

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 806**

51 Int. Cl.:  
**H03K 19/003** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09708573 .2**  
96 Fecha de presentación: **28.01.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2238687**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.10.2010**

54 Título: **Circuito integrado con un gran número de circuitos elementales idénticos alimentados en paralelo**

30 Prioridad:  
**08.02.2008 FR 0800678**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**30.11.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**30.11.2012**

73 Titular/es:  
**E2V SEMICONDUCTORS (100.0%)  
AVENUE DE ROCHEPLEINE  
38120 SAINT EGRÈVE, FR**

72 Inventor/es:  
**NICOLAS, JEAN-ALAIN y  
MORISSON, RICHARD**

74 Agente/Representante:  
**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 391 806 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

Circuito integrado con un gran número de circuitos elementales idénticos alimentados en paralelo

La invención se refiere a los circuitos integrados que comprenden un gran número de circuitos elementales idénticos que deben recibir en paralelo unas tensiones de referencia idénticas de un circuito elemental al otro.

- 5 Por "gran número" se entiende un número de al menos igual a veinte y, de preferencia, al menos cincuenta. Las tensiones idénticas son unas tensiones de referencia que pueden ser eventualmente, pero no obligatoriamente, unas tensiones de alimentación del circuito integrado.

Una aplicación clásica prevista es la de los convertidores analógico-digitales de alta resolución, habitualmente los convertidores de 12 o 14 bits cuya estructura es estrictamente paralela para permitir garantizar una conversión muy rápida. Los convertidores de tipo flash, por ejemplo, tienen una estructura estrictamente paralela en el sentido de que numerosos comparadores de tensión individuales realizan de forma simultánea una operación de comparación entre una tensión de entrada y diferentes tensiones de referencia. Estos comparadores pueden utilizar, cada uno, una o varias fuentes de corriente y todas las fuentes de corriente deben ser perfectamente idénticas entre sí o se corre el riesgo de falsear el resultado de la conversión. En un ejemplo de convertidor con resolución de 14 bits, se pueden tener más de trescientas fuentes de corriente yuxtapuestas todas las cuales deben emitir unas corrientes estrictamente idénticas. Para establecer estas corrientes, cada fuente comprende por ejemplo un transistor que recibe dos potenciales de referencia; uno de los potenciales es un potencial de polarización de la base, el otro es un potencial de alimentación (por ejemplo un potencial de masa) al cual está unido el emisor o la fuente del transmisor, directamente o por medio de una resistencia de emisor o de fuente. Para que todas las corrientes establecidas por estas fuentes sean estrictamente idénticas, es necesario, por una parte, que todos los transistores y sus resistencias sean idénticos, y también es necesario que todas reciban el mismo potencial de polarización y el mismo potencial de alimentación.

En estas estructuras con un gran número de circuitos elementales idénticos en las que todos deben recibir en paralelo un mismo potencial, ya sea un potencial de alimentación alto o un potencial de alimentación bajo, o un potencial de referencia, o un potencial que hay que medir, se presenta una dificultad que está ligada al hecho de que los conductores de alimentación de tensión no tienen una conductividad infinita, sino una conductividad limitada por unos factores tecnológicos; ahora bien, los circuitos elementales idénticos consumen, cada uno, una corriente que circula por un conductor de alimentación de tensión; se produce en este conductor una caída de tensión en la proporción de la corriente que consumen los circuitos elementales, de tal modo que los circuitos elementales reciben unas tensiones diferentes según si están colocados más cerca o más lejos de un extremo aguas arriba del conductor.

