



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 363 025**

51 Int. Cl.:
H05K 1/02 (2006.01)
H01L 23/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06022498 .7**
96 Fecha de presentación : **27.10.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1916884**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.04.2008**

54 Título: **Unidad de placa de circuito y procedimiento para la producción de la misma.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.07.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.07.2011

73 Titular/es: **AgieCharmilles SA**
Via dei Pioppi 2
6616 Losone, CH
CHARMILLES TECHNOLOGIES S.A.

72 Inventor/es: **Bühler, Ernst;**
D'Amario, Rino y
Knaak, Reto

74 Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

ES 2 363 025 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

Unidad de placa de circuito y procedimiento para la producción de la misma

- 5 La invención se refiere a una unidad de placa de circuito y un procedimiento para la producción de la misma, particularmente una unidad de placa de circuito para extraer el calor disipado por los SMD en aplicaciones de electrónica de potencia.

Antecedentes de la invención

- 10 Cada vez hay más demanda de soluciones de electrónica de potencia para objetos, por ejemplo, que antiguamente, si acaso, se lograban con medios mecánicos o electromecánicos. Los costes laborales y de material siempre crecientes, así como el volumen y el peso de los conjuntos electrónicos, representan el principal obstáculo para soluciones innovadoras. Las tareas que contribuyen a los principales costes son normalmente montar manualmente los semiconductores de potencia y su ensamblaje en dispositivos de refrigeración para evacuar el calor disipado. La fiabilidad de un conjunto viene dictada actualmente en la práctica únicamente por la calidad de estos procedimientos de trabajo manual, añadiéndose, sin embargo, a los costes implicados la garantía de calidad necesaria para este propósito.

- 15 La producción, prueba, operación y mantenimiento de tales conjuntos electrónicos deben ser satisfactorios a una escala internacional. Con este propósito, debe minimizarse el material y la producción, pero también las reparaciones, las modificaciones y, por último, debe garantizarse la eliminación medioambientalmente compatible. La fabricación tiene que ser significativamente más fiable para reducir los costes de prueba. Además, es ventajoso cuando puede hacerse uso de módulos iguales o similares en productos de precio elevado y baratos.

- 20 Un reto totalmente nuevo se ha materializado en la construcción de máquinas herramientas en las que ahora se requiere que los armarios de electrónica sean sustituidos por módulos que luego tengan que instalarse directamente. Como las máquinas herramientas reaccionan al calor disipado dilatándose y deformándose, la refrigeración por aire convencional de los módulos ya no es aceptable, al menos para máquinas de alta precisión.

- 25 En el caso de mecanizado por electroerosión (EDM) la situación es particularmente complicada ya que estos sistemas también incluyen la instalación de módulos generadores con calor disipado del orden de kilovatios.

Técnica anterior

- 30 Se dispone de módulos para impulsar sistemas y campos asociados desde hace mucho tiempo. Estos implican en su mayoría circuitos en derivación o diodos monofásicos a trifásicos, chips IGBT o MOSFET soldados a un sustrato especial de cobre-cerámica y en contacto mediante conductores conectados eléctricamente. Sería factible proporcionar a tales módulos una tarjeta madre posterior refrigerada por agua y encapsularla junto con la electrónica de control.

- 35 La desventaja de esta solución es que el grado de integración de los módulos es demasiado pequeño para llevar a cabo circuitos más complejos y que un fallo parcial en un módulo no puede repararse. Muchos procedimientos manuales críticos para la calidad como aplicar la pasta conductora de calor o el delicado trabajo de sujeción aún permanecen con esta solución. El calor disipado por la electrónica de control también puede ser considerable, no estando resuelto asimismo este problema.

- 40 Los módulos complejos de electrónica de potencia en tecnología de dispositivos de montaje superficial (SMD) están encontrando aplicación siempre creciente en la producción de grandes series de coches y sistemas de impulsión, por medio de la cual los SMD se montan automáticamente sobre una placa de circuito de una sola cara. El lado inferior de la placa de circuito está conectado eléctricamente con una tarjeta madre posterior para extracción de disipación de calor. Una de tales soluciones se desvela en el documento EP0590354B1 y se muestra en la FIG. 3 como técnica anterior. El módulo está conectado al sistema de refrigeración por medio de una tarjeta madre posterior, implicando normalmente capas especiales, delgadas, eléctricamente aislantes con elevada conductividad térmica como mejor refrigeración de los elementos de potencia.

- 45 Aunque los módulos de esta clase son una mejora, tienen la desventaja de que, por una parte, aún no refrigeran adecuadamente cuando está implicada una disipación elevada y, por otra, son prácticamente irreparables porque la tarjeta madre posterior sólida representa un disipador térmico tan alto que la temperatura de soldadura de las soldaduras sin conductores apenas puede lograrse sin estropear el circuito en tal trabajo de reparación. Para hacer que la capa de aislamiento conductora de calor resulte eficaz se fabrica con grosor minimizado, lo cual, por desgracia, también tiene como resultado la desventaja de elevadas capacitancias parásitas eléctricas.

- 50 Una variante de esta solución proporciona dos placas de circuito conectadas eléctricamente a un núcleo de aproximadamente 1 mm a 5 mm de aluminio o cobre y que también puede estar provisto de contactos aislados entre las dos placas de circuito. Aún siguen existiendo las principales desventajas como las enumeradas anteriormente, pero además de esto, los componentes hacia el centro de las placas de circuito reciben considerablemente menos refrigeración, debido a la limitada conductividad térmica lateral de la chapa de refrigeración, ya que el calor sólo

puede extraerse a través de los bordes de la placa de circuito.

El documento US4.835.598A1 desvela una unidad de placa de circuito que comprende un laminado superior de la placa de circuito con pistas conductoras, un laminado eléctricamente aislante debajo del laminado superior, y un inserto conductor de calor en el laminado eléctricamente aislante.

- 5 El documento DE4240996C1 desvela el uso de un inserto eléctricamente aislante hecho de cerámica de Al_2O_3 para disipación de calor.

El documento US2003/010485A1 desvela una chapa de refrigeración de cobre con pasajes de refrigeración así como una chapa de refrigeración compuesta de dos semiplacas estructuradas.

- 10 El documento WO96/23397A desvela un conjunto de circuito que está constituido por dos módulos de placa de circuito en un encapsulado sellado que tiene disipadores térmicos sobre las paredes exteriores.

En el documento EP0844808B1 se desvela una placa de circuito con pasajes de refrigeración integrados directamente para permitir la fabricación con procedimientos populares actualmente de fabricación de placas de circuito, el documento US4.718.163 (mostrado en la FIG. 4) así como el documento US4.706.164 y el documento DE4012100A1 tal como se mencionan en la patente europea muestran soluciones muy similares.

- 15 Es interesante que, a pesar del potencial de innovación de las últimas cuatro patentes desde su solicitud hasta hace 20 años, ninguna de ellas ha encontrado ninguna aceptación apreciable en el mercado. Debe haber razones para esto: en primer lugar, separar fiablemente el refrigerante de la electrónica de la placa de circuito (cuyos laminados tienen a ser ligeramente higroscópicos) es difícilmente alcanzable con los procedimientos como los propuestos, y en segundo lugar, la capacidad de refrigeración de las soluciones desveladas es bastante simplemente inadecuada para aplicaciones de potencia actuales.

- 20 Cuando se integra electrónica de control y electrónica de potencia en un solo módulo, la absorción de agua por los laminados de la placa de circuito es particularmente fatal. El agua, con su constante dieléctrica relativa $\epsilon_R = 80$ tiene como resultado, incluso en pequeñas cantidades, que las capacitancias parásitas se multiplican desventajosamente, con consecuencias catastróficas en vista de las elevadas frecuencias de reloj populares actualmente. Además, la absorción de agua eleva las conductividades y de este modo las corrientes parásitas, estropeando, por ejemplo, los circuitos analógicos de alta impedancia y las barreras de aislamiento.

- 25 La corrosión de las partes metálicas y los depósitos mohosos sobre las partes no metálicas de la placa de circuito son consecuencias negativas adicionales de la absorción de agua. Aunque en estas patentes se proponen refrigerantes alternativos, la capacidad de refrigeración se reduce incluso más drásticamente y pueden aparecer problemas de compatibilidad medioambiental.

30 **Objeto de la invención**

- Comparada con la técnica anterior, la invención está basada en el objeto de definir una unidad de placa de circuito y un procedimiento para su producción que pueda asegurar ahora la extracción adecuada del calor disipado por SMD. Preferentemente, se pretende que la producción, garantía de calidad, operación y eliminación posterior de las unidades de placa de circuito sean mejores en línea con los requisitos medioambientales.

- 35 La invención resuelve este problema con el contenido de las reivindicaciones independientes, en las reivindicaciones subordinadas se describen realizaciones preferidas de la invención.

A continuación se detallarán realizaciones preferidas de la invención con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- 40 las FIGS. 1 y 2 son vistas esquemáticas de la estructura básica de una fresadora de matrices por electroerosión;

la FIG. 3 es una vista de una unidad de placa de circuito de la técnica anterior para refrigerar SMD desvelada en el documento EP0590354B1;

la FIG. 4 es una vista de una unidad de placa de circuito de la técnica anterior para refrigerar SMD desvelada en el documento US4.718.163;

- 45 la FIG. 5 es una vista en corte de la primera realización de una unidad de placa de circuito para funciones de potencia de acuerdo con la invención;

la FIG. 6 es una vista en corte de una primera realización de una unidad de placa de circuito para funciones de control de acuerdo con la invención.

- 50 la FIG. 7 es una vista en corte de una primera realización de un módulo de placa de circuito que comprende dos unidades de placa de circuito de acuerdo con la invención;

la FIG. 8 es una vista en corte de una segunda realización de un módulo de placa de circuito que comprende dos unidades de placa de circuito de acuerdo con la invención;

la FIG. 9 es una vista en corte de un paquete de sistema que comprende módulos de placa de circuito como se muestran en la FIG. 7 y 8;

la FIG. 10 es una vista en corte de una tercera realización de un módulo de placa de circuito que comprende dos unidades de placa de circuito de acuerdo con la invención;

5 la FIG. 11 es una vista en corte de los módulos de placa de circuito como se muestran en la FIG. 7 a la FIG. 10 para ilustrar el flujo de refrigerante;

la FIG. 12 es una vista en perspectiva de una mitad de una chapa de refrigeración con una estructura de laberinto para aumentar la eficiencia de refrigeración;

10 la FIG. 13 es una vista en perspectiva de una parte estructurada para encargarse del refrigerante, el aire comprimido y el aire de evacuación;

la FIG. 14 es una vista en corte de una cuarta realización de un módulo de placa de circuito que comprende dos unidades de placa de circuito de acuerdo con la invención y un moldeo para configurar las paredes del laberinto y del encapsulado.

Descripción de realizaciones preferidas de la invención

15 La invención puede usarse en general para circuitos eléctricos/electrónicos de cualquier clase, siendo su principal campo de aplicación, sin embargo, en ingeniería de máquinas y plantas, especialmente máquinas herramientas de precisión. Por esto es por lo que para contribuir a una mejor comprensión de la invención, ahora se describirán las unidades de placa de circuito con refrigeración integrada conjuntamente con una de tales aplicaciones especiales en la que las unidades de placa de circuito están instaladas directamente en máquinas herramientas y aplicaciones de
20 electrónica de potencia similares, particularmente en mecanizado por electroerosión (EDM), pero que no ha de entenderse restringida a la misma. Con este propósito se describe en primer lugar la configuración básica de tales sistemas de EDM.

La configuración general del sistema de EDM tal como se muestra esquemáticamente en la FIG. 2 puede seccionarse de la siguiente manera: entrada de potencia 1, sector de electrónica 2, conjunto de cables 3 y sector de
25 máquina 4.

