



P.- 58.266<sup>18</sup>

Docket

SZ 9-73-005

429469

MEMORIA DESCRIPTIVA

G 11c

para solicitar PATENTE DE INVENCION

A nombre de INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPO-  
RACION

entidad norteamericana

establecida en Armonk, Nueva York 10504, Estados  
Unidos de América

por: "PERFECCIONAMIENTOS INTRODUCIDOS EN UNA MEMO-  
RIA DE UNION JOSEPHSON"

(Clase Internacional G11c)

13.11.74

- 1 -

18 NOV 1974

Este invento se refiere a una memoria de unión Josephson, es decir una memoria para almacenar información digital, que funciona en un ambiente superconductor, y que hace uso de los efectos asociados con el efecto túnel Josephson. Tal memoria puede encontrar aplicación en el campo de computadores electrónicos.

El hecho de que la memoria funcione en un ambiente superconductor no significa necesariamente que estén implicadas temperaturas criogénicas. En realidad, la gama de temperaturas en la cual puede funcionar la memoria de acuerdo con el presente invento depende estrictamente de los materiales utilizados como superconductores.

Las memorias de unión Josephson propuestas hasta ahora son del tipo en el cual están conectadas una o más uniones Josephson en un bucle superconductor en el cual puede ser confinada una supercorriente en ciertas condiciones.

La unión o uniones Josephson pueden considerarse como un tipo de interruptor de corriente. De hecho, en las memorias conocidas las uniones son conmutadas entre sus estados de superconducción y tensión durante el proceso de inscripción. En la Patente Norteamericana 3.626.391 y la Patente Suiza

18 NOV 1974

539.919 están descritos ejemplos típicos de este tipo de memoria de unión Josephson.

5 Las memorias del tipo de bucle de almacenamiento, aún cuando tienen posibilidad de funcionar a velocidad relativamente alta, son bastante grandes y, en consecuencia, no parece que se ajusten a la tendencia de la disposición constructiva de memorias modernas que se dirige hacia técnicas de almacenamiento masivo en gran escala. También, la mayoría de las memorias conocidas necesitan un ciclo de preparación lo cual es un problema importante en algunos casos.

10 Un objeto del presente invento es, por consiguiente, proponer una memoria de unión Josephson que no requiere un bucle superconductor para almacenamiento.

Un objeto adicional es crear una memoria tal que no requiere un ciclo de preparación.

20 Otro objeto del invento es crear una memoria que es particularmente adecuada para aplicaciones de almacenamiento masivo por permitir una densidad de empaquetamiento muy alta. Esto se consigue tanto por utilizar uniones Josephson simples para almacenamiento como por transferir los circuitos de lectura al exterior del conjunto de memoria la cual con-

25

18 NOV 1974



tendrá de este modo solamente uniones Josephson y que es, por consiguiente, más simple y menos costosa que las memorias de la técnica anterior.

5

Un objeto adicional del invento es proponer una memoria con una disipación de potencia muy baja y también con una velocidad muy alta.

10

Es aún un objeto adicional crear una memoria que permite tolerancias de fabricación razonables debido a un esquema de compensación compatible con la tecnología.

15

En conformidad, el presente invento se refiere a una memoria de unión Josephson que comprende una pluralidad de celdas de memoria cada una de las cuales consiste en una única unión Josephson, estando caracterizada dicha memoria porque los parámetros de cada unión Josephson individual están escogidos de tal modo que la unión tiene una característica de ganancia con al menos dos modos de torbellino que se solapan parcialmente entre sí, y con lo cual en uno de los modos de torbellino puede ser confinado dentro de la unión un único cuanto de flujo, mientras que en cualquier otro de los modos de torbellino pueden ser confinados un número diferente de cuantos de flujo, estando asociados con valores digitales respectivamente los modos de torbellino que se so-

25

18 NOV 1972

lapan, y porque cada unión está acoplada respectivamente a una línea de palabra y una línea de bitio, a cuyas líneas están aplicadas corrientes de acuerdo con el principio de corriente coincidente a fin de  
5 conmutar la unión entre cualesquiera modos de torbellino en solape para la inscripción y lectura de información.

Se describirán posteriormente realizaciones del invento, a modo de ejemplo, con referencia  
10 a los dibujos anexos, en los cuales:

La figura 1 representa la característica de ganancia de una unión Josephson larga, con modos de torbellino en solape,

Las figuras 2a y 2b son diagramas de bloques de dos posibles realizaciones de un conjunto  
15 de memoria.

La figura 3 representa puntos de funcionamiento posibles para los dos primeros modos de torbellino de una unión.

Las figuras 4 y 5 son diagramas de circuito de dos esquemas de lectura.  
20

La figura 6 representa el efecto de la forma de la unión sobre los modos de torbellino.

Las figuras 7a, 7b y 7c son respectivamente un circuito equivalente y una posible disposición  
25

18 NOV 1972

ción esquemática de una unión conformada,

La figura 8 es una realización preferida de una unión conformada.

5 La figura 9 representa el efecto de las tolerancias de fabricación sobre la región de solape (memoria) entre los modos (0-1) y (1-2) de torbellino, y

La figura 10 es un diagrama de circuito para una posible red de compensación.

10 Una unión Josephson con una longitud  $l$  que es cinco veces mayor que la profundidad  $\lambda_J$  de penetración tiene una característica de ganancia similar a la de la figura 1. La envolvente de línea continua indica el límite entre los estados superconductor y de tensión de la unión.

15 Para los fines del presente invento, la unión funciona de tal modo que, excepto durante la conmutación entre modos de torbellino, permanece siempre en su estado superconductor, es decir sus puntos de funcionamiento están siempre dispuestos por debajo de la línea continua en la figura 1.

