en la comunicación o influencia del comportamiento del artrópodo y la representación gráfica de la impedancia del artrópodo.
- Gracias a la variación dirigida de las constantes de tiempo del patrón de frecuencia/pulso, se puede efectuar un entrenamiento del artrópodo.
- Con la ayuda de un análisis gráfico del espectro de impedancia DRT basado en algoritmos de inteligencia artificial, los patrones de frecuencia/pulso se pueden ajustar mediante la variación dirigida de las constantes de tiempo significativas determinadas. En la práctica, esto corresponde a la variación del pulso Trichel hasta que se ha encontrado la frecuencia correcta a la que reacciona el artrópodo.
- Por lo tanto, las propiedades características de un artrópodo también pueden complementarse o representarse alternativamente por medio de una solución gráfica. Al observar únicamente la altura de los valores máximos de los valores de conductancia $G_{R/Q}$ en el espectro DRT, las frecuencias significativas se pueden derivar directamente. Otra posibilidad matemática es el uso de campos escalares y vectoriales o procedimientos de búsqueda de líneas en el espectro de impedancia gráfica DRT. Esto permite utilizar microcontroladores disponibles comercialmente y tablas de búsqueda para el análisis. Este análisis simplificado también se puede llevar a cabo en pocos segundos en un dispositivo de comunicación móvil como un teléfono móvil, que también puede enviar posteriormente las fracciones de frecuencia determinadas.
- A partir de este espectro de impedancia DRT, ahora se ajustan las constantes de tiempo RC y, por lo tanto, las frecuencias.
- Como paso opcional para la comprobación de la plausibilidad y verificación de lo anterior, también se puede realizar un análisis gráfico utilizando el espectro de impedancia de Nyquist (representación de la curva de ubicación) y la verificación de las curvas de ubicación con el diagrama de circuito de reemplazo.
- El análisis de redes eléctricas complejas en el área de imagen (curvas de ubicación) del llamado espectro de impedancia de Nyquist ofrece muchas ventajas en la verificación, la prueba de diagramas de circuitos de reemplazo con las estructuras topológicas de sistemas como los artrópodos y sirve, sobre todo, pero no sólo, para pruebas de plausibilidad. Si se conocen los pasos explicados anteriormente, a la inversa también se puede hacer una conclusión de la representación gráfica del patrón de frecuencia sobre la topología del artrópodo y viceversa. Esto se puede efectuar utilizando procedimientos de reconocimiento de patrones utilizando inteligencia artificial, si es necesario.
- Se pueden asignar directamente diferentes formas geométricas de estructuras celulares o propiedades topológicas de artrópodos a diferentes curvas en el espectro de impedancia de Nyquist. Las Figs.36 - 39 muestran grupos de curvas, semicírculos, líneas rectas y puntos de inflexión, que pueden asignarse claramente en el análisis gráfico dependiendo de la estructura geométrica o las propiedades porosas. Las características o frecuencias "correctas" también se pueden mostrar como una representación de Nyquist (Fig. 36ff) en lugar de en un espectro DRT como en la Fig.29.
- La representación de Nyquist permite una identificación de la topología del insecto por medio de la asignación del espectro de impedancia de Nyquist. Este sirve para probar los hallazgos y conocimientos del biólogo con los hallazgos del ingeniero eléctrico. Como resultado, opcionalmente se puede determinar un análisis de tendencia para ajustar el patrón de frecuencia/pulso aumentando o disminuyendo las constantes de tiempo.
- Los fundamentos del análisis biológico y bioquímico son el requisito previo para comprender los diagramas de circuitos de reemplazo. Diferentes atributos o propiedades topológicas se desglosan en diagramas de circuitos de reemplazo individuales y se analizan. Un cabello de sensilia poroso, por ejemplo, tiene otras propiedades eléctricas como un axón ramificado. Propiedades como la porosidad, la membrana permeable o semipermeable, la difusión, los electrodos de cepillo o el transporte de iones tienen propiedades claras y características significativas en el espectro de impedancia de Nyquist.
- Los electrodos de cepillo (comportamiento de de Levie) o un gran número de pelos de sensilias tienen la propiedad de un elemento de fase constante CPE, como está presente en un condensador de doble capa. Debido a estas propiedades conocidas (Fig.41), se puede simplificar la asignación de diagramas de circuitos de reemplazo.
- Lo mismo es válido para la estructura del soma y el axón del artrópodo. En el espectro de impedancia de Nyquist, las propiedades de los elementos de fase constante pueden asignarse directamente (Fig. 38 y Fig. 39).

La Fig. 62 muestra la estructura apropiada para el dispositivo con instrumentos de medición y PC con Matlab, tal como se utiliza en el laboratorio, pero básicamente también en la práctica.

El dispositivo tiene medios para emitir 40 al menos un pulso, preferiblemente un pulso Trichel. Este puede ser cualquier generador de señal. El pulso se detecta entonces por medio de la detección 42 del espectro de frecuencias del pulso emitido, en el ejemplo de realización un osciloscopio. El análisis así determinado en el rango del tiempo se introduce a un analizador de espectro de frecuencias como un medio para determinar 44 al menos una fracción de frecuencia del espectro de frecuencias del pulso emitido. Si se determinan las fracciones de frecuencia, la fracción de frecuencia, al menos una, puede convertirse en un tiempo de estabilización mediante el medio de cálculo 46 para determinar, si es necesario, con los mismos medios de cálculo 46 el al menos un miembro RC desconocido mediante el tiempo de estabilización correspondiente a las constantes de tiempo del miembro RC. Esto presupone la aplicación de los hallazgos de la biología, es decir, el hallazgo de la analogía entre la estructura de los anexos sensoriales 16 y las propiedades sensoriales con diagramas de circuitos electrónicos de reemplazo.

El al menos un elemento RC significativo puede ser seleccionado por los medios de selección 62, preferiblemente después de la normalización de la amplitud de voltaje en función del al menos un tiempo de estabilización por medio de los medios de normalización 48. Por ejemplo, se puede utilizar un espectro de impedancia DRT y un análisis basado en inteligencia artificial. Los medios para determinar 44 identifican así al menos un miembro RC que es significativo para influir en el artrópodo 12. Esta selección se puede verificar a través de una verificación 60 según sea necesario, por ejemplo, mediante el diagrama de Nyquist con espectros de impedancia conocidos.

El medio de emisión del pulso 40 está diseñado para emitir al menos un pulso Trichel positivo y/o negativo.

Alternativamente o de manera complementaria, se proporcionan medios para reconocer y medios para la representación gráfica 56 de un comportamiento de frecuencia de al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial 16 y la propiedad sensorial del artrópodo 12 cuando se emite al menos un pulso, que se acoplan con medios para detectar y medios para la representación gráfica 54 de un comportamiento de frecuencia de diagramas de circuitos de reemplazo cuando se emite al menos un pulso, por ejemplo, a través de un solución en la nube según la Fig. 63. Gracias a los medios para comparar, que también pueden estar contenidos en la nube o en los medios para el reconocimiento 56, el comportamiento de frecuencia representado gráficamente de los diagramas de circuito de reemplazo se compara con el comportamiento de frecuencia representado gráficamente del al menos un elemento del artrópodo 12 y se determinan las similitudes de los patrones gráficos. Los medios de selección 62 para seleccionar el al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo que sea equivalente al menos a un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial 16 y la propiedad sensorial del artrópodo 12, deciden luego por medio de determinada similitud.

También aquí se puede hacer una verificación 60 así como la comparación en un diagrama de Nyquist.

Mientras que un análisis de tendencias en la Fig. 62 se lleva a cabo por medio del microcontrolador o PC, en la práctica esto también se puede hacer basado en la nube de acuerdo con la Fig. 63. En ambos casos, las señales se adaptan y el generador de señales se controla de manera correspondiente. En la Fig. 63 se utiliza un teléfono móvil 50 como generador de señales.

Lista de signos de referencia

- 10 Radiación electromagnética
- 12 Artrópodo
- 14 Emisor
- 16 Apéndice sensorial
- 18 Característica
- 22 Señal portadora
- 24 Generador de patrones multifrecuencia
- 26 Modulador
- 28 Amplificador
- 30 Oscilador
- 32 Antena
- 34 Medios
- 36 Medios
- 40 Medios para emitir
- 42 Medios para detectar
- 44 Medios para determinar
- 46 Medios de cálculo
- 48 Medios de normalización
- 50 Teléfono móvil
- 52 Medios para determinar miembro RC
- 54 Medios de reconocimiento y representación gráfica
- 56 Medios de comparación

58 Ajuste
60 Verificación
62 Medios de selección
100 Dispositivo

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para influir en los artrópodos (12) por medio de radiación electromagnética (10), en el que la radiación electromagnética (10) es emitida con una característica por al menos un emisor (14), caracterizado porque la característica (18) de la radiación electromagnética (10) se determina con la ayuda de al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo equivalente, en donde el diagrama de circuito de reemplazo es un modelo de al menos un apéndice sensorial (16) y/o al menos de una propiedad sensorial de un artrópodo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por los pasos de:
 - Emitir al menos un pulso,
 - Detectar el espectro de frecuencias del pulso emitido,
 - Determinar al menos una fracción de frecuencia del espectro de frecuencias del pulso emitido y convertir la fracción de frecuencia en un tiempo de estabilización,
 - Determinar al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12),
 - Seleccionar al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo que sea equivalente al menos a un elemento determinado del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12) y que tenga al menos un miembro RC desconocido con una resistencia R de $0 \leq R$ y una capacitancia C de $0 \leq C$,
 - Determinar al menos un miembro RC desconocido por medio del tiempo de estabilización correspondiente a las constantes de tiempo del miembro RC, que se convierte a partir de la fracción de frecuencia del espectro de frecuencias del pulso emitido, como al menos un miembro RC ahora conocido,
 - Determinar al menos un miembro RC significativo para la influencia del artrópodo (12), en donde preferiblemente la amplitud de tensión se normaliza en función de al menos un tiempo de estabilización, que se determina con el miembro RC conocido, preferiblemente mediante un análisis DRT, y se determina por medio de la amplitud de voltaje normalizada.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque la progresión temporal del pulso tiene al menos un pulso Trichel positivo y/o negativo.
4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, caracterizado por el paso de un entrenamiento del artrópodo (12) por variación de las constantes de tiempo de al menos un miembro significativo de RC.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por los pasos de:
 - Determinar al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12),
 - Reconocer y representar de manera gráfica un comportamiento de frecuencia de al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12) al emitir al menos un pulso,
 - Reconocer y representar de manera gráfica un comportamiento de frecuencia de diagramas de circuitos de reemplazo cuando se emite al menos un pulso,
 - Comparar el comportamiento de frecuencia representado gráficamente de los diagramas de circuitos de reemplazo con el comportamiento de frecuencia representado gráficamente de al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12) y determinar una similitud de patrones gráficos,
 - Seleccionar al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo que sea equivalente al menos a un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12) por medio de la similitud determinada,
 - en donde preferiblemente se realiza la representación gráfica en un diagrama de Nyquist.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al modelo se asigna al menos uno de los siguientes efectos físicos y/o bioquímicos de los apéndices sensoriales (16) y/o propiedades sensoriales del artrópodo (12):
 - un modelo de un electrodo de cepillo, que es un modelo de las antenas del artrópodo,
 - un modelo de un electrodo poroso, que es un modelo de los pelos de sensilia porosos del artrópodo,
 - un modelo de la difusión general que describa la difusión iónica,
 - un modelo de la difusión de un muro impermeable (NPW),
 - un modelo de la difusión de un reservorio ideal,
 - un modelo para calcular el factor de tortuosidad a partir de datos tomográficos de la superficie y/o de la estructura interna del artrópodo,
 - un modelo para calcular el factor de tortuosidad a partir de datos topográficos de la superficie y/o de la estructura interna del artrópodo.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque para la determinación de al menos un miembro RC del diagrama de circuito de reemplazo se utiliza al menos un modelo de línea de transmisión (20), que se divide preferentemente en al menos uno de los siguientes modelos de línea de transmisión:

- Modelo de línea de transmisión para un electrodo poroso,
 - Modelo de línea de transmisión para material poroso,
 - Modelo de línea de transmisión para difusión general,
 - Modelo de línea de transmisión para difusión en paredes impermeables y un reservorio ideal.
- 5 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque varios diagramas de circuitos de reemplazo están conectados uno tras otro.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque con la ayuda del diagrama de circuito electrónico de reemplazo se determina al menos un espectro de impedancia, que se determina preferiblemente con la ayuda de datos tomográficos y/o topográficos del artrópodo (12).
- 10 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado porque se resuelve al menos una ecuación diferencial del modelo de línea de transmisión (20) para la determinación de parámetros adicionales para la característica (18) de la radiación electromagnética (10) y/o el modelo de línea de transmisión (20) utilizado se verifica y/o se adapta con la ayuda de al menos otro modelo de línea de transmisión y/o un diagrama de circuito de reemplazo simplificado.
- 15 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque cualquier función no lineal se modela mediante un procedimiento de reemplazo en combinación con al menos una base de datos.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque para el uso eficiente en memoria del procedimiento basado en un microcontrolador se utiliza al menos una transformada discreta de Fourier (DFT) con la integración de un algoritmo de Goertzel.
- 20 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 12, caracterizado porque la solución de la ecuación diferencial se comprueba y/o se ajusta mediante un sistema de regulación (50) basado en al menos un modelo de referencia, en donde el modelo de referencia se determina preferentemente a partir de datos empíricos y/o a partir de datos de un modelo ya determinado.
- 25 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la característica (18) de la radiación electromagnética (10) tiene al menos una de las siguientes características:
- la característica (18) se modula con al menos una señal portadora (22) o al menos una señal dither o se modula con al menos una señal portadora (22), que se modula adicionalmente con al menos una señal dither,
 - la característica (18) se genera con un generador combinado de patrones multifrecuencia (24), que se basa en una señal de multiplexación por división de frecuencias (FDM) y una señal de multiplexación por división de tiempo (TDM),
 - 30 y tiene al menos un pulso de ráfaga, que simula al menos una descarga de corona en el aire y cuya progresión temporal tiene al menos un pulso Trichel positivo y/o negativo,
 - la característica (18) no tiene relaciones armónicas y/o subarmónicas y/o está basada en números primos y/o no tiene múltiplos o partes que sean armónicos enteros y/o subarmónicos.
- 35 15. Dispositivo (100) para influir en los artrópodos (12) mediante radiación electromagnética (10), en donde el dispositivo (100) tiene al menos un emisor (14) que irradia la radiación electromagnética (10) con una característica, caracterizado porque como medio para determinar la característica (18) de la radiación electromagnética (10) se proporciona al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo equivalente, en donde el diagrama de circuito de reemplazo es un modelo de al menos un apéndice sensorial (16) y/o al menos una propiedad sensorial de un artrópodo.
- 40 16. Dispositivo según la reivindicación 15, caracterizado por tener:
- medios de emisión (40) de al menos un pulso,
 - medios de detección (42) del espectro de frecuencias del pulso emitido,
 - medios para determinar (44) al menos una fracción de frecuencia del espectro de frecuencias del pulso emitido y
 - 45 medios de cálculo (46) para convertir la fracción de frecuencia en un tiempo de estabilización,
 - medios para determinar al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12),
 - medios de selección (50) para seleccionar al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo que sea equivalente al menos a un elemento determinado del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12) y que tenga al menos un miembro RC desconocido con una resistencia R de $0 \leq R$ y una
 - 50 capacitancia C de $0 \leq C$,
 - medios para determinar (52) al menos un miembro RC desconocido por medio del tiempo de estabilización correspondiente a las constantes de tiempo del miembro RC, que se convierte a partir de la fracción de frecuencia del espectro de frecuencias del pulso emitido, como al menos un miembro RC ahora conocido,
 - medios para determinar al menos un miembro RC significativo para la influencia del artrópodo (12), en donde los
 - 55 medios para determinar al menos un miembro RC significativo comprenden preferentemente medios de normalización (48) de la amplitud de voltaje en función del tiempo de estabilización, al menos uno, que se determina con el miembro RC conocido.

17. Dispositivo según la reivindicación 16, caracterizado porque el medio para emitir el pulso (40) está configurado para emitir al menos un pulso Trichel positivo y/o negativo.

18. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 17, caracterizado porque además tiene:

- 5 - medios para determinar al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12),
- medios para reconocer y medios para representar gráficamente un comportamiento de frecuencia de al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12) al emitir al menos un pulso,
- 10 - medios para el reconocimiento y medios para la representación gráfica (54) de un comportamiento de frecuencia de diagramas de circuitos de reemplazo al emitir al menos un pulso,
- medios para comparar (56) el comportamiento de frecuencia representado gráficamente de los diagramas de circuitos de reemplazo con el comportamiento de frecuencia representado gráficamente de al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12) y para determinar una similitud de patrones gráficos,
- 15 - medios de selección para seleccionar al menos un diagrama de circuito electrónico de reemplazo que comprenda al menos un elemento del grupo que comprende el apéndice sensorial (16) y la propiedad sensorial del artrópodo (12), por medio de la similitud determinada,
- en donde los medios para la representación gráfica preferiblemente se configuran para hacer la representación gráfica en un diagrama de Nyquist.
- 20 19. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 18, caracterizado porque se proporciona un generador combinado de patrones multifrecuencia (24), que se basa en una señal de multiplexación por división de frecuencias (FDM) y una señal de multiplexación por división de tiempo (TDM) que genera la característica (18) de radiación electromagnética (10).
- 25 20. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 19, caracterizado porque la característica (18) tiene al menos un pulso de estallido, que simula al menos una descarga de corona en el aire y cuya progresión temporal tiene al menos un pulso Trichel positivo y/o negativo.