El sector de electrónica 2, por ejemplo un armario de electrónica contiene un módulo de voltaje de potencia (CA), un módulo de voltaje de CC (CC), un módulo de control numérico (CNC), uno o más módulos de impulsión (IMPULSIÓN), un módulo generador (GEN) así como un controlador de máquina (CONTROL). Como todo el contenido del sector de electrónica 2 puede ser de volumen y peso sustanciales y la disipación total también puede
30 ser del orden de kW, está situado normalmente a alguna distancia de la máquina 4.

El conjunto de cables 3 es habitualmente de 2 m a 5 m de longitud. Un primer cable conecta los módulos de impulsión (IMPULSIÓN) a los motores que mueven los mecanismos de los ejes de la máquina 4 y conduce la corriente del motor, la corriente para cualquier frenado requerido así como diversas señales de sensores digitales de los transductores de posición. Estos cables constituyen un factor de coste significativo y pueden causar fácilmente
35 problemas durante el funcionamiento si no están diseñados con todo el debido cuidado.

Un segundo cable conecta el módulo generador (GEN) a la pieza de trabajo y al electrodo de la máquina 4. Este segundo cable tiene la desventaja de que las pérdidas del cable, particularmente en corte por hilo, debido a la corriente de impulsos RMS, puede ser de hasta 100 W/m. Aparte de que esto es un derroche de energía, esto también puede tener como resultado deformación térmica de la estructura de la máquina y, por lo tanto,
40 inexactitudes de la pieza de trabajo. Actualmente la única manera de resolver este problema es la compleja refrigeración por agua de los cables.

Otra desventaja también es la elevada rigidez de los cables usados, que típicamente tienen que estar configurados de ocho cables coaxiales en paralelo, teniendo cada uno una sección transversal de cobre de aproximadamente $2 \times 5 \text{ mm}^2$. Como los cables están sujetos a partes estructurales móviles de la máquina, su rigidez también tiene como resultado deformaciones elásticas de estas partes estructurales del orden de micrómetros y de este modo, por supuesto, a inexactitudes correspondientes de la pieza de trabajo.
45

Por último, un tercer cable sirve para conectar el módulo de control de la máquina (CONTROL) a una profusión de funciones en la máquina 4 como, por ejemplo, válvulas de solenoide, bombas, mecanismos auxiliares, interruptores de fin de carrera, sensores de temperatura, medios de seguridad, etc. Asimismo, este tercer cable aumenta considerablemente los costes, no sólo porque implica muchos conductores muy diferentes, sino también porque, en última instancia, cada variante de la máquina requiere un cable especial. Otra desventaja más aparece cuando la máquina 4 y el armario de electrónica 2 se envían por separado al cliente, por ser un riesgo de error añadido la profusión de conexiones del conjunto de cables 3.
50

En la FIG. 1 se muestran los conjuntos destacados de una fresadora de matrices por electroerosión equipada con módulos de placa de circuito (calificados simplemente módulos en lo que viene a continuación o de acuerdo con su función eléctrica correspondiente también como módulo de control, módulo de potencia, y similares). Esta
55

disposición también puede seccionarse según la función en cada caso para una mejor ilustración, lo que a su vez se modulariza según: entrada de potencia 1, sector de electrónica 2, máquina 4, nodo 5, sección de conexión de datos 6 y suministro de energía 7. En la disposición tal como se conoce en primer lugar está implicada una entrada de potencia 1 seguida por el sector de electrónica o el armario de electrónica 2 que comprende un módulo de voltaje de potencia (CA), un módulo de voltaje de CC (CC) y un módulo de control numérico (CNC). En esta realización el sector de electrónica 2 comprende menos elementos y puede estar incorporado, por ejemplo, en la consola del operador. Los elementos adicionales como un módulo de impulsión (IMPULSIÓN), un módulo generador (GEN) y un módulo de control de máquina (CONTROL) están instalados directamente en la máquina 4, es decir, en sus lugares de funcionamiento.

En esta realización están provistos enlaces en la sección de conexión de datos 6 del sistema, todos los cuales, como en una disposición radial, se reúnen en el nodo 5. Las conexiones digitales forman una clase de red local o red de datos que interconecta e intercomunica los diversos módulos del sistema y/o al nodo 5. En la presente realización, el nodo 5 se usa para acceder a información o recursos a los diversos módulos del sistema, como el módulo generador configurable (GEN).

Por supuesto, es necesario hacer que los módulos resulten inmunes al duro entorno de la máquina que implica suciedad, rociones de agua e interferencia electromagnética, cumpliendo estos requisitos un alojamiento de plástico metalizado cerrado, o aún mejor, un alojamiento totalmente metálico.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 5, se ilustra una vista en corte a través de la estructura de una unidad de placa de circuito para funciones de potencia (calificada simplemente placa de potencia en lo que viene a continuación) con refrigeración por fluido integrada. Se entiende que una "placa de potencia" es un conjunto electrónico que comprende una placa de circuito con semiconductores de potencia de SMD montados por soldadura, como diodos, MOSFET e IGBT, pero también elementos de potencia de SMD pasivos como condensadores, inductancias, transformadores, resistencias o sensores, accionadores y conectores. Por supuesto, los componentes pasivos también se benefician de la refrigeración por fluido al permitir que se seleccionen más pequeños y contribuyendo así a una compacidad añadida.

Las corrientes implicadas son típicamente de 5 A a 200 A y los voltajes típicamente de 50 V a 1200 V. Se entenderá que incluso los semiconductores avanzados y los elementos pasivos presentan una eficiencia inferior al 100%, de manera que aparecen pérdidas de potencia considerables. Un módulo de potencia con una entrada calculada, por ejemplo, a 3,5 kW y una eficiencia del 86% tiene como resultado una pérdida de potencia de 490 W. Para encargarse de las corrientes elevadas, hoy en día están en uso pistas conductoras de incluso más de 0,2 mm de grosor.

Para evacuar tales pérdidas de potencia elevadas el laminado superior 8 de la placa de potencia se dimensiona particularmente delgado y posteriormente se provee de orificios pasantes metalizados 11 debajo de los SMD 12 que tienen elevado calor disipado. Para las pistas conductoras 10, en la mayoría de los casos bastan dos planos que pueden estar unidos por orificios pasantes metalizados, hechos posible, por ejemplo, gracias a la separación rigurosa de los circuitos de potencia y las señales de control por los conectores de SMD 13 que sacan las señales de control de la placa de circuito de la manera más corta posible.

Tales placas de circuito delgadas como el laminado superior 8, de 0,1 mm a 1 mm de grosor, serían inadecuadas para procedimientos de soldadura industrial por su falta de estabilidad, pasando por alto también que son un aislante eléctrico de la chapa de refrigeración 16. Por esto es por lo que está provisto un laminado 9 que en cuanto a grosor y estructura está optimizado respecto a los factores; refrigeración efectiva, resistencia aislante y pequeñas capacitancias parásitas. Esta optimización tiene como resultado laminados de 0,2 mm a 2 mm dependiendo de los requisitos.

Para SMD 14 que tienen una baja disipación de calor, la conductividad térmica inferior de aproximadamente 0,3 W/mK de los laminados ya es suficiente para transportar el calor a la placa refrigeradora 16 con los pasajes de refrigeración 17. Para SMD 12 que tienen una elevada disipación de calor, insertos cerámicos de elevada conductividad térmica 15 de igual grosor que el laminado de aislamiento 9 están incrustados allí para minimizar la diferencia de temperatura entre los SMD 12 y la chapa de refrigeración 16. Es posible establecer esta diferencia de temperatura como se desee mediante la pluralidad de orificios pasantes metalizados 11 entre la isla de soldadura de los SMD 12 y una isla similar en el lado opuesto del laminado superior 8. Esto tiene la ventaja de que todos los SMD pueden mantenerse a aproximadamente la misma temperatura al disminuir la tensión térmica. La combinación de un laminado superior delgado 8 y un laminado de aislamiento 9 con los insertos cerámicos 15 tiene como resultado una estructura elástica lateral capaz de encargarse de la dilatación térmica. Tal módulo de potencia resiste un ciclo de temperatura más prolongado y de este modo tiene una vida útil más prolongada que las soluciones conocidas.

Las pruebas han mostrado que con un sistema que tiene un laminado superior 8, de 0,8 mm de grosor, por ejemplo, e insertos de cerámica de óxido de aluminio 15 de 0,6 mm de grosor, pueden evacuarse fiablemente 40 W para un encapsulado de SMD D2PAK e incluso 70 W con un encapsulado de SMD D3PAK bajo condiciones de funcionamiento reales. Ha de observarse que los encapsulados correspondientes TO220 y TO247 para componentes cableados no permiten ni siquiera la mitad de tal rendimiento, haciendo posible ahora este avance fundamental un diseño mucho más compacto.

Hacer el laminado superior 8 y los insertos cerámicos de nitruro de aluminio 15 aún más delgados haría posible encargarse de las pérdidas de potencia incluso más elevadas. Sin embargo, existen límites críticos para cuánto pueden cargarse los SMD, por encima de los cuales la fiabilidad cae en general debido al ciclo de temperatura. En este intervalo, reducir la temperatura del componente en 10°C puede tener como resultado que se duplique la vida útil.

Las escotaduras en el laminado aislante 9 para los insertos cerámicos 15 pueden producirse mediante procedimientos como la fabricación habitual de placas de circuito o en producción de grandes series, por ejemplo, también mediante troquelado. Por supuesto, la inserción de los insertos cerámicos 15 puede automatizarse asimismo en la producción de grandes series. Como alternativa, también pueden estar provistas sólo escotaduras en el laminado de aislamiento 9 para inserción de insertos cerámicos 15 más delgados que el laminado de aislamiento 9.

Particularmente idóneo como material para los insertos cerámicos 15 es el nitruro de aluminio (AlN) anteriormente mencionado con una conductividad térmica de 180 W/mK, pero bien puede ser que el mucho más barato óxido de aluminio (Al₂O₃) con una conductividad térmica de 27 W/mK sea adecuadamente apropiado. Asimismo es apropiado el óxido de berilio (BeO) con una conductividad térmica de 260 W/mK pero tiene menos preferencia debido a que su polvo es muy tóxico. La rigidez dieléctrica con todas estas cerámicas está dentro del excelente intervalo de 10 a 20 kV/mm y es más que adecuada a la hora de cumplir los requisitos, por ejemplo, en EDM. La constante dieléctrica relativa ϵ_R en el intervalo de 6,5 a 8,5 es más decisiva en cuanto a seleccionar el grosor del laminado de aislamiento 9 y de los insertos cerámicos 15.

Para conectar eléctricamente los laminados 8, 9 y la chapa de refrigeración 16 puede recurrirse a procedimientos bien conocidos para placas de circuito multicapa y los procedimientos para producir los módulos de placa de circuito anteriormente mencionados con tarjetas madre posteriores metálicas, por medio de los cuales los laminados 8, 9 y la chapa de refrigeración 16 son conectados eléctricamente con hojas preimpregnadas, es decir, películas prepolimerizadas de hasta 50 micrómetros de grosor son polimerizadas en un procedimiento de cocción posterior. Las hojas preimpregnadas tienen una duración útil de almacenamiento de más de 6 meses a temperatura ambiente. Tales hojas preimpregnadas también pueden rellenarse de un polvo, comprendiendo entonces una mejor conductividad térmica. Son adecuados, por ejemplo, los productos THERMAL CLAD comercializado por Bergquist Co. (www.bergquistcompany.com) o T-LAMINATE y T-PREG comercializados por la compañía Thermagon (www.thermagon.com). Cualquier espacio intermedio e irregularidad es totalmente rellenado en la polimerización bajo presión y calor, teniendo como resultado una placa de circuito tal que entonces presenta estabilidad adecuada idónea para todos los procedimientos de soldadura industrial.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 6 se ilustra la contraparte a la placa de potencia, concretamente la placa de control que comprende todos los SMD necesarios 18, 20, 21, etc. para comunicación ambiente y operar la placa de potencia. Aquí, sin embargo, los requisitos son totalmente diferentes. Por ejemplo, se requiere que el laminado superior 19 aloje principalmente patrones de pistas muy complejos y aunque las corrientes y voltajes significativos son meramente del orden de miliamperios y voltaje, las frecuencias son del orden superior a MHz. Pero la pérdida de potencia total de una placa de control es normalmente inferior a 50 W. No obstante, puede ser una ventaja, por ejemplo bajo un procesador 18 con gran calor disipado proporcionar las mismas medidas que para una placa de potencia (orificios pasantes metalizados 11 y/o insertos cerámicos 15). Los encapsulados de BGA avanzados comprenden conductores en el lado inferior que los hacen particularmente apropiados debido a su buen contacto térmico.