El fenómeno de caída de tensión se explicita en la figura 1 en el caso del ejemplo de N circuitos elementales  $CE_1, CE_2, \dots, CE_j, \dots, CE_N$  conectados entre un conductor de polarización CA que transporta un potencial de referencia  $V_{ref}$  y un conductor de masa CB que transporta un potencial de alimentación  $V_0$  igual a 0 (potencial de masa). Se supone que los circuitos elementales consumen, cada uno, una corriente  $i_a$  procedente del conductor de polarización y que devuelven, cada uno, una corriente  $i_b$  hacia el conductor de masa. En el ejemplo de un circuito elemental que es una fuente de corriente formada por un transistor bipolar, la corriente  $i_a$  es la corriente que consume la base del transistor, y la corriente  $i_b$  es la corriente de emisor. El colector se utiliza, por ejemplo, para extraer una corriente  $i_c = i_a + i_b$  de un par diferencial (no representado) utilizado en un comparador de tensiones o de corrientes asociado a cada circuito elemental. Se supone que el conductor de masa y el conductor de alimentación tienen ambos una resistividad propia no nula, como la resistencia del conductor entre dos circuitos elementales  $CE_j$  y  $CE_{j+1}$  adyacentes, de la fila  $j$  y  $j+1$ , separados por un paso  $d$  que tenga un valor  $R_a$  para el primer conductor CA y un valor  $R_b$  para el segundo conductor CB.

Para el conductor CA que transporta el potencial  $V_{ref}$ , se considera, además, para simplificar los cálculos, que hay una resistencia  $R_a$  entre el circuito que elabora la tensión  $V_{ref}$  y el primer circuito elemental  $CE_1$ . Para el conductor de masa CB también se considera que hay una resistencia  $R_b$  entre la verdadera masa GND y el primer circuito elemental  $CE_1$ .

En esas condiciones, se puede mostrar fácilmente que el último tramo de resistencia  $R_a$  del conductor CA produce una caída de tensión  $R_a \cdot i_a$ , que el antepenúltimo produce una caída de tensión  $2 \cdot R_a \cdot i_a$ , etc. Se puede mostrar entonces, mediante cálculo, que la tensión de alimentación que realmente se aplica en el cabezal del circuito elemental  $CE_j$  de la fila  $j$  no es  $V_{ref}$ , sino  $V'_{ref}(j) = V_{ref} - R_a \cdot i_a \cdot j \cdot (2N+1-j)/2$ , N siendo el número total de circuitos.

Del mismo modo, hay una caída de tensión en el conductor CB, de tal modo que el pie del circuito elemental  $CE_j$  en la fila  $j$  no está conectado al potencial 0 de la masa, sino más bien a un potencial  $R_b \cdot i_b \cdot j \cdot (2N+1-j)/2$ .

La diferencia de potencial  $V'_{ref}(j) - V'_0(j)$  que se aplica entonces entre el cabezal y el pie de un circuito elemental de la fila  $j$  es, por lo tanto

$$V'_{ref}(j) - V'_0(j) = V_{ref} - (R_a \cdot i_a + R_b \cdot i_b) \cdot j \cdot (2N+1-j)/2.$$