20 En la zona situada bajo la línea 1 recta, la unión puede estar en su modo de torbellino (0-1), mientras que bajo la línea 2 curva la unión puede estar en su modo (1-2) de torbellino. En la zo-

25

18 NOV 1971

na 3 rayada en diagonal la unión puede estar obviamente en cualquiera de los dos modos. En realidad, el modo particular en el cual estará realmente la unión cuando su punto de funcionamiento cae dentro de la zona 3 depende de la situación anterior de la unión.

La línea 2a curva encierra un modo (2-3) de torbellino del siguiente orden superior. Este modo se solapa parcialmente con el modo (1-2) de torbellino en una zona 3a en diagonal. Los parámetros de la unión Josephson pueden estar escogidos de tal modo que el modo (2-3) de torbellino comience en un valor inferior de la corriente  $I_c$ , de modo que existe una región donde los tres modos (0-1), (1-2), y (2-3) se solapan entre sí. En esa región la unión tendrá tres opciones de permanecer en un modo de torbellino particular.

El modo (1-2) de torbellino corresponde al estado de la unión en el cual está confinado dentro de ella en único cuanto  $\Phi_0$  de flujo, mientras que en el modo (0-1) de torbellino no está confinado tal cuanto de flujo. El confinamiento de un cuanto de flujo dentro de la unión significa que se ha inducido una supercorriente circulante dentro de la última. Esta corriente fluye a lo largo de uno de

los electrodos y vuelve a lo largo del otro en un bucle que se cierra a través del óxido de la unión. Este bucle encierra un haz de líneas de flujo que suman esencialmente un cuanto  $\Phi_0$  de flujo. La capacidad de una unión para confinar un cuanto de flujo depende de su inductancia, la cual es a su vez función de su tamaño, de modo que la inductancia  $L$  es proporcional a la relación entre la longitud  $\ell$  de unión y su ancho  $w$ . Si la inductancia de unión es suficientemente grande, es incluso posible que la región 3 de solape contenga el origen ( $I_g = I_c = 0$ ) del diagrama de la figura 1 permitiendo, por consiguiente, el almacenamiento de un único cuanto de flujo sin corrientes de polarización.

La razón por la cual una inductancia grande permite el almacenamiento de un único cuanto de flujo sin polarización externa se encuentra en el principio de la cuantización de flujo en bucles superconductores. El contenido  $\Phi$  de flujo de una unión Josephson es del orden de

$$\Phi = LI_m \cong N \Phi_0$$

en donde  $I_m$  es la supercorriente máxima,  $L$  es la inductancia de unión, y  $N\Phi_0$  es el número de cuantos de flujo en la unión.



18 NOV 1974

En consecuencia, para el almacenamiento de un cuanto  $\Phi_0$  de flujo,  $N = 1$ , y deberá tenerse:

$$L = L_1 \approx \Phi_0 / I_m$$

5

Si la inductancia  $L$  de unión es mas pequeña que  $L_1$ , la unión no es capaz de mantener un cuanto de flujo sin polarización externa. Si  $L > L_1$ , la unión es capaz de retener uno o mas cuantos de flujo.

10

El presente invento aprovecha estas propiedades de las uniones Josephson para utilizarlas en el diseño de una memoria en donde cada celda de memoria consiste en una única unión Josephson. Para este fin, el modo (0-1) de torbellino en donde no está confinado ningún cuanto de flujo dentro de la unión está asociado, por ejemplo arbitrariamente, con el valor binario (1), mientras que el modo (1-2) de torbellino que corresponde a un cuanto de flujo confinado está asociado con el valor binario (0). Si más de dos modos de torbellino se solapan entre sí cada modo podría ser asignado a un valor ternario, un valor cuaternario, y así sucesivamente. De este modo, el invento propone una memoria de unión Josephson en donde las uniones Josephson individuales están mantenidas (excepto durante la conmutación entre modos de funcio

15

20

25

18 NOV 1974



5                   namiento) en sus estados superconductores realizán-  
dose el almacenamiento de información mediante la con-  
mutación de las uniones a uno u otro de sus modos de  
torbellino. Para facilitar la comprensión, la realiza-  
ción del invento aquí descrita hace uso solamente de  
los dos primeros modos de torbellino.

10                   Se ha mencionado ya que el modo actual  
de la unión cuando funciona dentro de la zona 3 raya  
da de la figura 1 depende de sus estados anteriores.  
Por ejemplo, si se aplica en primer lugar una corriente  
15                    $I_{co}$  de control (figura 1), la unión está en el mo-  
do (0-1). Mediante la aplicación subsiguiente de una  
corriente  $I_w$  de polarización que excede el valor  $I_w^{crit}$   
crítico (dónde el modo (0-1) se hace inestable), la  
unión conmuta rápidamente desde el modo (0-1) al modo  
(1-2).

20                   Cuando se elimina ahora la corriente  
 $I_w$  no se produce retorno de conmutación, sino que la  
unión permanece mas bien en el modo (1-2). Si enton-  
ces se reduce la corriente  $I_{co}$  a  $I_{co} - \Delta I_c$  y se apli-  
ca nuevamente una corriente  $I_w > I_w^{crit}$ , el modo (1-2)  
se hace inestable, y la unión vuelve a conmutar al mo-  
do (0-1). La eliminación subsiguiente de  $I_w$  y  $\Delta I_c$   
deja la unión en el modo (0-1).

25                   Debido al hecho de que cada transición



de una unión entre sus dos modos de torbellino lleva consigo un cambio de su contenido energético, es posible la lectura de la información que estuvo almacenada. En vista del hecho de que el cambio de flujo implica solamente un único cuanto de flujo de  $2 \cdot 10^{-15}$  Vs, el cambio de energía obtenible es del orden de  $10^{-18}$  julios para corrientes en el campo de miliamperios.

La conmutación entre modos es extremadamente rápida y se manifiesta como un pico de tensión de muy corta duración de una amplitud suficiente para ser discernible del ruido de fondo.