Si sólo están implicados SMD 21 que tienen baja disipación de calor, pueden omitirse una de estas medidas o ambas para ahorrar costes y un laminado de aislamiento habitual 9 empleado sin escotaduras. Los conectores de SMD 20 como la contraparte de los enchufes de SMD 13 de la placa de potencia deben ser, por supuesto, una concordancia perfecta y ser colocados correspondiendo con precisión.

La chapa de refrigeración 16 con los pasajes de refrigeración 17 puede seleccionarse idéntica a los de la placa de potencia y la fabricación, por lo demás, no es diferente de la de una placa de potencia.

Tanto las placas de potencia como las de control pueden montar sensores de tipo SMD de una amplia variedad, en particular sensores de voltaje y corriente, sensores de temperatura, sensores de humedad así como sensores de tensión y de presión. La detección, por ejemplo, de las temperaturas en la entrada y la salida de refrigerante y la potencia eléctrica en la entrada y la salida de la corriente y el voltaje permite el cálculo preciso del caudal efectivo de refrigerante, por ejemplo, a partir de la diferencia de temperatura y la diferencia de potencia eléctrica.

La principal tarea de los diversos sensores es detectar los valores para control de bucle abierto y cerrado, para salvaguardar y vigilar los módulos. A través del conector ENLACE 23 ya existente los valores detectados pueden comunicarse a un controlador anfitrión o ser obtenidos por el mismo con la ventaja del ensamblaje de bajo coste en cualquier ubicación de las placas de circuito, la comunicación de datos sin complicaciones así como el buen contacto existente con el dispositivo de refrigeración.

También es posible incluir accionadores en las placas de circuito, por ejemplo válvulas de solenoide en miniatura para control de bucle abierto y cerrado del flujo de refrigerante para mejorar el mantenimiento de la temperatura de la electrónica en un valor constante. En esta disposición, se mantiene la separación del refrigerante de la electrónica

ya que la fuerza de accionamiento se comunica magnéticamente a través de la pared de la chapa de refrigeración 16. La ventaja de esto es una extensión significativa de la vida útil de los módulos porque esto permite reducir el número de ciclos de temperatura y de este modo la tensión por dilatación térmica. También es posible incluir accionadores de SMD, como relés o mecanismos eléctricos en miniatura, por ejemplo para realizar funciones de conmutación.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 7, se ilustra la combinación simple de una placa de potencia y una placa de control al formar un módulo de potencia. Además se muestran conductores eléctricos con el mundo exterior. El conector ENLACE 23 conecta la placa de control a controladores anfitriones a través de una interfaz estandarizada. El suministro de energía de la placa de control en esta disposición se transmite preferentemente junto con los flujos de señales a través de este conector ENLACE 23. Un conector de CC 24 suministra a la placa de potencia un voltaje de CC de alta potencia seleccionado maximizado para minimizar las pérdidas en los cables a pesar de la alta potencia.

Debido a las corrientes habitualmente muy altas, la salida de potencia 25 de la placa de potencia normalmente se encaja a presión, requiriendo que se inserten terminales con una pluralidad de contactos de patillas en una disposición precisa de orificios pasantes metalizados en la placa de circuito, contribuyendo las muchas conexiones de deformación plástica estancas al gas resultantes a resistencias de contacto estable muy bajas y duraderas.

La ventaja de esta primera realización para un módulo de potencia es un encapsulado herméticamente sellado simplemente añadiendo paredes laterales 22 y partes estructurales 32, 35, 37. Las superficies exteriores implican principalmente placas de refrigeración que impiden eficazmente que el calor se disipe al entorno. Los procedimientos populares actualmente son suficientes para fabricar las placas de circuito y su soldadura.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 8, se ilustra una segunda realización de un módulo de potencia en el que una placa de potencia 26 está respaldada por una placa de control 27. Esta disposición es ventajosa cuando se desean paquetes de sistema como se muestra en la FIG. 9. En esta disposición, en primer lugar se dispone un módulo de potencia como se muestra en la FIG. 5, luego se complementa por cualquier número de módulos como se muestra en la FIG. 8, y finalmente el paquete de sistema se completa con un módulo de control como se muestra en la FIG. 6.

La configuración como se muestra en la FIG. 8 es algo problemática debido a que implica un módulo que tiene que ser soldado por los dos lados. Aunque esto puede hacerse con la tecnología actual, cualquier reparación o modificación posterior plantea dificultades. Por esto es por lo que ahora se proponen dos alternativas. O la chapa de refrigeración 16 está duplicada, es decir, una placa de potencia como se muestra en la FIG. 5 y una placa de control como se muestra en la FIG. 6 ensambladas adosadas dentro de un módulo de potencia para volver a separarlas en cualquier momento, o la placa de control 27 están conectadas de manera desmontable a la chapa de refrigeración 16. Como la pérdida de potencia de la placa de control 27 en total tiende a ser inferior también puede configurarse con laminados más gruesos y soldarse a escala industrial sin una chapa de refrigeración de refuerzo 16 o, a lo sumo, sólo con una chapa metálica delgada.

Esta conexión desmontable no tiene que ser ni eléctricamente conductora ni aislante, sino que debería tener una buena conductividad térmica y resistir una temperatura de funcionamiento de hasta aproximadamente 100°C. Para conexiones desmontables pueden usarse, por ejemplo, soldaduras de bajo punto de fusión como aleaciones de estaño-bismuto, por ejemplo la aleación Sn42/Bi58 con un punto de fusión de 138°C. Tal conexión presenta una buena conductividad térmica pero entra en consideración básicamente para una conexión entre capas de cobre.

Otra posibilidad son las conexiones eléctricas especiales de fusión en caliente que para reparaciones posteriores pueden volver a fundirse abiertos. Un producto basado en poliamida AC-2050 comercializado por la compañía Abifor (www.abifor.com) tiene una resistencia a la temperatura de hasta 95°C y puede ser trabajado a aproximadamente 140°C. Un producto similar basado en poliolefina L235 comercializado por la compañía Wevo (www.wevo-chemie.de) tiene una resistencia a la temperatura de hasta 100°C y una temperatura de trabajo de 130°C.

Una posibilidad sencilla alternativa son películas autoadhesivas por las dos caras rellenas de polvo de cerámica desarrolladas especialmente para montar dispositivos de refrigeración en placas de circuito, un ejemplo de las cuales es el producto THERMATTACH T413 comercializado por la compañía Chomerics (www.chomerics.com). Aunque el material tiene una conductividad térmica de sólo 0,35W/mK esta es totalmente suficiente en este caso. Por ejemplo, una placa de control con un área superficial de, por ejemplo, 233 mm por 340 mm podría ser cargada de polvo hasta 155 W para un grosor de película de 0,178 mm y una diferencia de temperatura de 1°C respecto a la de la chapa de refrigeración 16, lo cual es al menos tres veces mejor que lo necesario. Cuando es necesaria una reparación, esta conexión eléctrica adhesiva puede soltarse con una espátula, pero requiere una nueva película cuando se reutiliza.

Una solución incluso más económica es proveer entre la chapa de refrigeración 16 y la placa de control 27 una capa permeable al aire 50 (véase la FIG. 11) y evacuar la combinación a través de las aberturas 52 y 51 en la chapa de refrigeración 16 (véase la FIG. 12) y las aberturas 53 en la parte estructurada como se muestra en la FIG. 13. El espacio para la capa permeable al aire 50 está entonces a la presión del aire. La cámara en la que está ubicada la placa de control 27 está sometida a una ligera sobrepresión que tiene como resultado que la placa de control 27 es

empujada contra la chapa de refrigeración 16. La placa de control 27 que tiene, por ejemplo, un área superficial de más de 790 cm² experimentaría una presión diferencial de sólo 10 mbar, teniendo como resultado una presión de contacto de 79N. Esta ya es suficiente para poner la placa de control 27 a través de la capa permeable al aire 50 en buen contacto térmico con la chapa de refrigeración 16 en tanto que permitiendo que la placa de control 27 sea soltada de la chapa de refrigeración 16 siempre que se requiera.

Para una buena refrigeración la capa 50 no sólo debe ser permeable al aire sino también presentar además buena conductividad térmica. Posibles materiales con este fin son telas metálicas finas, películas de polímero estructurado como, por ejemplo, el producto THERMA-A-GAP T274-estriado comercializado por la compañía CHOMERICS (www.chomerics.com), telas de los más diversos materiales, o también simplemente nada. Por supuesto, existen muchas otras soluciones y medios, como, por ejemplo, microcanalizar la chapa de refrigeración 16 o hacer el lado inverso de la placa de control 27 irregular, o conectar esta zona directamente a través de un orificio en las paredes laterales 22 a la presión del aire ambiente o incluso generar un vacío en esta zona.

Cuando la capa permeable al aire 50 tiene una conductividad térmica suficientemente elevada el procedimiento también puede aplicarse a la placa de potencia 26. Cuando se usa una chapa de refrigeración de gran masa 16 es particularmente ventajoso para soldar y reparar si la placa de potencia 26 también comprende una conexión desmontable a la chapa de refrigeración 16. En otras palabras, generalmente es el caso en que se requiere una diferencia de presión de aire para lograr una presión de contacto para mejor transferencia de calor.

La evacuación del aire a través de los conectores 35, 36 tiene la ventaja fundamental de que los módulos permanecen herméticamente sellados. Aunque aparecen costes añadidos para una conexión de tubo adicional, el aire puede descargarse entonces (y suministrarse donde sea necesario) en una zona protegida, si no, cualquier fluctuación en la presión del aire tendría como resultado que lograría entrar humedad o polvo al módulo. Un vacío dentro de un módulo es menos preferido por las mismas razones, ya que incluso la más leve fuga en el encapsulado tendría como resultado instantáneamente que el aire ambiente sucio y la humedad entrarían en el encapsulado. En comparación, sólo un módulo ligeramente modificado puede operarse sin problema incluso sumergido en agua o dieléctricos para EDM, en cuyo caso las conexiones desmontables de las entradas y salidas del módulo serían sustituidas por entradas de cable con empaquetaduras.

Una aplicación que es la más extrema es, por ejemplo, el uso de los módulos en manipuladores robóticos para obtener muestras de material sumergidas hasta una profundidad de 10 m en agua de refrigeración del reactor de una planta nuclear. Tal muestreo es de vital importancia al evaluar la seguridad de funcionamiento de las plantas de energía nuclear, ya que están en riesgo enormes cantidades de dinero si una estación de energía nuclear tiene que pararse prematuramente, o tardíamente en un desastre. Tal como se consigue actualmente, los impulsos de erosión tienen que suministrarse a lo largo de cables de alimentación coaxiales de 60 metros de longitud en detrimento de la calidad y eficiencia de los impulsos. Los módulos o el paquete de sistema serían puestos en uso preferentemente a una presión de aire elevada. Para esta aplicación se seleccionaría una presión de aire ligeramente superior a la presión de agua y se adaptaría automáticamente a la profundidad del agua. Además sería necesario, debido al nivel de radiación, mantener los voltajes de funcionamiento de las placas de potencia más o menos bajos y usar componentes y materiales especiales tolerantes a la radiación. Las funciones vitales además serían mantenidas en espera de manera redundante, porque en este caso no existe posibilidad de reparación, siendo clasificado concretamente el manipulador robótico después de usar por primera vez como residuo radiactivo.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 9, se ilustra un paquete de sistema que, para una mejor comprensión, se representa exageradamente grueso. Un módulo generador de impulsos de 3,5 kW típicamente sería de aproximadamente 350 mm de longitud, aproximadamente 250 mm de anchura y aproximadamente 40 mm de grosor. De este modo un paquete de sistema de 10,5 kW sería de sólo aproximadamente 120 mm de grosor con un volumen de 10,5 dm³, teniendo como resultado una densidad de potencia específica de 1kW/dm³. Aunque esta no es particularmente elevada, tiene que recordarse que lo que está implicado es un sistema complejo en total y que más de la mitad del volumen está ocupado por placas de control y el sistema de refrigeración.