- La diferencia con respecto a  $V_{ref}$  es mayor cuanto más grande es  $N$ , y esta diferencia alcanza  $N \cdot (N+1) \cdot (R_a \cdot i_a + R_b \cdot i_b) / 2$  para el circuito elemental de la fila  $j$ . Si  $N$  es superior a 100, se observa que el error en la diferencia de potencial aplicada al circuito de la fila  $N$  es 10.000 veces la caída de tensión en un tramo elemental, recorrido por una corriente elemental, de los conductores  $CA$  y  $CB$ . Si  $N$  es igual a 300, es casi 100.000 veces esta caída. Incluso si la caída de tensión elemental es muy baja, el error se vuelve importante cuando  $N$  alcanza una o varias centenas.
- Para hacer que la diferencia de potencial aplicada sea lo más próxima posible a  $V_{ref}$ , la solución clásica es, por lo tanto, reducir todo lo posible el valor de las resistencias  $R_a$  y  $R_b$ . Se utilizan unos conductores  $CA$  y  $CB$  de un material muy conductor (aluminio o cobre, de preferencia), lo suficientemente espesos (pero con las restricciones de la tecnología utilizada), y lo suficientemente anchos (pero con un tamaño aun más importante).
- La figura 2 representa una disposición física realista de este tipo de circuito integrado; el potencial de referencia  $V_{ref}$  lo produce un circuito de generación de tensión  $CT$  que forma parte del circuito integrado y que está situado en el extremo de la sucesión de circuitos elementales. El potencial de alimentación  $V_0$  es el de la masa y lo puede suministrar un terminal de alimentación exterior  $PLT$  del circuito integrado.
- También se podría llevar cada tensión individual hacia los circuitos elementales a partir de un conductor central que se ramifica en ramales sucesivos organizados de tal modo que el trayecto desde el potencial de referencia ( $V_{ref}$  o  $V_0$ ) presente la misma resistencia hacia cada uno de los circuitos. Pero el tamaño que resultaría de este tipo de estructura arborescente es muy grande si hay centenares de circuitos a los que hay que alimentar.
- La invención propone una solución para hacer más uniforme la diferencia de potencial aplicada entre el cabezal y el pie de cada uno de los circuitos elementales yuxtapuestos, sin aumentar de forma poco razonable el tamaño de la estructura.
- De acuerdo con la invención se propone un circuito integrado que comprende una sucesión de  $N$  circuitos elementales idénticos, yuxtapuestos en el orden de su fila  $j$  variando desde 1 hasta  $N$ ,  $N$  siendo al menos igual a 20, de preferencia más de 50, todos unidos a un primer conductor que está conectado, en un punto denominado entrada aguas arriba del primer conductor, a un primer potencial de referencia, y que se extiende a partir de esta entrada aguas arriba a lo largo de la sucesión de circuitos elementales, y todos conectados, por otra parte, a un segundo conductor que está conectado, en un punto denominado entrada aguas arriba del segundo conductor, a un segundo potencial de referencia, y que se extiende a partir de esta entrada aguas arriba a lo largo de la sucesión de circuitos elementales, caracterizado porque la entrada aguas arriba del segundo conductor está situada geográficamente en el lado de la fila 1 de la sucesión de circuitos yuxtapuestos, y la entrada aguas arriba del primer conductor está situada geográficamente en el lado de la fila  $N$  de la sucesión de circuitos yuxtapuestos.
- Dicho de otro modo, si se localizan los circuitos elementales por su fila  $j$  desde 1 hasta  $N$  a lo largo de la sucesión, el segundo conductor lleva el segundo potencial de referencia comenzando por el circuito elemental de la fila 1, y extendiéndose de forma progresiva hacia los demás circuitos en el orden de la sucesión de puestos 1 a  $N$ , mientras que el primer conductor lleva el primer potencial de referencia comenzando por el circuito elemental de la fila  $N$  y extendiéndose a continuación de forma progresiva hacia los demás en el orden inverso de la sucesión.
- En efecto, se ha comprobado que al aplicar los dos potenciales de referencia,  $V_{ref}$  y la masa, por ejemplo, a ambos lados de la sucesión y no en el mismo lado, se reducía (sin eliminarla) la diferencia de tensión entre el circuito elemental que recibe la diferencia de potencial más baja y el que recibe la más alta. Existe una compensación parcial de una caída de tensión en un conductor con la caída de tensión en la otra.
- Además, en el caso de que la corriente  $i_a$  extraída por el cabezal del circuito elemental sea diferente de la corriente  $i_b$  suministrada por el pie, se hacen arreglos de preferencia para tener una resistencia elemental entre dos circuitos elementales adyacentes más elevada para el conductor que soporta la corriente más pequeña y más baja para el conductor que soporta la corriente más pequeña. La elección se hace, de preferencia, de tal modo que se cumpla la igualdad  $R_a \cdot i_a = R_b \cdot i_b$ .
- En particular, en el caso en el que el circuito elemental es un transistor, el primer conductor aplicando un potencial de referencia a la base y el segundo conductor utilizándose para derivar la corriente de emisor hacia una masa, se selecciona entonces una resistencia de tramo entre 20 y 500 veces más elevada (de preferencia entre 100 y 250 veces) para el conductor que está conectado a las bases que para el conductor que está conectado a los emisores.
- La relación elegida es tan próxima como sea posible a la ganancia en corriente beta (corriente colector/corriente de base) de los transistores; esta ganancia beta puede variar, de acuerdo con la tecnología que se emplee, entre unas decenas y unas centenas de unidades, e incluso más; de manera tradicional está comprendida entre 100 y 250.
- La obtención de esta diferencia de resistencias elementales se hace jugando con los materiales, sus espesores y sus anchuras.
- Hay que señalar que la elección de resistencias elementales diferentes pero en la relación inversa de las corrientes  $i_a$  e  $i_b$  permite que solo uno de los conductores de alimentación tenga una anchura relativamente importante en lugar de los dos; esto permite ahorrar espacio con respecto a una disposición como la de la figura 2.