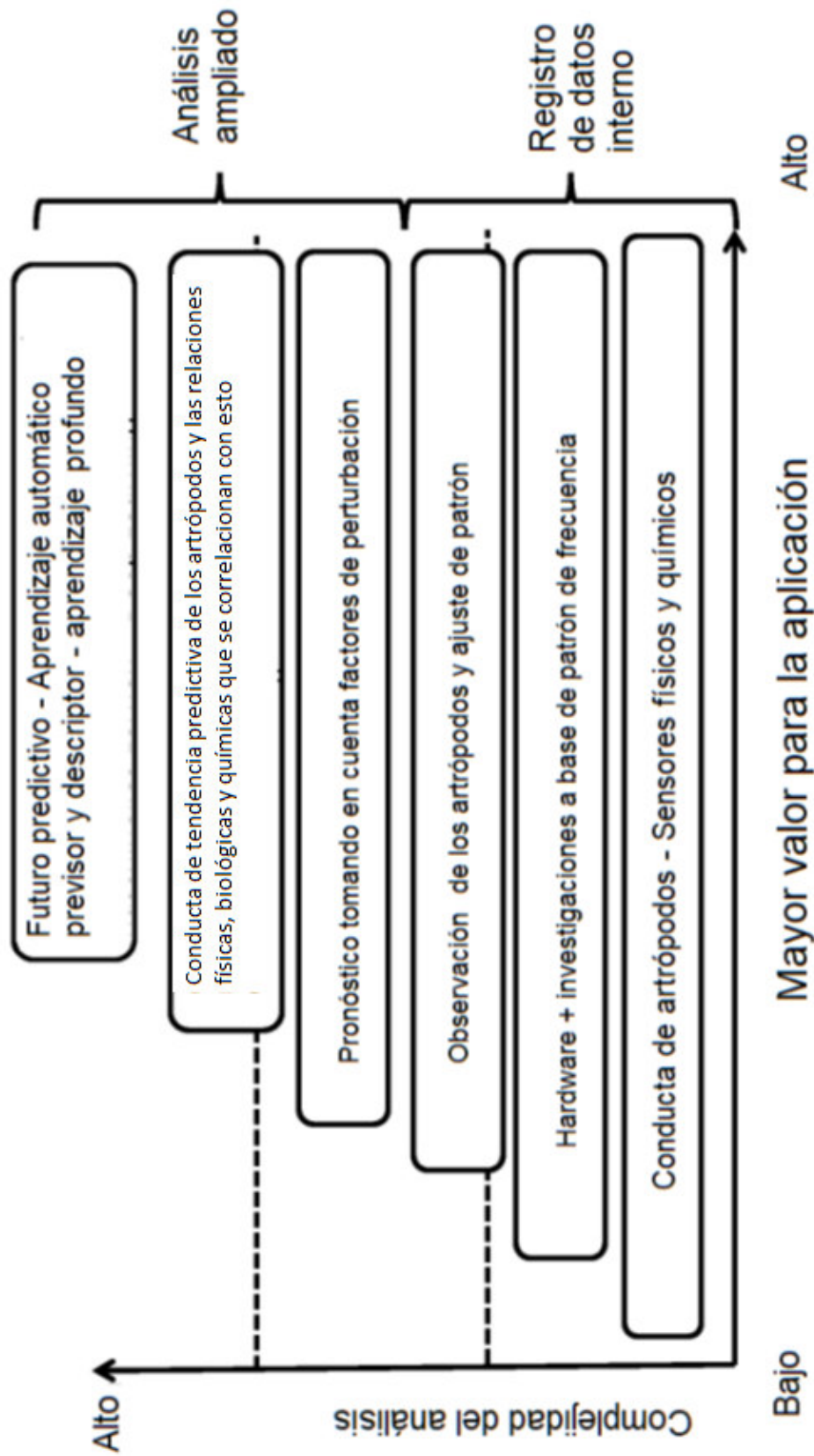


Fig. 1

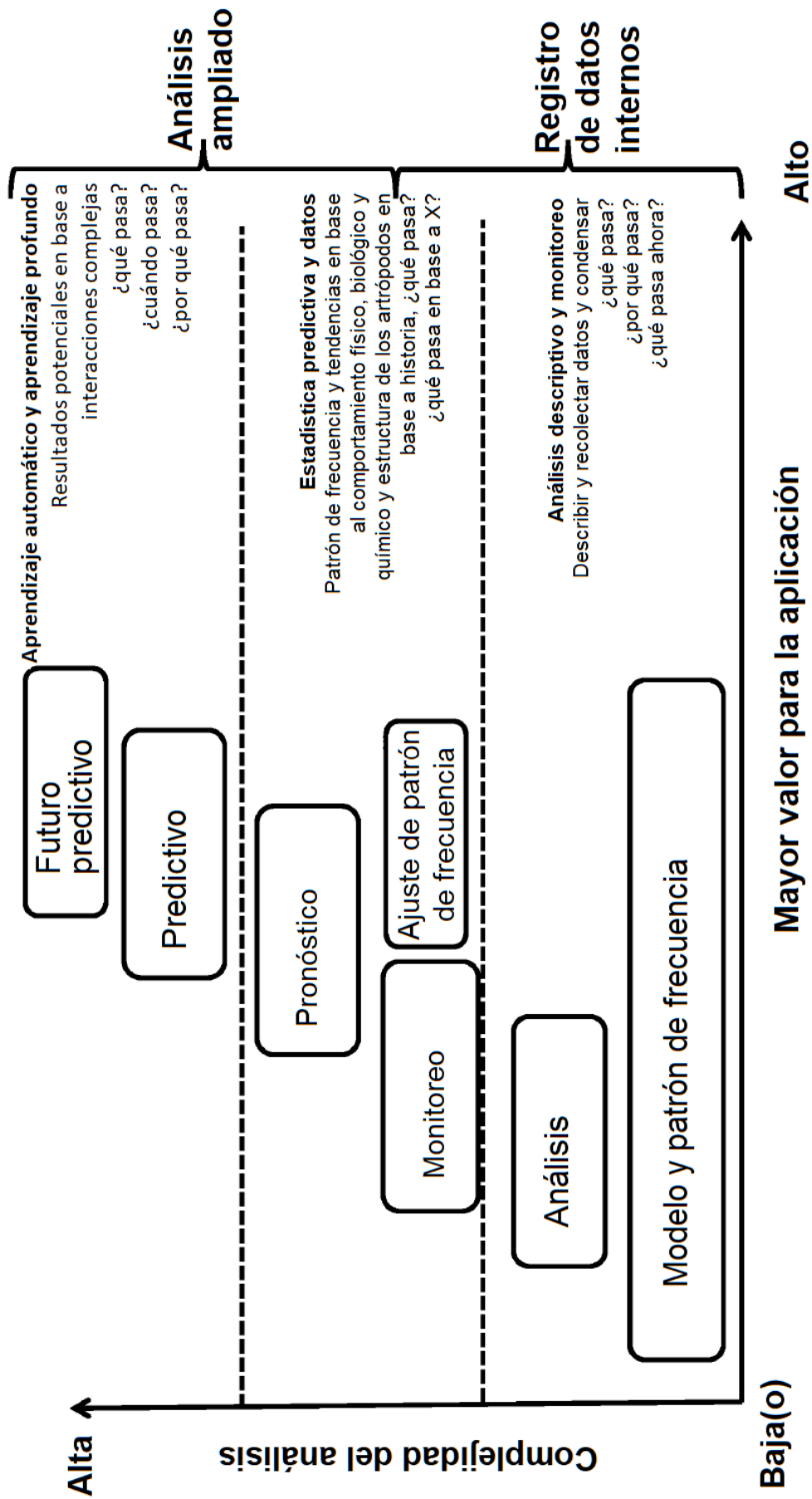


Fig. 2

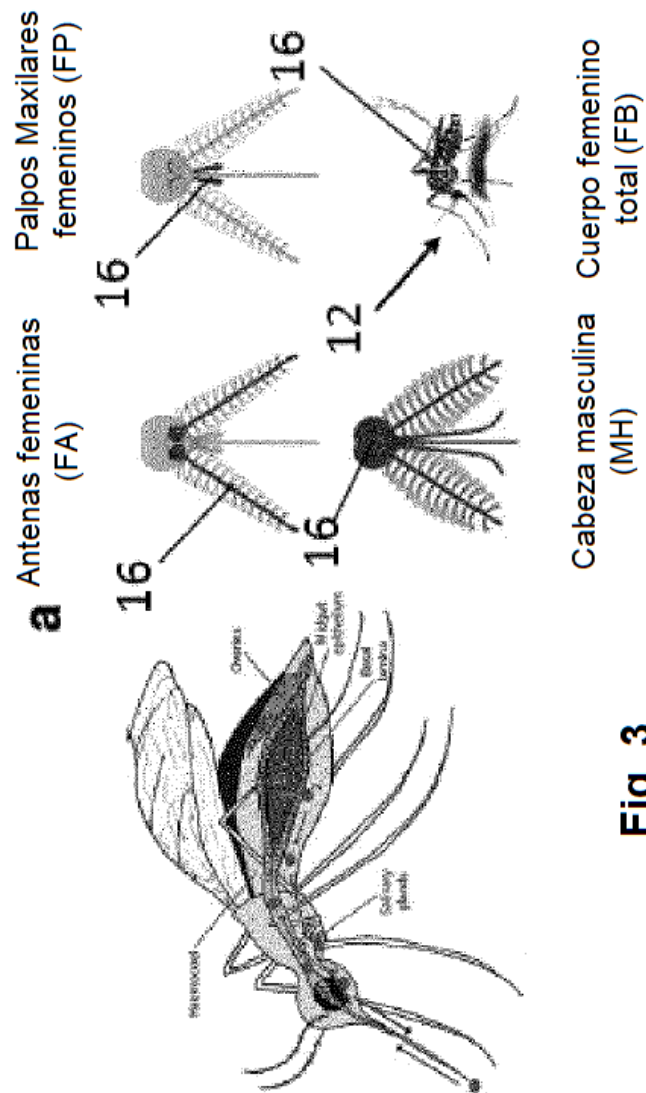


Fig. 3

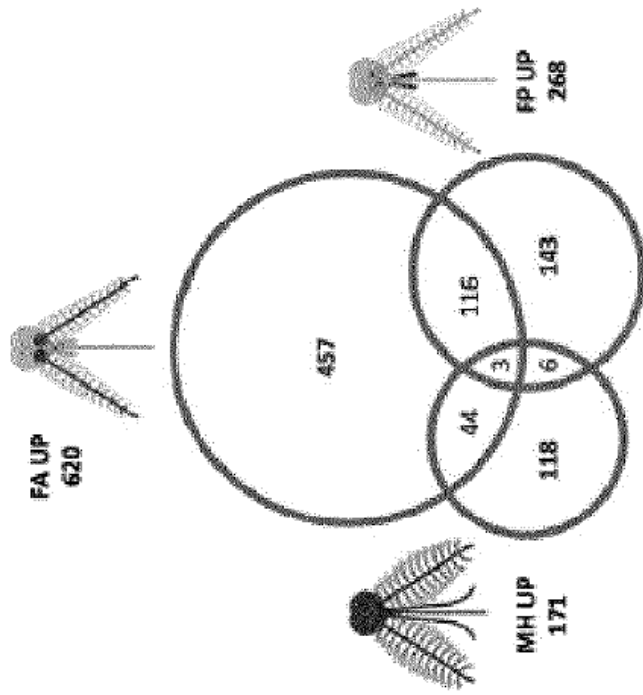


Fig. 4

Fig. 5

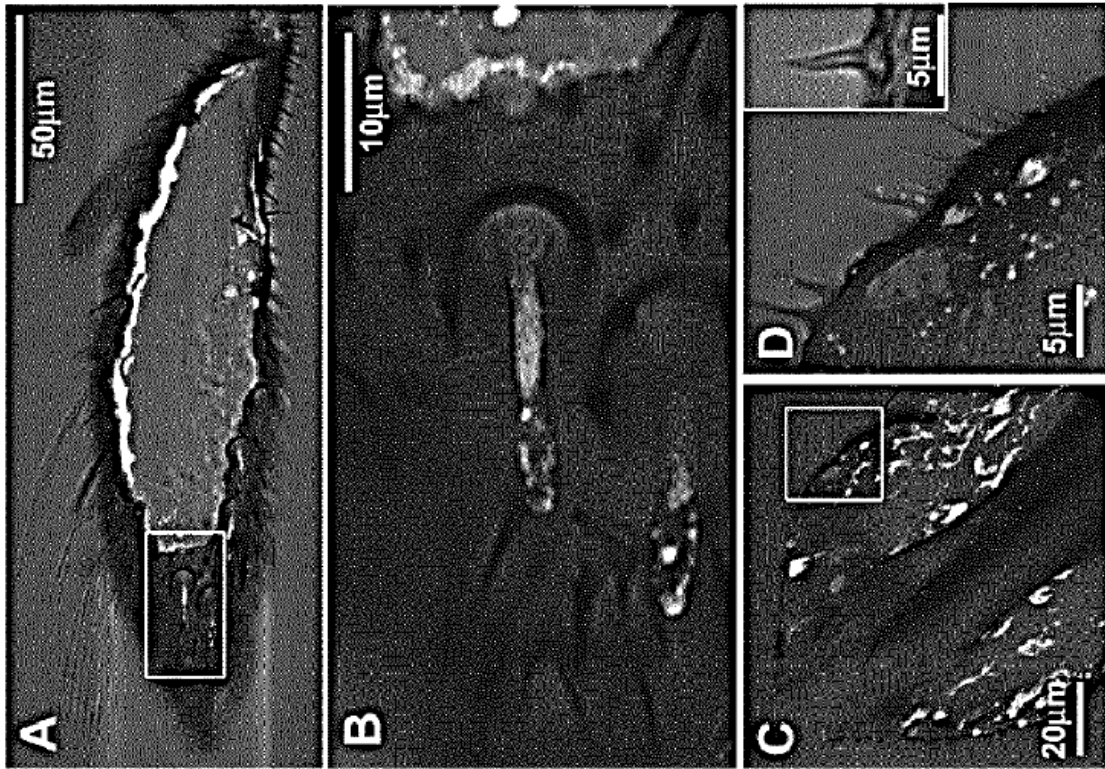


Fig. 7

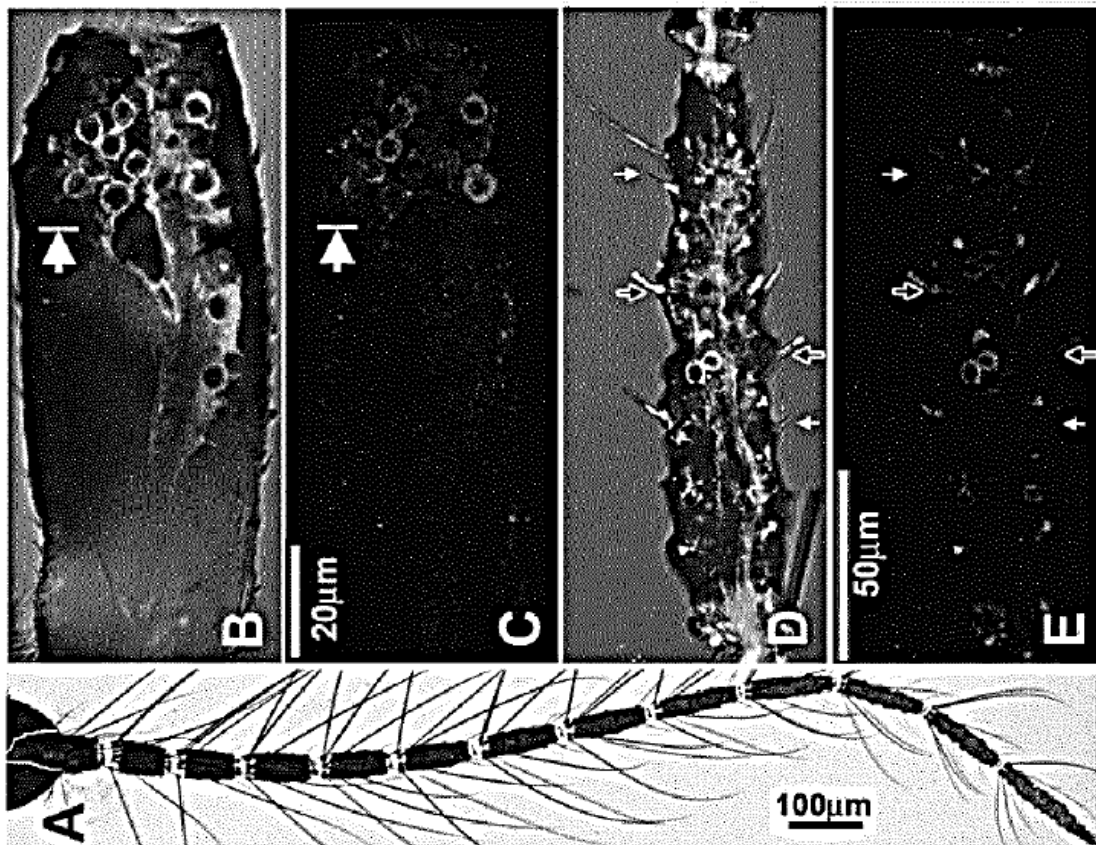
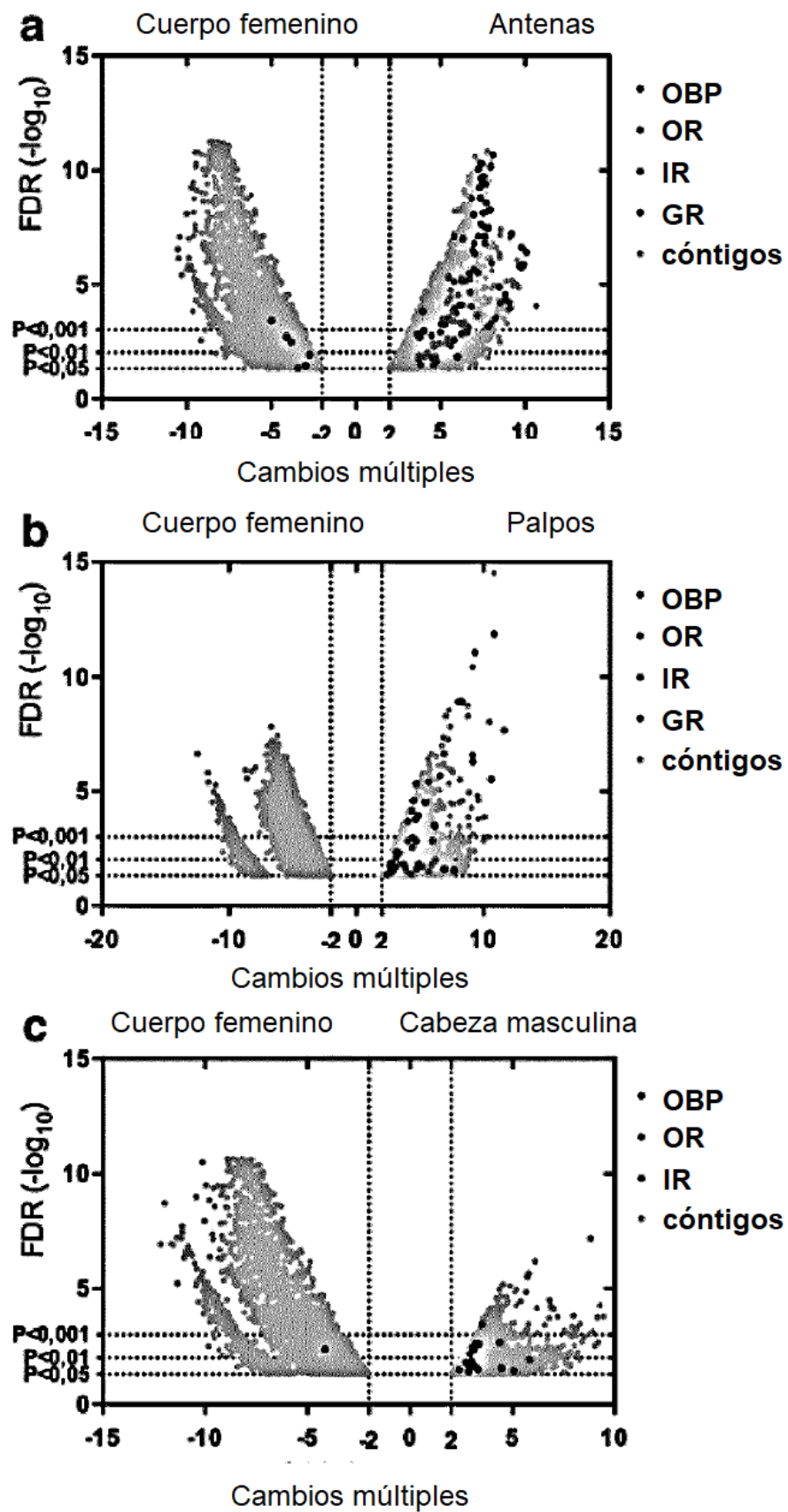
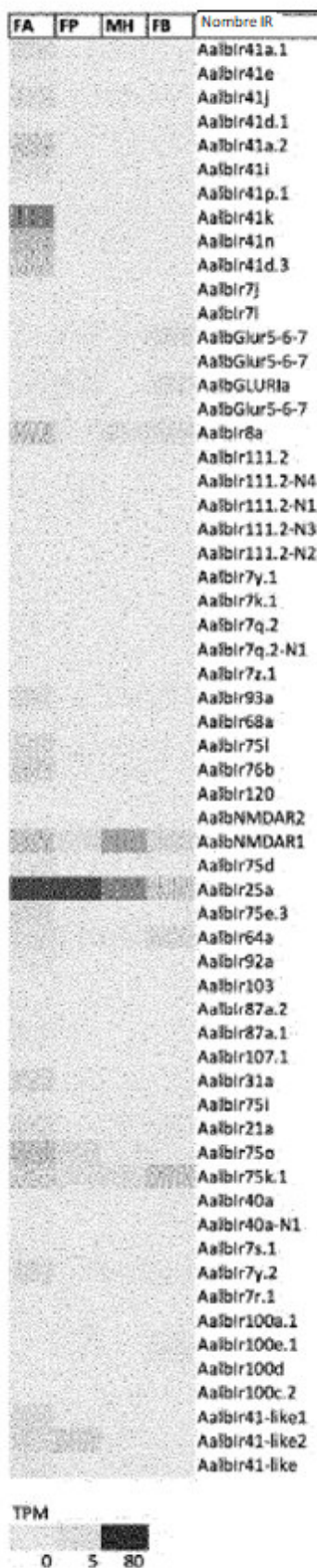
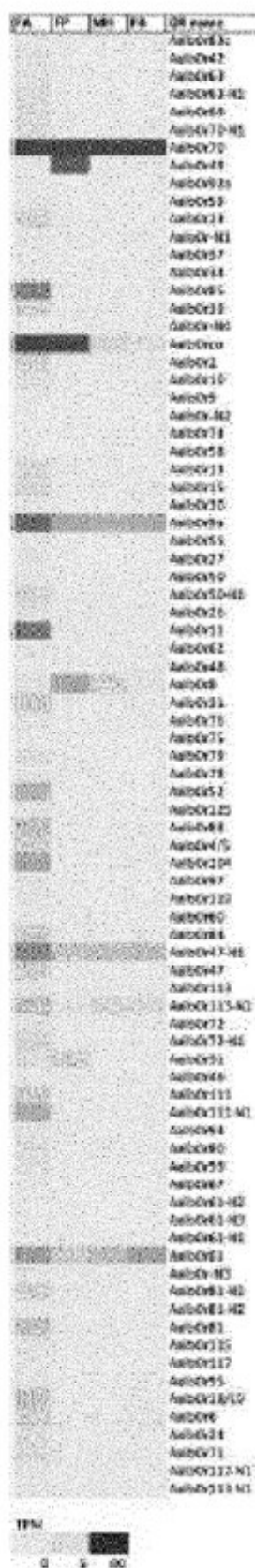
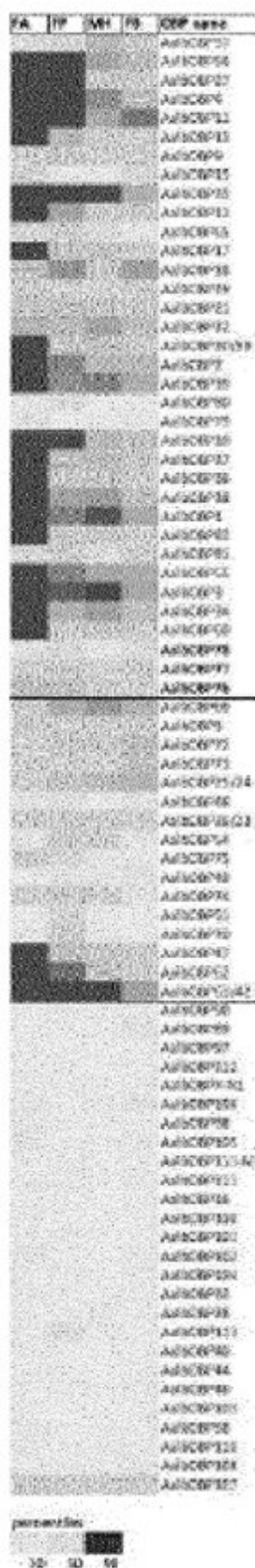


Fig. 6

**Fig. 8**



A

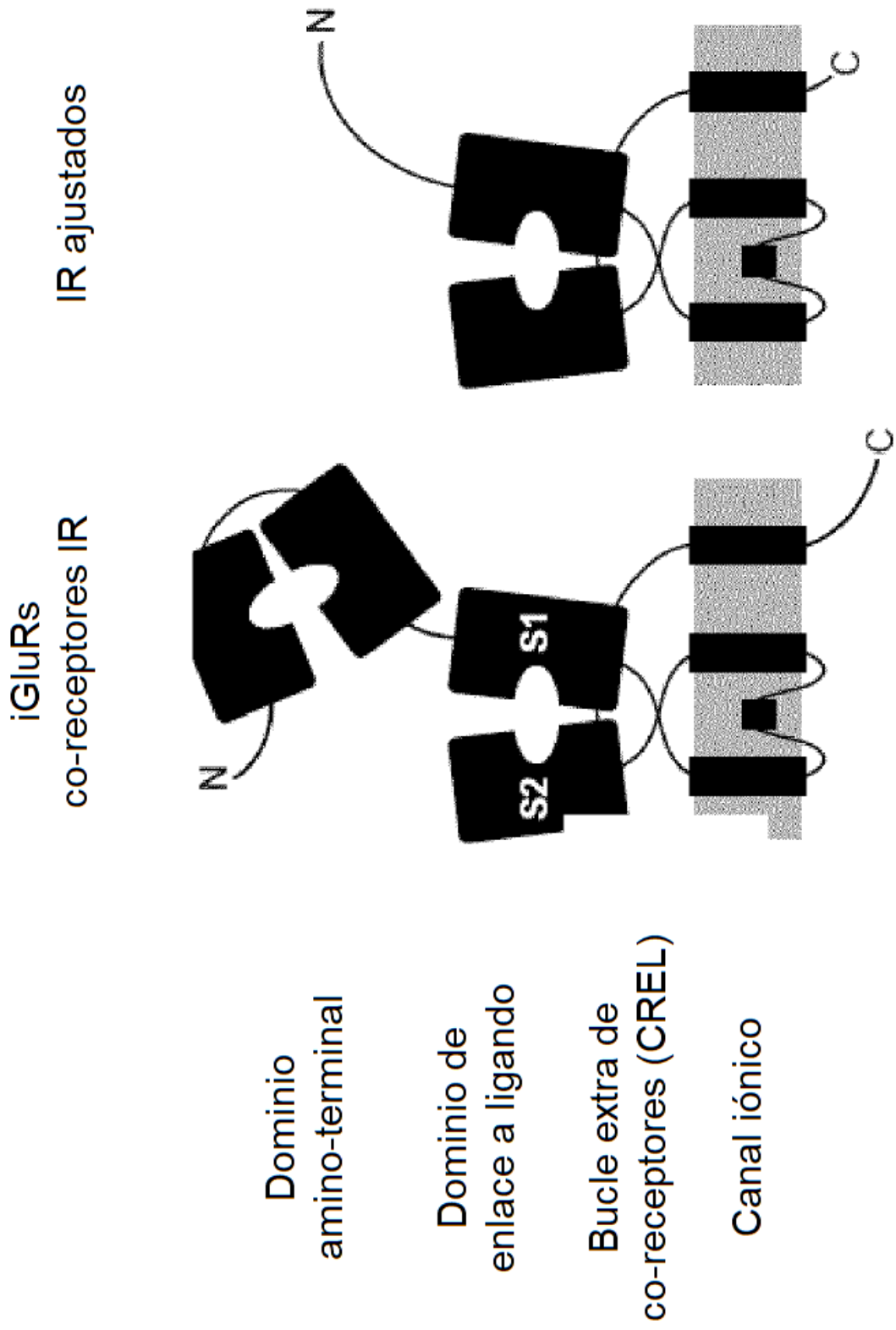


Fig. 12

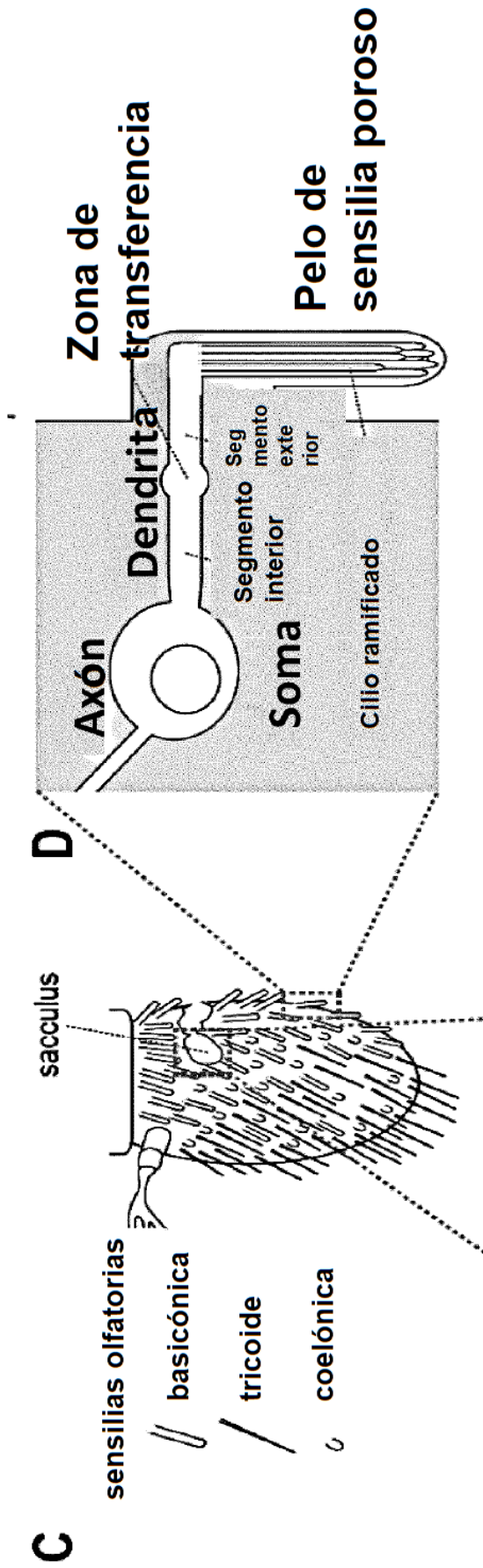


Fig. 13

FA = antena femenina
 FP = palpo femenino
 MH = cabeza masculina
 FB = cuerpo femenino