Siendo capaz la unión Josephson de almacenar información binaria en la forma de modos de torbellino, es posible diseñar un conjunto de memoria con densidades de empaquetamiento mayores de  $15 \cdot 30.000$  celdas/mm<sup>2</sup>. Esta alta cifra tiene en cuenta que el problema de lectura puede ser transferido fuera de la propia memoria.

En la figura 2 está representada la organización de tal conjunto de memoria. Las uniones Josephson individuales están dispuestas en una matriz y todas las uniones de una columna de ella están conectadas en serie a una línea de palabra. Están dispuestas líneas de polarización sobre todas las uniones



18 NOV. 1974

5 nes en cada fila para conducir una corriente  $I_{co}$  de control fija común a todas las uniones. En la figura 2a están también guiadas líneas 8 de bitio sobre todas las uniones en cada fila, y conducen los impulsos  $\pm \Delta I_c$  de bitio bipolares.

En la figura 2b los impulsos  $\pm \Delta I_c$  de bitio están superpuestos sobre la corriente  $I_{co}$  fija sobre la línea 7.

10 La corriente  $I_w$  de palabra y la corriente  $\Delta I_c$  de bitio están escogidas de tal modo que ninguna de ellas por sí sola puede hacer que el punto de funcionamiento de la unión direccionada se desplace fuera de la zona 3 rayada de la figura 1. De otro modo se perdería información. En funcionamiento  
15 de coincidencia, sin embargo, el punto de funcionamiento abandonará la zona rayada, como se describirá ahora.

Se requiere el desplazamiento en el punto de funcionamiento fuera de la zona 3 de la figura  
20 1 para ciertas operaciones de lectura y escritura. Con referencia a la figura 3, cuando se supone primeramente que la unión está en su modo (0-1) de torbellino correspondiente a un valor binario (1), ocupa el punto A de funcionamiento cuando está aplicada  
25 una corriente  $I_{co}$  de control fija.

18 NOV.



5 Se aplican entonces, simultáneamente, un impulso  $+\Delta I_c$  de bitio y un impulso  $I_w$  de corriente de palabra a la unión de modo que el punto de funcionamiento de la unión se desplaza de A a B, y la unión conmuta así desde el modo (0-1) de torbellino al modo (1-2) de torbellino, o sea desde el valor binario (1) al valor binario (0). La eliminación de  $I_w$  y  $+\Delta I_c$  no tiene ninguna influencia, puesto que el punto de funcionamiento de la unión vuelve a una posición interior a la zona 3 rayada en donde ambos modos de torbellino son posibles. La repetición de esta operación no altera tampoco el modo de torbellino.

15 Con el fin de escribir un valor binario (1), han de ser aplicadas simultáneamente la corriente  $I_w$  de palabras y un impulso  $-\Delta I_c$  de corriente de bitio. Esto llevará el punto de funcionamiento desde A hasta C. La unión conmutará al modo (0-1) de torbellino si estuvo anteriormente en su modo (1-2). Si estuvo ya en el modo (0-1), no se producirá ningún cambio. La eliminación de las corrientes de bitio y de palabra no provocará ningún cambio. También, la repetición de esta operación deja sin alterar el modo (0-1).

25 La lectura de información almacenada

18 NOV



5 en las uniones 5 individuales que componen el conjunto 4 de memoria es muy similar a la operación de inscripción. Son enviadas una corriente  $I_w$  de palabra y una corriente  $+ \Delta I_c$  de bitio simultáneamente a la unión cuyo contenido de información ha de leerse. Esto hará que el punto de funcionamiento de la unión se desplace desde A (figura 2) hasta B. En caso de que la unión estuviese en su modo (1-2) de torbellino, correspondiente a un valor binario (0), no ocurrirá nada: la unión permanece precisamente en ese modo. En 10 conformidad, no se obtiene salida, y esto es representativo de un (0) almacenado.

15 Si la unión estaba en su modo (0-1) de torbellino correspondiente a un valor binario (1) almacenado, la aplicación de las corrientes  $I_w$  y  $+\Delta I_c$  provoca su conmutación al modo (1-2) de torbellino. De este modo, la información almacenada previamente y asociada con el modo (0-1) de torbellino se destruye. La conmutación de la unión genera un pico  $\Delta V$  de 20 tensión tal que  $\int \Delta V \cdot \Delta t = \Phi_0$ , donde  $\Delta t$  es la duración de impulso y  $\Phi_0$  es el cuanto de flujo.

25 Una mitad de la tensión  $\Delta V$  se propaga en sentido descendente, y la otra mitad en sentido ascendente sobre la línea 6 de palabra asociada con la unión direccionada. Han de estar dispuestos me



5 dios perceptores adecuados en uno de los extremos de la línea 6 de palabra, que deben responder a la tensión  $\Delta V/2$  en el tiempo  $\Delta t$ . El otro extremo de la línea 6 de palabra está terminado preferiblemente con su impedancia  $Z_0$  característica para evitar reflexiones.

10 La figura 4 representa un esquema posible para leer la información de la unión 5 direccionada. La línea 6 de palabra está conectada a la unión 5 y continúa hasta masa por intermedio de una inductancia 9. La línea 6 de palabra está diseñada de tal modo que su impedancia  $Z_0$  característica se conserva siempre. Está conectada al extremo superior de la inductancia 9 una resistencia 10 que está acoplada a una unión 11 Josephson y a otra inductancia 12. Tanto la unión 11 como la inductancia 12 están unidas a masa.

20 Las inductancias 9 y 12 dejan pasar señales de variación lenta pero bloquearán efectivamente los picos de corriente generados al producirse la lectura de información almacenada en la unión 5. Después de pasar a través de la resistencia 10, el pico de corriente se añadirá a la corriente  $I_{b0}$  de polarización suministrada sobre una línea 13 de polarización a la unión 11 Josephson por una fuente de

25



corriente (no representada).