De acuerdo con un perfeccionamiento, también se puede prever que aquel de los conductores que soporta la corriente más alta tiene una resistencia de tramo elemental no constante, que crece a partir de su extremo aguas arriba (conectado a la masa, por ejemplo). Para ello se prevé de preferencia que la anchura del conductor se va reduciendo de forma progresiva, de forma continua o a intervalos, a partir de su entrada aguas arriba. La ley de reducción se aproxima todo lo posible a la función  $(N-j+1)/j$ , en función de la fila  $j$  del tramo elemental de conductor que une los circuitos elementales de la fila  $j-1$  y  $j$ .

En el caso en el que el circuito elemental está formado a partir de transistores MOS cuyas compuertas deben recibir la tensión de referencia, se conecta de preferencia en el extremo aguas abajo del primer conductor (opuesto a la entrada aguas arriba) una fuente de corriente que crea de forma artificial una caída de tensión progresiva en el primer conductor. El potencial en el primer conductor, que es  $V_{ref}$  en el primer extremo, cae de forma progresiva hasta el segundo extremo, en proporción a la resistencia y al valor de la corriente de la fuente de corriente añadida. El valor de la corriente de esta fuente se selecciona de tal modo que se minimice la distancia que existe entre las diferentes diferencias de potencial que se aplican a los circuitos elementales.

Por último, aquí también, se puede prever que el conductor que recoge las corrientes de fuente de los diferentes transistores MOS tiene una resistencia por unidad de longitud no constante a lo largo de la sucesión de circuitos elementales, y de manera más precisa una resistencia elemental de tramo que crece (por lo tanto una anchura que decrece) a partir de la entrada aguas arriba a medida que la fila  $j$  aumenta desde 1 hasta  $N$ . La ley de reducción se aproxima de preferencia a una función  $(N-j)/(N-j+1)$  en función de la fila  $j$  del tramo de conductor concernido.

En todas estas configuraciones, el primer conductor que suministra la corriente más pequeña a los circuitos elementales tendrá de preferencia una anchura menor que la anchura media del segundo conductor.

Se mostrarán otras características y ventajas de la invención en la lectura de la descripción detallada que se da a continuación y que se hace en referencia a los dibujos que se adjuntan, en los que:

- la figura 1, ya descrita, representa un circuito integrado que comprende un gran número de circuitos elementales yuxtapuestos y que deben recibir todos la tensión  $V_{ref}$  presente en un primer conductor CA así como la tensión  $V_0$  presente en un segundo conductor CBV conectado a la masa GND;
- la figura 2, que ya se ha descrito también, representa una implantación física posible del circuito de la figura 1;
- la figura 3 representa el esquema de bloques del circuito integrado de acuerdo con la invención;
- la figura 4 representa un ejemplo de variación de potencial a lo largo del conductor CA y a lo largo del conductor CB de la figura 1;
- la figura 5 representa un ejemplo de variación de potencial a lo largo de los conductores CA y CB del circuito de la figura 2;
- la figura 6 representa la variación de la diferencia de potencial a lo largo de la sucesión de circuitos elementales entre el conductor CA y el conductor CB en el caso de la figura 3;
- la figura 7 representa un ejemplo de implantación física real del circuito integrado de acuerdo con la invención;
- la figura 8 representa otra implantación física posible;
- la figura 9 representa una combinación del principio de la invención con un principio de arborescencia de los conductores;
- la figura 10 representa una configuración con un conductor de alimentación de anchura variable a lo largo de la sucesión de circuitos;
- la figura 11 representa un ejemplo de circuito integrado de acuerdo con la invención en el caso en el que el circuito elemental comprende un transistor MOS y el primer conductor CA debe suministrar una tensión de polarización a la compuerta de este transistor MOS.

La figura 3 representa el circuito integrado de acuerdo con la invención, o de manera más exacta la porción de circuito integrado a la que se refiere la invención, el circuito integrado pudiendo por supuesto comprender muchos otros elementos.