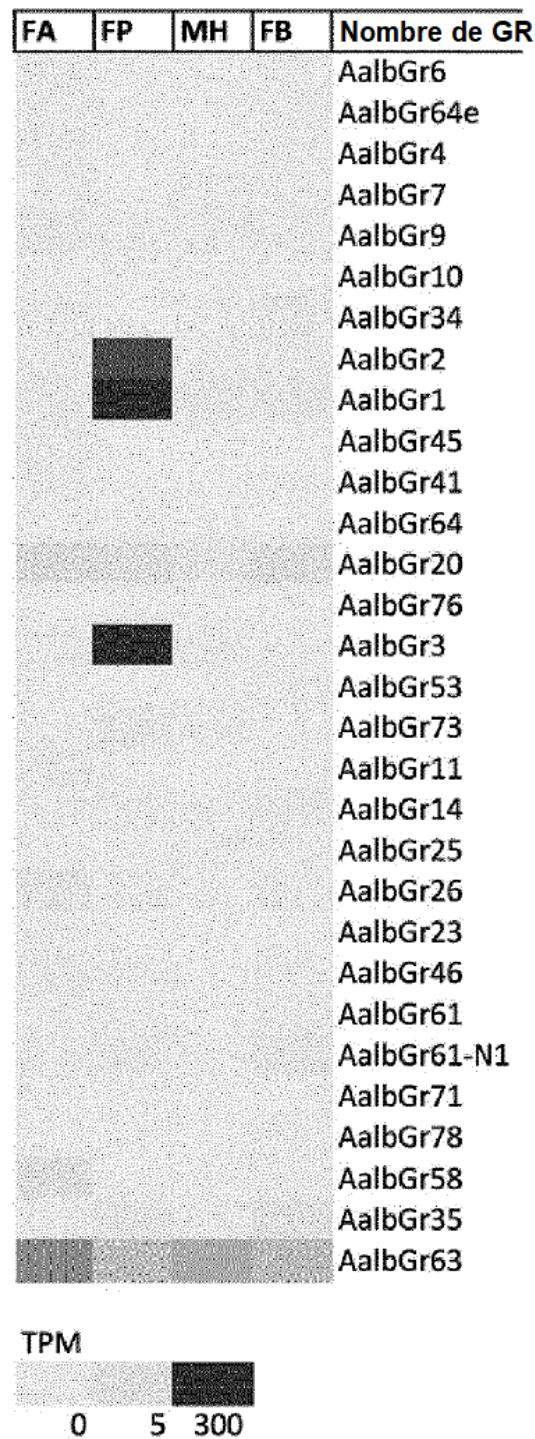


Fig. 14

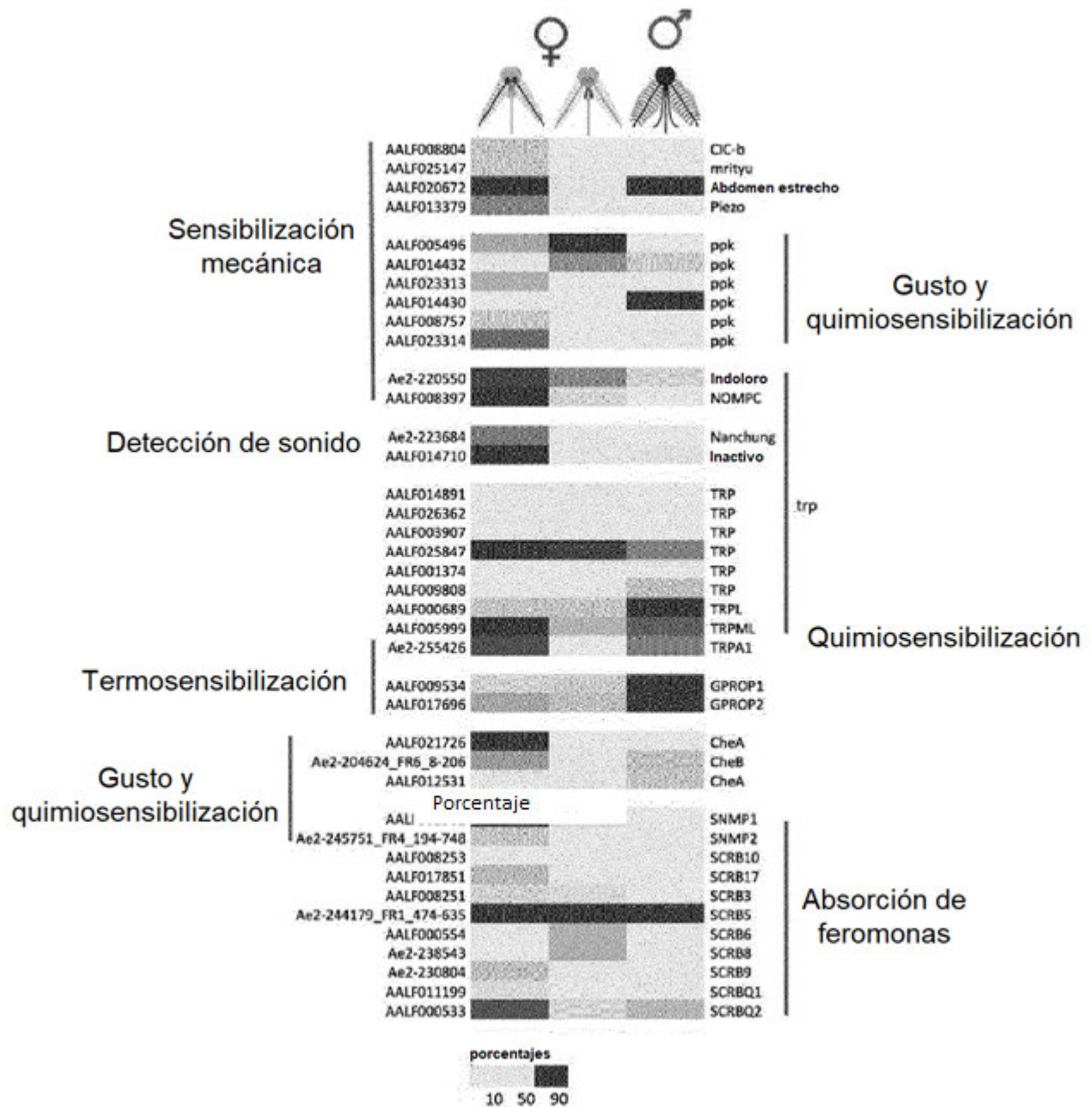


Fig. 15

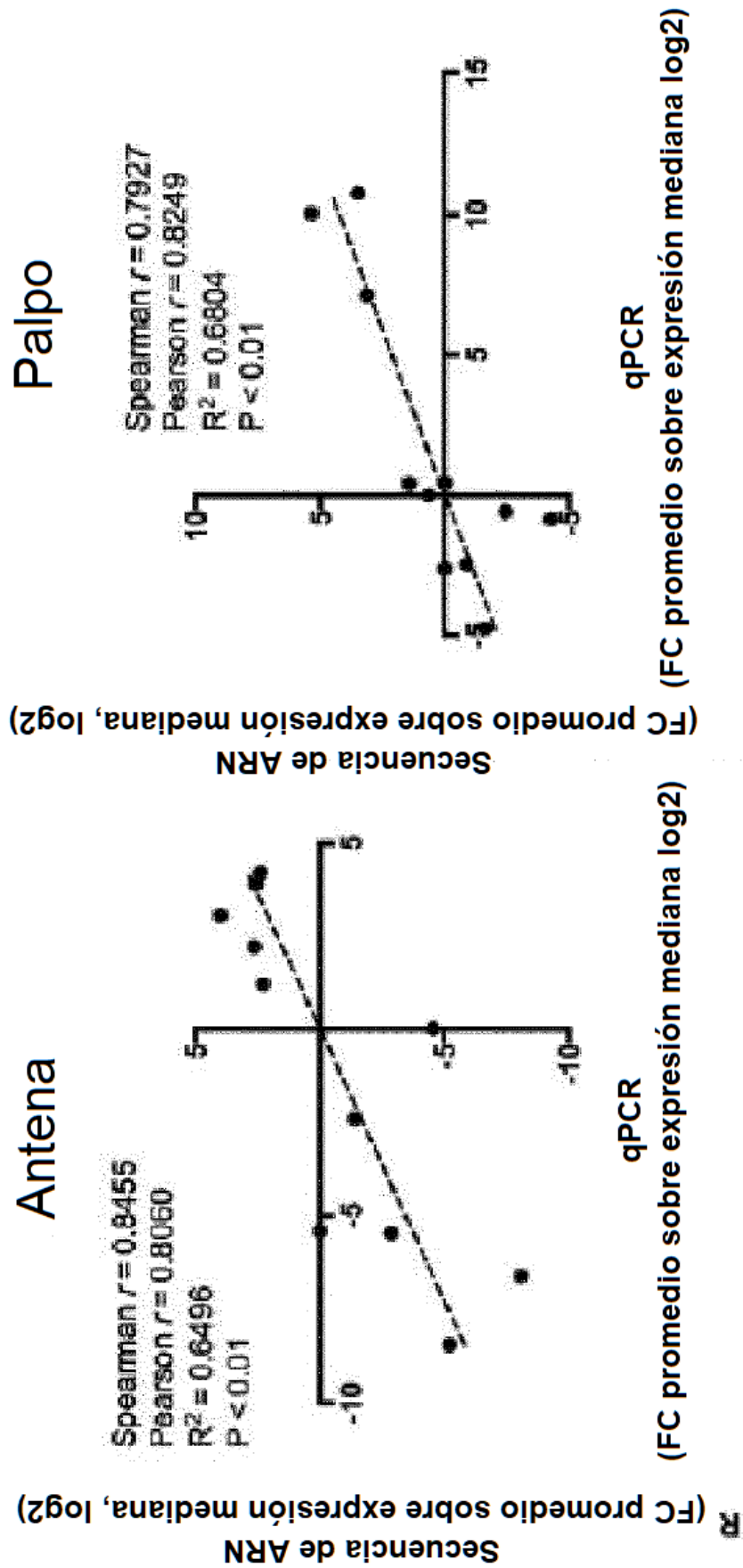


Fig. 16

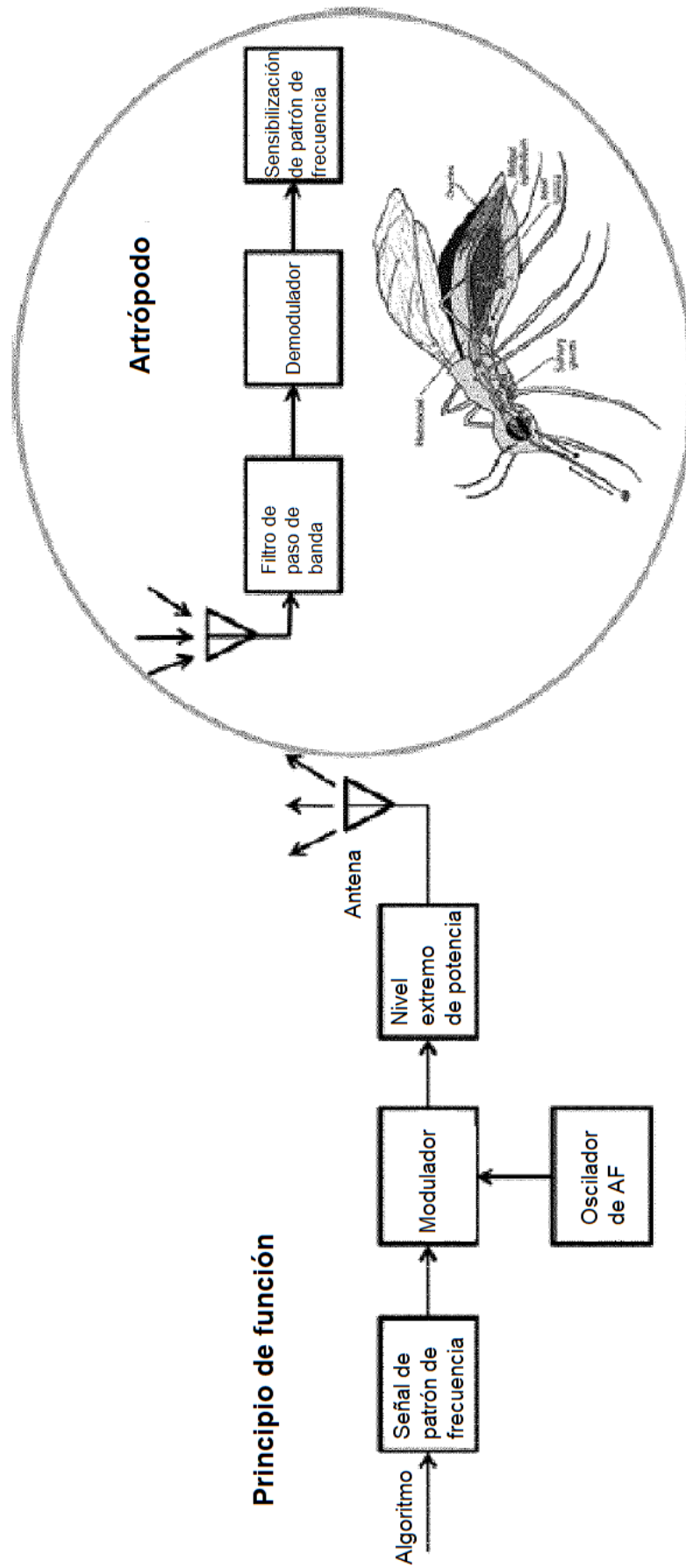


Fig. 17

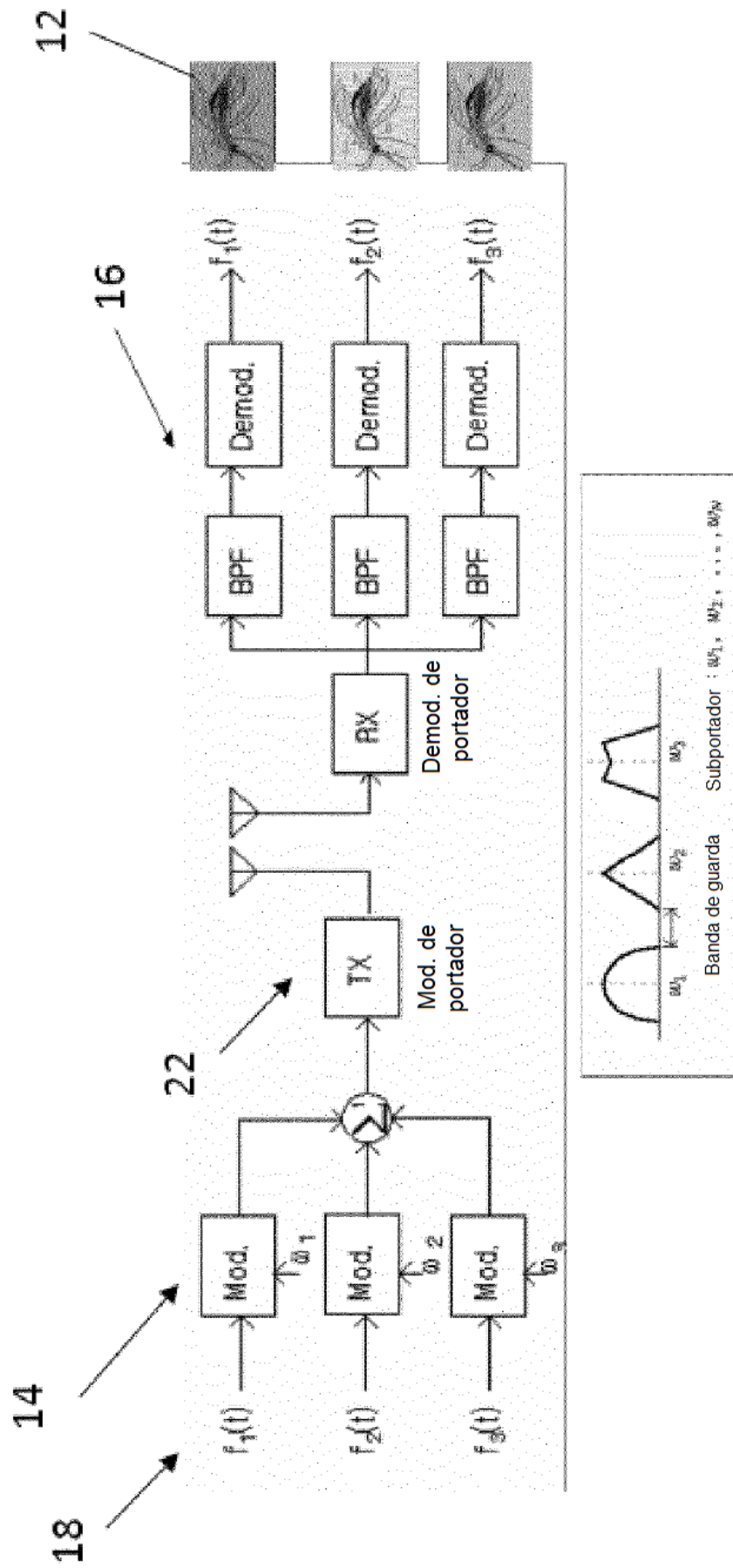


Fig. 18

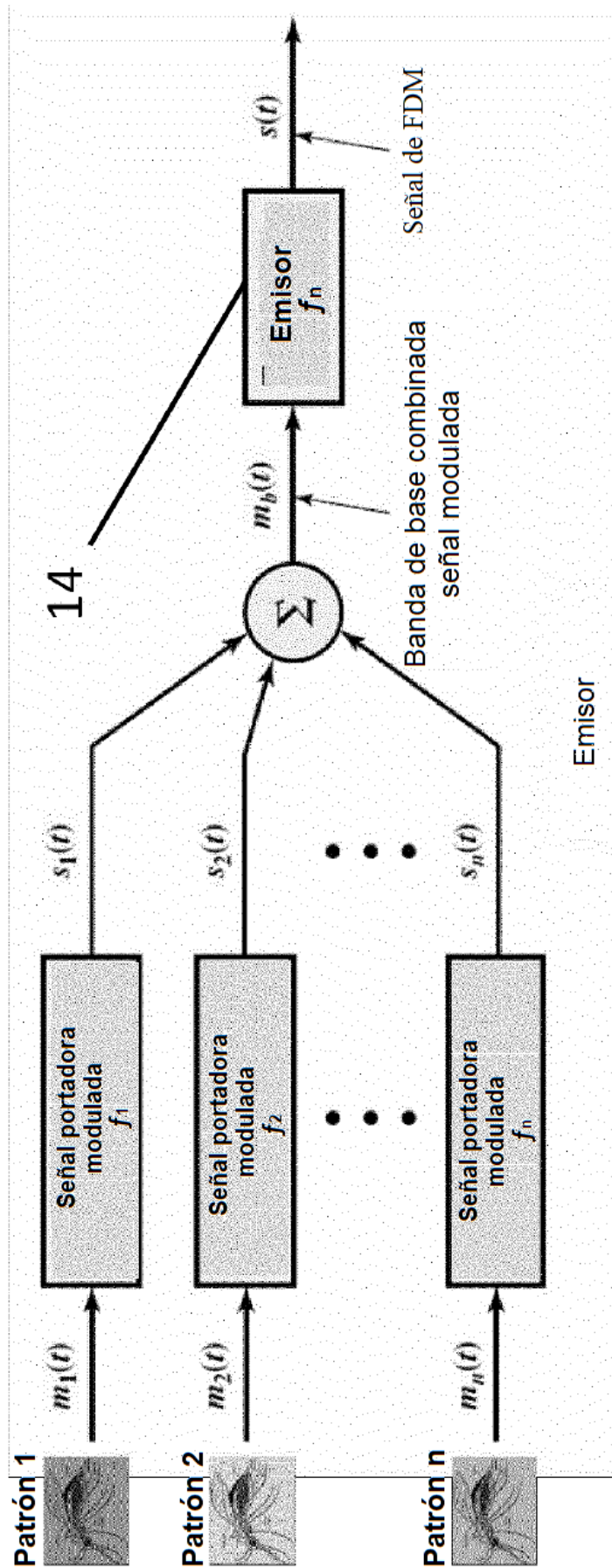
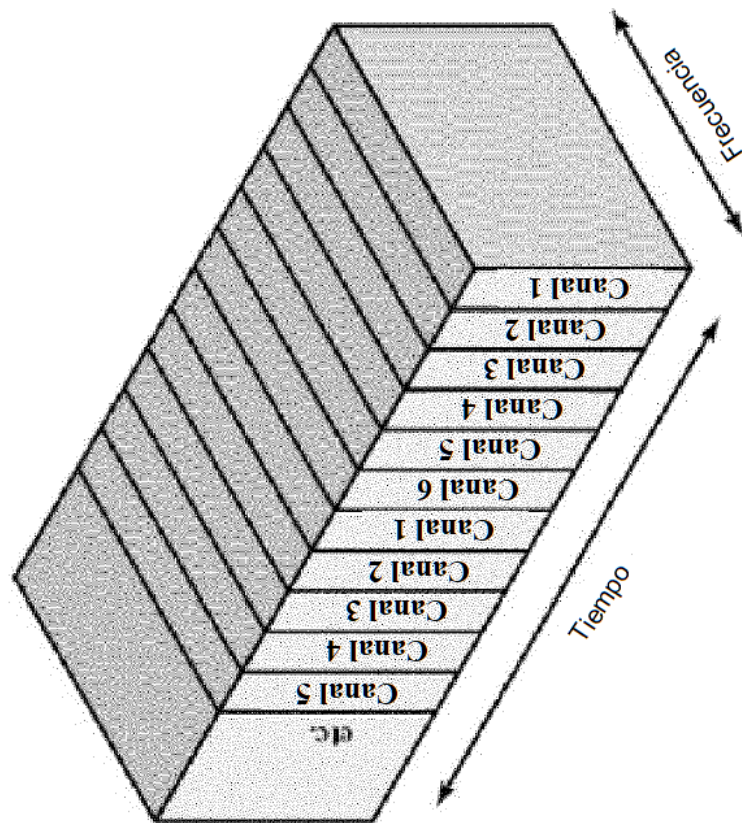
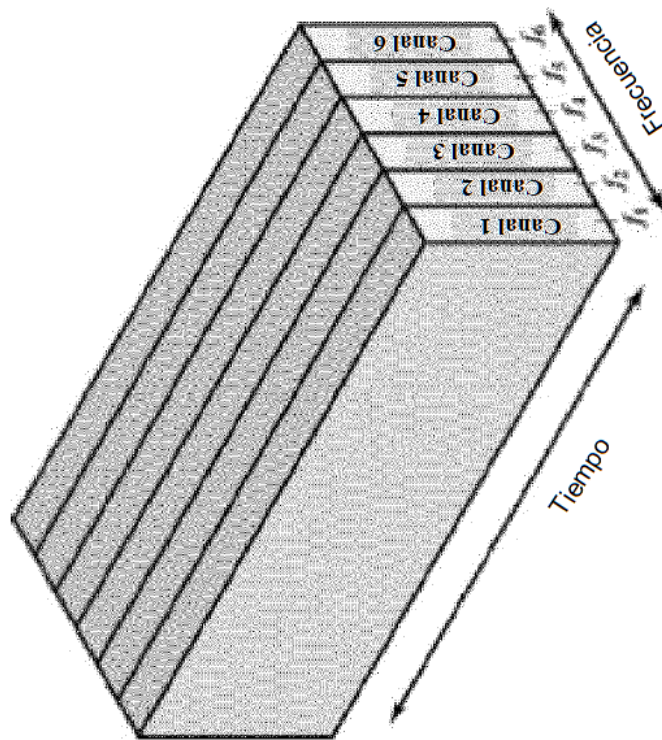


Fig. 19



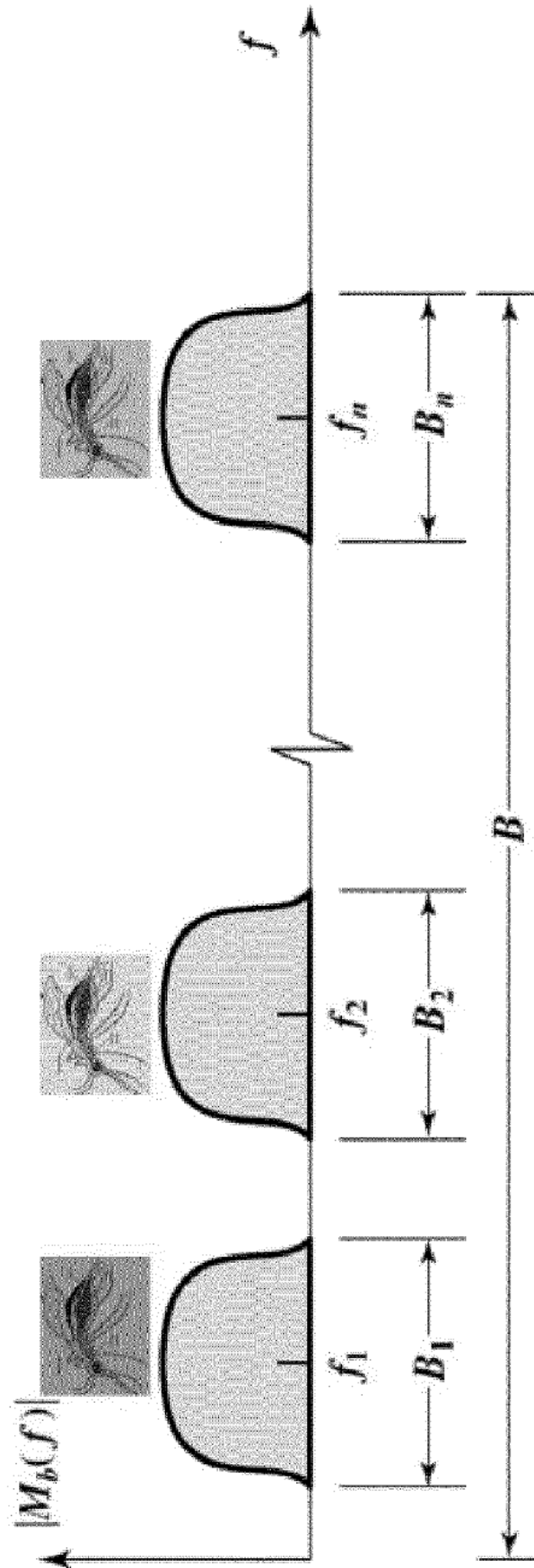
TDM = Multiplexor de división por tiempo