5 La corriente  $I_{bo}$  de polarización es de una magnitud que permite que la unión 11 permanezca siempre en su estado superconductor. Al añadirse el pico de corriente de lectura a la corriente  $I_{bo}$  de polarización, se excede la corriente Josep  
hson máxima de la unión 11, y la unión es conmutada al estado de tensión durante un período de tiempo muy corto. Esto dará lugar a la transferencia de al  
10 menos parte de la corriente  $I_{bo}$  de polarización a la inductancia 12, y por tanto a través de la línea 14 de control de una unión 15 perceptora.

15 La unión 15 perceptora está alimentada a través de la línea 16 de polarización con una corriente  $I_{so}$  de polarización que mantiene normalmente la unión 15 en estado superconductor. Con el aumento de corriente en la línea 14 de control, la unión 15 es conmutada a su estado de tensión. De es  
te modo, la información de salida puede tomarse de la  
20 unión 15 de un modo convencional. La línea 17 de control sobre la unión 15 permite escoger el punto de funcionamiento de esa unión para las mejores condiciones de funcionamiento.

25 Se observará que un esquema de lectura sensible implica la utilización de una unión 11

18 NOV 1974



de lectura que tiene una corriente  $I_m^{ll}$  Josephson  
máxima pequeña de modo que el contenido de ener-  
gía del pico generado al producirse la lectura es  
comparable a la energía que se necesita para conmu-  
5 tar la unión ll de lectura. Esta energía es del or-  
den de  $I_m^{ll} \cdot \Phi_0$ .

En un ejemplo para un diseño típico  
de este esquema de lectura, las uniones 5, ll y 15  
Josephson tienen una densidad máxima de corriente  
10  $J_{max} = 22 \text{ KA/cm}^2$ . La unión 5 de memoria tiene una  
longitud  $l = 5 \lambda_j = 13,5 \mu\text{m}$ . La impedancia carac-  
terística de la línea 6 de palabra es  $Z_0 = 2 \Omega$ , la  
inductancia 9 tiene un valor de 5 pH, la inductan-  
cia 12 tiene un valor de 20 pH. La resistencia 10  
15 tiene un valor de  $0,1 \Omega$ . La unión ll Josephson es  
preferiblemente una unión puntiforme ( $l < \lambda_j$ )  
con un área de  $1,1$  por  $1,2 \mu\text{m}^2$ , con una corriente  
Josephson máxima  $I_{mo} = 0,28 \text{ mA}$ . La corriente de po-  
larización es  $I_{bo} = I_{mo}$ , y proporciona una corrien-  
20 te de unión igual a  $0,84 I_{mo}$ .

El pico de corriente de corta dura-  
ción generado por la unión 5 al producirse la lec-  
tura es suficiente para hacer bascular la unión ll  
y producir un cambio de corriente en la línea 14  
25 de control de un valor  $\Delta I_{14} = 0,24 \text{ mA}$ . Si la unión

18 NOV 1974



5 15 perceptora es larga, por ejemplo  $\ell = 5 \lambda_J$ , y  
está polarizada con una corriente  $I_{s0} = 0,8 \text{ mA}$  ;  
y la corriente sobre la línea 17 de control es  
 $I_{cs} = 0,9 \text{ mA}$ , el cambio  $\Delta I_{14}$  de corriente es su-  
ficiente para hacer que la unión 15 conmute a su  
estado de tensión.

10 En la figura 5 está ilustrado otro  
posible esquema de lectura. Como en la figura 4,  
la unión 5 de memoria está conectada a la línea 6  
de palabra, y está dispuesta una inductancia 9 pa-  
ra bloquear el pico de lectura para evitar una des-  
aparición por derivación a masa. El pico de corrien-  
te pasa realmente sobre la resistencia 10 a una unión  
18 Josephson. Una fuente 19 de tensión de polariza-  
ción mantiene la unión 18 normalmente en su estado  
15 de tensión. La resistencia 10 y la tensión  $V_0$  de po-  
larización están escogidas de tal modo que el punto  
de funcionamiento de la unión 18 está próximo al pun-  
to de reposición espontánea, es decir la tensión  $V_j$   
de unión se mantiene próxima a  $V_{min}$  donde la unión se  
20 repone a su estado superconductor.

25 El pico de tensión generado al pro-  
ducirse la lectura se resta de la tensión  $V_0$  de po-  
larización de modo que la tensión  $V_j$  de unión se

18 NOV 1974

hace más pequeña que la tensión  $V_{\min}$  de reposición, y la unión se repone al estado superconductor. Como resultado, la corriente  $I_{20}$  a través de la línea 20 de control aumenta sustancialmente. Este aumento de  $I_{20}$  es utilizado para controlar una unión 21 perceptora que está normalmente en estado de superconducción pero que es conmutada ahora a su estado de tensión para proporcionar la señal de lectura de salida.

10 La tensión  $V_0$  de polarización puede estar proporcionada por otra unión Josephson (no representada) que esté polarizada para autorreposición de tal modo que la disipación de potencia en reposo del circuito de lectura es nula.

15 Con referencia nuevamente a la figura 5, la posición de los modos de torbellino, y por tanto de la zona de solape de los modos (0-1) y (1-2) de torbellino, depende de la forma de unión. En la figura 1 los superconductores que componen la unión 20 tienen una configuración uniforme. Para ciertas aplicaciones es deseable tener una zona mayor de solape y se sugiere en conformidad que al menos uno de los electrodos de unión esté conformado adecuadamente.

25 La conformación puede implicar, por

18 NOV 1974



ejemplo, el estrechamiento de la porción central de un electrodo. Esto tiene un efecto importante sobre la posición del modo (1-2) de torbellino, como se representa en la figura 6. Sin embargo, hay poco efecto sobre el modo (0-1) de torbellino.