La invención se describirá en el contexto que se ha expuesto con anterioridad, esto es un conversor analógico-digital o digital-analógico de precisión capaz de emitir un valor numérico codificado de 12 o 14 bits para cada valor de tensión analógica aplicada en la entrada del conversor. El conversor utiliza unas series numerosas de fuentes de corriente todas idénticas; cada fuente puede estar formada por un transistor que tiene su emisor (o su fuente) conectado a un conductor que está unido a un potencial de masa  $V_0$ , con o sin resistencia de emisor, y su base (o su compuerta) conectada a un conductor unido a un potencial de referencia  $V_{ref}$ . La invención se puede aplicar a otros circuitos integrados en los que se plantea el problema de aplicar una diferencia de potencial  $V_{ref} - V_0$  a una serie de numerosos circuitos elementales los cuales deben recibir todos en la medida de lo posible la misma diferencia de potencial.

El circuito de la figura 3 comprende, por lo tanto, una gran número  $N$  de circuitos elementales idénticos yuxtapuestos unos a otros y designados por las referencias  $CE_1, CE_2, \dots, CE_j, CE_{j+1}, CE_{N-1}, CE_N$ .

$N$  es igual a al menos 20, pero se tiene interés sobre todo en los circuitos en los que  $N$  es superior a cincuenta ya que son estos circuitos los que van a plantear más problemas. Cada circuito elemental se ha representado