Fig. 21



FDM = Multiplexor de división por frecuencia

Fig. 20



Espectro de una señal modulada de banda básica combinada

Fig. 22

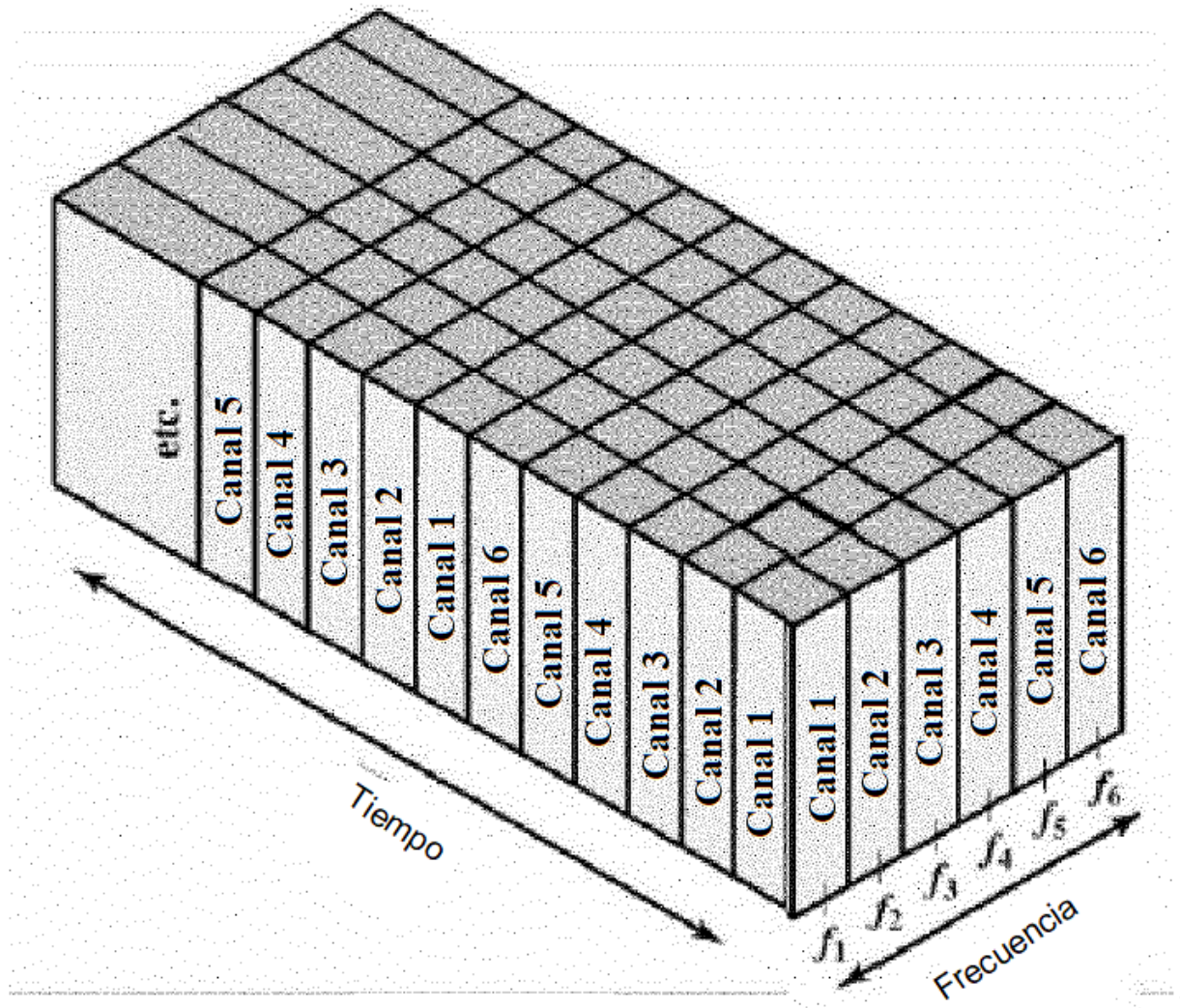


Fig. 23

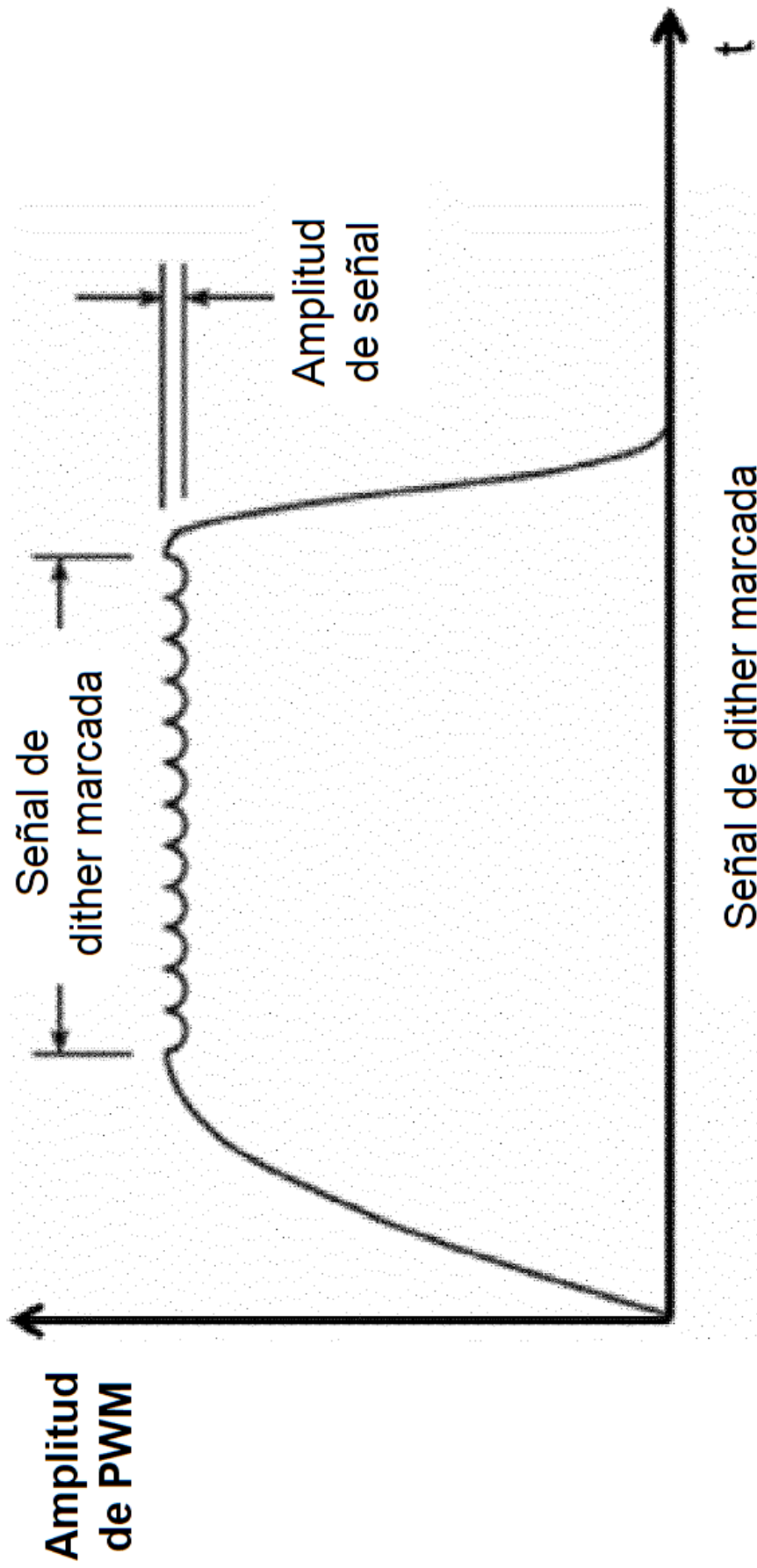


Fig. 24

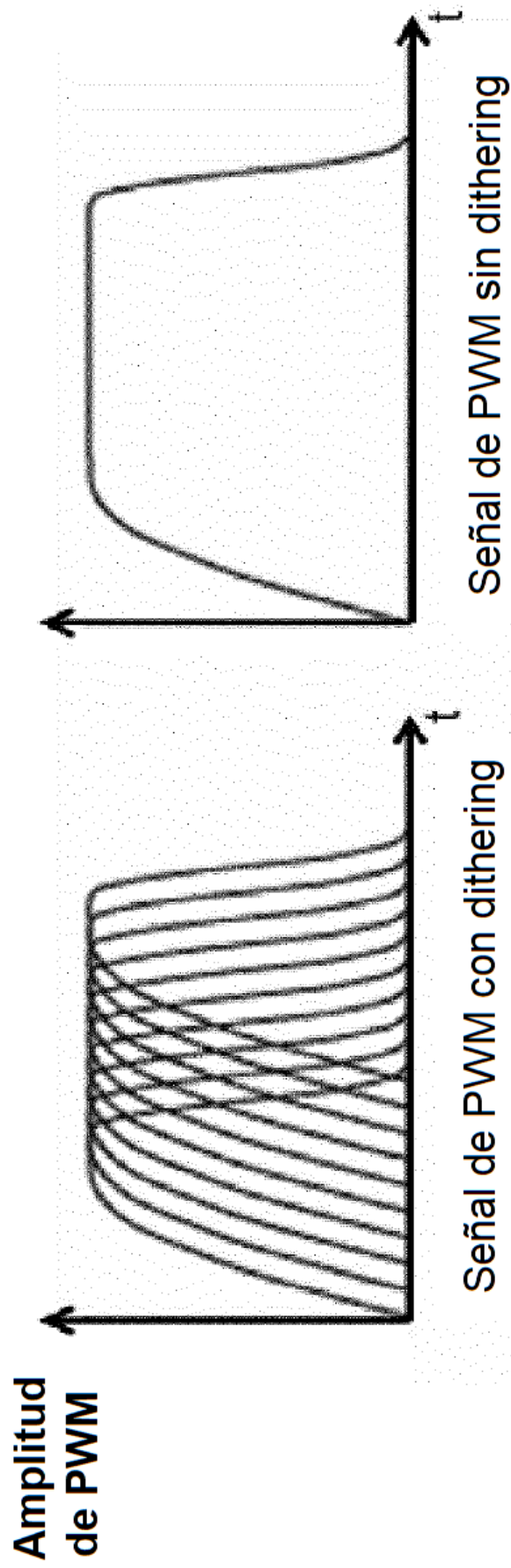


Fig. 25

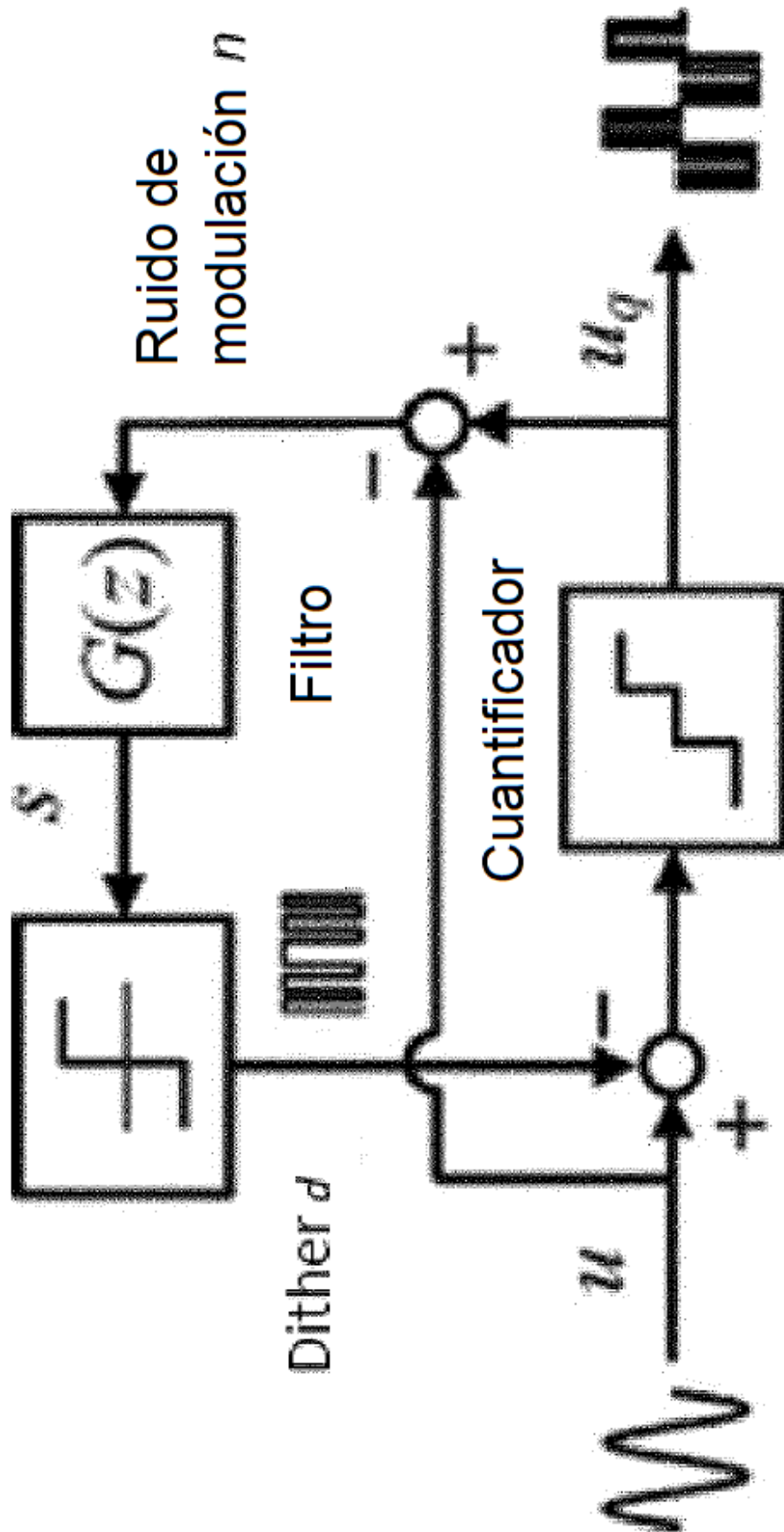


Fig. 26

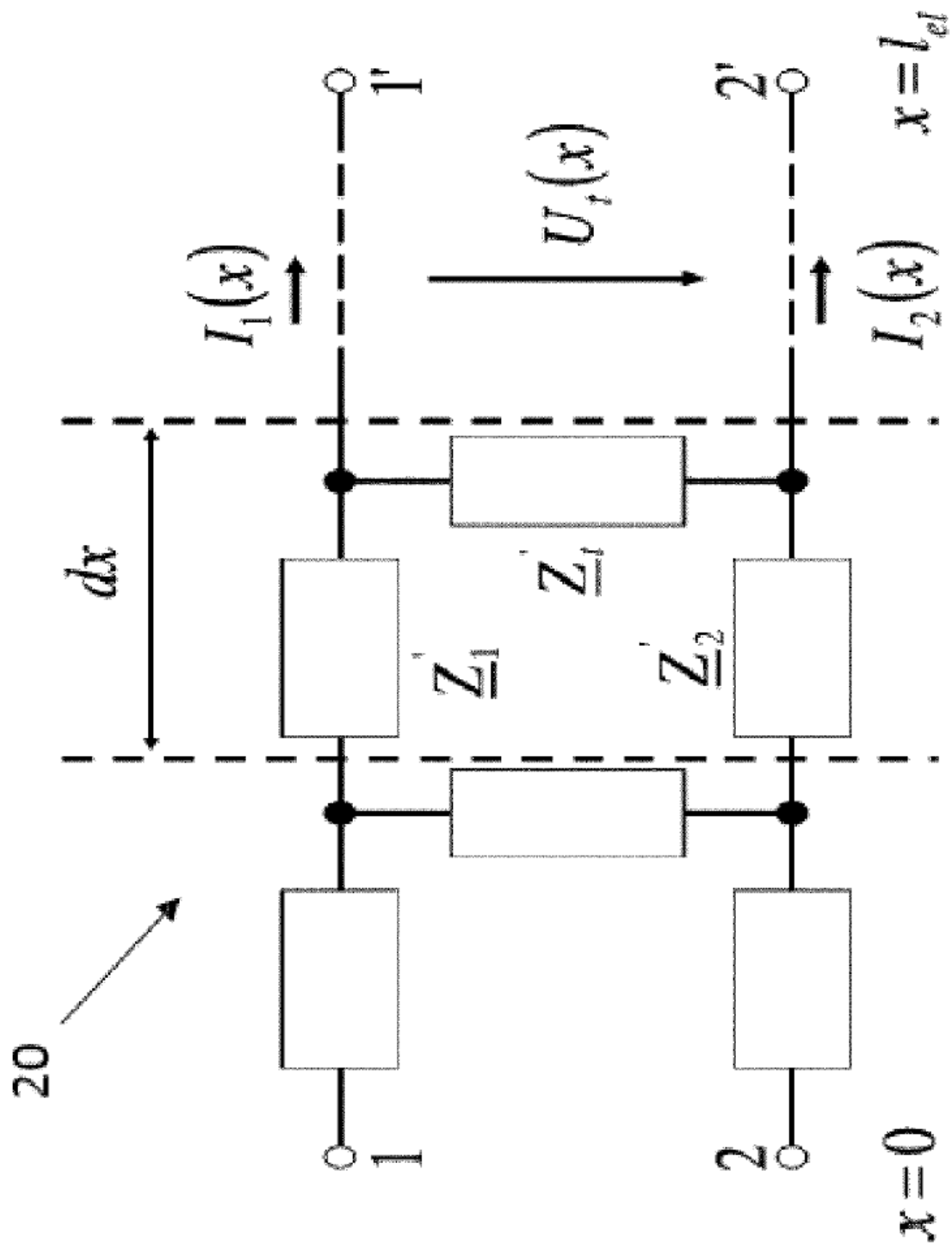


Fig. 27

Fig. 27a

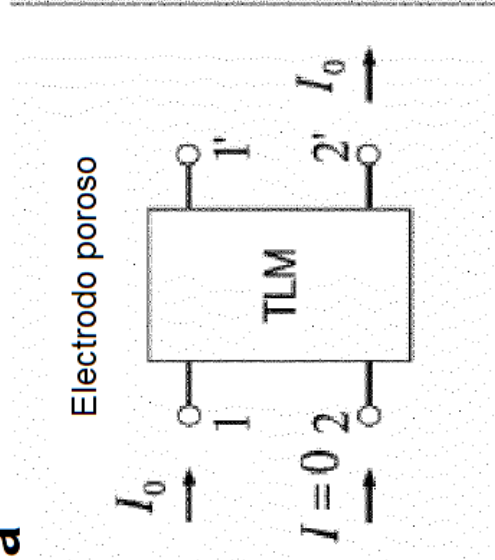
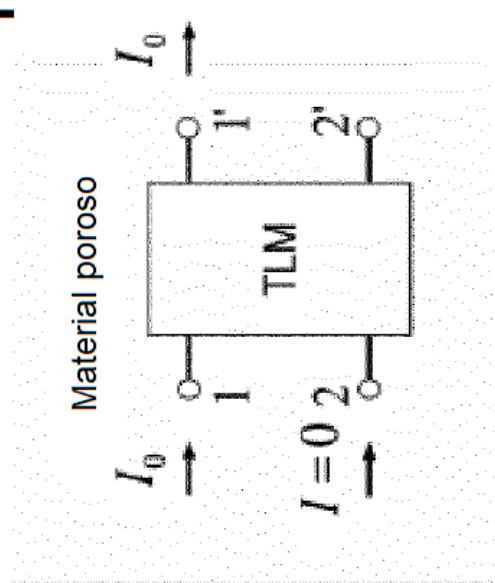


Fig. 27b



Difusión de iones

Difusión general

Difusión de IR/NPW
Difusión, pared impermeable (NPW)
Difusión, reservorio ideal (IR)

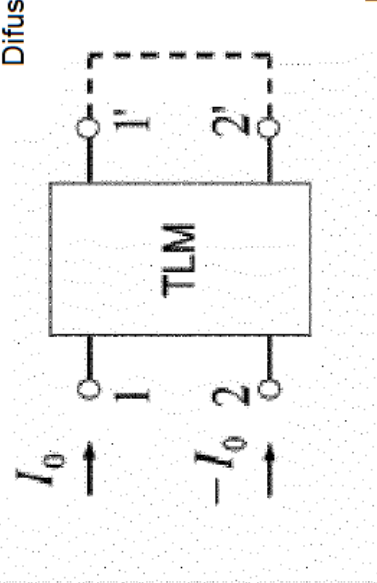
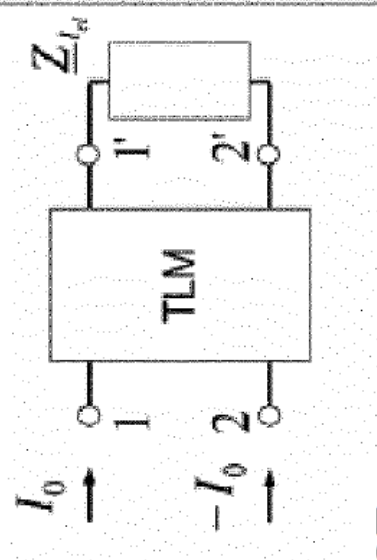


Fig. 27c

Fig. 27d

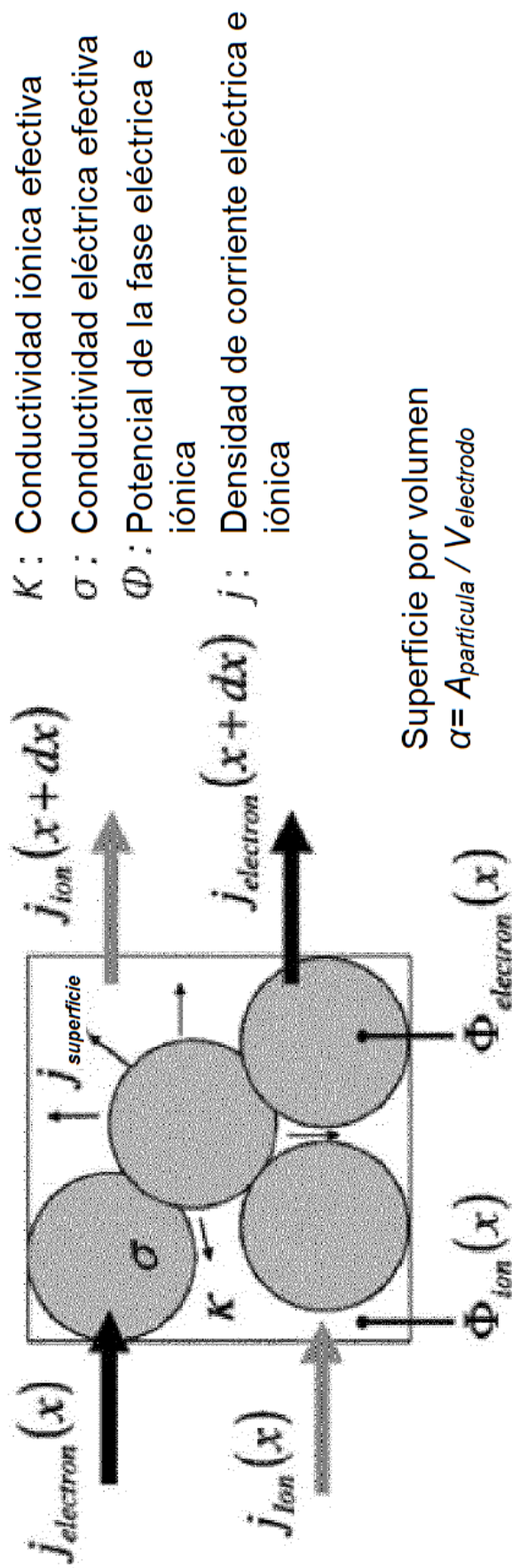


Fig. 28

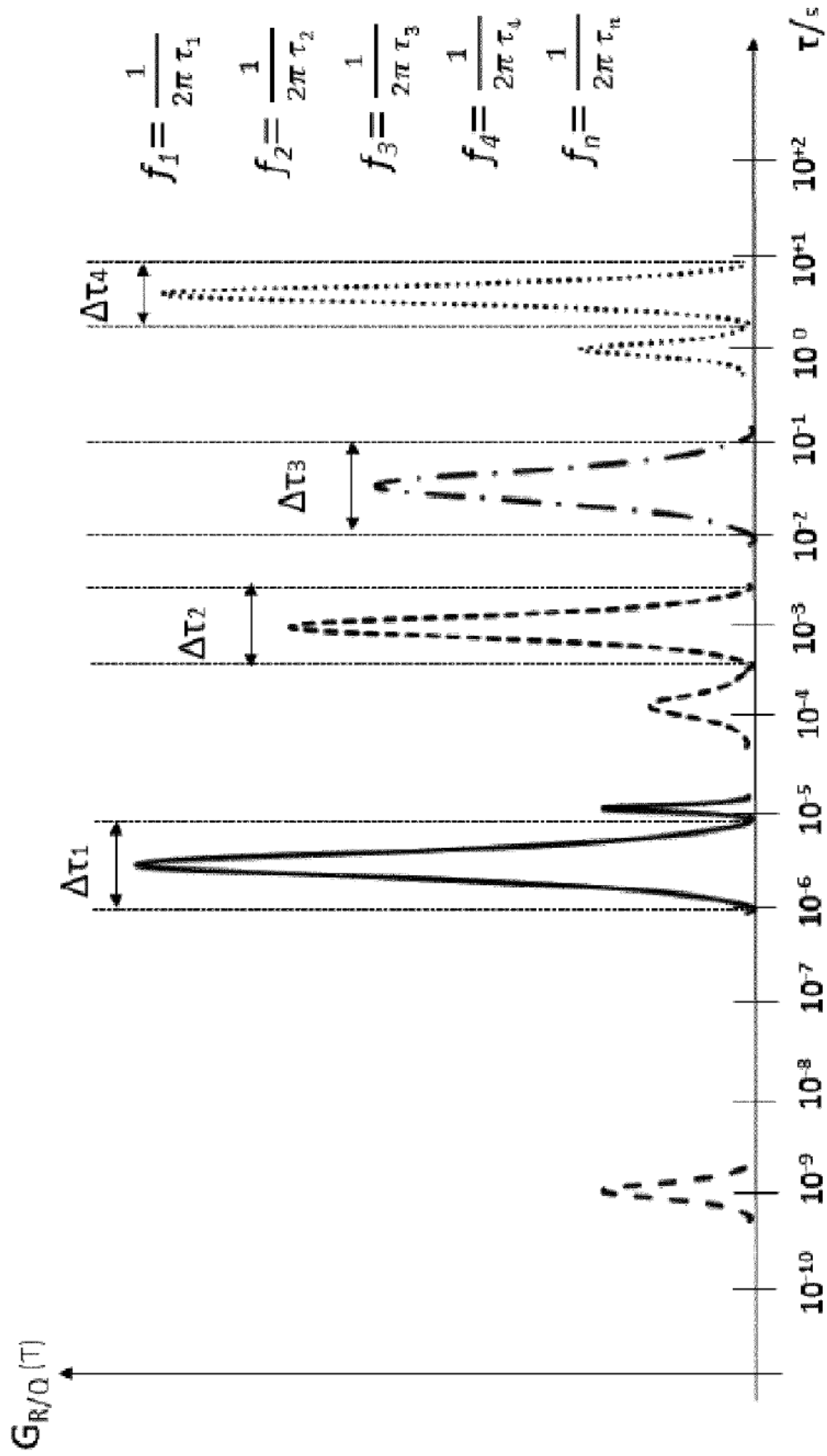


Fig. 29

Fig. 30a

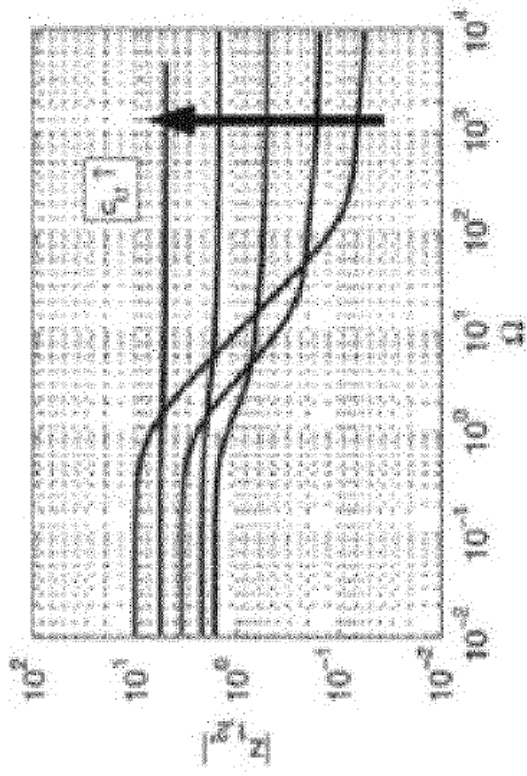


Fig. 30b

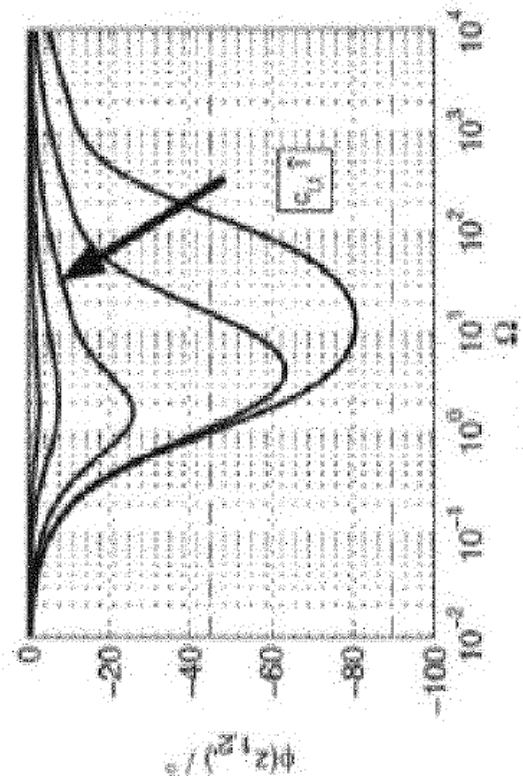
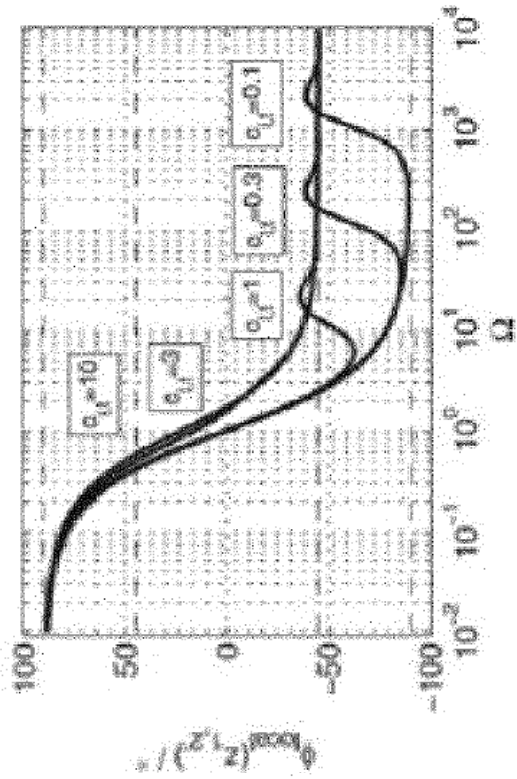


Fig. 30c

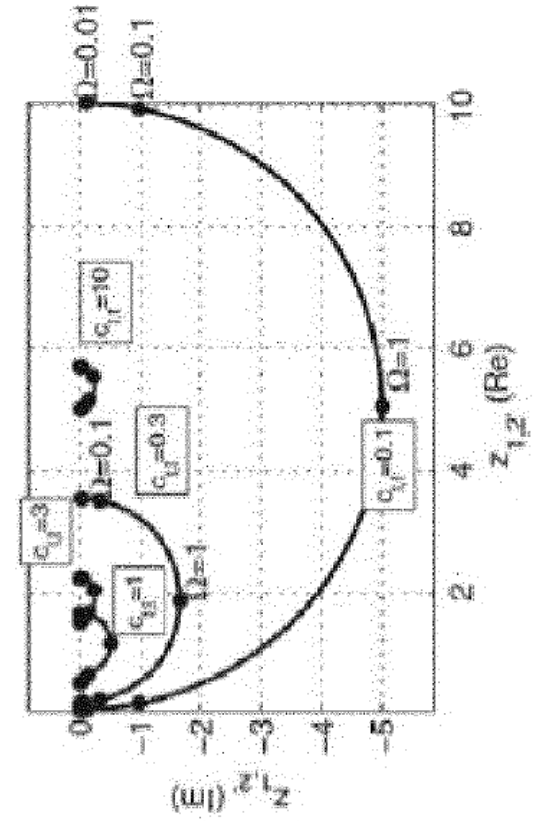
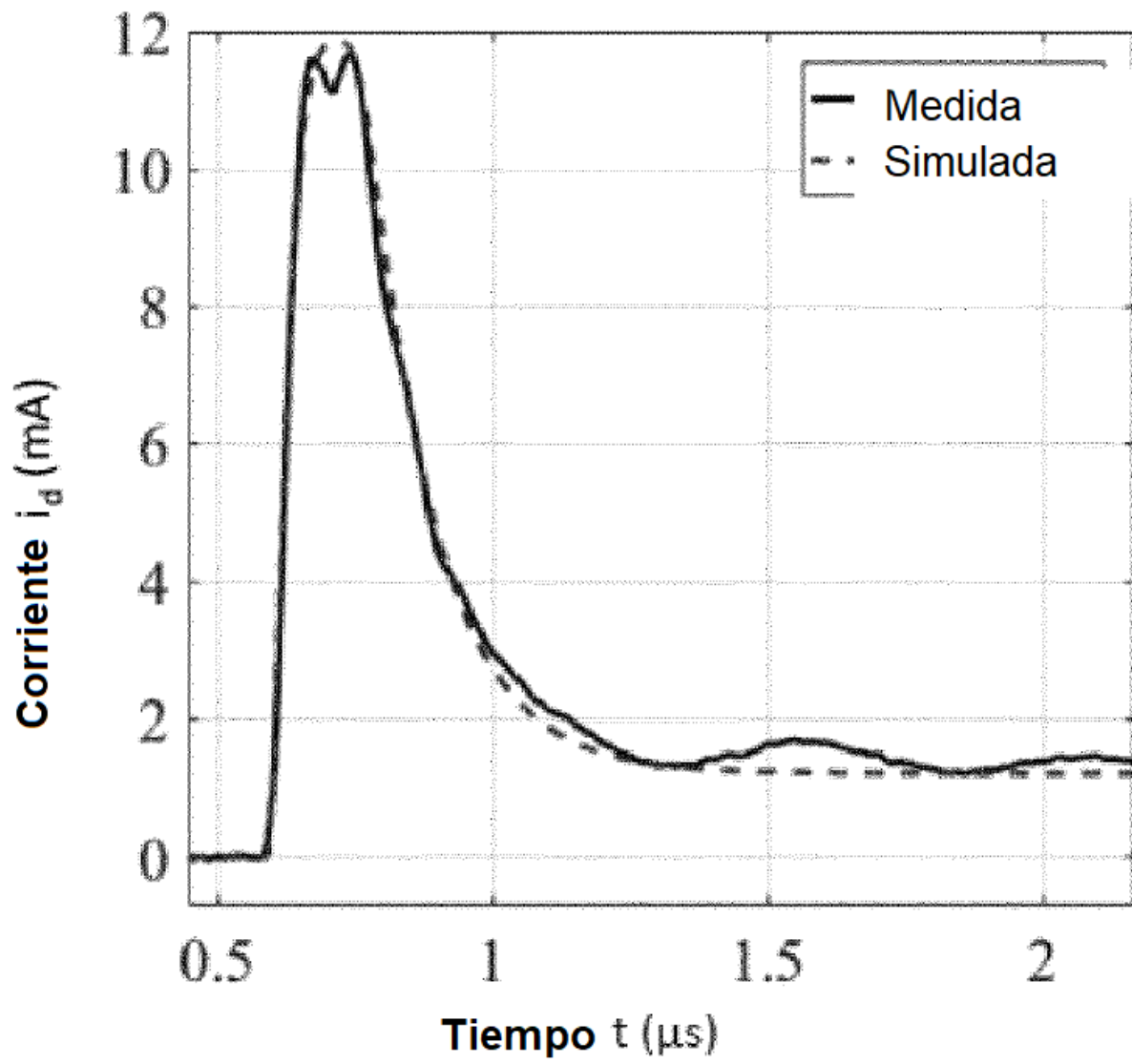
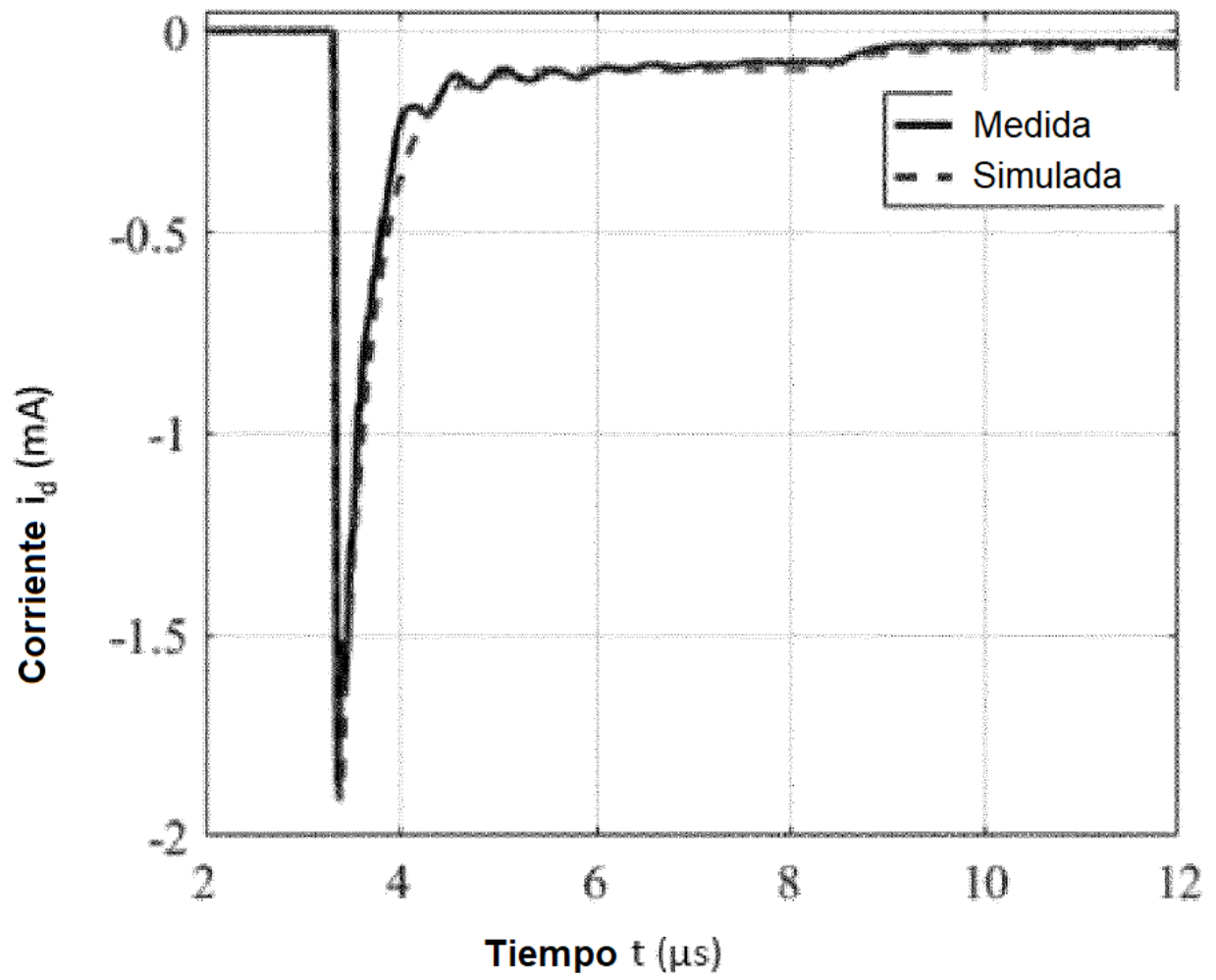
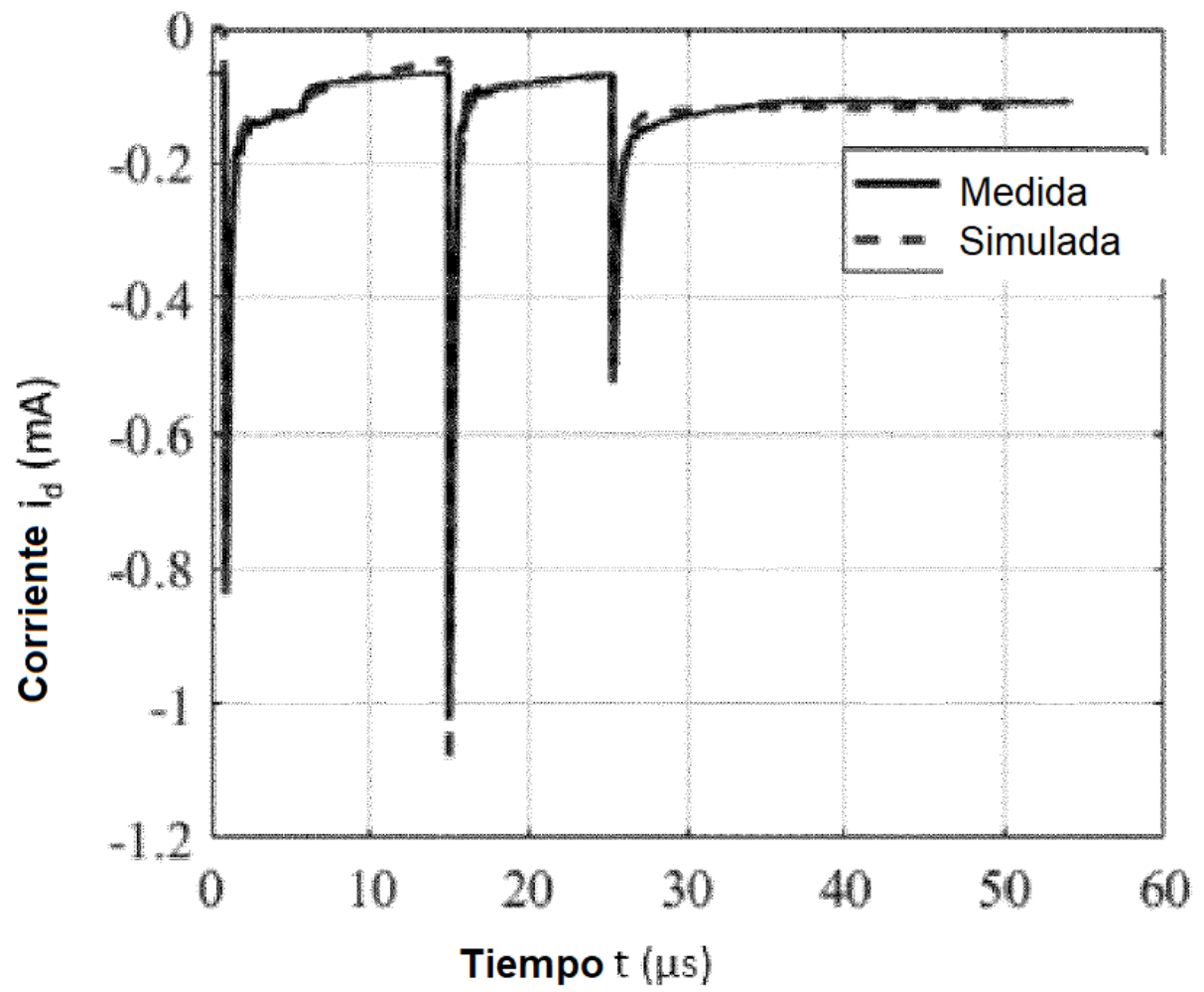