El estrechamiento de la porción central da como resultado el desplazamiento del modo (1-2) de torbellino hacia la izquierda en la característica de ganancia normalizada de la figura 6. A medida que el estrechamiento  $W$  se hace mas pronunciado ( $w_1 < W_2 < w_j$ ), la rama izquierda de la curva correspondiente al modo (1-2) de torbellino se aproxima al eje  $I_g/I_m$ , y finalmente se desplaza mas allá del origen  $I_g = I_c = 0$ . Cuando es este el caso, el sistema de memoria se hace insensible a fallos de potencia que podrían originarse en la desaparición de la corriente  $I_c$  de control. En otras palabras, extendiéndose la curva correspondiente al modo (1-2) de torbellino más allá del eje  $I_g/I_m$ , la región de solape contiene el punto  $I_g = I_c = 0$  y la información almacenada en las uniones de memoria no puede perderse al desaparecer la corriente  $I_c$ .

La razón para el desplazamiento del

18 NOV. 1974



modo (1-2) de torbellino es que la conformacion de la unión altera su inductancia. De hecho, una unión conformada puede considerarse como un dispositivo que se compone en primera aproximación de dos uniones 22 y 23 unidas por una inductancia 24 (figura 7a).El espesor  $t_i$  de la capa 25 de óxido situada bajo la porción 26 estrecha de la unión puede ser el mismo que existe bajo el resto del dispositivo (en cuyo caso la totalidad de la disposición es una unión conformada regular), o bien puede ser mucho mayor que el que existe en cualquier zona, en cuyo caso se tiene un verdadero interferómetro (figura 7b y 7c).

El diseño práctico de una unión conformada de acuerdo con el presente invento está ilustrado mejor en el cálculo de una realización preferida. Se hace referencia a la figura 7a. Para las dos uniones 22 y 23 consideradas se tiene

$$\begin{aligned}
 I_1 / I_m &= \text{sen } \varphi_1 \\
 I_2 / I_m &= \text{sen } \varphi_2 \\
 V_{J1} &= V_{J2} + L \frac{dI_2}{dt}
 \end{aligned}$$

en donde  $I_1$ ,  $I_2$  son respectivamente las corrientes a través de las uniones 23 y 22 Josephson,  $I_m$  es la corriente Josephson máxima,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  son las diferencias de fase a través de las dos uniones,  $V_{J1}$ ,  $V_{J2}$  son las tensiones de unión y  $L$  es la inductan-



18 NOV. 1974

cia de la porción 26 estrechada. Ahora, puesto que

$$V_J = \frac{\Phi_0}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt},$$

se tiene  $(\varphi_1 - \varphi_2) = \eta \frac{I_2}{I_m}$

$$\eta = 2\pi \frac{LI_m}{\Phi_0} = 2\pi N,$$

5 donde  $\Phi_0$  es el cuanto de flujo y  $L$  es la inductancia normalizada introducida para simplificar. Con esto, las relaciones iniciales pueden volver a escribirse del modo siguiente

$$I_1/I_m = \text{sen } \varphi_1$$

10

$$I_2/I_m = \text{sen } \varphi_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\eta}$$

Si en la figura 7a,  $I_g = 0$ , se tiene que  $I_1 + I_2 = 0$ , y  $\text{sen } \varphi_1 = -\text{sen } \varphi_2$ . Esta última ecuación de las siguientes tres soluciones:

$$(a) \varphi_1 = \varphi_2 = 0$$

15

Esta es la solución de torbellino cero con la corriente  $I_r = 0$  almacenada

$$(b) \varphi_1 = -\varphi_2$$

20

que tiene soluciones solamente para  $\eta > 9,24$ . Esto se rechaza si se desea funcionar en el modo de cuanto de flujo único puesto que conduce a un modo de funcionamiento con más de un cuanto de flujo. En conformidad, se supone que  $\eta < 9,24$  para funcionamiento en el modo de cuanto de flujo único.

$$(c) \varphi_1 - \varphi_2 = \pm \pi$$

25

$$\text{sen } \varphi_2 = \pm \frac{\pi}{\eta} = \pm \frac{1}{2N}$$



18 NOV. 1974

Puesto que  $|\sin \varphi_2| < 1$ , debe tenerse  $N > 1/2$  o  $\eta > \pi$ .  
 Esta es la solución de torbellino  $\pm 1$  con corriente  
 $I_r/I_m = \pm \frac{\pi}{\eta}$  almacenada. Con esto se tienen los límites  
 para  $\eta$ , a saber

5

$$\pi < \eta < 9,24$$

(para funcionamiento de cuanto de flujo único) y (en  
 ausencia de polarización,  $I_g = I_c = 0$ ) la corriente  $I_r$   
 almacenada es:

10

$$I_r/I_m = 0 \text{ (torbellino cero)}$$

$$o \quad I_r/I_m = +\pi/\eta \text{ (torbellino +1)}$$

$$o \quad I_r/I_m = -\pi/\eta \text{ (torbellino -1)}$$

Sin entrar aquí en los detalles de de-  
 ducción, puede mostrarse que  $\eta$  es aproximadamente (Teo-  
 ría BCS)

15

$$\eta = 0,4 \left(1 + 2 \frac{\lambda_L/t_i}{\sqrt{1-t^4}}\right) J_{\max} t_i \frac{e}{w} A$$

en donde  $\lambda_L$  = Profundidad de penetración London (en  $\mu\text{m}$ )

$t_i$  = espesor de óxido bajo la porción 26 (en  
 $\mu\text{m}$ )

20

$t = (T/T_c)$ , siendo  $T_c$  = temperatura crítica  
 $J_{\max}$  = máxima densidad de corriente Josephson  
 (en  $10^4 \text{ A/cm}^2$ )

$e/w$  = relación de longitud a ancho de la por-  
 ción 26

25

$A$  = Area de cada una de las uniones 22 y 23  
 ( $\mu\text{m}^2$ )



Con  $t_i = 20\text{A}$ , se tiene una unión Josephson real que puede tener, por ejemplo, una penetración  $\lambda_L = 800 \text{ A}$  y una densidad máxima de corriente  $J_{\max} = 10^4 \text{ A/cm}^2$ .