La realización descrita hasta ahora puede sufrir un problema. Si, por ejemplo, la placa de potencia 26 irradia interferencia electromagnética muy intensa, la placa de control 27 puede estar expuesta excesivamente si está situada en las inmediaciones. Una posibilidad de contrarrestar esto es insertar una chapa de protección adicional entre las dos placas.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 10, se ilustra una solución aún más efectiva. Esta tercera realización de un módulo comprende escotaduras 28 en la chapa de refrigeración 16 para interconectar los conectores 29. La chapa de refrigeración 16 que está hecha preferentemente de aluminio o cobre es una protección excelente contra interferencia tanto eléctrica como magnética de alta frecuencia. Dependiendo del perfil del SMD las conexiones entre la placa de control 27 y la placa de potencia 26 tienden a ser algo más cortas.

El problema de los componentes de dos caras es en este caso el mismo que en la segunda realización tal como se muestra en la FIG. 8 y las soluciones al mismo son asimismo las mismas que las propuestas por medio de la FIG. 8. Los módulos tal como se muestran en la FIG. 10 también pueden ser apilados en paquetes de sistema como se describió anteriormente. Pero los módulos deberían ser apilados preferentemente de manera que siempre sea el caso de que las placas de potencia o las placas de control estén enfrentadas entre sí directamente. Esto ahorra el

proveer compartimentación y son suficientes únicamente una tarjeta madre posterior 30 y un plano frontal 31 para los cierres.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 11, se ilustra el flujo de refrigerante como se muestra en las FIGS. 7 a 10 en los módulos, pero ahora en una vista en corte girada 90°. La pared lateral derecha comprende partes estructuradas hechas, por ejemplo, de aluminio y un conector de refrigerante inferior 35 y un conector de refrigerante superior 37 (véase también la FIG. 13) para tener como resultado que la chapa de refrigeración 16 se sujete en su sitio. Juntas herméticas 36, como juntas tóricas, juntas de estanqueidad o pasta obturadora, por ejemplo pasta de silicona, tienen que asegurar la separación del refrigerante y la electrónica. El paquete completo se mantiene junto mediante tornillos o elementos de sujeción similares (no mostrados).

El flujo de refrigerante está indicado por flechas. Para cada chapa de refrigeración 16, parte del flujo de refrigerante se ramifica para fluir por un pasaje de distribución 33 y se dirige por medio de varias aberturas de entrada de flujo 34 preferentemente sobre estructuras de laberinto transversalmente a través de la chapa de refrigeración 16. En la parte posterior de la chapa de refrigeración 16 el refrigerante es devuelto en pasajes simétricos a un retorno de refrigerante dentro de los conectores de refrigerante 35, 37. Con los módulos, el conector de refrigerante superior 37 comprende sólo las aberturas para aire comprimido para cerrar así el sistema de refrigeración. Los paquetes de sistema apilados también pueden presentar en la parte superior un conector de refrigerante para mejorar el flujo.

En lugar de la pared lateral 32 mostrada a la izquierda, el retorno de refrigerante podría estar dispuesto allí. Pero esto implicaría la desventaja de que el refrigerante sale por ambos lados del módulo. Como los fluidos fluyen normalmente de arriba a abajo, el módulo se instalará ventajosamente de manera que todos los conectores de fluido y las juntas herméticas estén en el lado inferior.

Los conectores de refrigerante 35, 37 pueden estar provistos de un conducto de aire comprimido adicional para dirigir el aire comprimido al interior de las cámaras en las que están alojados los módulos de potencia 26 y los módulos de control 27. Esta disposición impide, por una parte, cualquier acceso de fluido o polvo aunque el encapsulado no sea una junta hermética perfecta, en tanto que permitiendo, por otra parte, tal como se propone, crear una presión de contacto que empuja la placa de control 27 contra la chapa de refrigeración 16 para refrigeración. Aunque en esta disposición la presión puede exceder la presión ambiente sólo de manera insignificante, el aire usado debe ser, por supuesto, tan seco y limpio como sea posible. También existe una posibilidad de monitorizar el consumo de aire como una indicación de fugas del sistema, resultando obvio que dependiendo de la presión interna de los módulos las estructuras de encapsulado 16, 22, 30, 31, 32, 35, 37 tienen que ser diseñadas resistentes a la presión correspondiente.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 12, se ilustra una realización de la chapa de refrigeración 16, de la cual sólo se muestra la mitad, es decir, la unión de dos de tales mitades idénticas tiene como resultado una chapa de refrigeración 16 con una estructura de laberinto apropiada para un módulo tal como se muestra en la FIG. 10. Las estructuras fresadas, por ejemplo, en plancha de aluminio de 1,5 mm de grosor están dispuestas simétricas al eje vertical de simetría S, siendo irrelevante en qué dirección fluye después el refrigerante a través de la chapa de refrigeración 16, o también en qué posición en relación con el eje de simetría S se instala más tarde un módulo en un paquete de sistema.

En el lado superior se llevan una entrada pasante de refrigerante 38 y por razones de simetría dos conductos pasantes de aire comprimido 49 y una salida pasante de refrigerante 40. La salida pasante 51 para evacuar el aire está conectada por medio de pasajes de distribución asimismo a orificios pasantes 52 para evacuación de aire. También pueden estar provistos orificios de centrado 44 pasantes para alinear con precisión las dos mitades de la chapa de refrigeración, y después los laminados. Las escotaduras pasantes 28 para los enchufes de interconexión 29 sólo son necesarias para la tercera realización del módulo como se muestra en la FIG. 10 y se omiten para todas las demás realizaciones.

Los pasajes de distribución 33 y las aberturas de entrada de flujo 34 al laberinto están configurados preferentemente de profundidad igual a la de las cavidades inclinadas 39.

El mecanizado de una mitad de chapa de refrigeración tarda sólo unos pocos minutos en una fresadora de alta velocidad, lo cual contribuye a una buena economía en pequeñas series, mientras que para producción de grandes series se da preferencia al troquelado con una distribución más extensa, por ejemplo, en cuatro capas, o a prensado por fluido, siendo impresas entonces las estructuras a alta presión. Además se conocen procedimientos de moldeo y moldeo a presión en los que las estructuras se forman con alta precisión pero teniendo en debida cuenta la contracción. Este procedimiento es apropiado para procesar, por ejemplo, cinc, aluminio o cobre y aleaciones de los mismos.

Posteriormente, las mitades o capas pueden conectarse eléctricamente con un adhesivo especial (siendo populares los radiadores conectados eléctricamente en la fabricación de coches). Pero cuando los requisitos son más exigentes es más probable que las mitades sean unidas mediante soldadura blanda o soldadura fuerte en gas inerte o vacío. La variante más duradera, pero más cara, sería una soldadura que ofreciera la ventaja de que la chapa de refrigeración 16 esté constituida entonces exclusivamente por un tipo de metal y de este modo sea menos probable que se corra que los empalmes de soldadura. Asimismo serían factibles otros procedimientos de empalme como juntas herméticas autoadhesivas, enfaldillado o engarce.

Para formar el laberinto, se mecanizan cavidades inclinadas 39 hasta un grosor de pared restante de aproximadamente 0,5 mm que junto con la otra mitad forman un mezclador estático. Para una mejor comprensión de la ilustración se muestra punteada una cavidad 43 de la otra mitad. Resultan evidentes los puntos de rebose 41 en los que el refrigerante fluye desde una cavidad en un lado a la cavidad de la otra mitad de chapa de refrigeración y se mezcla debido a la turbulencia en los bordes agudos con una cavidad 43 intermedia en la que los flujos parciales de las dos mitades de chapa de refrigeración chocan transversalmente para contribuir a una mezcla aún más intensiva. Esta estructura de laberinto impide las condiciones de flujo laminar en la zona de refrigeración al mejorar así sustancialmente la capacidad de refrigeración y es sorprendente lo bajo que puede ser ahora el flujo de refrigerante para disipar las elevadas pérdidas de potencia anteriormente mencionadas.

Un efecto deseable radica en la mayor resistencia al flujo, gracias a la cual el flujo del refrigerante se distribuye en las estructuras de laberinto paralelas y como resultado del aumento de presión tiende a reducir los efectos de cavitación. Por otra parte, la mayor resistencia al flujo es menos deseable porque una presión de bombeo más elevada requiere una potencia más elevada. Por esto es por lo que la estructura de laberinto mediante su pluralidad de cavidades 39 ha de ser dimensionada cuidadosamente e inclinada con el objeto de optimizar la capacidad de refrigeración, la distribución de flujo, la presión de bombeo e impedir la cavitación.

En ciertos casos, usar agua como el refrigerante de preferencia requiere mezclar con aditivos, como anticongelante (por ejemplo, glicol), inhibidores de corrosión, así como agentes activos contra algas o microbios. Aunque tales aditivos pueden disminuir ligeramente la capacidad de refrigeración, permiten un funcionamiento fiable bajo condiciones de trabajo adversas.

La realización discutida hasta ahora es, por supuesto, sólo una de muchas realizaciones diferentes. Por ejemplo, es igualmente posible usar chapas de refrigeración delgadas disponibles comercialmente con tuberías insertadas de acero inoxidable no corrosivo o también chapas de refrigeración extruidas. Sin embargo, la realización tal como se propone anteriormente tiene la ventaja especial de que la chapa de refrigeración 16 no tiene zonas de gran área, de paredes delgadas y, no obstante, presenta una masa muy baja, haciéndola esto perfectamente apropiada para los procedimientos de conexión eléctrica de laminado, soldadura y reparaciones o modificaciones posteriores de la electrónica.

Las paredes laterales 22 de los módulos pueden hacerse de metal o estructuras de metal/plástico y configurarse para satisfacer las siguientes funciones:

- junta hermética que mantenga fuera la suciedad y la humedad,

- impedir la radiación electromagnética,

- impedir la disipación de calor,

- llevar las entradas y salidas de los módulos,

- distribución de refrigerante,

- distribución de aire comprimido, y

- retorno de aire de evacuación.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 13, se ilustra una parte estructurada de acuerdo con la invención para llevar refrigerante, aire comprimido y aire de evacuación. El conector de refrigerante inferior 37 y el conector de refrigerante superior 37 de la FIG. 11 comprenden tales partes estructuradas, donde sea necesario diseñadas también de altura diferente. Las partes están hechas preferentemente de aluminio o metal o aleación similar, pero es igualmente posible que puedan hacerse de material plástico o un compuesto de plástico/metal.

Están provistos taladros en toda la longitud para la alimentación de refrigerante 47, el retorno de refrigerante 45, dos para aire comprimido 46 y uno para aire de evacuación 53. En cada caso están provistas juntas herméticas 36 superior e inferior (no mostrada la inferior). Además están provistos taladros adicionales (no mostrados) para recibir una unión vertical y para asegurar las paredes laterales 22. Algunas juntas herméticas 36 también podrían ser alternativamente un componente de la chapa de refrigeración 16. Los pequeños taladros transversales 48 conectan los taladros de aire comprimido correspondientes 46 y sirven para ramificar el aire comprimido dentro de todas las cámaras de los módulos de potencia y control.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 14, se ilustra una cuarta realización para un módulo que es especialmente apropiado para producción de grandes series. La placa de potencia 26 y la placa de control 27 en este caso están conectadas fijamente cada una a una chapa metálica 55, 56 de aluminio, cobre o algún otro metal o aleación que tenga buena conductividad térmica y buena resistencia a la corrosión. Para fabricar estas placas de circuito 26, 27 pueden ponerse en uso los mismos procedimientos que los conocidos para los módulos anteriormente mencionados con tarjetas madre posteriores como se muestra en la FIG. 3. Aquí, sin embargo, a favor de una reparación facilitada tal como se especifica, la chapa metálica 55, 56 se seleccionará justo lo suficientemente gruesa para resistir con seguridad la corrosión a lo largo de la duración pretendida en tanto que dotando a las placas de circuito 26, 27 de suficiente integridad estructural.