- simbólicamente con tres terminales, dos de ellos estando destinados a recibir dos potenciales de referencia que deberían ser estrictamente idénticos para todos los circuitos. El tercer terminal se utiliza, por ejemplo, para extraer corriente de un par diferencial no representado que forma parte de un comparador o de un amplificador diferencial; a causa de la igualdad de los diferentes circuitos elementales, la corriente extraída por este tercer terminal es idéntica para todos los circuitos elementales desde el momento en que los dos potenciales que se reciben respectivamente en los dos primeros terminales son idénticos. Es esta igualdad de corrientes en el tercer terminal lo que se busca.
- Uno de los potenciales de referencia,  $V_{ref}$ , se aplica a un primer terminal mediante un primer conductor CA; el otro potencial de referencia,  $V_0$ , se aplica al segundo terminal mediante un segundo conductor CB. El primer terminal consume una corriente  $i_a$ , idéntica para todos los circuitos, por ejemplo la corriente que consume la base de un transistor bipolar. El segundo terminal suministra o consume una corriente  $i_b$ , idéntica para todos los circuitos; es, por ejemplo, la corriente que emite el emisor o la fuente del transistor.
- En este ejemplo, el primer potencial de referencia  $V_{ref}$  lo establece un circuito CT que forma parte del circuito integrado, y el segundo potencial de referencia  $V_0$  es uno de los potenciales de alimentación del circuito integrado, en este caso el potencial de masa, que se obtiene por ejemplo en un terminal conductor PLT que se utiliza para la conexión del circuito integrado con el exterior. Se entenderá que la invención también se aplica si los potenciales de referencia tienen otro origen, incluido si uno de los potenciales es un potencial variable que hay que medir.
- El primer conductor CA está conectado, en un punto que se llamará entrada aguas arriba E1 a de este conductor, con el circuito CT, y se puede considerar que el circuito CT suministra un potencial  $V_{ref}$  en este punto; el conductor CA se extiende a partir de esta entrada aguas arriba E1 a a lo largo de toda la sucesión de circuitos elementales.
- El segundo conductor CB está conectado, en un punto que se llamará entrada aguas arriba E1 b de este conductor, con el terminal PLT, y se puede considerar que el terminal PLT suministra un potencial de masa  $V_0$  en este punto; el conductor CB se extiende a partir de esta entrada aguas arriba E1 b a lo largo de toda la sucesión de circuitos elementales.
- De acuerdo con la invención, la entrada aguas arriba E1 b del conductor CB está situada pegada al primer circuito elemental  $CE_1$  de la fila 1 y el conductor CB se extiende a continuación a lo largo de la sucesión de circuitos en el orden de las filas  $j$  crecientes desde 1 hasta N, mientras que la entrada aguas arriba E1 a del conductor CA está situada pegada al último circuito elemental  $CE_N$  de la fila N y el conductor CA se extiende a continuación a lo largo de la sucesión en el orden de las filas  $j$  decrecientes desde N hasta 1.
- Se entiende, por lo tanto, que el terminal PLT y el circuito CT están situados respectivamente a ambos lados de la sucesión de circuitos elementales.
- La figura 4 representa unas curvas de variación de los dos potenciales  $V'_{ref}(j)$  y  $V'_0(j)$  que realmente se aplican a los circuitos elementales de la sucesión (en lugar de  $V_{ref}$  y  $V_0$ ), en función de  $j$ , cuando la configuración es la de la figura 1. El primer potencial de referencia  $V'_{ref}(j)$  decrece de forma regular a partir de  $V_{ref}$  a medida que la fila  $j$  (en abscisas) aumenta. El segundo potencial de referencia  $V'_0(j)$  crece de forma regular con la fila  $j$  a partir de  $V_0$ . Para simplificar la representación, se han establecido unas curvas para  $N = 40$ , el principio siendo el mismo cuando N es un número más alto.
- La figura 5 representa las curvas correspondientes  $V'_{ref}(j)$  y  $V'_0$  cuando la configuración del circuito integrado es la de la figura 3. El primer potencial  $V'_{ref}$  crece de forma progresiva con la fila  $j$ . El segundo potencial de referencia  $V'_0$  crece de forma regular como en la figura 4.
- La figura 6 representa la diferencia de potencial entre  $V'_{ref}$  y  $V'_0$ . La escala se extiende y se divide en el eje de ordenadas para mostrar mejor la forma de la variación con la fila  $j$ : la diferencia de potencial varía, pero el límite superior es inferior a lo que sería en el caso de la configuración de la figura 1, y el límite inferior no es inferior a lo que sería en el caso de la configuración de la figura 1. En total, la diferencia de potencial es, por lo tanto, más constante a lo largo de la sucesión de circuitos elementales de lo que sería con la configuración de la figura 1.
- En el caso de la figura 1, hay que señalar también que había interés en minimizar la resistencia lineal (resistencia por unidad de longitud) del primer conductor CA así como la del segundo conductor CB; en efecto, la diferencia de potencial era más constante cuanto más bajas eran la resistencia del primer conductor y la resistencia del segundo conductor.
- Por el contrario, con la configuración de la figura 2, se prevé de preferencia que la resistencia lineal del primer conductor es mucho mayor que la resistencia lineal del segundo conductor, y esto en la relación de las corrientes  $i_b$  e  $i_a$ .
- De este modo, por ejemplo, en el caso en el que el circuito elemental comprende esencialmente un transistor que absorbe una corriente de base  $i_a$  y que produce una corriente de emisor  $i_b$ , se seleccionarán de preferencia unas resistencias lineales en una relación  $R_a/R_b$  igual a la ganancia en corriente beta del transistor, esto es un valor de entre 20 y 500 aproximadamente, o de preferencia de entre 100 y 250 (este valor depende de la tecnología con la que se realizan los transistores).

Se constata y se verifica mediante cálculo que seleccionando una relación  $R_a/R_b$  de las resistencias de tramos elementales prácticamente igual a la relación de corrientes  $i_b/i_a$  consumidas por un circuito elemental a partir de los conductores CB y CA, se minimiza el intervalo de las diferencias de potencial a lo largo de la sucesión de N circuitos elementales.

- 5 Se puede elegir fabricar la banda conductora del conductor CB de aluminio o de cobre (materiales muy conductores) y la banda conductora de material CA de silicio policristalino o nitruro de titanio o nitruro de tántalo o tungsteno, o de otro material mucho menos conductor que el aluminio; se jugará también con los espesores de las capas y se seleccionarán unas anchuras diferentes para los conductores CA y CB, el conductor CA siendo más estrecho que el conductor CB. Por ejemplo, si la ganancia en corriente de los transistores es igual a 200, se puede dar a los conductores CA y CB unas anchuras respectivas de 1,5 y 30 micrómetros, realizando el conductor CB en aluminio y el conductor CA en un material de resistencia por metro cuadrado 10 veces más elevada que la del conductor CB (por ejemplo silicio policristalino o nitruro de titanio con un espesor apropiado).