La fórmula que da el parámetro  $\eta$  toma entonces la forma:

5

$$\eta = 0,064 \frac{\ell}{w} A$$

Para la relación  $\ell/w = 5$  y  $A = 20 \mu\text{m}^2$ , se obtiene  $\eta = 6,4$  dentro de los límites impuestos anteriormente.

10

En la figura 8 está representada una disposición práctica de una estructura correspondiente a este ejemplo (todas las dimensiones en  $\mu\text{m}$ ).

15

La característica de ganancia de una unión (figura 1), y consecuentemente las regiones 3, de solape entre modos de torbellino, dependen de la relación  $\ell/\lambda_J$  y por consiguiente de la densidad  $J_{\max}$  de corriente máxima: Es este parámetro el que es bastante difícil de mantener dentro de tolerancias estrechas. Al variar  $J_{\max}$  aproximadamente  $\pm 20\%$  alrededor del valor de diseño escogido, el valor de  $\ell/\lambda_J$  cambia de 4,5 a 5,5, siendo igual a 5 el valor de diseño para  $\ell/\lambda_J$ .

20

La figura 9 representa los cambios correspondientes en la región 3 (0-1, 1-2) de solape (o memoria). En la figura 9,  $I_m$  es la corriente Josephson máxima cuando  $J_{\max}$  tiene su valor de diseño.

25

A partir de este diagrama, pueden deter-



18 NOV. 1974

5 minarse las tolerancias sobre las corrientes de palabra y de bitio para los cambios de  $\pm 20\%$  supuestos en  $J_{\max}$ . Si se supone que la corriente  $I_{co}$  de control fija está definida con precisión, se encuentra, para  $I_{co}/I_m = 0,68$ ,  $I_w/I_m = 0,12$  y  $\Delta I_c/I_m = 0,27$ , que las variaciones permitidas son del orden de  $\pm 10\%$  para la corriente  $I_c$  de bitio y  $\pm 11\%$  para la corriente  $I_w$  de palabra.

10 Estos márgenes son posibles si se dispone de un cierto grado de compensación para la corriente  $\Delta I_c$  de bitio. Recuérdese que para una unión conformada correctamente,  $I_{co}$  puede hacerse igual a cero lo que elimina un parámetro del problema de márgenes de funcionamiento. Obsérvese también que con los márgenes dados anteriormente el contenido de información  
15 de las celdas puede ser destruido por picos de corriente que resultan de operaciones de escritura y lectura.

20 Un esquema posible para compensación está representado en la figura 10. La unión 5 Josephson (figuras 3, 4) está acoplada a una línea 8 de bitio que conduce la corriente  $\pm \Delta I_c$  de bitio. Está conectado a la línea 8 de bitio el punto central de un circuito en serie de uniones 27 y 28 Josephson que están alimentadas con una corriente  $I_b$  de polarización sobre una línea  
25 29 de polarización. Está conectada en paralelo con las



uniones 27 y 28 una inductancia 30.

Si la unión 28 se hace mayor que la unión 27, y se escoge una corriente  $I_b$  de polarización sobre la línea 29 que exceda la corriente  $I_{max}^{27}$  Josephson máxima de la unión 27, pero no la corriente  $I_{max}^{28}$  Josephson máxima de la unión 28, entonces la unión alcanza su estado de tensión, y parte de la corriente  $I_b$  de polarización se transfiere a la inductancia 30. Cuando finaliza esta transferencia, la corriente que queda en las uniones 27 y 28 es la corriente  $I_{min}^{27}$  Josephson mínima que puede fluir posiblemente a través de la unión 27 antes de que retorne espontáneamente a su estado superconductor.

Se aplica entonces la corriente  $I_{c28}$  de control a una línea 31 de control de la unión 28 para provocar la conmutación de esta unión a su estado de tensión y transferir de este modo la corriente  $I_{min}^{27}$  a la línea 8 de bitio. Como resultado, la corriente  $\Delta I_c$  de bitio se hace igual a la corriente  $I_{min}^{27}$ .

Para uniones cortas ( $l < \lambda_j < 2$ ), la corriente  $I_{min}$  Josephson mínima aumenta aproximadamente como  $(J_{max})^2$ . El esquema representado en la figura 10 representa, por consiguiente, una corriente  $\pm I_c$  de bitio proporcional a  $(J_{max})^2$  lo que permite una compensación parcial de las variaciones en las regiones de



18 NOV. 1974

funcionamiento de las celdas de memoria.

5 La presente solicitud que corresponde a la presentada en Suiza, el 20 de Septiembre de 1973, bajo el Nº 013521/73 se acoge a los beneficios del Artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

10

REIVINDICACIONES

15

Los puntos de invención propia y nueva, que se presenten para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

20

1ª.- Perfeccionamientos introducidos en una memoria de unión Josephson, que comprende una pluralidad de celdas de memoria cada una de las cuales consiste en una única unión Josephson, caracterizados porque los parámetros de cada unión (5) Josephson individual es