Insertada de manera desmontable entre las placas de circuito 26, 27 está una pieza moldeada 54 que constituye una estructura de laberinto tal como se describió con referencia a la FIG. 12, por medio de la cual la chapa metálica 55, 56 entra en contacto directamente con el flujo de refrigerante. De este modo, en este caso, de la función de la chapa de refrigeración se encargan las tres partes: las chapas metálicas 55, 56 y la pieza moldeada 54. Además, con la pieza moldeada 54 las cuatro paredes laterales del módulo también pueden configurarse incluyendo los taladros 45 a 47 como se muestra en la FIG. 13 para llevar refrigerante y aire. La pieza moldeada 54 puede estar hecha de un material plástico, un material plástico metalizado o de un metal o aleación metálica. La conductividad térmica no importa en absoluto con la pieza moldeada 54. La pieza moldeada 54 está provista asimismo de juntas herméticas 36 o medios similares para separar fiablemente las placas de circuito 26, 27 del refrigerante.

Por lo demás, las posibilidades de configurar y aplicar esta cuarta realización son iguales que las descritas para las realizaciones ya descritas. Una ventaja especial de esta realización es el buen contacto térmico con el flujo de refrigerante sin que se necesite ningún accesorio especial en tanto que permitiendo el desmontaje facilitado de las placas de circuito individuales 26, 27.

En resumen, gracias al alto grado de integración posible y la muy eficiente extracción de calor de las que están compuestos las unidades de placa de circuito y los módulos de placa de circuito o paquetes de sistema, ahora están miniaturizados hasta tal punto que pueden ubicarse óptimamente, particularmente en los sistemas de EDM. De este modo, por ejemplo, el rendimiento de pulsación del generador de EDM se mejora ahora significativamente por eliminarse los cables de alta frecuencia. Los módulos de potencia ahora pueden construirse herméticamente sellados sin mayor gasto extra para ser compatibles así incluso con el entorno más riguroso. Además, ahora se minimiza la disipación de calor y la radiación electromagnética de los módulos, lo cual es muy ventajoso para la ubicación directa en el sistema de EDM. Además, los módulos o paquetes de sistema ahora pueden ser situados directamente donde se requiere su función, con la ventaja, por ejemplo, de que las salidas eléctricas del módulo de potencia ahora se conectan un consumidor de la manera más corta posible. Cualquier sistema de tuberías necesario para el suministro y extracción de aire comprimido, aire de evacuación, refrigerante ahora puede encaminarse junto con los cables eléctricos (por ejemplo, las entradas eléctricas del módulo de potencia) a lo largo de cualquier distancia necesaria hasta un área seca, limpia del sistema o planta.

Una ventaja importante resulta entonces de emparejar una placa de control y una placa de potencia, porque las placas de circuito ahora pueden variar en cuanto al número de capas de pista y/o el grosor. Esto tiene como resultado en primer lugar un nuevo grado de libertad al optimizar mejor las placas de circuito respecto a la aplicación, y en segundo lugar, ahora pueden encaminarse señales de impulsión y control entre la placa de control y la placa de potencia correctamente situadas a lo largo de la distancia más corta a través de conectores gracias a este principio. Como puede combinarse entre sí cualquier número de tales parejas, ahora también son posibles paquetes de sistema para muy alta potencia.

Este principio novedoso ahora hace posible usar procedimientos automatizados avanzados de producción en masa de los módulos, teniendo como resultado una apreciable reducción de costes en tanto que mejorando la repetibilidad de la calidad de fabricación. La producción, prueba, funcionamiento y mantenimiento de los módulos ahora puede hacerse a una escala internacional. La fabricación de SMT está basada en la formación automática de componentes de SMD sin cables sobre placas de circuito que ya no requieren ser taladradas para montar los dispositivos y de este modo presentan una parte posterior plana que es excelentemente adecuada a efectos de refrigeración.

Esto también tiene como resultado una ventaja adicional más una vez que el producto se ha vuelto inservible. Ahora, concretamente, para separar el hardware electrónico y mecánico la placa de circuito simplemente requiere ser calentada para fundir la soldadura y todos los componentes electrónicos simplemente pueden ser eliminados. Un calentamiento adicional permite entonces separar los laminados de la chapa de refrigeración más valiosa y los insertos cerámicos para reacondicionamiento y reutilización. Otra ventaja más con estos módulos es que el refrigerante es separado de la electrónica de manera absolutamente fiable.

Una refrigeración directa por fluido permite ahora ventajosamente un alto grado de integración y elevada flexibilidad al situar los módulos de potencia.

Para determinar el grosor del laminado superior 8 y del laminado de aislamiento 9 así como la configuración de la chapa de refrigeración 16, pueden tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Para lograr un alto grado de integración la placa de circuito debe comprender al menos dos planos de pistas, siendo el factor limitador para el número de los mismos el deterioro de la conductividad térmica debido al aumento del grosor de la placa de circuito.

- Cuanto más corta es la distancia entre la fuente y el disipador del calor, más efectiva es la refrigeración, siendo los factores limitadores en este caso un aumento de las capacitancias parásitas y la reducción de la resistencia del aislamiento eléctrico.

- Cuanto mejor es la conductividad térmica del material entre la fuente y el disipador de calor, más efectiva es la refrigeración, siendo el factor limitador únicamente los costes implicados.

- La máxima pérdida de potencia permisible de un SMD puede estar limitada por la temperatura de la placa de

circuito o por la temperatura de la capa de barrera del SMD, siendo muy buena la resistencia térmica del dispositivo en el primer caso, tendiendo en el segundo caso a ser mala comparada con la resistencia térmica de la placa de circuito.

5 - Cuanto más baja es la masa de la chapa de refrigeración en contacto directo con la placa de circuito, más sencilla de soldar, reparar y modificar es ésta, estando aquí el factor limitador en la separación segura del refrigerante y la electrónica a lo largo de la vida útil de un módulo junto con la adecuada estabilidad mecánica.

10 - El agua, debido a su elevado calor específico, simplemente transporte de calor durante largas distancias y su compatibilidad medioambiental básica es la opción preferida con los factores limitadores las temperaturas inferiores a la congelación o superiores a la evaporación, el riesgo añadido de corrosión, así como la sensibilidad a las algas o los microbios.

15 - Mediante la mezcla del refrigerante en las zonas intercambiadoras de calor se aumenta la eficiencia de refrigeración ya que el agua tiene una conductividad térmica relativamente baja, siendo los factores limitadores un aumento de la resistencia al flujo, lo cual requiere una presión más alta en el lado de entrada de flujo de la chapa de refrigeración. Si el caudal es excesivo puede tener como resultado cavitación debido al vacío localizado y asimismo causar corrosión.

- El condensado debido a la humedad puede tener como resultado formación de rocío, lo cual hace asimismo que las placas de circuito absorban agua. Los factores limitadores en este caso son la temperatura de la placa de circuito que se requiere que no sea inferior a la del aire y, por supuesto, la humedad relativa y el volumen del aire que tiene acceso a las placas de circuito en total.

20

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de producción de una unidad de placa de circuito que comprende las etapas:

- producir un laminado superior de la placa de circuito (8; 19) con pistas conductoras (10) sobre el lado superior y dispositivos de montaje superficial SMD (12; 14; 18; 21) montados en el mismo de un grosor dimensionado de manera que un calor estimado disipado por los SMD (12; 18) es transportado desde el lado superior hasta el lado inferior del laminado superior de la placa de circuito (8; 19),

- poner un laminado eléctricamente aislante (9) en contacto térmico bajo el laminado superior de la placa de circuito (8; 19),

- proveer uno o más orificios pasantes metalizados (11) para transportar el calor disipado desde el lado superior hasta el lado inferior del laminado superior (8; 19) en lugares por debajo de al menos uno de los SMD (12; 18) con elevada disipación de calor estimado, estando adaptado el número y diseño de dichos orificios pasantes metalizados (11) al calor estimado disipado por cada SMD (12; 18),

caracterizado por:

- insertar en el laminado aislante (9) en lugares por debajo de los SMD (12; 18) con elevada disipación de calor estimado, insertos (15) hechos de un material con una buena conductividad térmica de al menos 27 W/mK y aislamiento eléctrico,

- disponer debajo del laminado eléctricamente aislante (9) y los insertos (15) una chapa de refrigeración (16), y conectar el laminado eléctricamente aislante (9) y los insertos (15) a la chapa de refrigeración (16) para poner la chapa de refrigeración (16) en contacto térmico con el laminado eléctricamente aislante (9) y los insertos (15).

2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el laminado superior de la placa de circuito (8; 19) se produce a partir de un material de resina epóxica y fibra de vidrio o a partir de un polímero relleno de polvo.

3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos dos planos para pistas conductoras (10) están configurados sobre el laminado superior de la placa de circuito (8; 19).

4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el laminado superior de la placa de circuito (8; 19) está configurado entre 0,1 mm y 1 mm de grosor, preferentemente menos de 0,5 mm de grosor.

5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el laminado eléctricamente aislante (9) se produce a partir de un material de resina epóxica y fibra de vidrio o a partir de un polímero relleno de polvo.

6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el laminado eléctricamente aislante (9) está configurado entre 0,2 mm y 2 mm de grosor, preferentemente menos de 0,6 mm de grosor.

7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los insertos (15) se producen a partir de una cerámica que tiene elevada conductividad térmica y elevado aislamiento eléctrico, particularmente nitrato de aluminio (AlN) u óxido de aluminio (Al_2O_3).

8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los insertos (15) se producen del mismo grosor que el del laminado eléctricamente aislante (9).

9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la chapa de refrigeración (16) se produce a partir de un metal o aleación metálica que tiene buena conductividad térmica y resistencia a la corrosión, y están provistos pasajes de refrigeración (17) para encaminar un refrigerante a través de la chapa de refrigeración (16).

10. Un procedimiento de producción de un módulo de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dos unidades de placa de circuito se combinan con paredes laterales adicionales (22) en un módulo de placa de circuito de manera que las dos chapas de refrigeración (16) de las dos unidades de placa de circuito forman paredes exteriores del módulo de placa de circuito y junto con las paredes laterales (22) un encapsulado herméticamente sellado, y las dos unidades de placa de circuito están eléctricamente interconectadas directamente por medio de conectores de SMD (13; 20), estando las unidades de placa de circuito conectadas ambientalmente por medio de conexiones eléctricas herméticamente selladas (23-25) a través de las paredes laterales adicionales (22).

11. Un procedimiento de producción de un paquete de sistema según la reivindicación 10, en el que una pluralidad de módulos de placa de circuito se combinan en un paquete de sistema de manera que los módulos de placa de circuito ubicados dentro del paquete de sistema comparten una chapa de refrigeración (16).

12. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el laminado eléctricamente aislante (9) y los insertos (15) están conectados de manera desmontable a la chapa de refrigeración (16).