Fig. 30d

**Fig. 31**

**Fig. 32**

**Fig. 33**

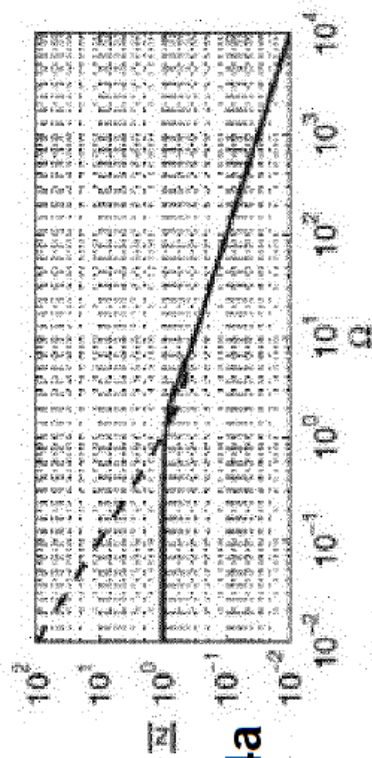


Fig. 34a

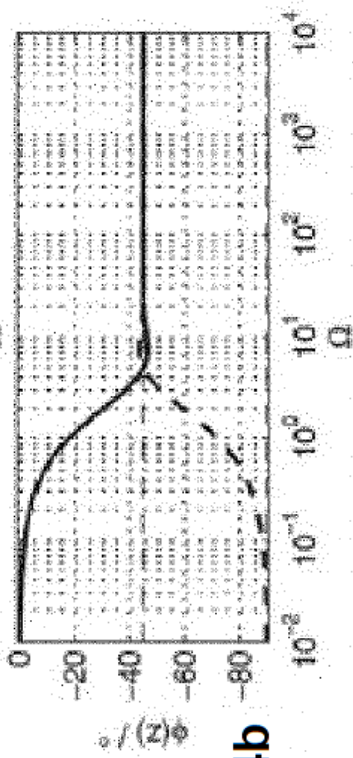


Fig. 34b

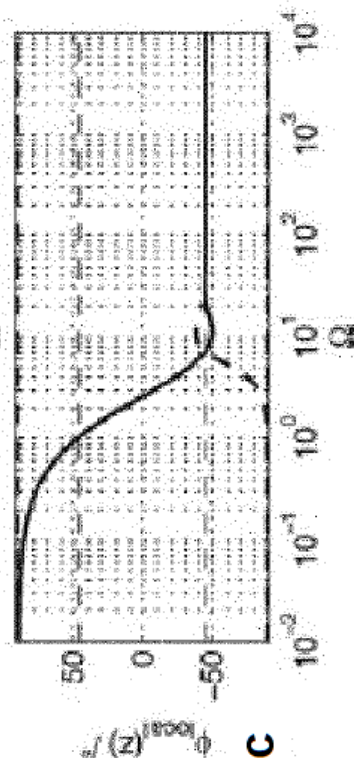


Fig. 34c

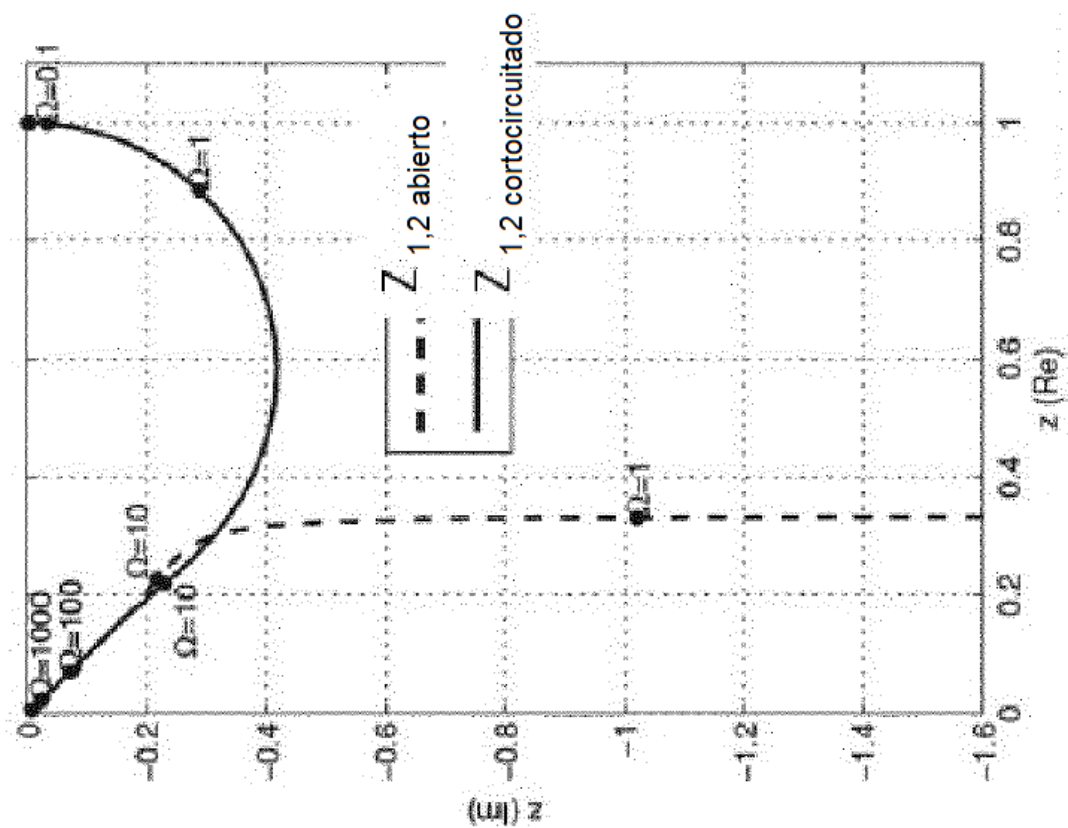


Fig. 34d

Fig. 34

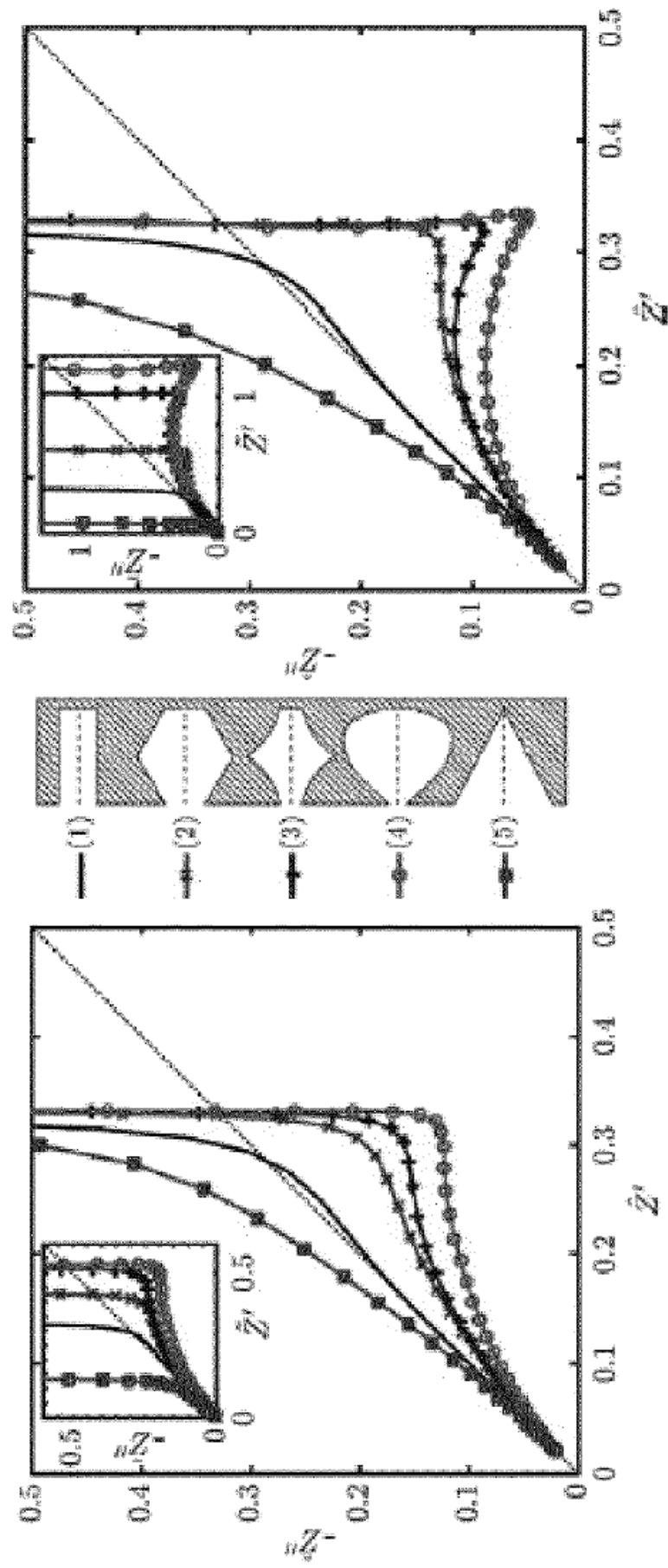


Fig. 35

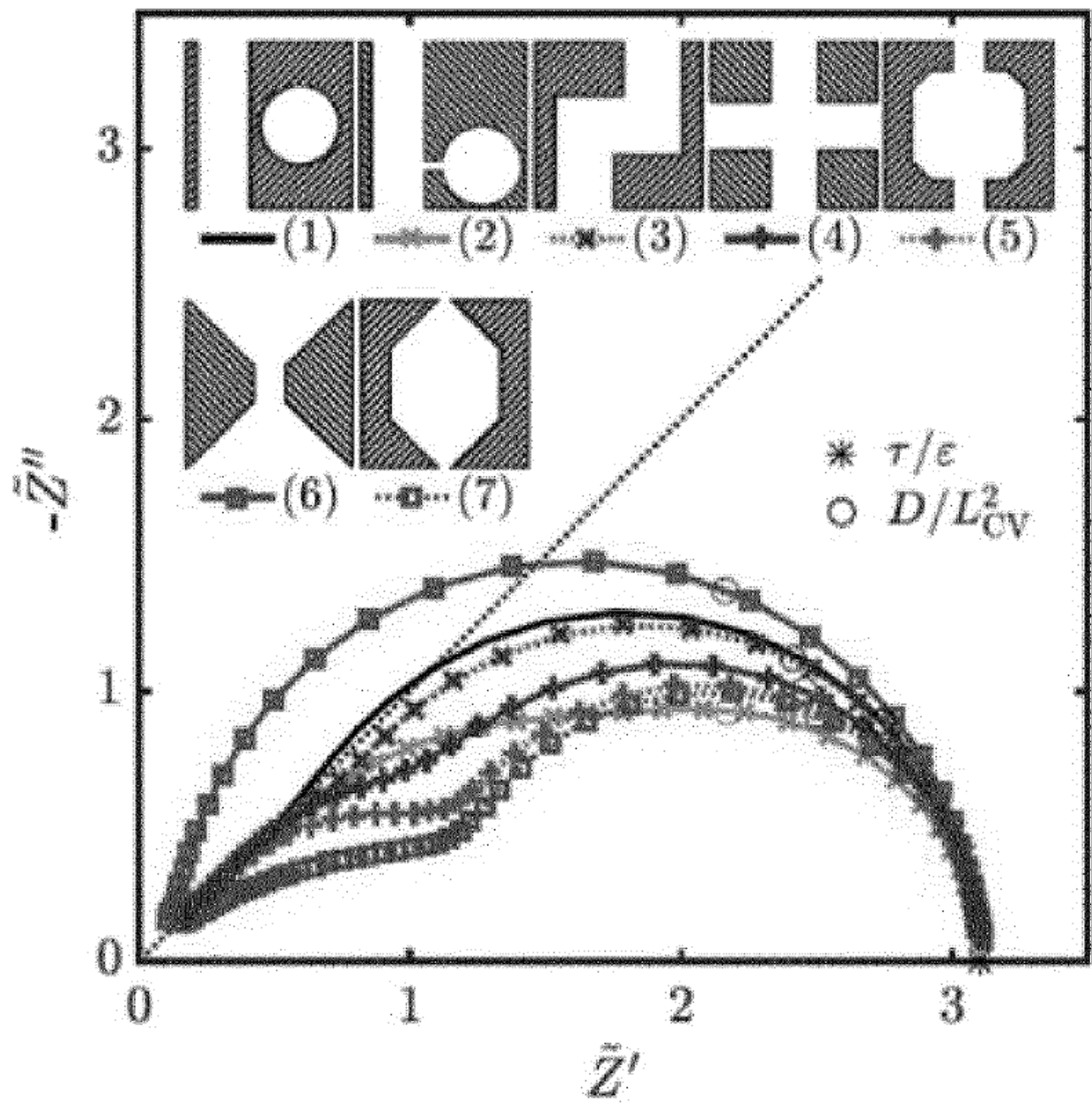


Fig. 36

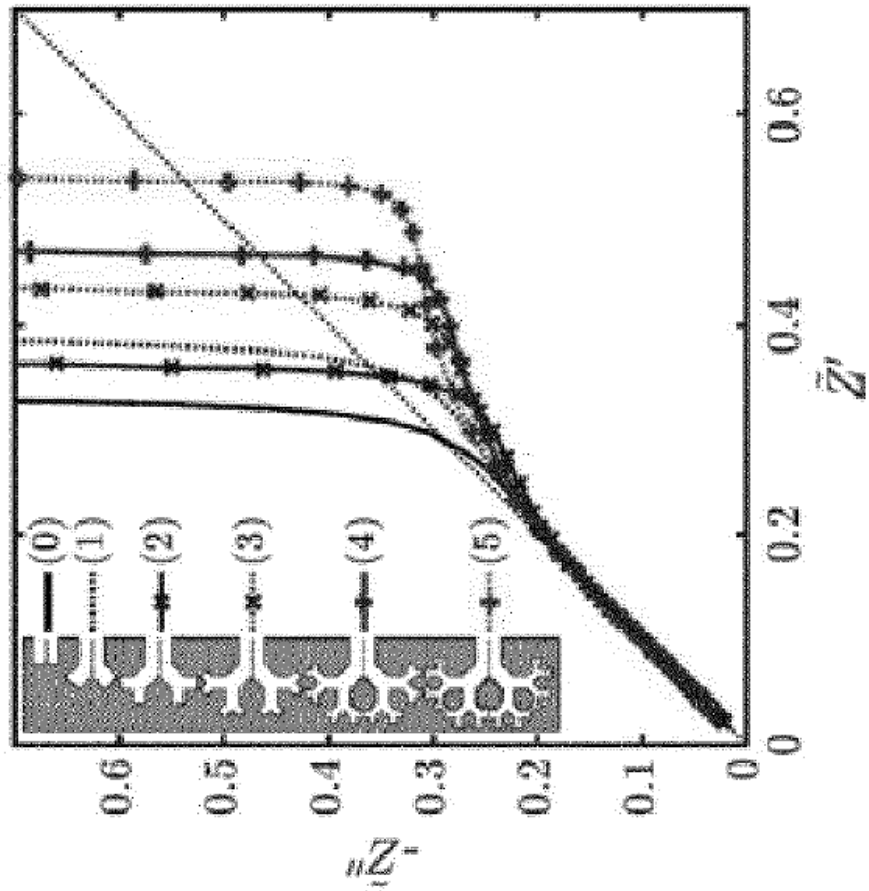


Fig. 38

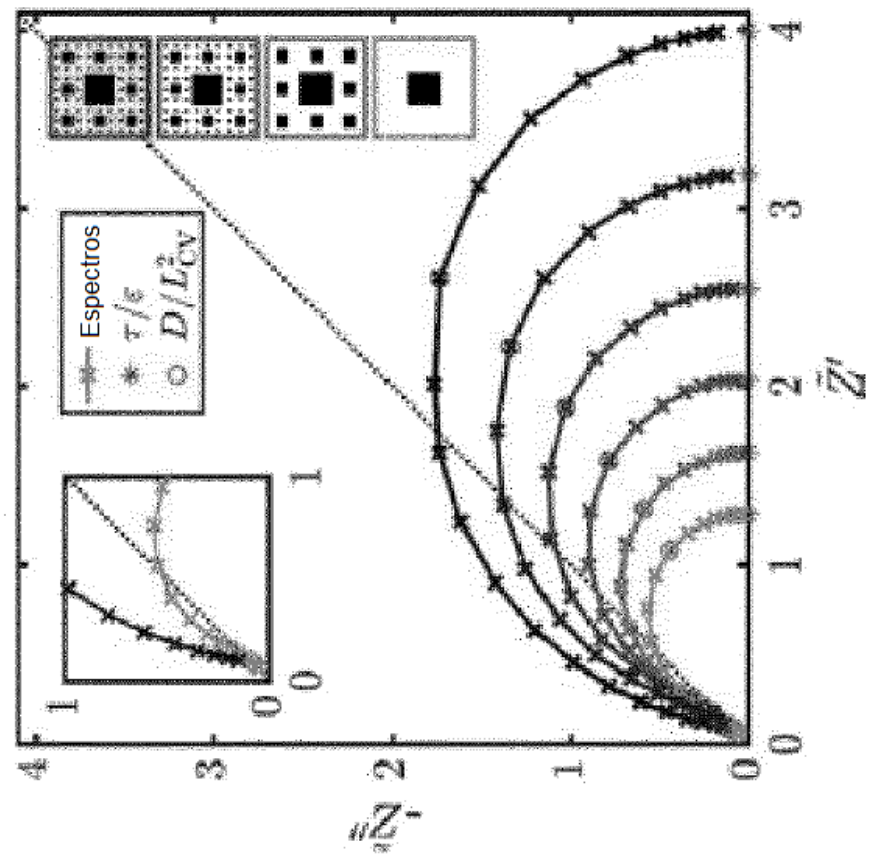


Fig. 37

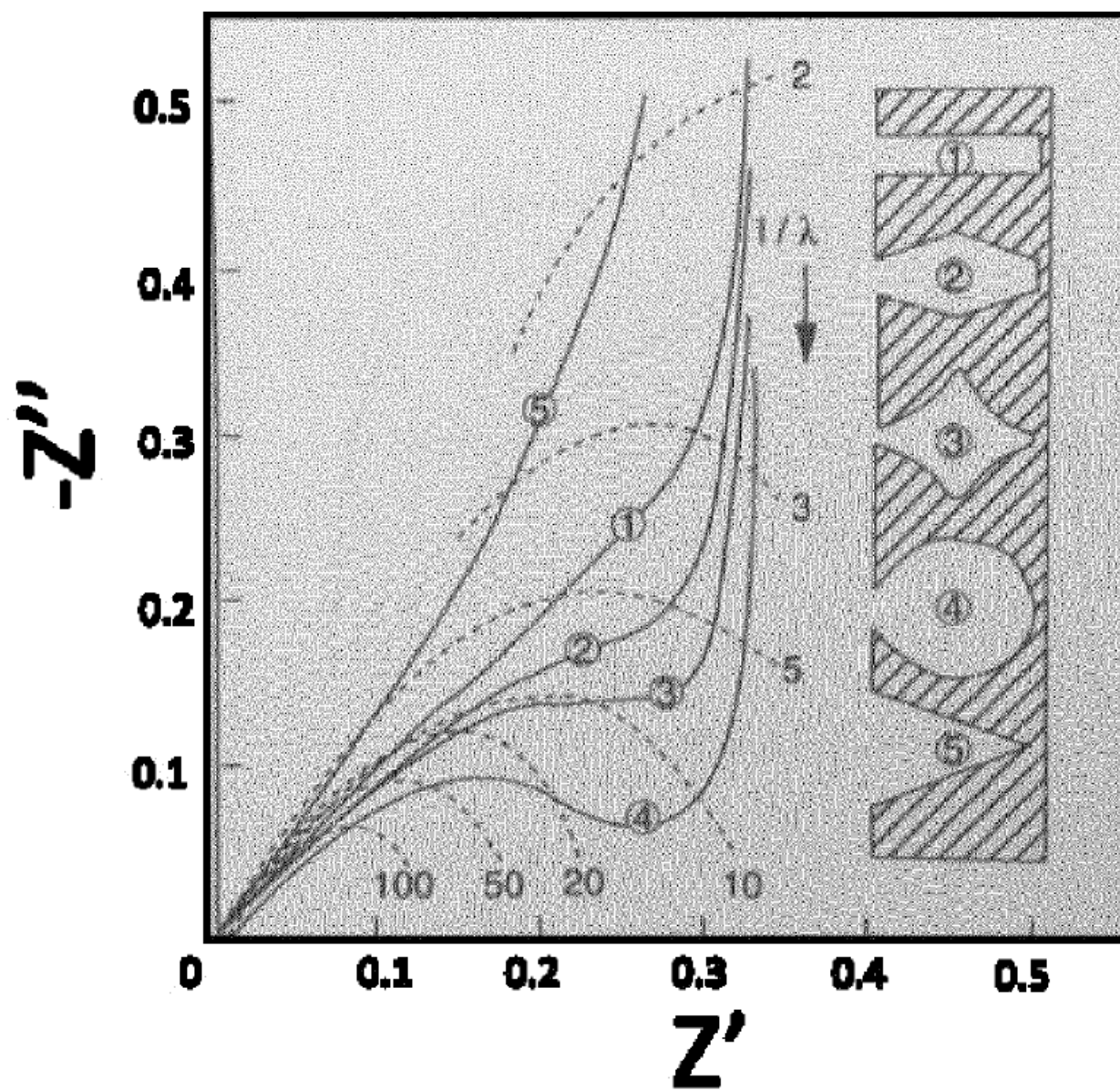


Fig. 39

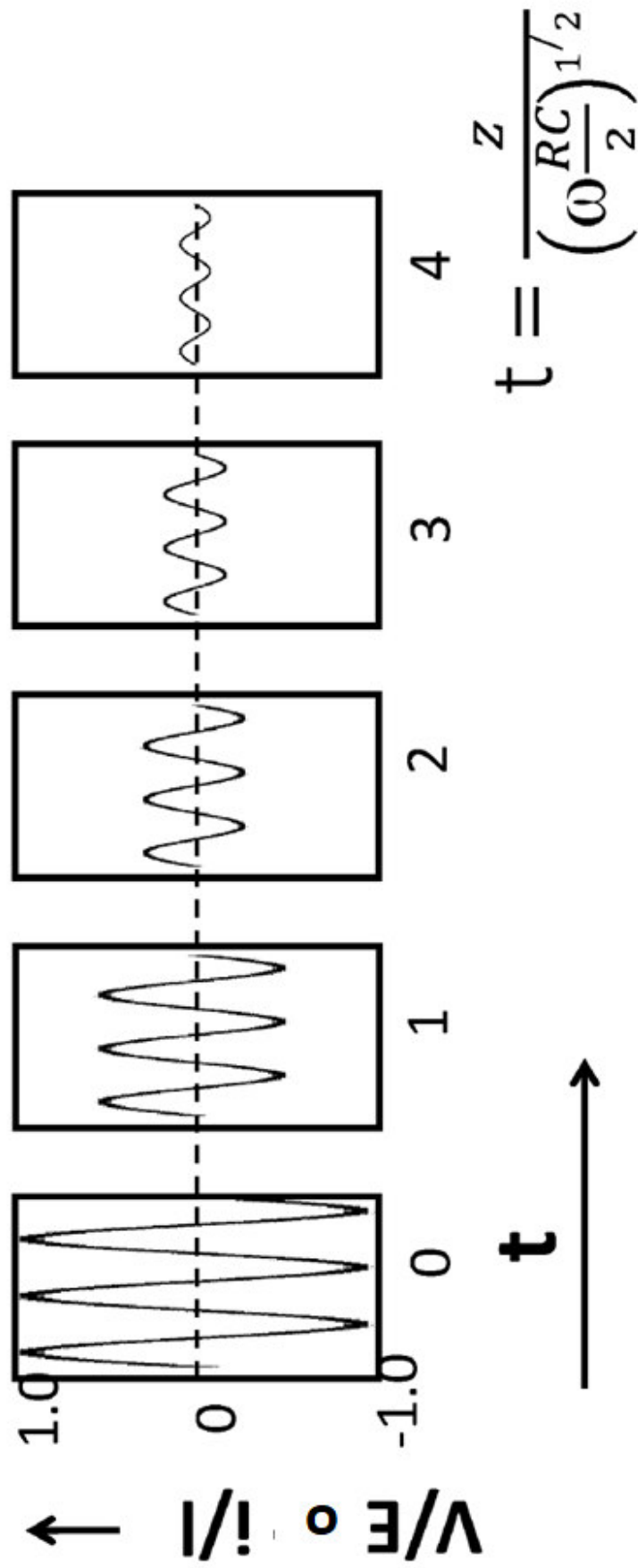


Fig. 40

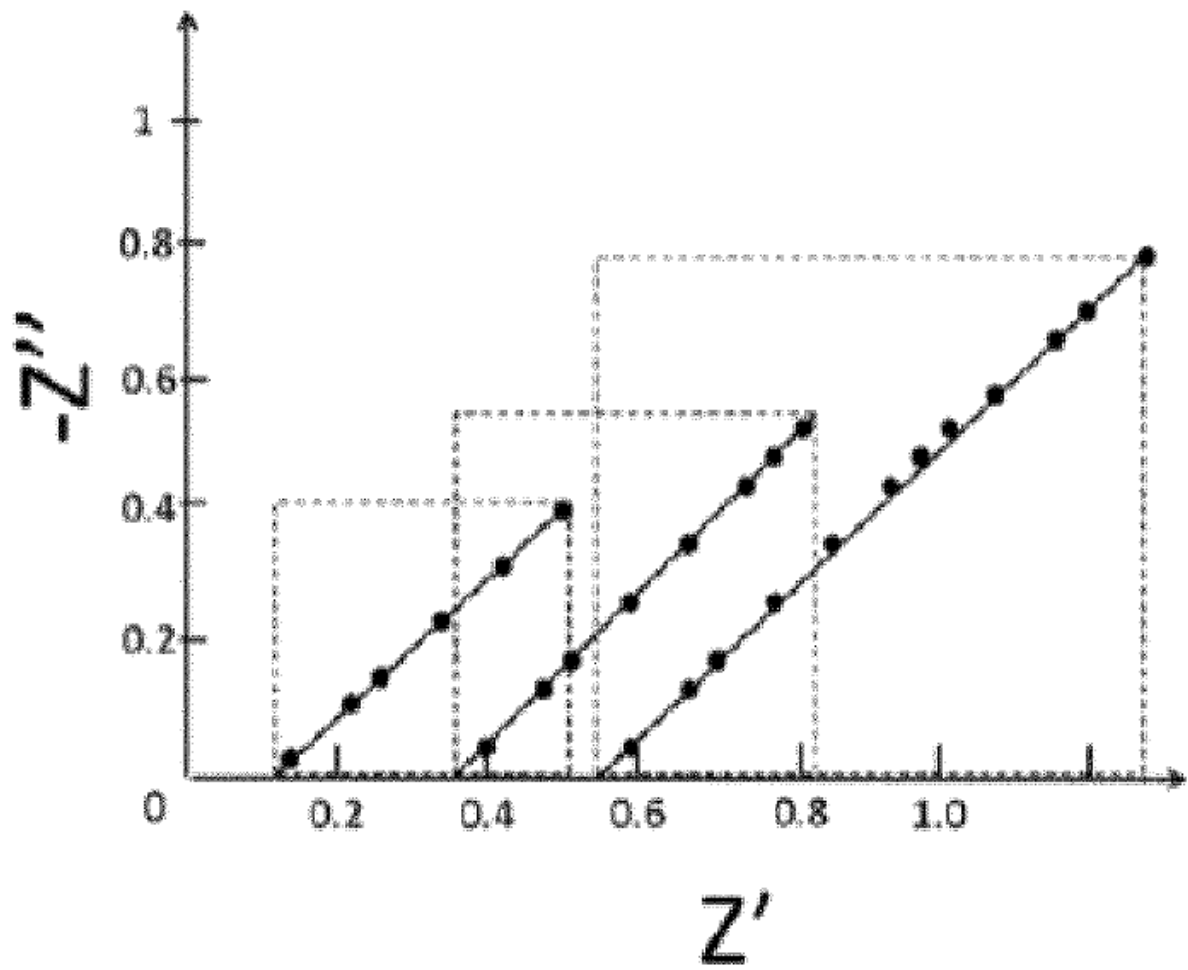