10 Se entiende, por lo tanto, que al contrario que en la técnica anterior, no se intenta minimizar la resistencia lineal de los dos conductores ya que esto conduciría a unas anchuras excesivas cuando N es muy grande, sino que se adapta de manera inteligente una de las resistencias lineales en función de la otra.

15 La figura 7 representa de una manera físicamente realista un modo de realización del circuito integrado de acuerdo con la invención. Se observa que la banda conductora que constituye el conductor CA, que sale del circuito CT, es mucho más estrecha que la del conductor CB que sale del terminal conductor PLT. El terminal está situado en el lado del circuito elemental de la fila 1; el circuito de referencia de tensión CT está situado a ambos lados de la sucesión, es decir en el lado del circuito elemental de la fila N.

20 Hay que señalar que la sucesión de circuitos elementales yuxtapuestos no es necesariamente en línea recta: se puede doblar en dos o tres o cuatro lados, tal y como lo muestra la figura 8. En estas configuraciones dobladas, la entrada aguas arriba E1 b del conductor CB está todavía situada en el lado del circuito elemental  $CE_1$  de la fila 1 y está conectada directamente al terminal PLT, mientras que la entrada aguas arriba E1 a del conductor CA, situada en el lado del circuito elemental  $CE_N$  de la fila N, está conectada al circuito CT.

25 Si los circuitos elementales son especialmente numerosos, también se pueden considerar unas configuraciones parcialmente arborescentes, desdoblando por ejemplo la sucesión de los circuitos elementales. La figura 9 representa a título de ejemplo una configuración con dos ramas, que se puede utilizar en particular si se dispone de dos terminales de alimentación PLT y PLT' en el mismo potencial  $V_0$ .

30 Hay entonces dos series de circuitos elementales simétricos  $CE_1, CE_2, \dots$  hasta  $CE_N$ , para la primera sucesión,  $CE'_1, CE'_2, \dots$ , hasta  $CE'_N$  para la segunda. Estas están orientadas en sentido contrario entre sí, la fila j creciendo de izquierda a derecha para la primera sucesión y de derecha a izquierda para la segunda. Los circuitos de la fila N de las dos sucesiones están, por lo tanto, cerca la una de la otra; el circuito de referencia CT está situado geográficamente cerca de estos dos circuitos elementales de la fila N, y los conductores CA y CA' alimentan las sucesiones en el orden de las filas j decrecientes, comenzando por los circuitos de la fila N.

35 En cada terminal conductor PLT, PLT' están conectadas respectivamente la entrada aguas arriba E1 b de un conductor CB que bordea la primera sucesión de circuitos elementales y la entrada aguas arriba de un conductor CB' que bordea la segunda sucesión. Estos primeros extremos alimentan la sucesión en el orden creciente de las filas j, comenzando por los circuitos elementales de la fila 1.

40 Para mejorar aun más la constancia de la diferencia de potencial a lo largo de la sucesión de circuitos elementales en todas estas configuraciones, también se puede prever una anchura variable para la banda conductora más ancha (a la que recorre la corriente más fuerte, la banda constituyendo el conductor CB en los ejemplos que se han dado hasta aquí). Las dos bandas conductoras CA y CB podrían, por otra parte, tener unas anchuras variables, pero si se ha adoptado una anchura mucho más estrecha para el conductor CA a causa de la relación elevada  $i_b/i_a$ , es decir a causa de la ganancia en corriente del transistor, en la práctica apenas se puede jugar con la anchura de este conductor ya que lo que interesa en la práctica es minimizarla.

45 Tal y como se puede observar en la figura 5, la variación de potencial en el conductor CB no sigue una curva paralela a la variación de potencial en el conductor CA. La elección de una anchura variable del conductor CB permite constituir otra curva de variación de potencial a lo largo del conductor CB, lo más paralela posible a la curva de variación a lo largo del conductor CA. En efecto, cuanto más paralelas son las curvas, más constante es la diferencia de potencial a lo largo de la sucesión.