13. El procedimiento según la reivindicación 12, en el que la conexión desmontable se produce de acuerdo con al menos una de las siguientes conexiones:
- un empalme de soldadura blanda de una aleación de soldadura con un bajo punto de fusión,
 - una conexión eléctrica de fusión en caliente que se puede volver a fundir,
- 5 - una película autoadhesiva por las dos caras que es desprendible, y
- por medio de una diferencia de presión de aire entre el lado superior del laminado superior de la placa de circuito (8; 19) y una capa intermedia permeable al aire conductora de calor (50) entre el laminado eléctricamente aislante (9) y los insertos (15) por una parte y la chapa de refrigeración (16) por otra parte.
- 10 14. El procedimiento según la reivindicación 13, en el que la capa intermedia permeable al aire conductora de calor (50) está hecha de al menos uno de los siguientes materiales
- una tela metálica
 - una película estructurada, y
 - una tela.
- 15 15. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que un módulo de placa de circuito o un paquete de sistema está instalado en una máquina de manera que todas las aberturas y juntas herméticas para el refrigerante están orientadas hacia abajo.
16. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en el que se usa agua como el refrigerante.
17. El procedimiento según la reivindicación 16, en el que se añaden al agua agentes anticongelantes, inhibidores de corrosión y/o agentes activos contra algas y microbios.
- 20 18. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la chapa de refrigeración (16) está compuesta de dos semiplacas estructuradas.
19. El procedimiento según la reivindicación 18, en el que las estructuras de las semiplacas se producen mediante al menos uno de los siguientes procedimientos:
- mecanizado,
- 25 - prensado,
- corte con una separación de capas adicional de las semiplacas,
 - moldeo, y
 - moldeo a presión.
- 30 20. El procedimiento según la reivindicación 18 ó 19, en el que las semiplacas se unen entre sí mediante al menos uno de los siguientes procedimientos:
- conexión eléctrica,
 - soldadura blanda,
 - soldadura fuerte, y
 - soldadura.
- 35 21. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 20, en el que las estructuras en las zonas intercambiadoras de calor están configuradas de manera que aparece un laberinto a partir de la unión de las dos semiplacas entre sí.
22. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 21, en el que un módulo o paquete de sistema se pone en uso para electroerosión sumergida en agua o dieléctricos.
- 40 23. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 21, en el que el módulo o paquete de sistema se instala en un manipulador robótico para obtener muestras de material en reactores rellenos de agua de plantas de energía nuclear.
24. Una unidad de placa de circuito que comprende
- un laminado superior de la placa de circuito (8; 19) con pistas conductoras (10) sobre el lado superior y dispositivos de montaje superficial SMD (12; 14; 18; 21) montados en el mismo de un grosor dimensionado de manera que un calor estimado disipado por los SMD (12; 18) es transportado desde el lado superior hasta el lado inferior del
- 45

laminado superior de la placa de circuito (8; 19),

- un laminado eléctricamente aislante (9) puesto en contacto térmico bajo el laminado superior de la placa de circuito (8; 19),

- 5 - uno o más orificios pasantes metalizados (11) para transportar el calor disipado desde el lado superior hasta el lado inferior del laminado superior (8; 19) en lugares por debajo de al menos uno de los SMD (12; 18) con elevada disipación de calor estimado, estando adaptado el número y diseño de dichos orificios pasantes metalizados (11) al calor estimado disipado por cada SMD (12; 18), y

caracterizada por:

- 10 - insertos (15) hechos de un material con una buena conductividad térmica de al menos 27 W/mK y aislamiento eléctrico insertados en el laminado eléctricamente aislante (9) en lugares por debajo de los SMD (12; 18) con elevada disipación de calor estimado,

- 15 - una chapa de refrigeración (16) dispuesta debajo del laminado eléctricamente aislante (9) y los insertos (15), en la que la chapa de refrigeración (16) está conectada al laminado eléctricamente aislante (9) y los insertos (15) para poner el laminado eléctricamente aislante (9) y los insertos (15) en contacto térmico con la chapa de refrigeración (16).

25. La unidad de placa de circuito según la reivindicación 24, en la que el laminado superior de la placa de circuito (8; 19) se produce a partir de un material de resina epóxica y fibra de vidrio o a partir de un polímero relleno de polvo.

- 20 26. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 ó 25, en la que el laminado superior de la placa de circuito (8; 19) está configurado entre 0,1 mm y 1 mm de grosor, preferentemente menos de 0,5 mm de grosor.

27. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 26, en la que el laminado eléctricamente aislante (9) se produce a partir de un material de resina epóxica y fibra de vidrio o a partir de un polímero relleno de polvo.

- 25 28. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 27, en la que el laminado eléctricamente aislante (9) está configurado entre 0,2 mm y 2 mm de grosor, preferentemente menos de 0,6 mm de grosor.

- 30 29. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 28, en la que los insertos (15) se producen a partir de una cerámica que tiene elevada conductividad térmica y elevado aislamiento eléctrico, particularmente nitruro de aluminio (AlN) u óxido de aluminio (Al₂O₃).

30. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 29, en la que los insertos (15) se producen del mismo grosor que el del laminado eléctricamente aislante (9).

31. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 30, en la que la chapa de refrigeración (16) están hecha de aluminio, una aleación de aluminio, cobre o una aleación de cobre.

- 35 32. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 31, en la que la chapa de refrigeración (16) comprende tubos incrustados de metal o aleación resistente a la corrosión como pasajes de refrigeración para un medio fluido.

33. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 32, en la que la chapa de refrigeración (16) se produce como un perfil extruido con pasajes de refrigeración (17).

- 40 34. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 33, en la que la chapa de refrigeración (16) está compuesta de dos semiplacas estructuradas.

35. La unidad de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 33, en la que la chapa de refrigeración (16) está compuesta de cuatro capas de placa troqueladas.

- 45 36. Un módulo de placa de circuito que comprende dos unidades de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 35, en el que las dos unidades de placa de circuito y paredes laterales adicionales (22) forman el módulo de placa de circuito, las unidades de placa de circuito están eléctricamente interconectadas directamente por conectores de SMD (13; 20) y las entradas y salidas eléctricas se llevan a través de las paredes laterales (22) mediante conexiones eléctricas selladas herméticamente (23-25).

- 50 37. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 36, en el que dos unidades de placa de circuito comparten una chapa de refrigeración (16) y la chapa de refrigeración (16) comprende escotaduras para montar conectores de SMD (28, 29) que interconectan directamente las dos placas de circuito dispuestas en ambos lados de la chapa de refrigeración (16).

38. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 36 ó 37, en el que las unidades de placa de circuito con el lado de los componentes están dispuestas enfrentadas entre sí.
- 5 39. El módulo de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 36 a 38, en el que la chapa de refrigeración (16) está compuesta de dos semiplacas que comprenden pasajes y orificios pasantes (45) para distribuir un refrigerante.
40. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 39, en el que la chapa de refrigeración (16) comprende aberturas (35; 37) para suministro y retorno del refrigerante.
41. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 39 ó 40, en el que las semiplacas comprenden pasajes y orificios pasantes adicionales (52) para evacuar aire.
- 10 42. El módulo de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 39 a 41, en el que las semiplacas comprenden pasajes y orificios pasantes adicionales (46) para comunicar aire comprimido.
43. El módulo de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 36 a 42, en el que una unidad de placa de circuito está diseñada para funciones de control y la otra unidad de placa de circuito para funciones de potencia.
- 15 44. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 43, en el que entre la unidad de placa de circuito para funciones de control y la unidad de placa de circuito para funciones de potencia está dispuesta una chapa para proteger de la radiación electromagnética.
45. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 43 ó 44, en el que la unidad de placa de circuito para funciones de control y/o para funciones de potencia está conectada de manera desmontable a la chapa de refrigeración (16).
- 20 46. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 45, en el que la conexión desmontable está compuesta de al menos uno de lo siguiente:
- un empalme de soldadura blanda de una aleación de soldadura con un bajo punto de fusión,
 - una conexión eléctrica de fusión en caliente,
 - una película autoadhesiva por las dos caras, y
- 25 - una capa permeable al aire conductora de calor (50) entre la placa de circuito y la chapa de refrigeración (16), estando esta capa (50) sometida a una presión de aire más baja que la del espacio interior restante del módulo de placa de circuito en total.
47. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 46, en el que la capa permeable al aire y conductora de calor (50) está conectada por una primera conexión tubular, en un entorno seco y limpio, a presión atmosférica o
- 30 baja y a todo el espacio interior restante del módulo de placa de circuito se le suministra por una segunda conexión tubular aire seco y limpio a una presión de aire elevada.
48. El módulo de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 36 a 47, en el que las placas de circuito comprenden sensores de voltaje, corriente, temperatura, humedad, tensión y/o presión y accionadores para controlar el flujo de refrigerante así como un controlador para control de bucle abierto y cerrado, monitorización y
- 35 protección de las unidades de placa de circuito.
49. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 48, en el que el controlador está configurado de manera que se monitoriza el flujo de aire suministrado al módulo de placa de circuito, del cual se obtiene información para funciones de diagnóstico, advertencia y protección en cuanto a la condición de la junta hermética del módulo de placa de circuito.
- 40 50. El módulo de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 36 a 49, en el que cada chapa de refrigeración (16) de las dos unidades de placa de circuito está configurada como una chapa metálica (55, 56) y conectada fijamente a cada laminado eléctricamente aislante (9) e interconecta por medio de una pieza moldeada interpuesta (54).
51. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 50, en el que la pieza moldeada (54) forma asimismo las paredes laterales (22; 32), las aberturas de refrigerante (35; 37; 38; 40; 45; 47) y/o aberturas de aire (46; 49; 51; 53).
- 45 52. El módulo de placa de circuito según la reivindicación 50 ó 51, en el que la pieza moldeada (54) está configurada de manera que comprende en las zonas intercambiadoras de calor una estructura de laberinto para el flujo de refrigerante.
53. El módulo de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 50 a 52, en el que la pieza moldeada (54) está hecha de un material plástico, un material plástico metalizado, un metal o de una aleación metálica.
- 50

54. Un paquete de sistema que incluye al menos dos módulos de placa de circuito según cualquiera de las reivindicaciones 36 a 48, en el que los al menos dos módulos de placa de circuito están apilados para formar un paquete de sistema.