Fig. 41

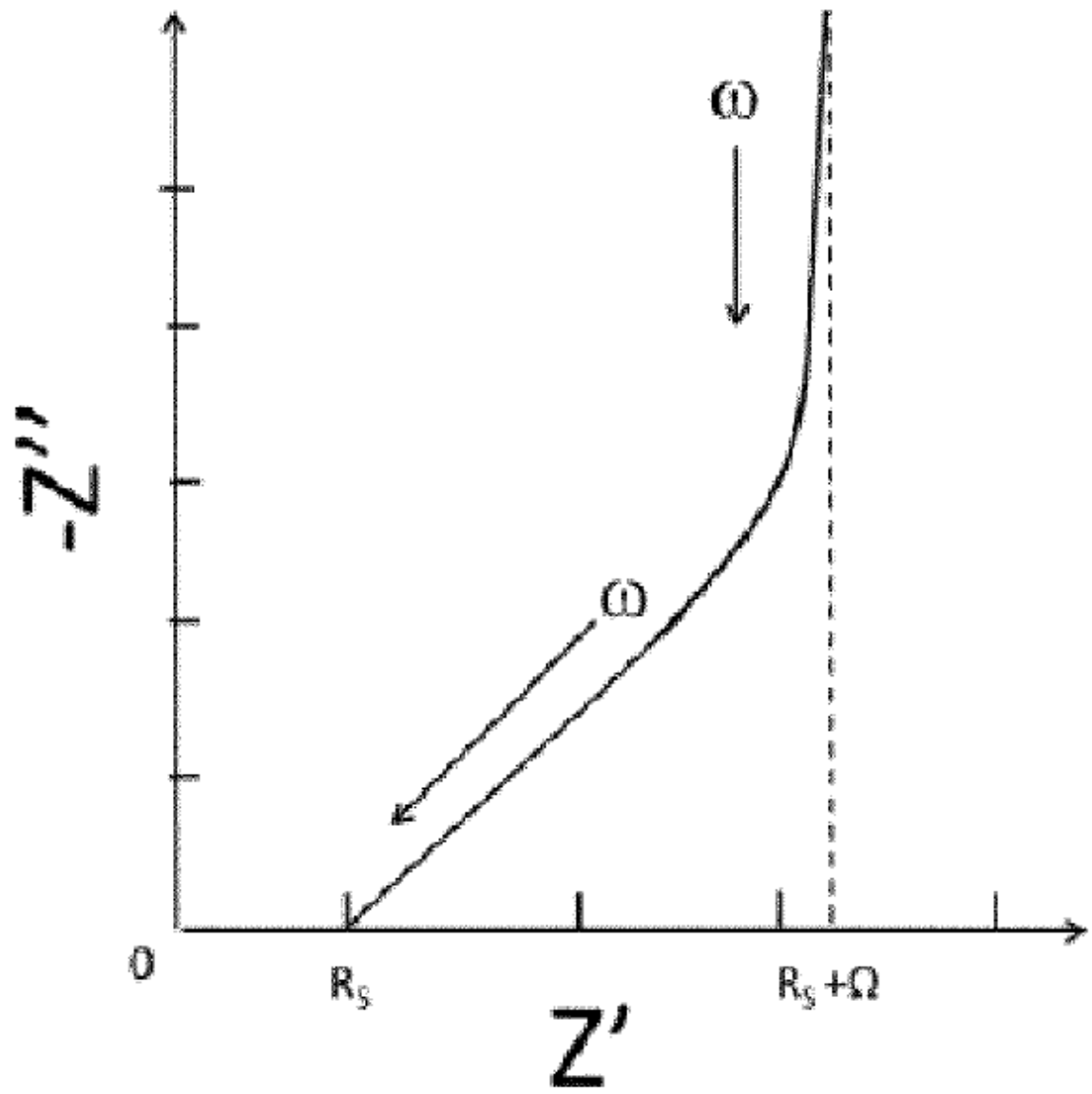


Fig. 42

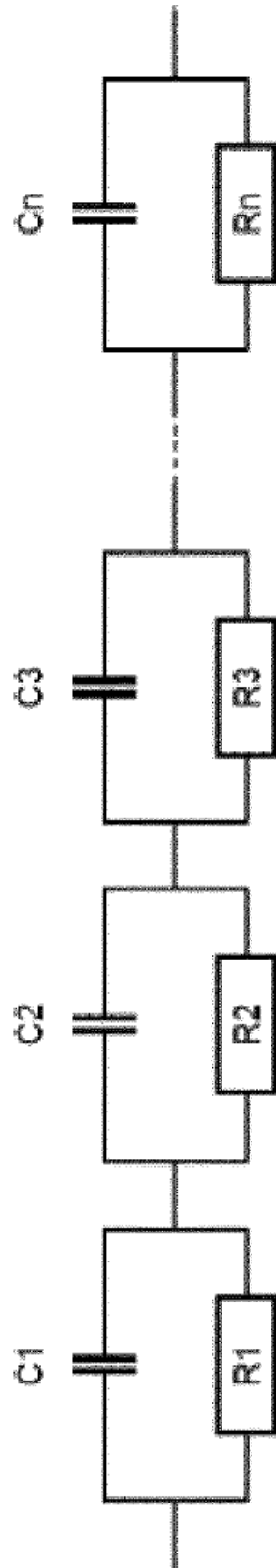


Fig. 43

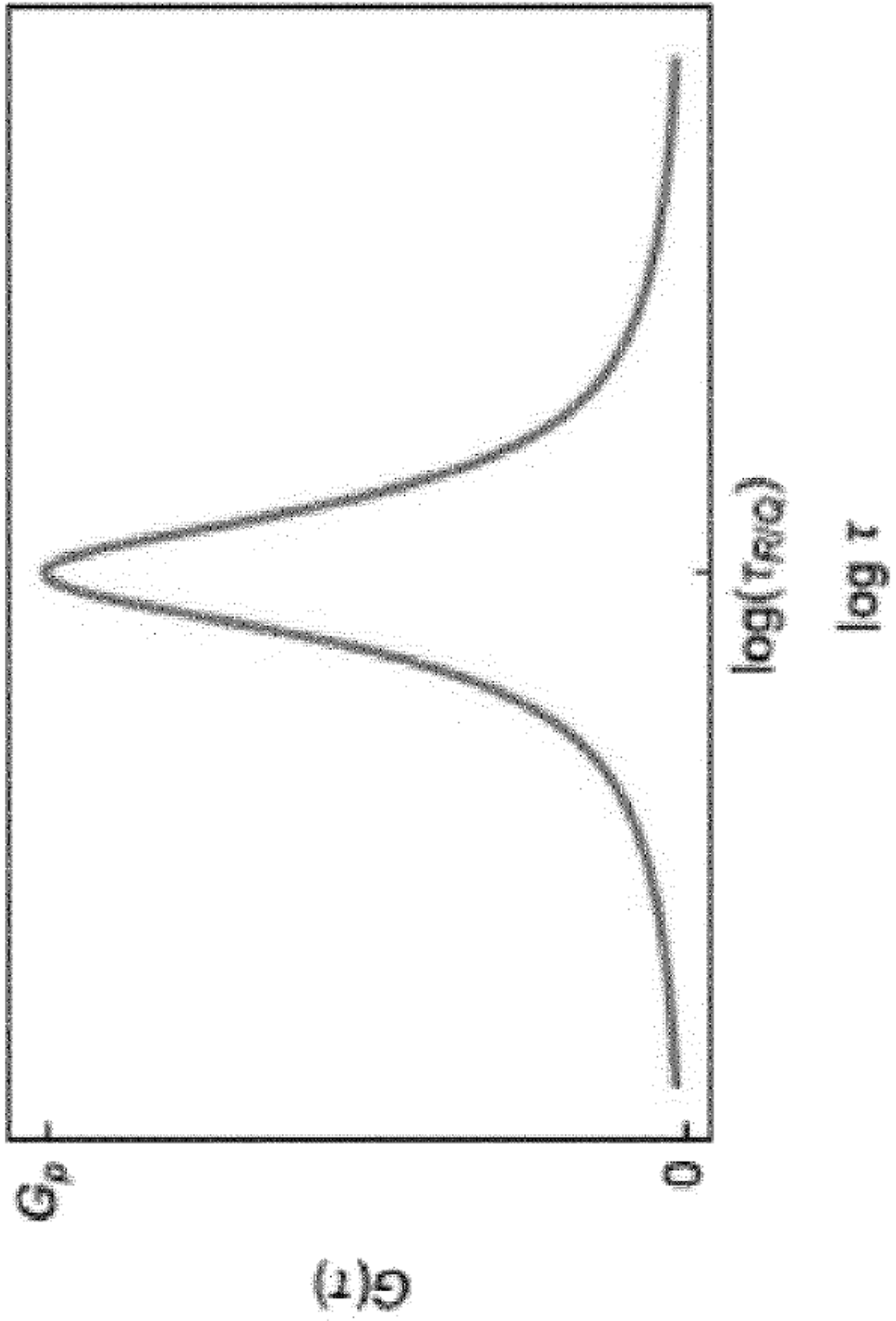


Fig. 44

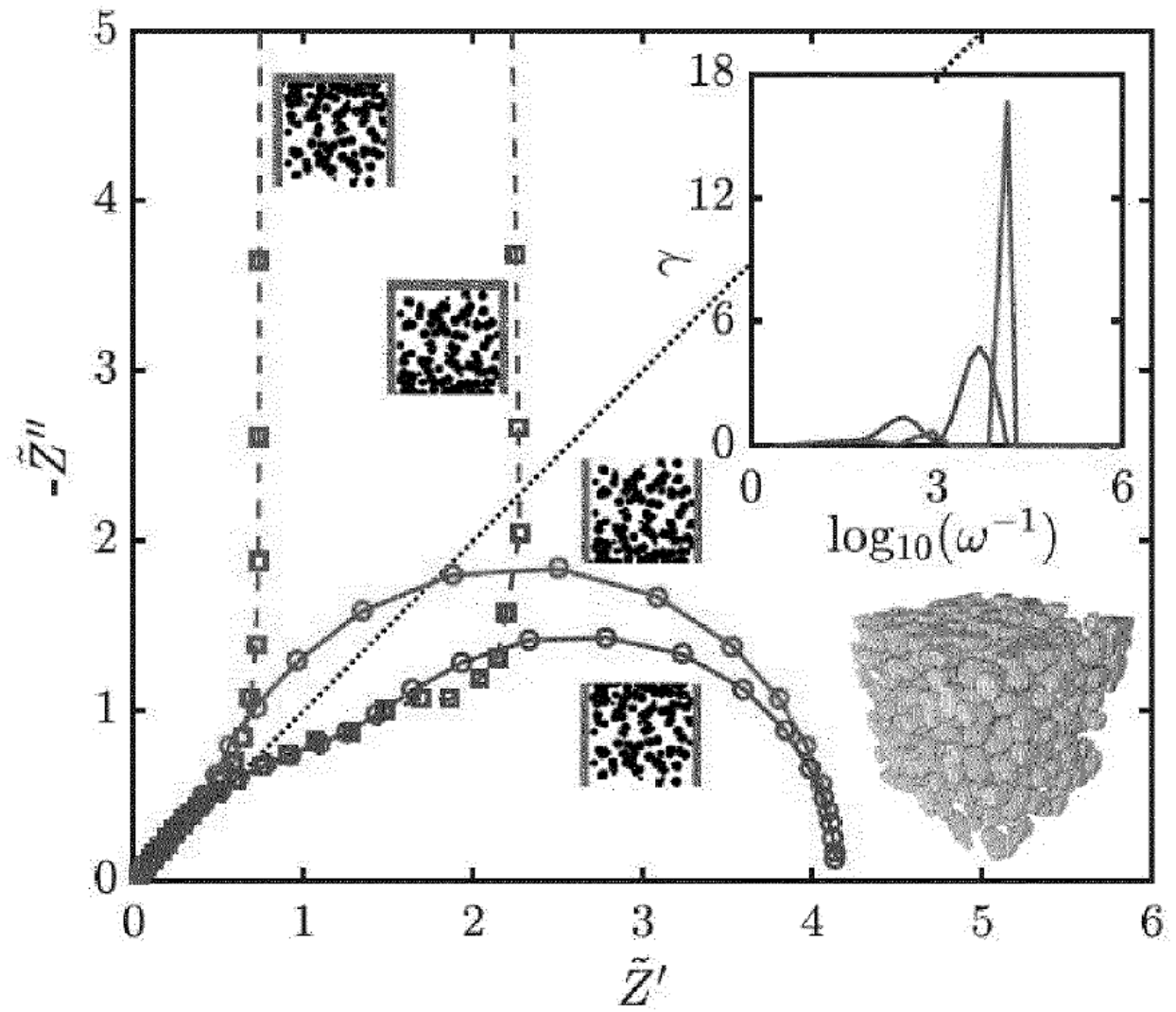


Fig. 45

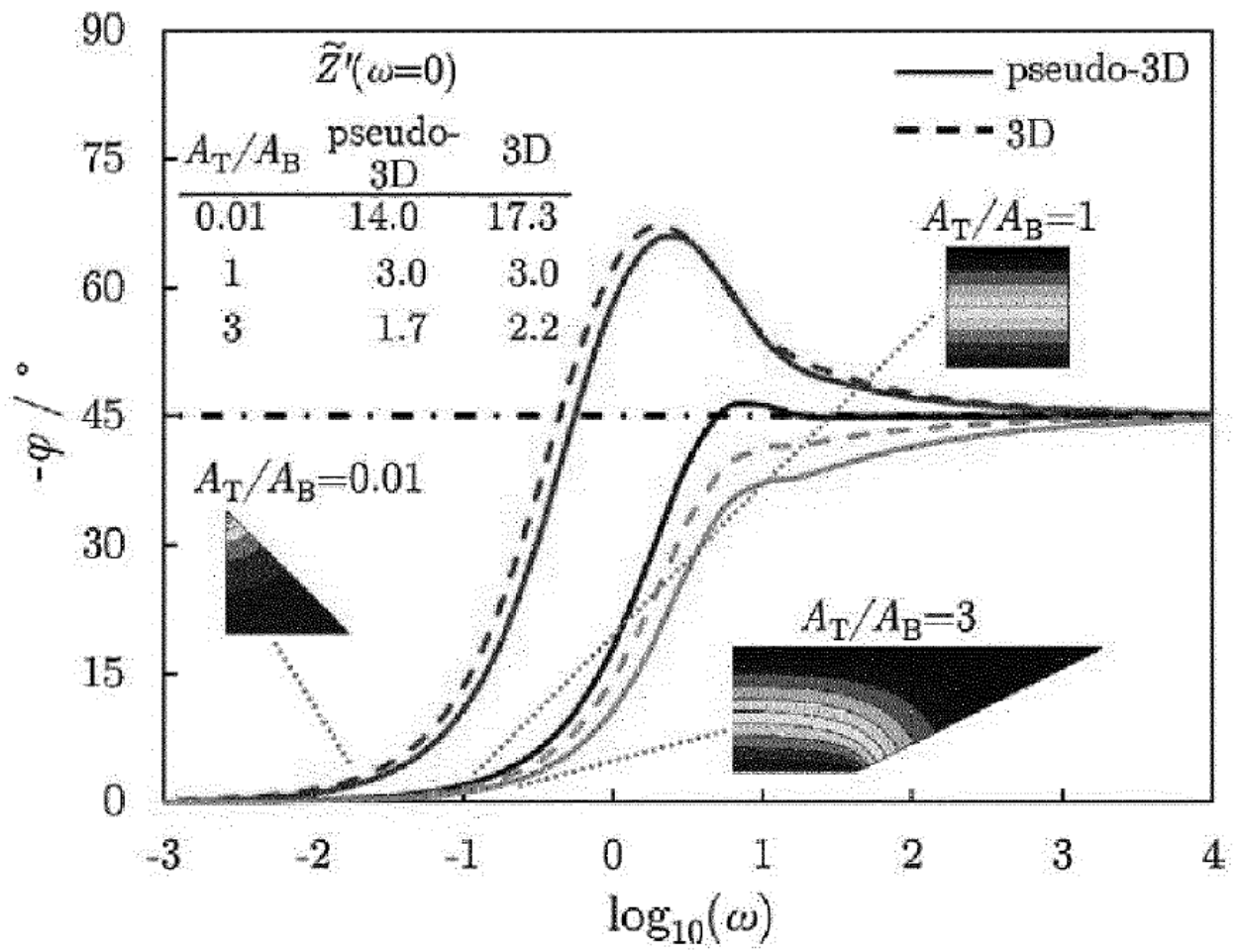


Fig. 46

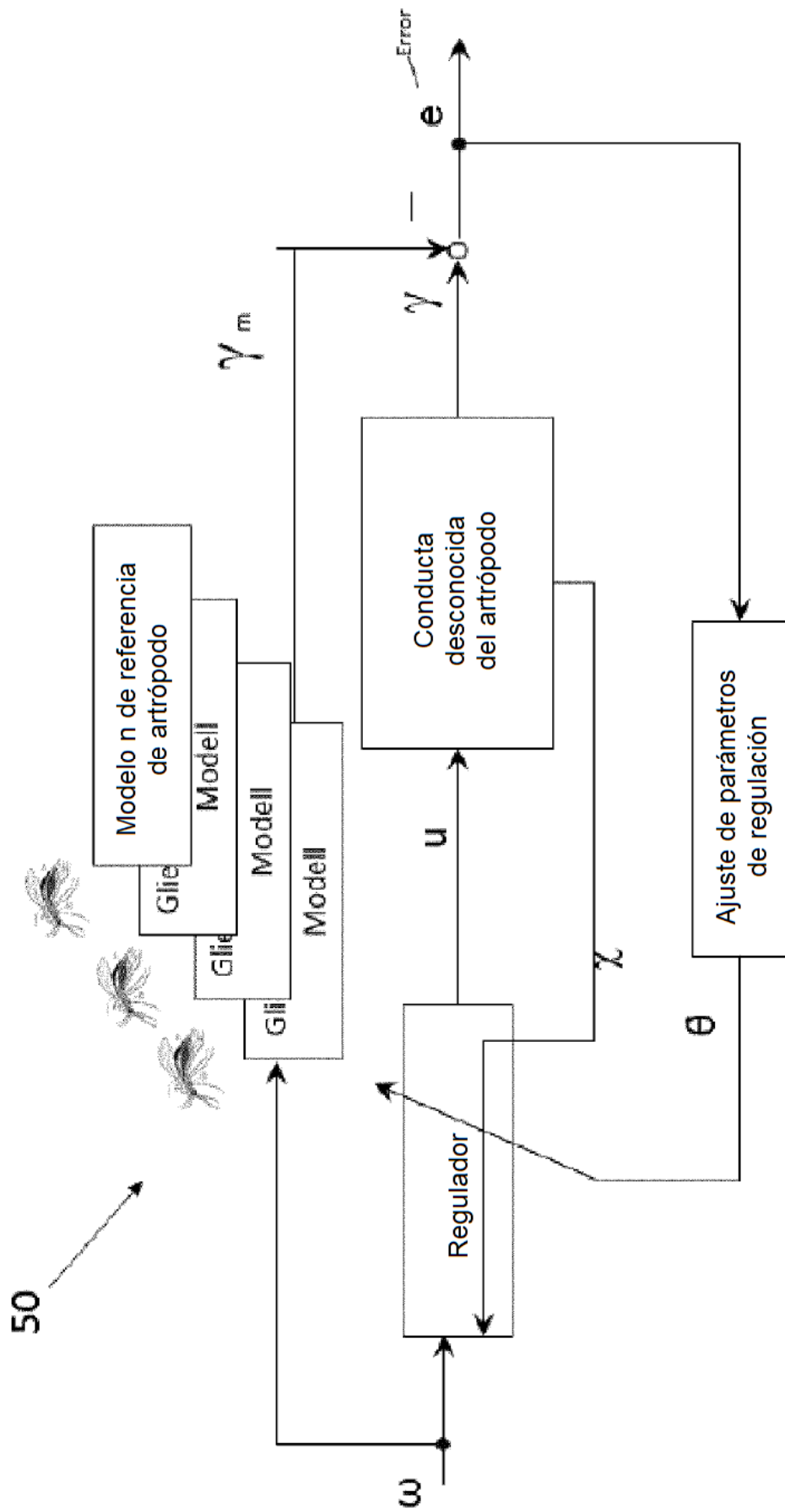


Fig. 47

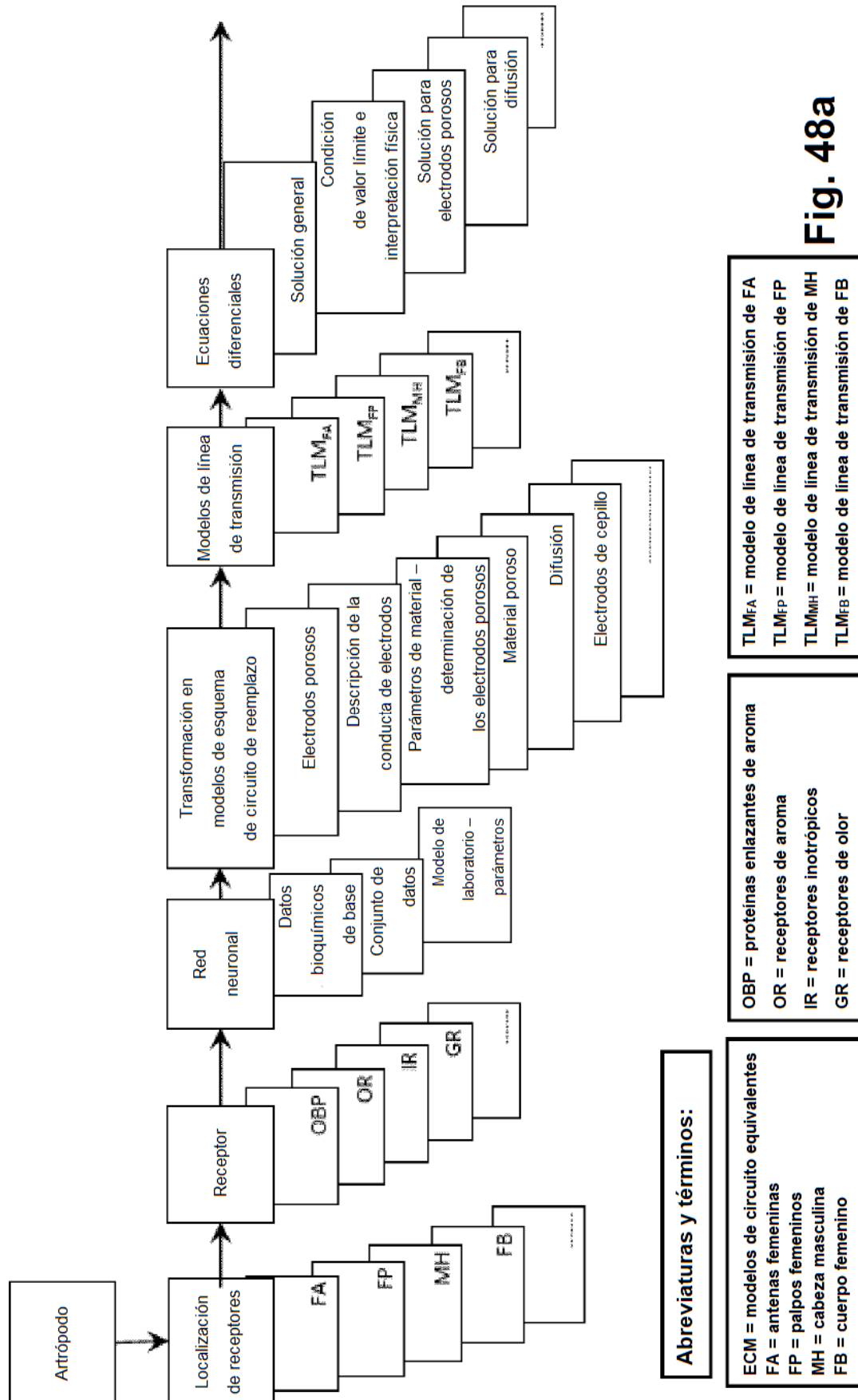


Fig. 48a

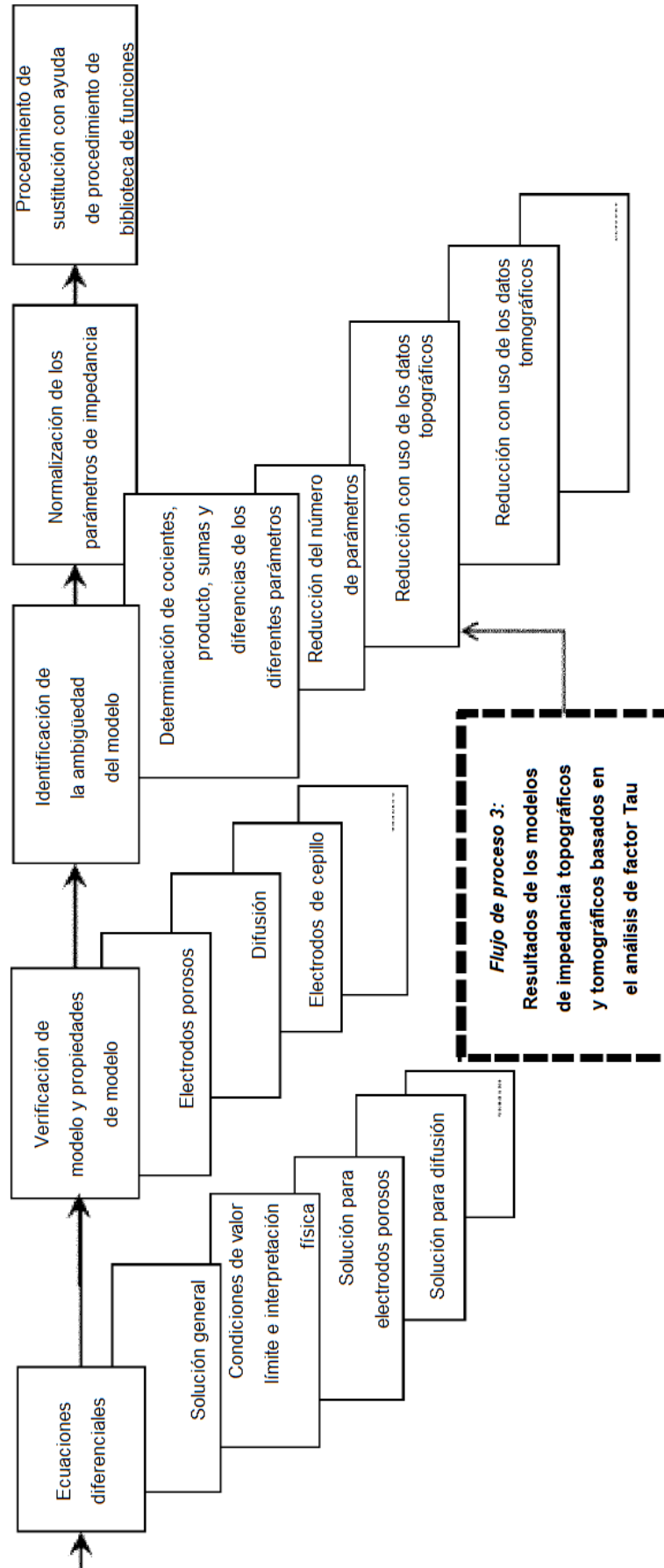


Fig. 48b

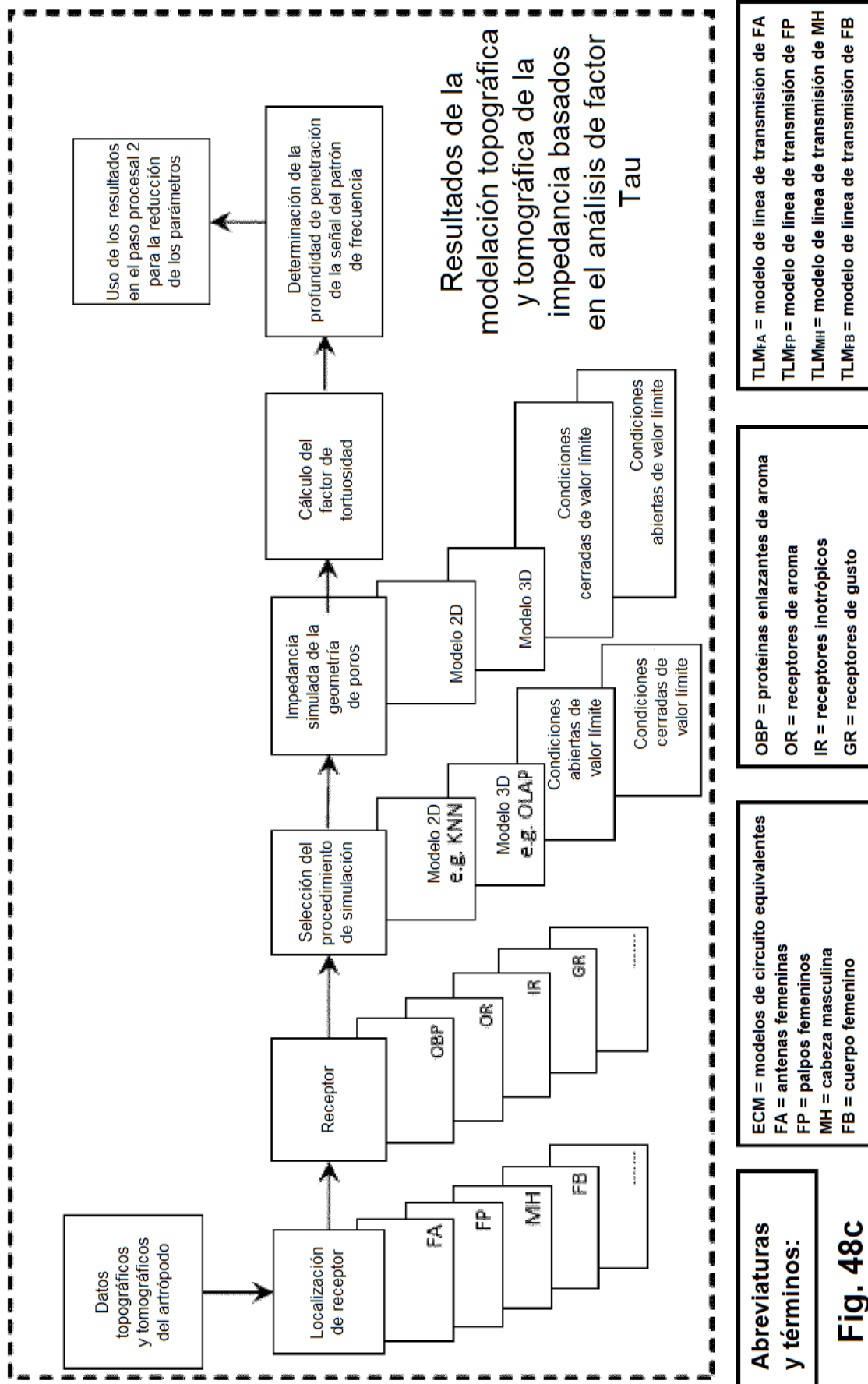


Fig. 48c

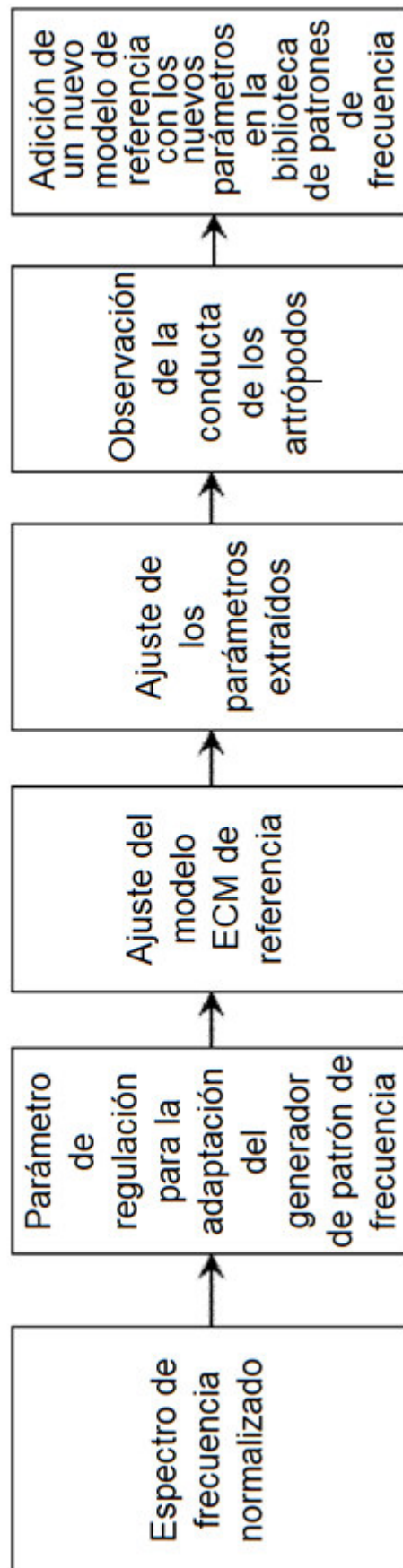


Fig. 48d

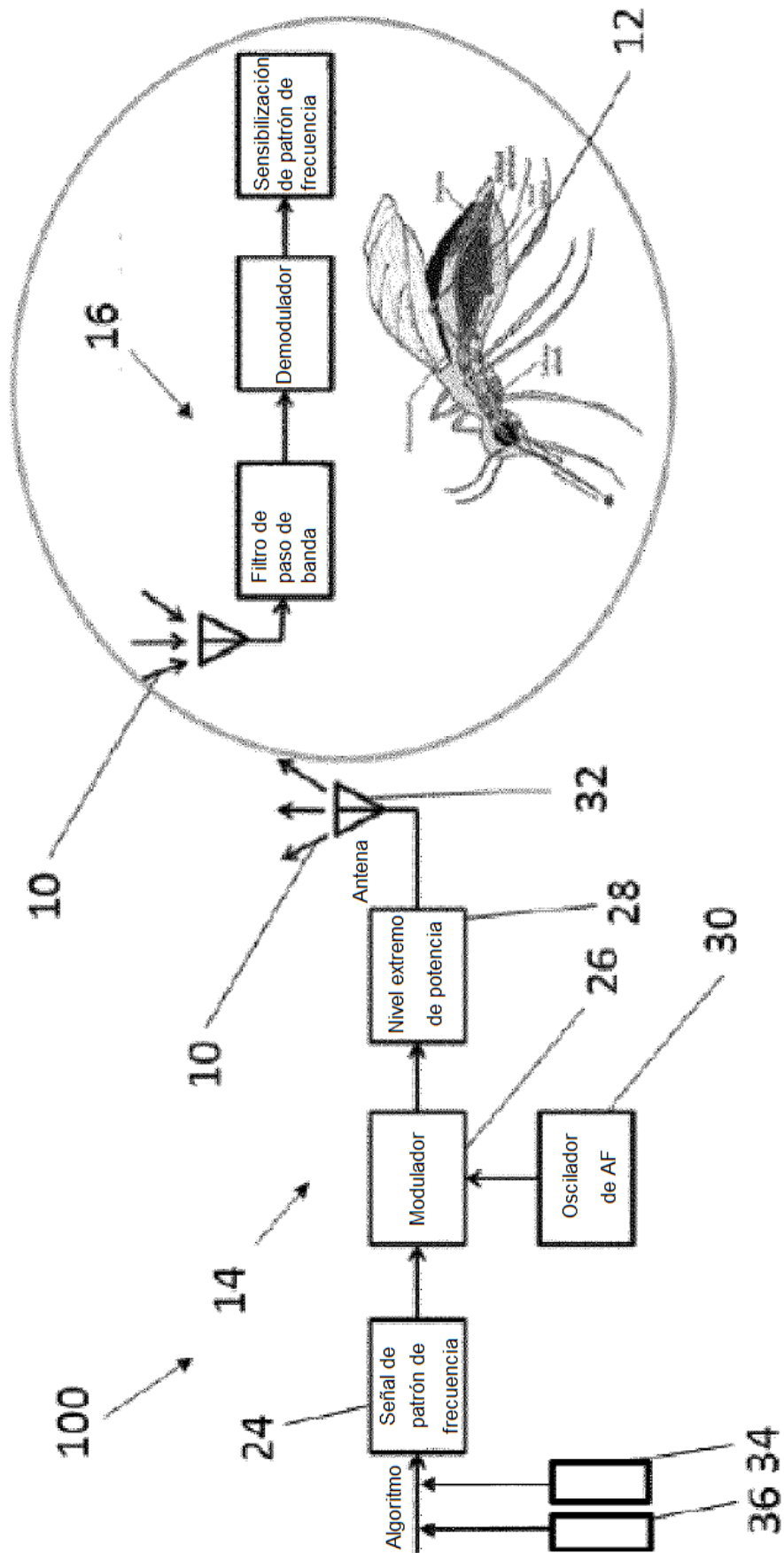


Fig. 49

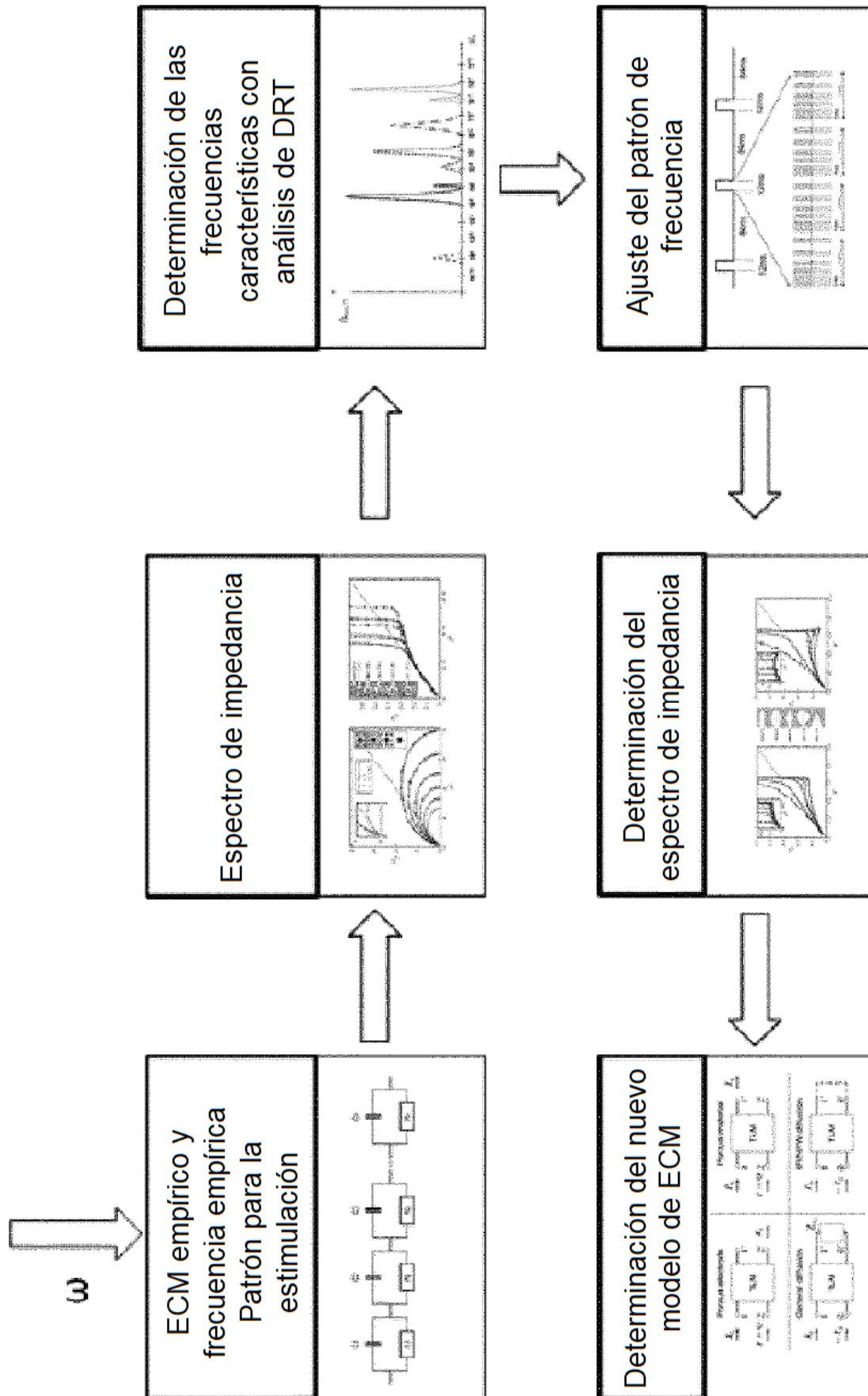