25

tán escogidos de tal modo que la unión tiene una carac-

18 NOV 1974

5 terística de ganancia (figura 1) con al menos dos mo-  
dos (0-1, 1-2, 2-3) de torbellino que se solapan par-  
cialmente (3, 3a) entre sí, y con lo cual en uno (1-2)  
de los modos (0-1, 1-2, 2-3) de torbellino puede ser  
confinado un único cuanto ( $\Phi_0$ ) de flujo dentro de la  
unión (5) mientras que en cualquier otro (0-1, 2-3) de  
los modos (0-1, 1-2, 2-3) de torbellino puede ser con-  
finado un número diferente de cuantos ( $\Phi_0$ ) de flujo,  
estando asociados los modos (0-1, 1-2; 1-2, 2-3) de  
10 torbellino de solape, respectivamente, con valores di-  
gitales, y porque cada unión (5) está acoplada respec-  
tivamente a una línea (6) de palabra y una línea (8) de  
bitio, a cuyas líneas (6, 8) están aplicadas corrientes  
( $I_w, I_{c0} \pm \Delta I_c$ ) de acuerdo con el principio de corrien-  
tes coincidentes a fin de hacer conmutar la unión (5)  
15 entre cualquiera de los modos (0-1, 1-2; 1-2, 2-3) de  
torbellino de solape para la inscripción o lectura de  
información.

20 2ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con  
la reivindicación 1ª, caracterizados porque los pará-  
metros de cada una de las uniones (5) Josephson están  
escogidos de tal modo que los dos primeros modos (0-1,  
1-2) de torbellino tienen la mayor zona (3) de solape.

25 3ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con  
la reivindicación 1ª, caracterizados porque las unio-

nes (5) Josephson de la memoria están dispuestas en un conjunto (4) tal que las uniones (5) de cada columna están conectadas en serie a una línea (6) común de polarización, y porque las uniones (5) de cada fila del conjunto (4) están acopladas inductivamente al menos a una línea (7,8) de control, sirviendo las corrientes de polarización y control correspondientes como corriente ( $I_w$ ) de palabra y como corriente ( $\pm \Delta I_o, I_{co} \pm \Delta I_o$ ) de bitio, respectivamente.

10 4ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 1ª, caracterizados porque la línea (6) de palabra está conectada a un circuito de lectura (figura 4) que se compone de una primera inductancia (9), una resistencia (10), una primera unión (11) Josephson, y una segunda inductancia (12), estando po-  
15 larizada la unión (11) para permanecer normalmente en su estado superconductor y ser posible su conmutación a su estado de tensión por el pico de lectura, de modo que al menos parte de la corriente ( $I_{bo}$ ) de polarización de la unión (11) es transferida a la segunda in-  
20 ductancia (12) a fin de conmutar una segunda unión (15) Josephson para proporcionar una señal de salida.

25 5ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 1ª, caracterizados porque la línea (6) de palabra está conectada a un circuito de lectura

18 NOV 1974

5 (figura 5) que consiste en una inductancia (9), una  
resistencia (10) y una primera unión (18) Josephson,  
estando polarizada dicha unión (18) por una fuente  
(19) de tensión a un punto de funcionamiento próxi-  
mo al punto de reposición espontánea de dicha unión  
(18) de tal modo que es capaz de reponerse al apare-  
cer un impulso de lectura para extraer una corrien-  
te ( $I_{20}$ ) aumentada a través de una línea (20) de con-  
trol acoplada a una segunda unión (21) Josephson de  
10 la cual puede obtenerse una señal de salida.

6ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con  
la reivindicación 1ª, caracterizados porque cada una  
de las uniones (5) Josephson tiene una configuración  
conformada (figuras 7, 8) por cuanto al menos uno de  
15 sus electrodos (M3) tiene una porción (26) estrecha-  
da para aumentar la parte (3, 3a) de solape de los mo-  
dos (0-1, 1-2, 2-3) de torbellino de los mismos.

7ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con  
la reivindicación 6ª, caracterizados porque el espe-  
20 sor ( $t_i$ ) de la capa (25) de óxido bajo la parte (26)  
estrechada es el mismo que bajo el resto de la unión  
(5).

8ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con  
la reivindicación 6ª, caracterizados porque el espesor  
25 ( $t_i$ ) de la capa (25) de óxido bajo la parte (26) estre

18 NOV 1974  
18 NOV 1974

chada es mayor que el espesor de óxido bajo el resto de la unión (5).

5 9ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 1ª, caracterizados porque la línea (8) de bitio está conectada a un circuito (figura 10) para compensar las posibles variaciones de al menos uno de los parámetros ( $J_{max}$ ) de dichas uniones (5) Josephson, consistiendo dicho circuito (figura 10) en una primera y una segunda uniones (27,28) Josephson en serie, con una inductancia (30) conectada en paralelo con dichas uniones (27,28), siendo dichas uniones (27,28) de tamaños diferentes y estando alimentadas con una corriente ( $I_p$ ) de polarización tal que es sobrepasada la corriente ( $I_{max}$ )<sup>27</sup> Josephson máxima de solamente una (27) de dichas uniones (27,28), y porque la corriente ( $\Delta I_c$ ) de bitio sobre dicha línea (8) de bitio es igual a la corriente ( $I_{min}$ )<sup>27</sup> Josephson mínima de dicha segunda unión (27).

10

15

10ª.- "PERFECCIONAMIENTOS INTRODUCIDOS EN UNA MEMORIA DE UNION JOSEPHSON".

20

25

18 NOV 1974

5

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de treinta y dos hojas escritas a máquina por una sola cara.

10

Madrid,

P.A.

18 NOV. 1974

Alberto de Elzaburu  
Por Poder

15

20

25

13.11.74

JMM/.