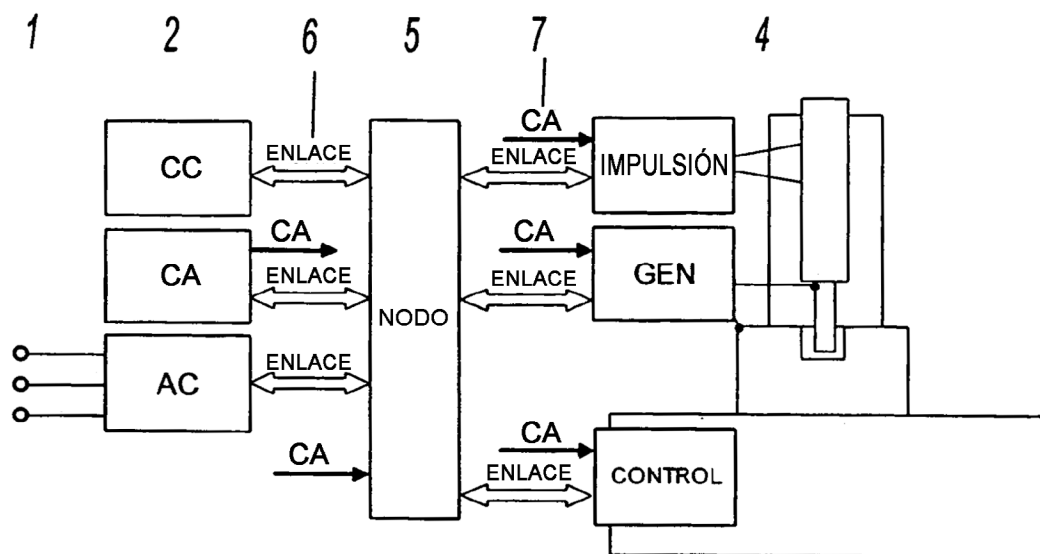


Fig 1

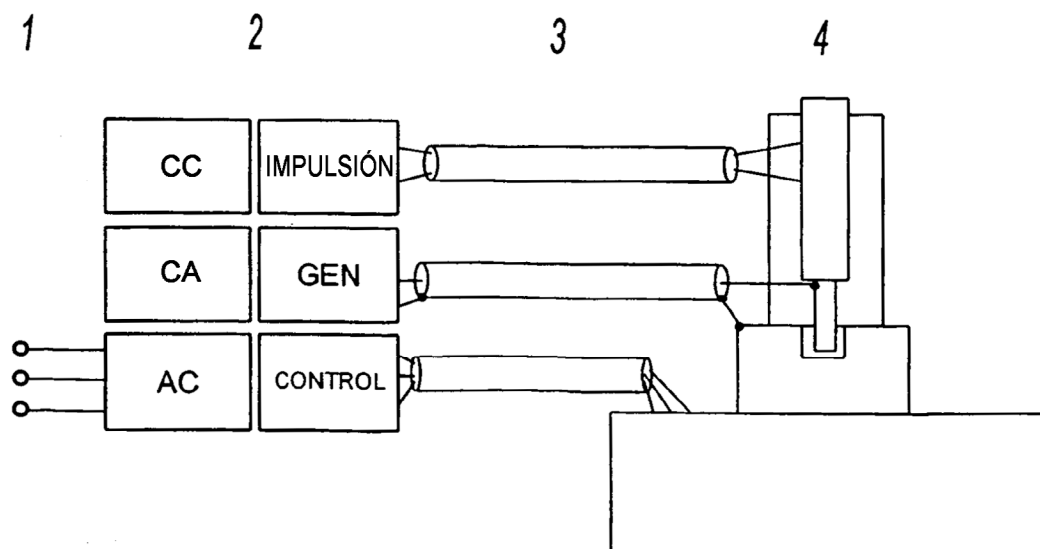


Fig 2 Técnica anterior

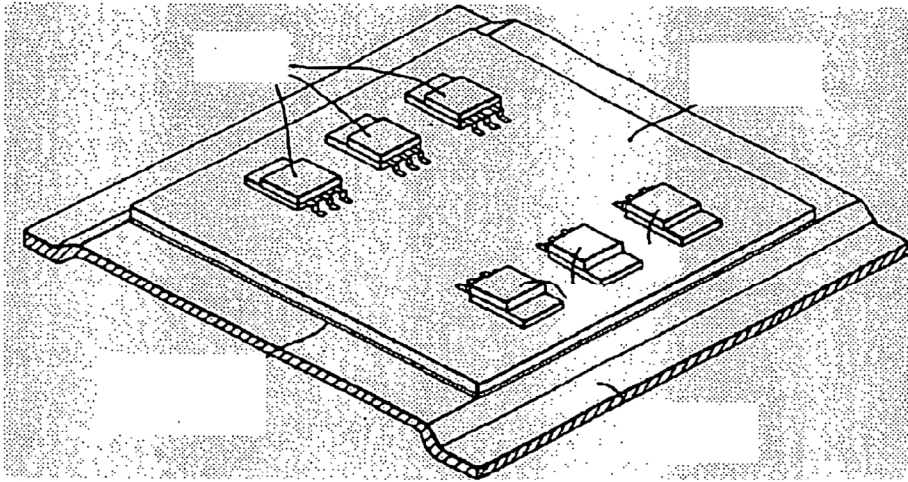


Fig 3 Técnica anterior

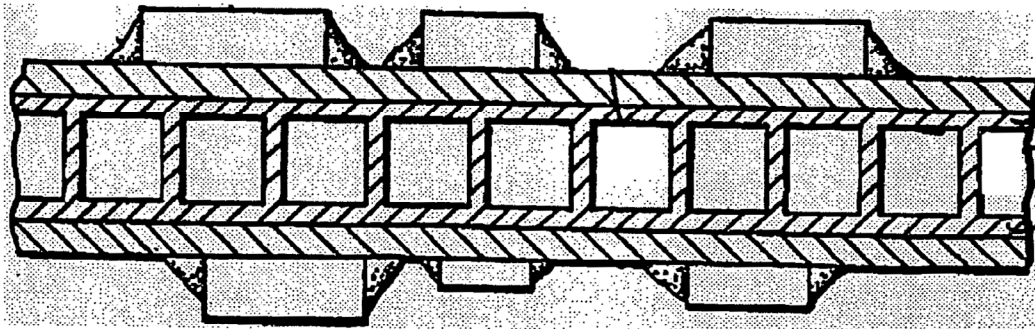


Fig 4 Técnica anterior

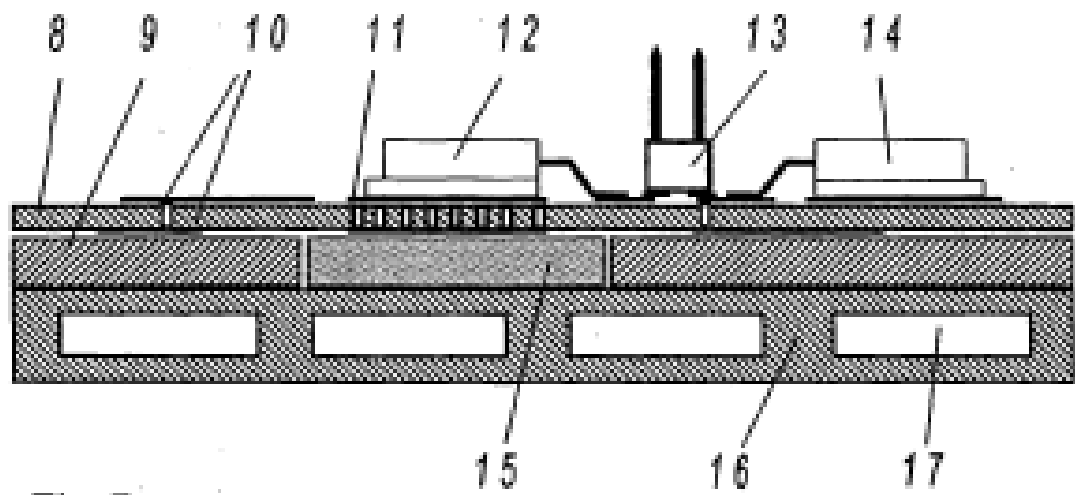


Fig 5

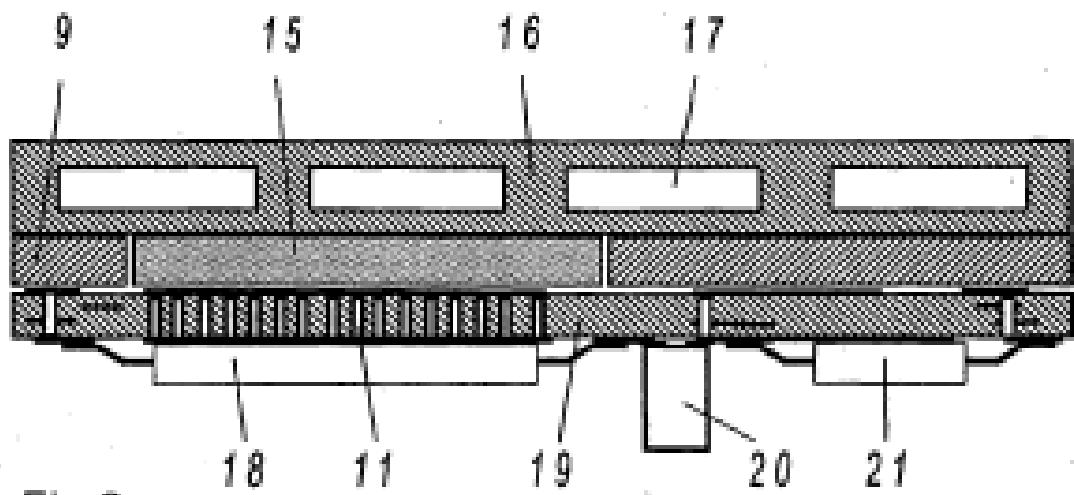
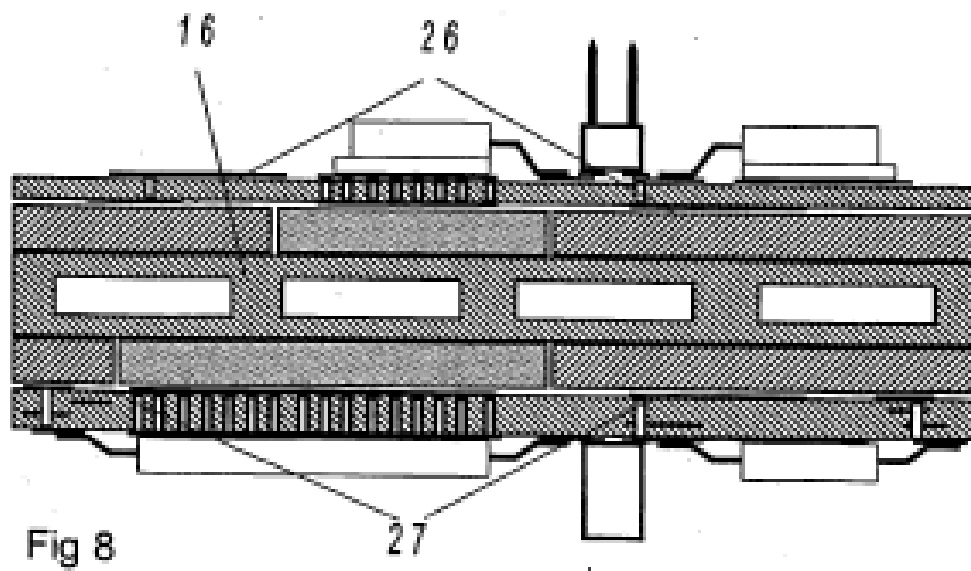
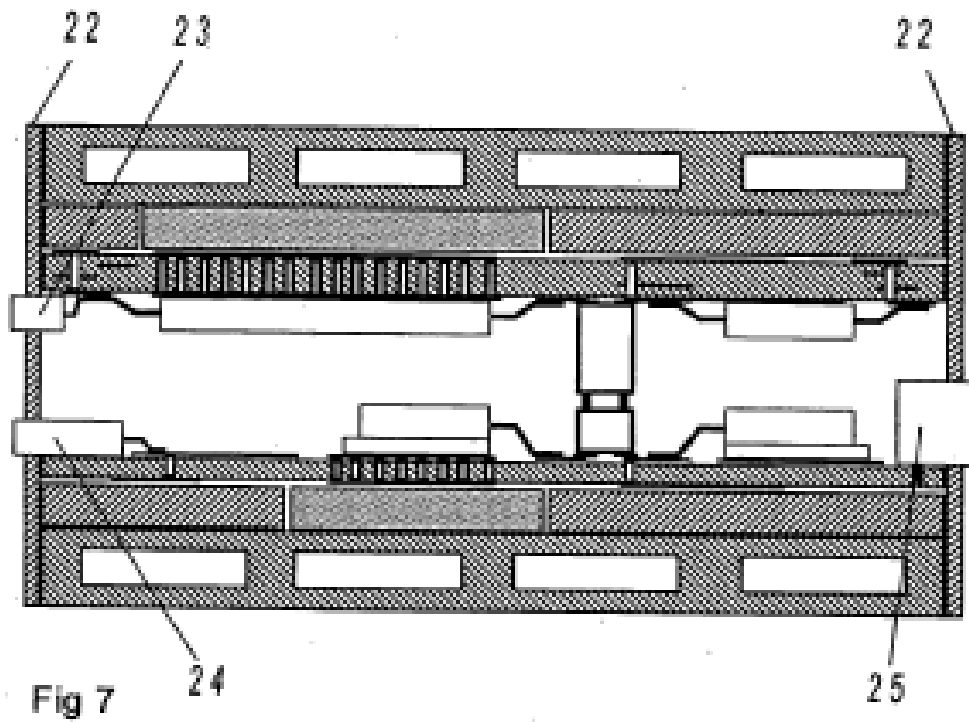