Fig. 50

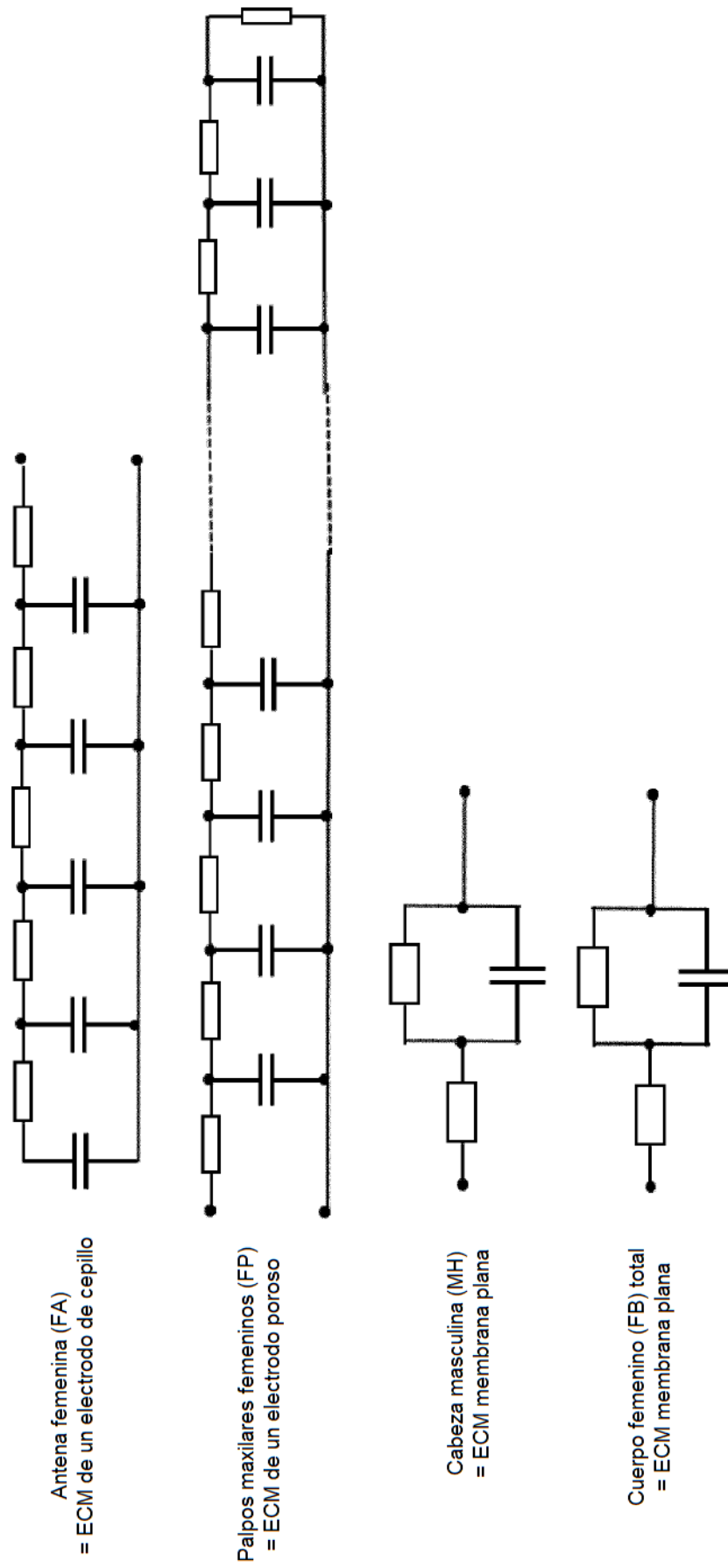


Fig. 51

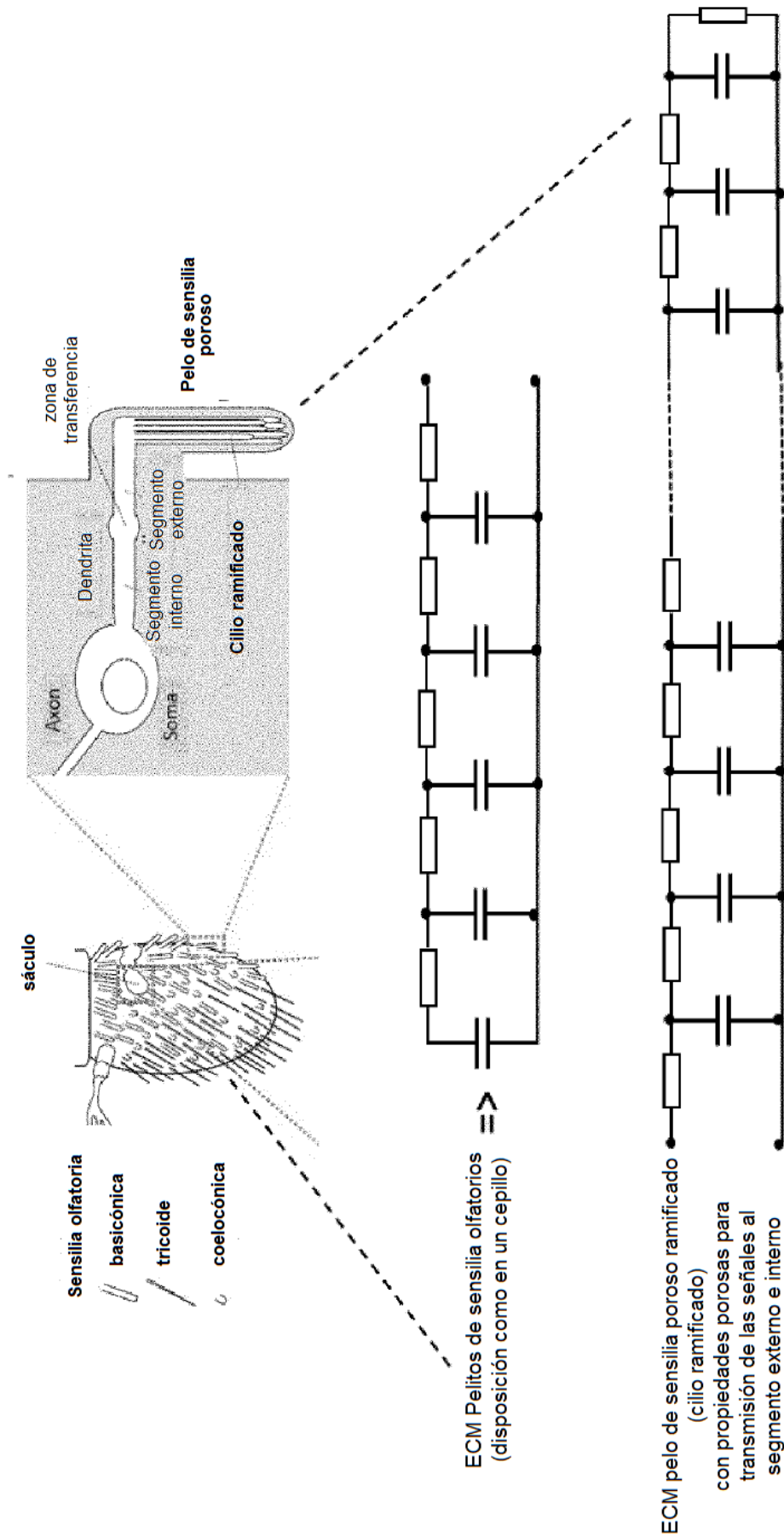


Fig. 52

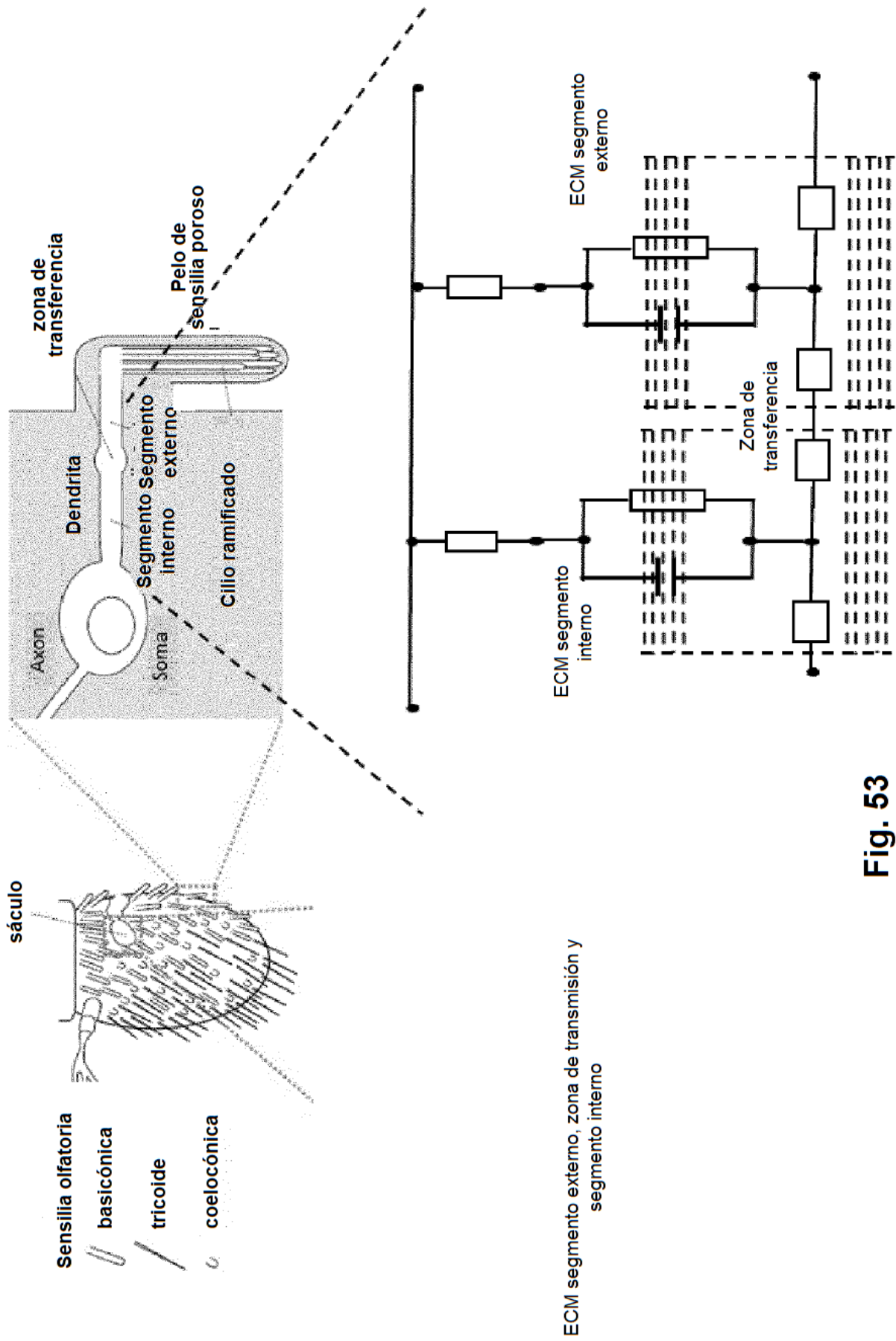


Fig. 53

ECM segmento externo, zona de transmisión y segmento interno

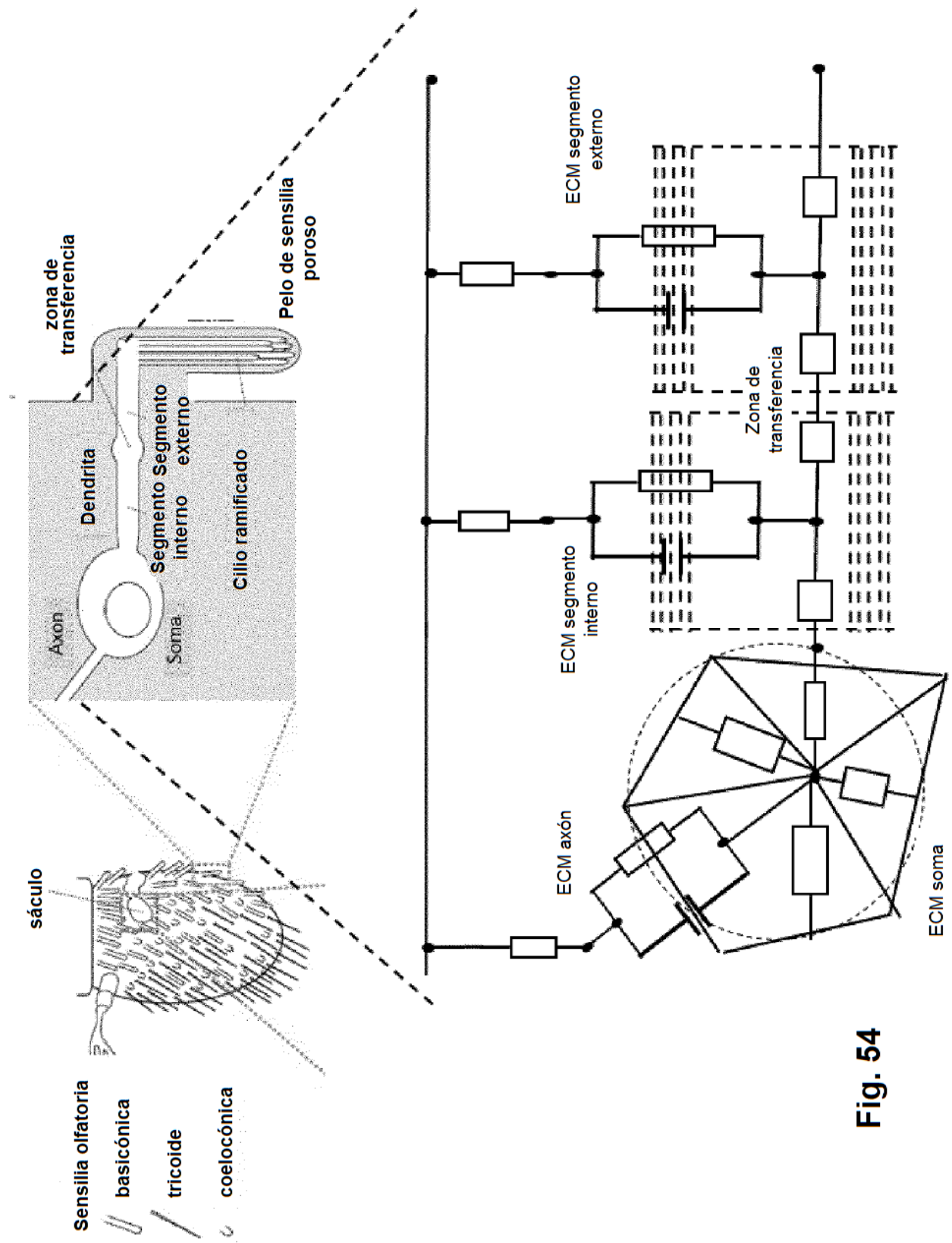


Fig. 54

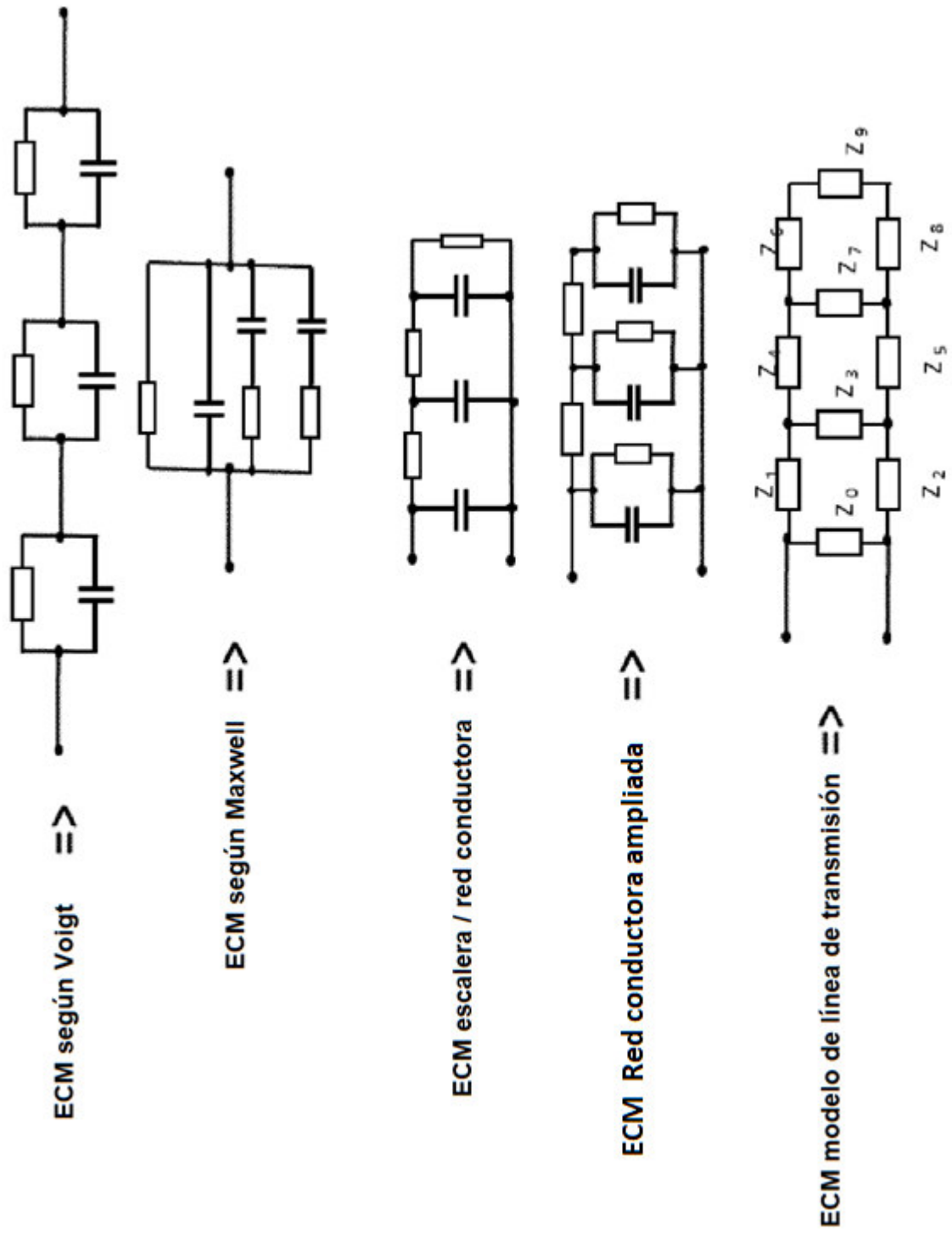


Fig. 55

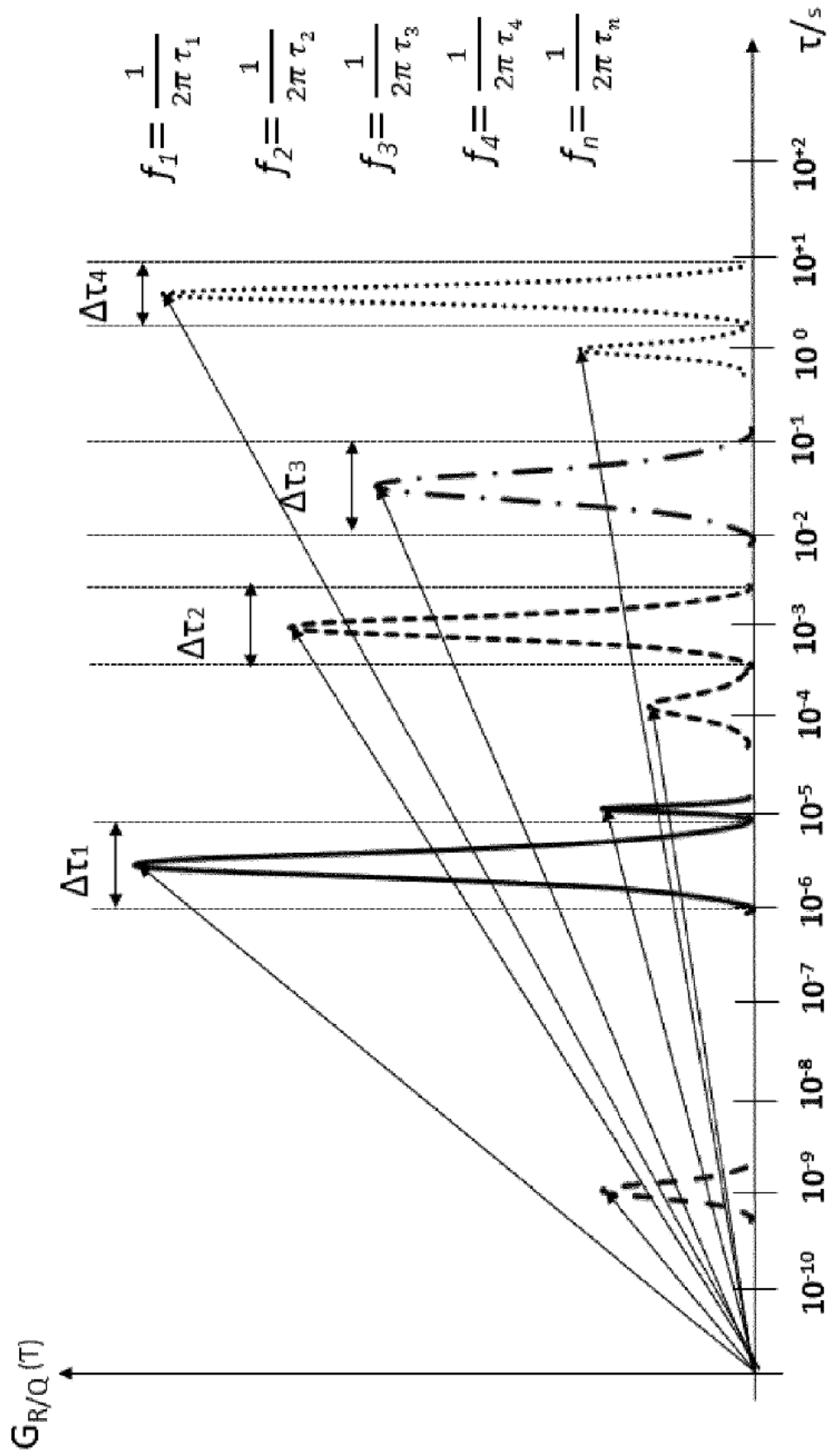


Fig. 56

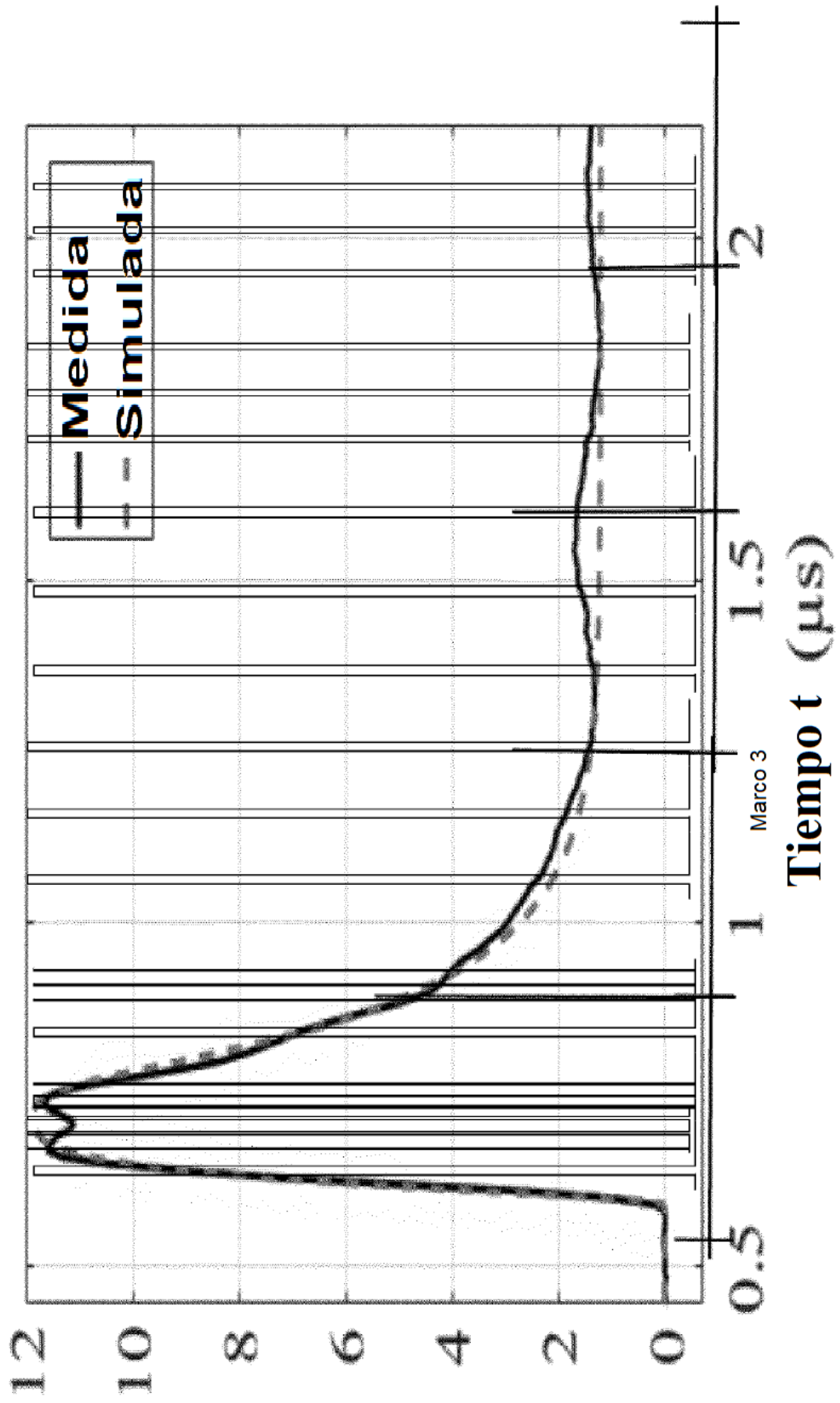


Fig. 57

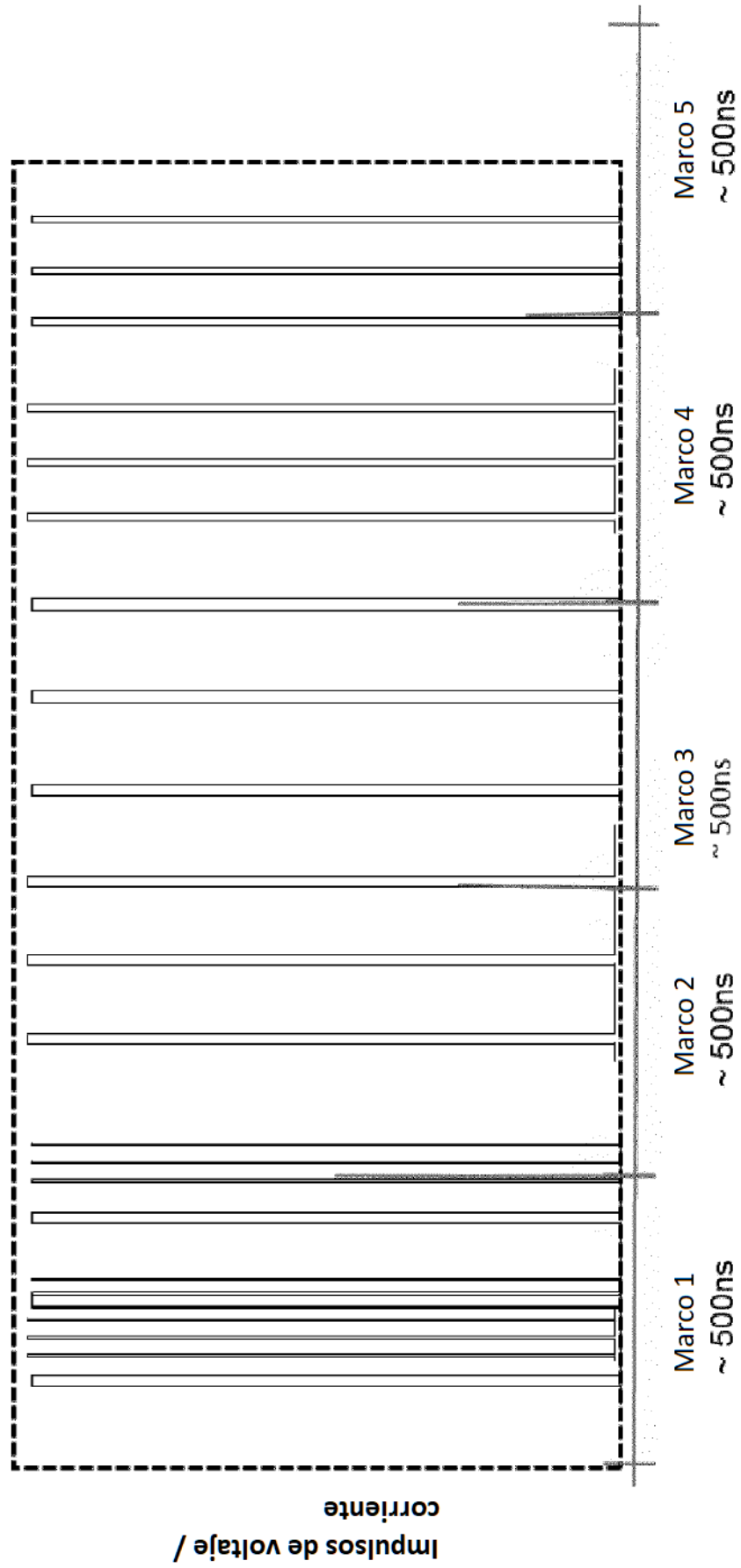


Fig. 58

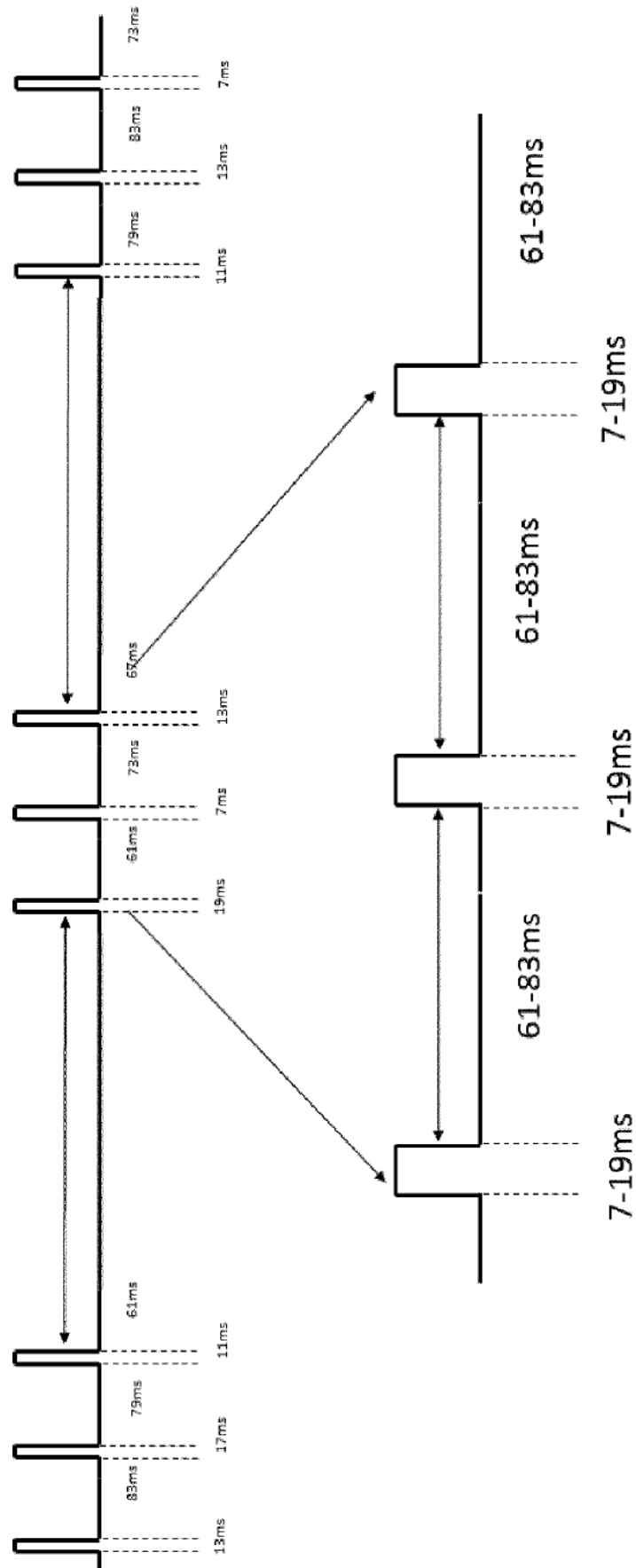


Fig. 59

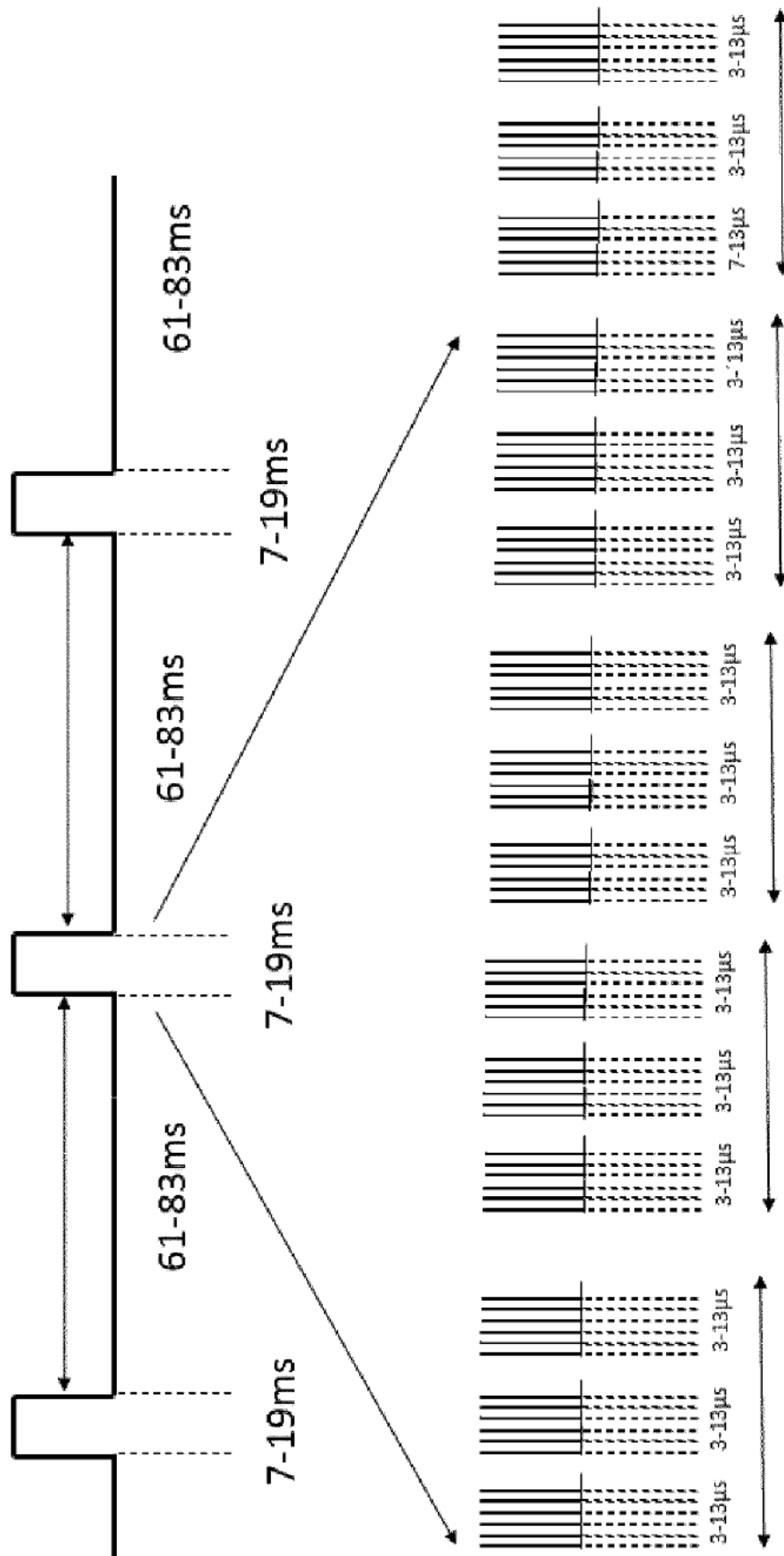


Fig. 60