7-23766



18

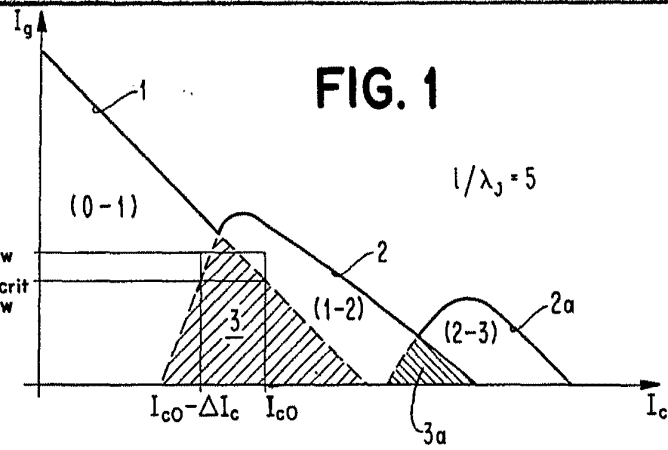


FIG. 1

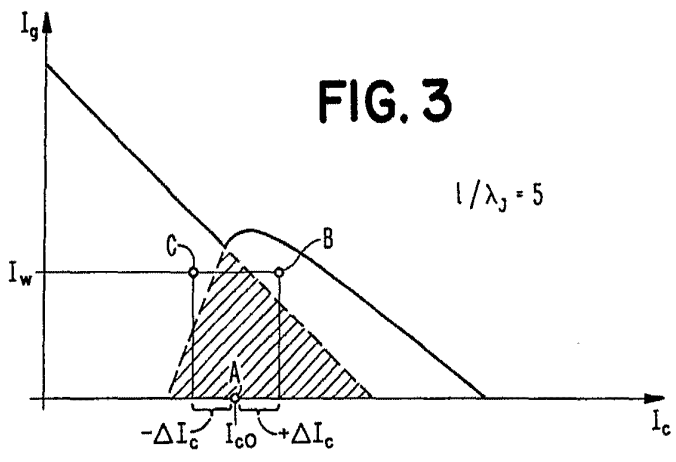
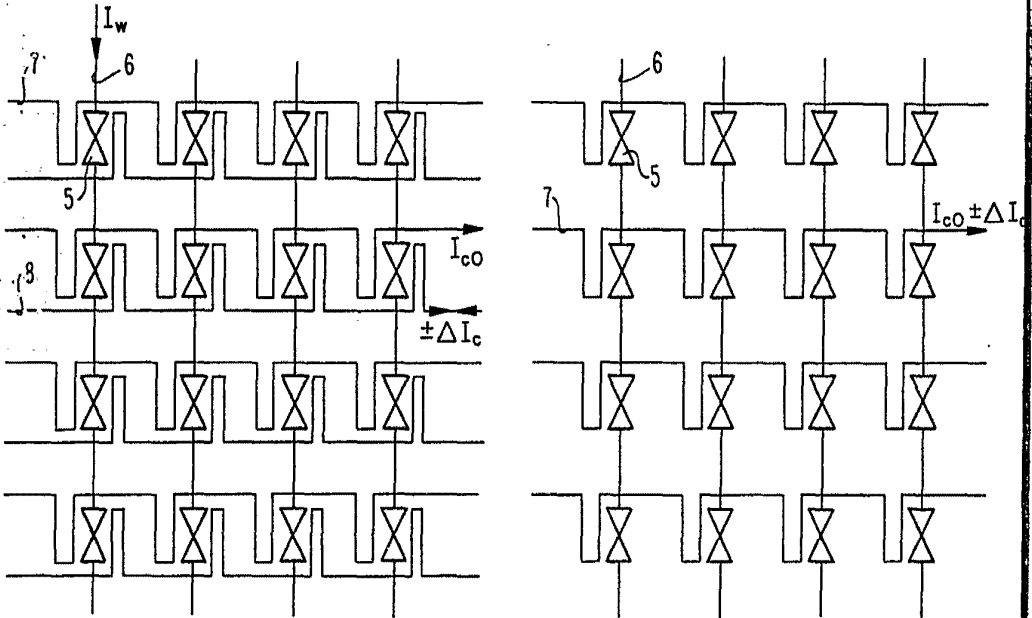


FIG. 3



(a)

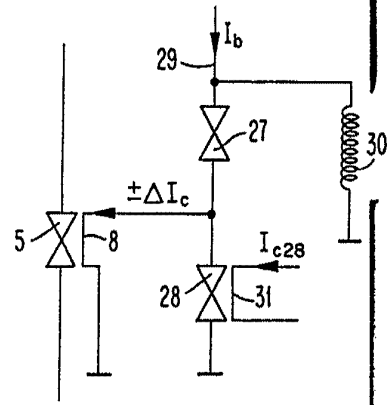
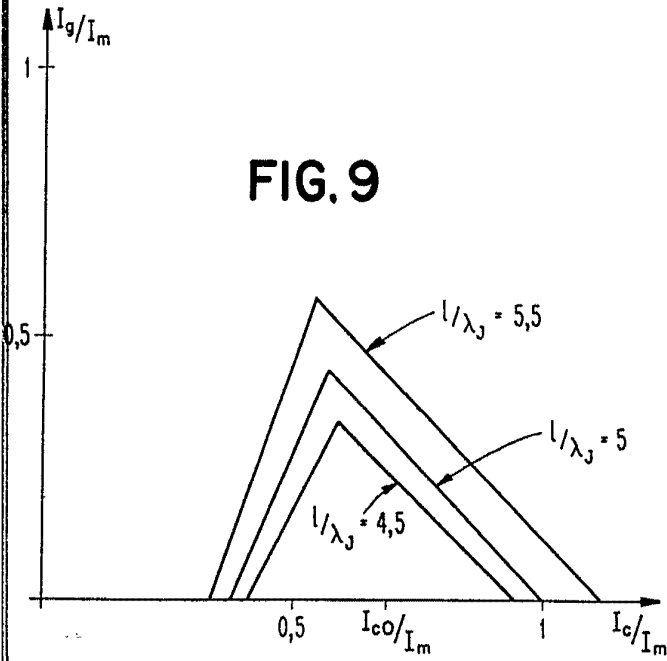
FIG. 2

(b)

Alberto de Eizoburu  
Por Poder.



115766



Alberto *[Signature]*  
Per Federa