Fig 6



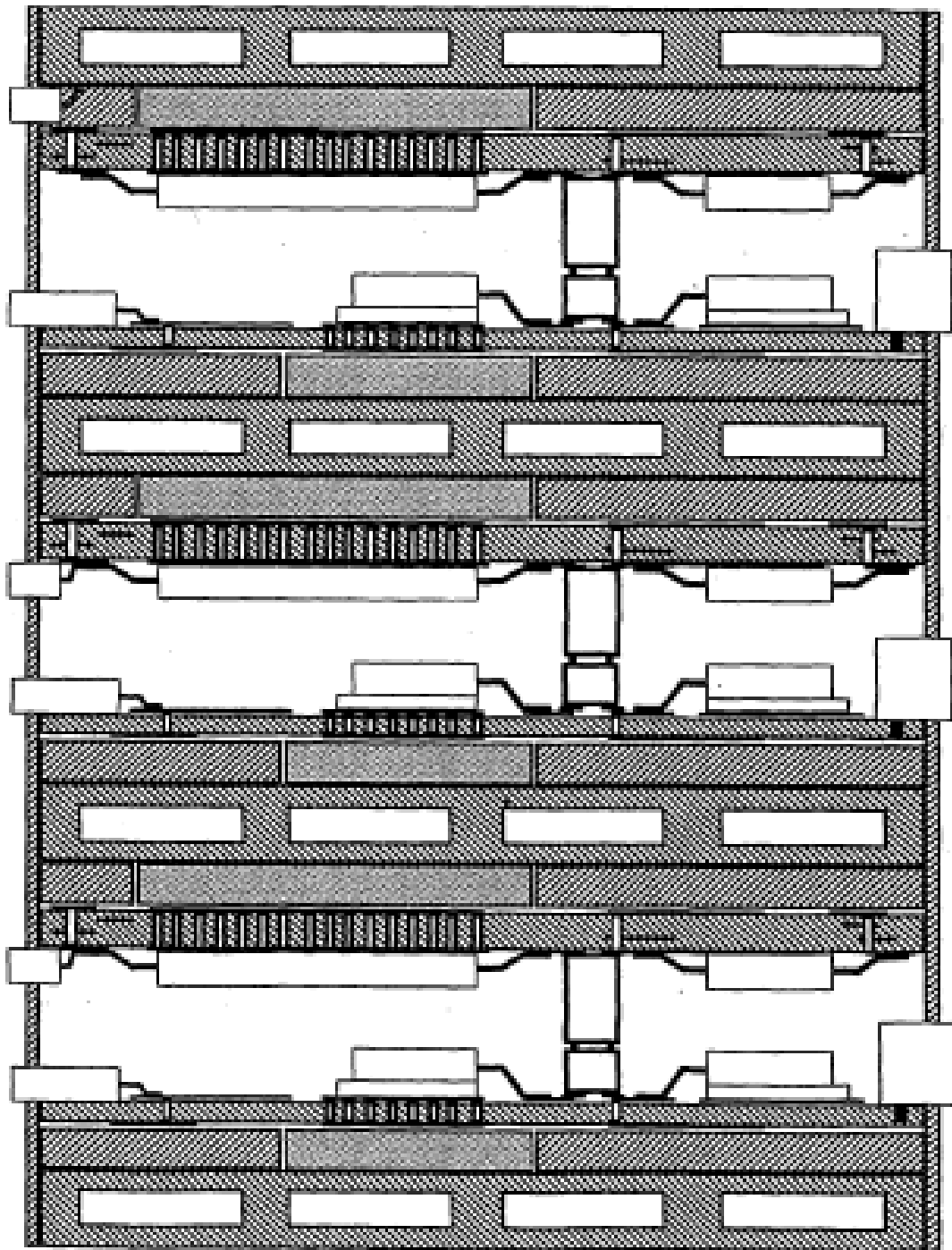
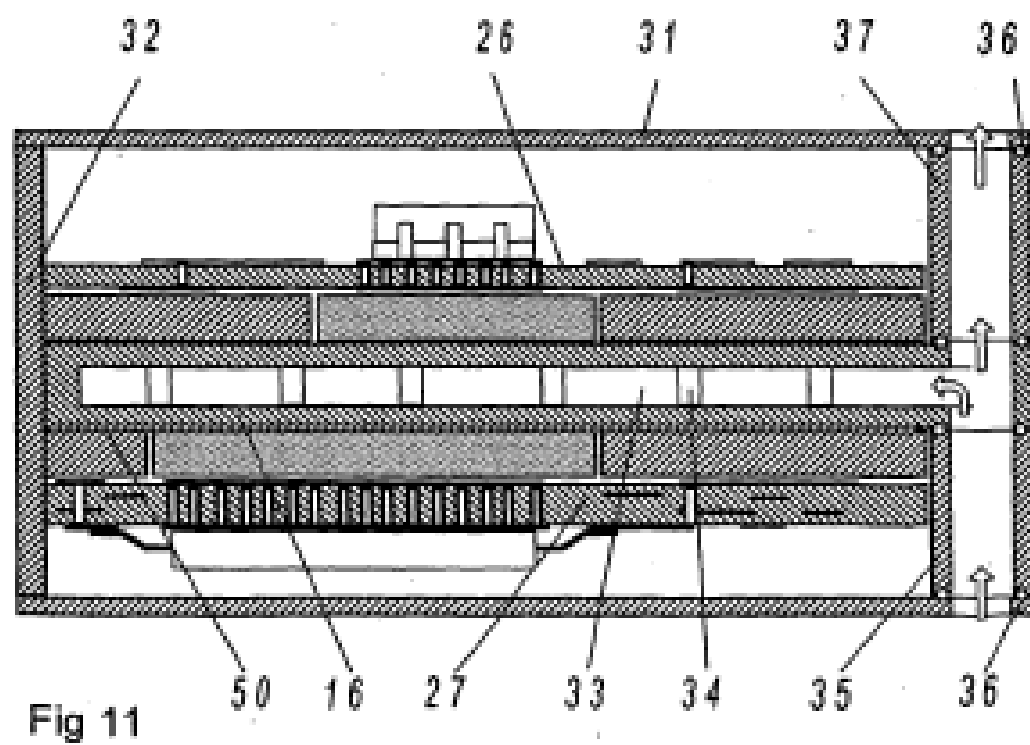
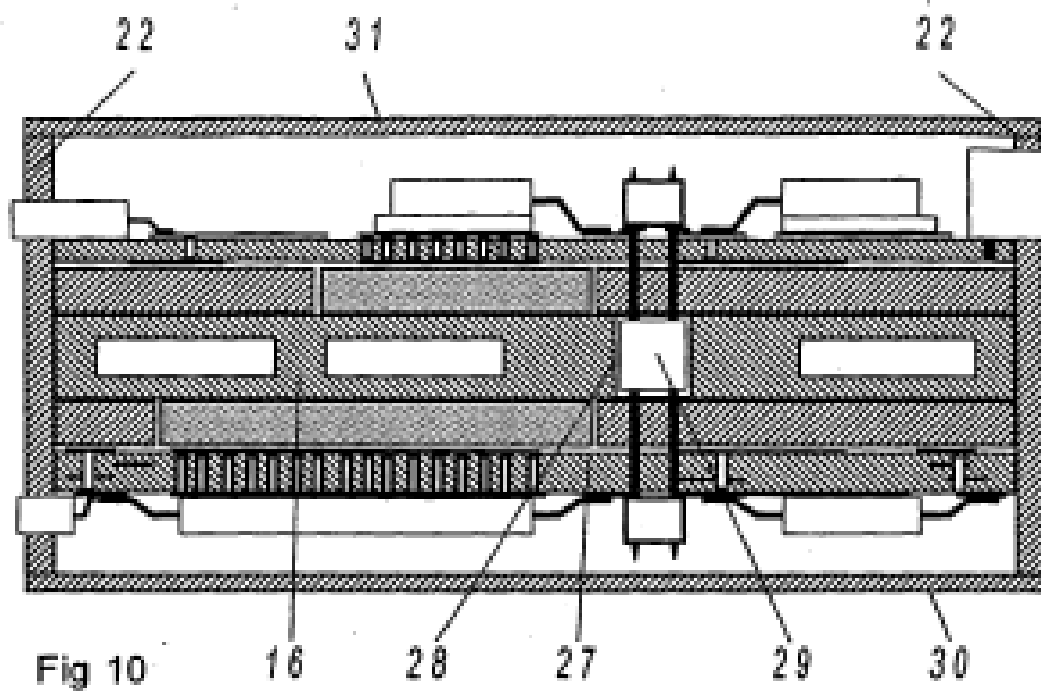


Fig 9



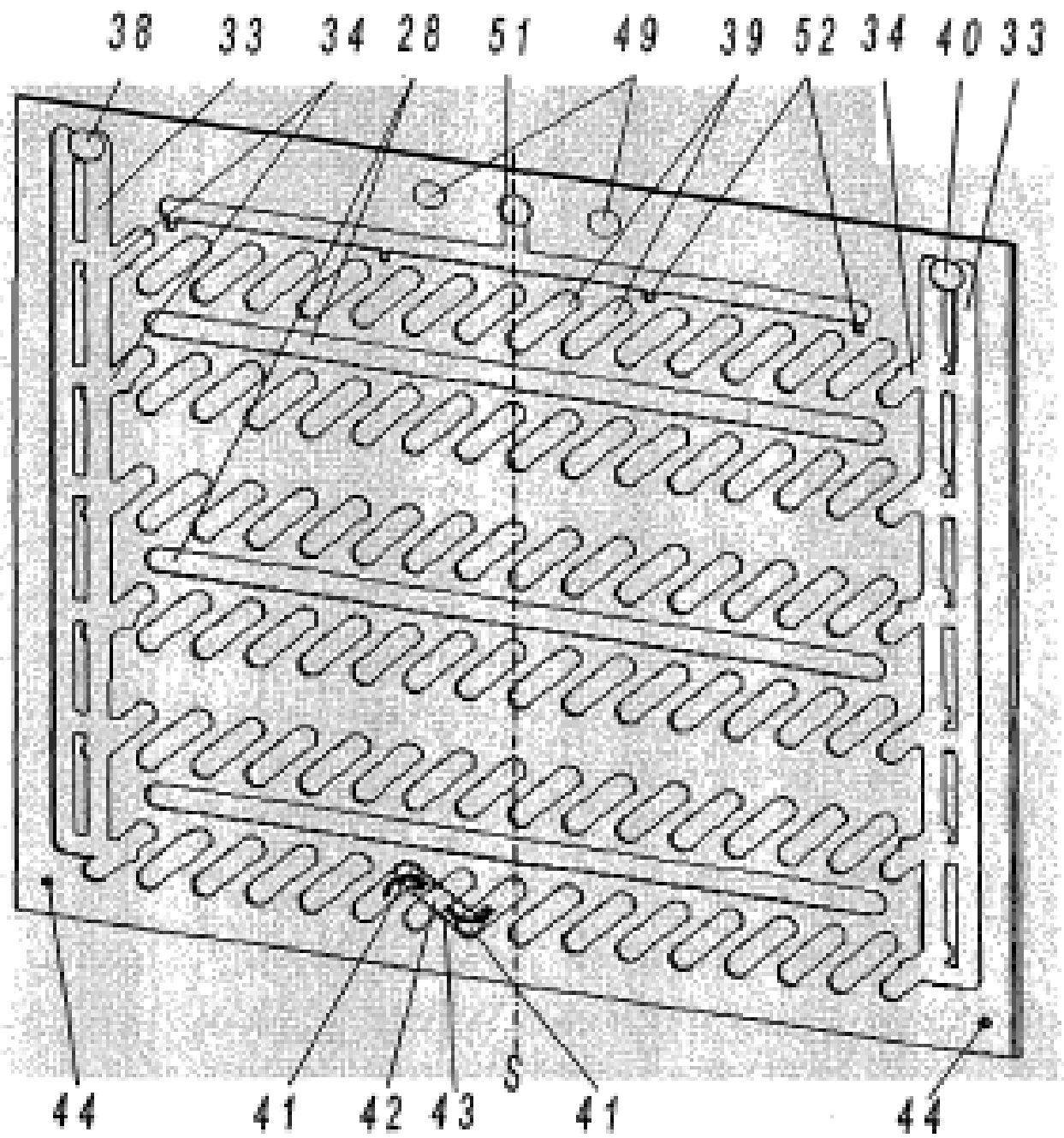


Fig 12