Espectro de constantes de tiempo Tau

$\sim 3-13 \mu s$ $\Rightarrow$ Pulso de Trichel (impulso sencillo)
 $\sim 37 \mu s$ $\Rightarrow$ Secuencia más baja de pulsos de Trichel (3 o 5 o 7 impulsos de Trichel)
 $\sim 7 \text{ ms a } 19 \text{ ms}$ $\Rightarrow$ Impulsos de Trichel agrupados ~ 513 impulsos de Trichel
 $\bullet 161 \text{ ms}$ $\Rightarrow$ 3 x secuencia 2 con 31-83 ms de duración entre las

Paquete de secuencias 1
 Paquete de secuencias 2
 Paquete de secuencias 3

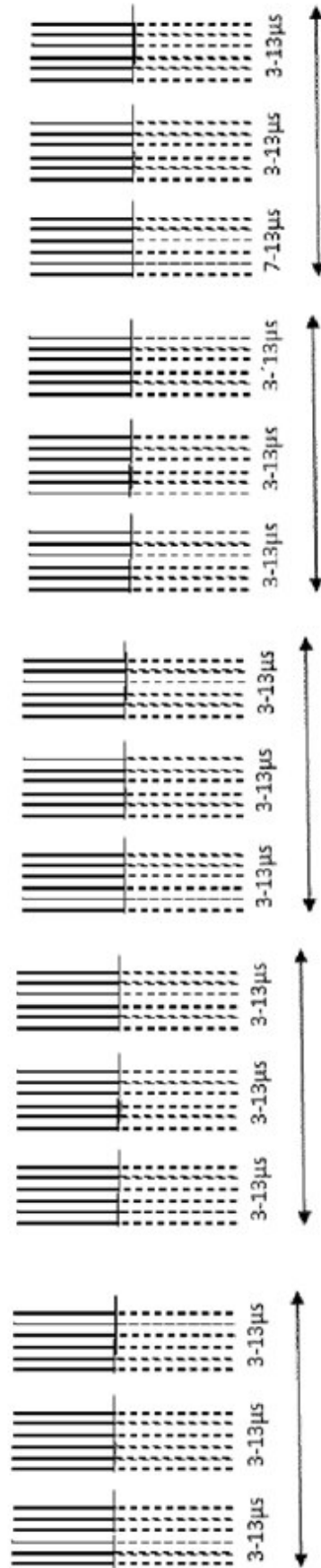


Fig. 61 .

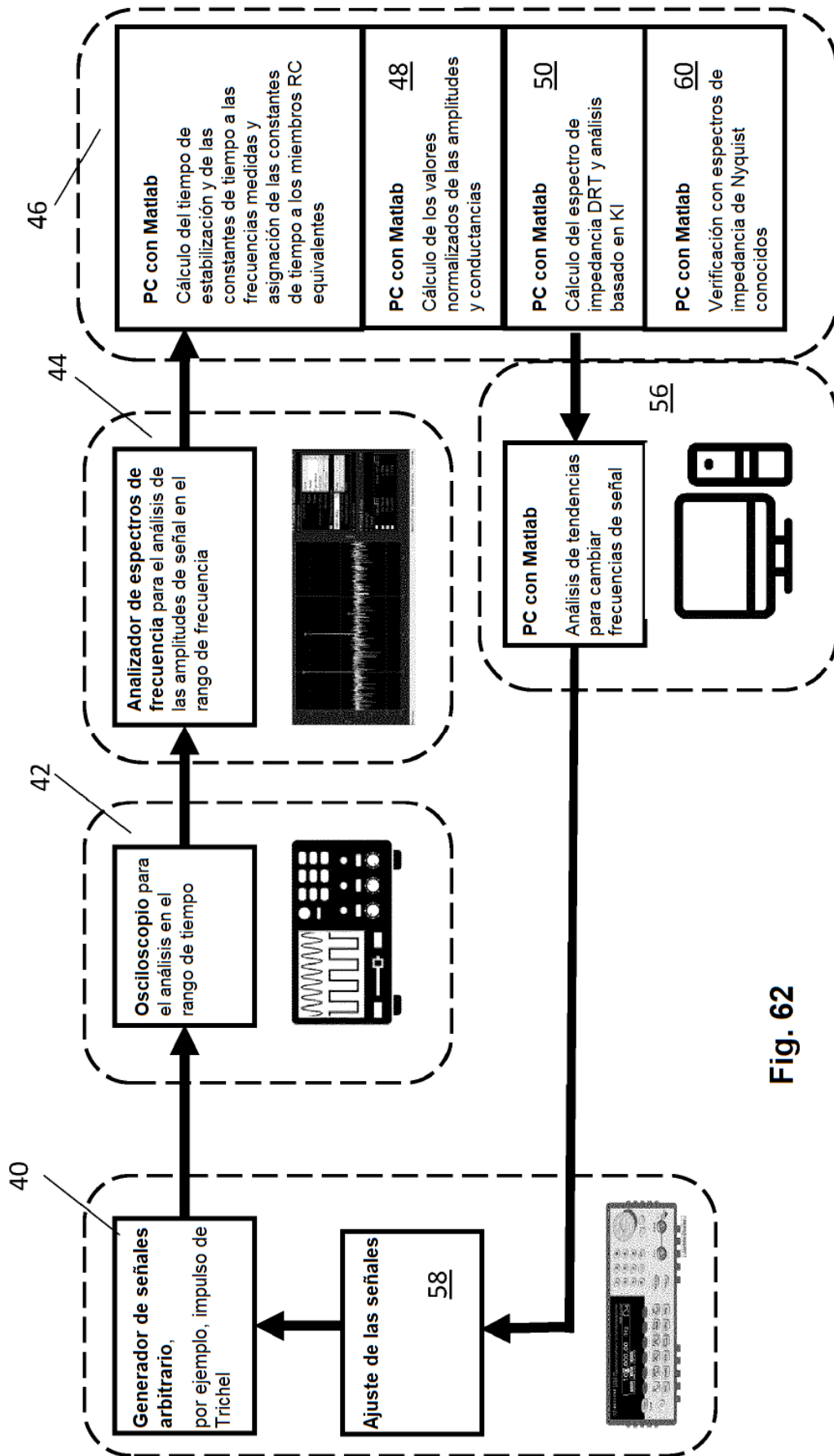


Fig. 62

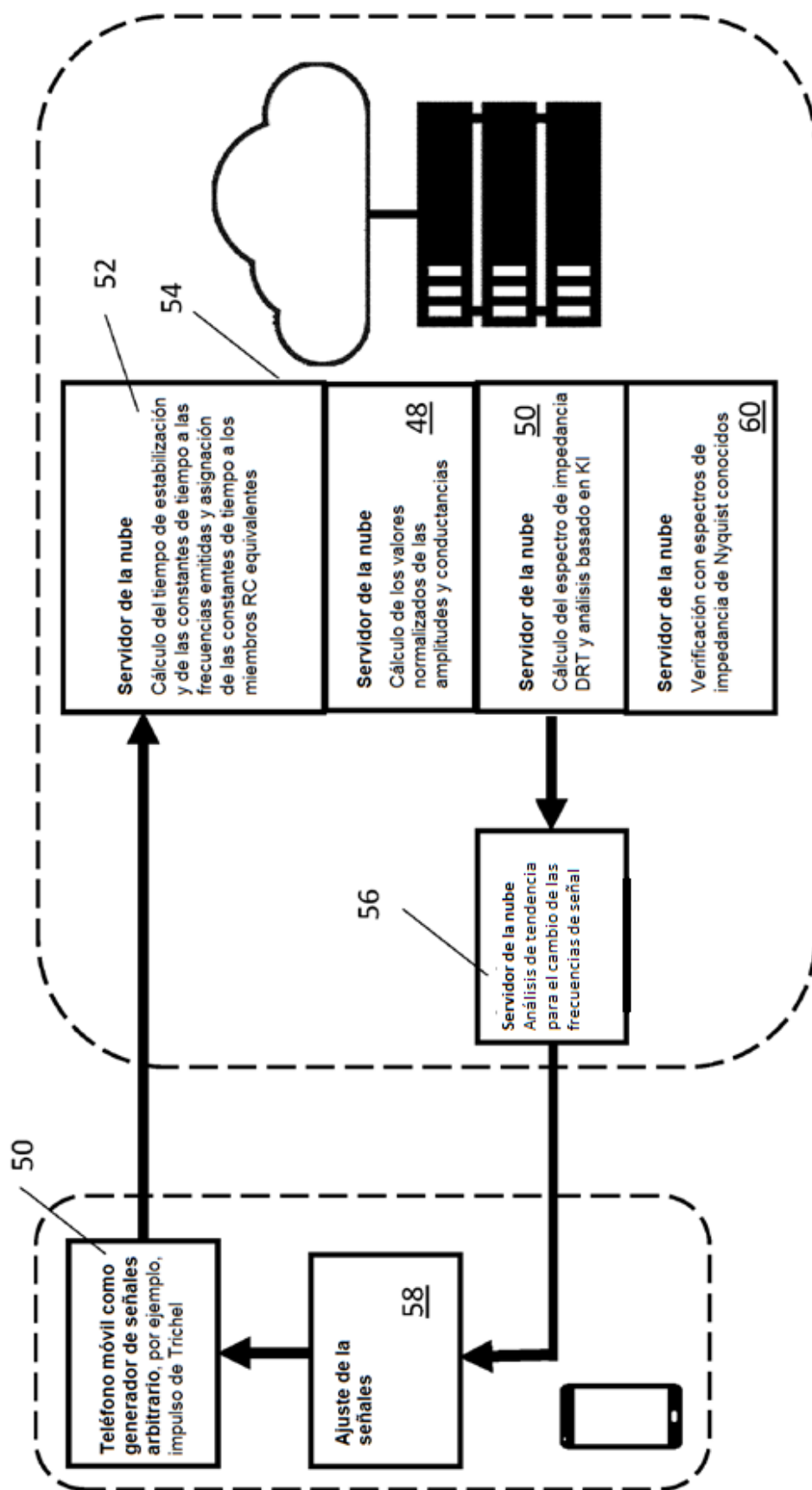


Fig. 63