50 La obtención de curvas paralelas se basa en el siguiente cálculo: se garantiza que el tramo de conductor CA de la fila j produzca la misma caída de tensión elemental que el tramo de la misma fila del conductor CB. Al tramo del conductor CA de la fila j lo recorre una corriente  $(N-j)i_a$  y al tramo de conductor CB de la misma fila lo recorre una corriente  $(j+1)i_b$ . Conociendo la relación entre las corrientes elementales  $i_a$  e  $i_b$ , se deduce una relación de resistencias elementales que hay que dar a los tramos enfrentados.

En el caso en el que el conductor CA tiene una anchura constante, el cálculo muestra que es necesario dar al conductor CB una anchura variable de tal modo que el tramo de la fila  $j$ , que une los circuitos elementales de la fila  $j-1$  y  $j$ , tenga una anchura proporcional a  $(N-j+1)/j$  para conseguir unas curvas de variación paralelas para los dos conductores, por lo tanto una minimización del error de diferencia de potencial a lo largo de la sucesión.

- 5 La variación de la anchura en  $(N-j+1)/j$  es una ley en teoría óptima. No obstante, esta conduce a tener unas anchuras diferentes para cada fila  $j$ . Se podrá adaptar esta ley modificando la anchura de la banda conductora de manera discontinua con un paso de cambio de anchura más largo que el paso de distribución de los circuitos elementales. Por ejemplo se puede modificar la anchura con un paso múltiple del paso de distribución de los circuitos.
- 10 Por otra parte, hay que entender que esta ley óptima da una anchura de banda  $N$  veces más grande al principio de la sucesión ( $j = 1$ ) que al final de la sucesión ( $j = N$ ). Ahora bien, se puede limitar tanto en anchura mínima como en anchura máxima, por motivo de las normas de diseño, por una parte, y de tamaño, por otra parte. Por ejemplo, se puede considerar que la anchura mínima es de 1 micrómetro y que la anchura máxima es de 30 micrómetros. En ese caso, se podrán adoptar diferentes soluciones de aproximación:
- 15 - se puede partir de una anchura máxima de 30 micrómetros al principio (fila 1) de la sucesión, y se hará una aproximación de la curva ideal conservando para los últimos circuitos elementales una anchura constante mínima de 1 micrómetro en lugar de reducirla por debajo de un micrómetro tal y como querría la curva ideal;
- también se puede aproximar la curva conservando una anchura máxima de 30 micrómetros para unos primeros circuitos elementales y siguiendo la curva de reducción hasta la última fila  $j = N$ ;
- 20 - también se puede aproximar la curva teniendo a la vez una anchura máxima constante de 30 micrómetros para algunos circuitos elementales al principio de la sucesión y una anchura mínima de 1 micrómetro para unos circuitos al final de la sucesión;
- se puede realizar una variante de acuerdo con la función que se ha indicado con anterioridad, por una parte, partiendo de una anchura máxima al principio de la sucesión y, por otra parte, partiendo de una anchura mínima al final de la sucesión, uniendo estas dos funciones por ejemplo mediante una serie de tramos centrales de anchura constante o de anchuras variables de acuerdo con una función diferente que permita realizar de forma progresiva esta unión;
- 25 - por último, se puede jugar también con una variación de anchura del conductor CA, aunque en menor medida ya que normalmente es bastante estrecho.
- 30 En todo lo expuesto hasta aquí, se ha considerado que cada circuito elemental consumía una corriente  $i_a$  suficiente como para producir una caída de tensión a lo largo del conductor CA, lo que es el caso cuando la corriente es la corriente de base de un transistor bipolar.

35 Pero en algunos circuitos, la corriente que consumen los circuitos elementales es nula o casi nula; es el caso cuando el conductor CA aplica un potencial a la compuerta de un transistor MOS. Se produce una caída de tensión progresiva en el conductor CB, pero no se produce una caída de tensión en el conductor CA que compensaría en parte la del conductor CB.

40 En ese caso, se propone de acuerdo con la invención conectar en el extremo aguas abajo del conductor concernido (conductor CA en este ejemplo) una fuente de corriente con un valor  $i_m$  que va a provocar esta caída de tensión progresiva entre la entrada aguas arriba del conductor y el extremo aguas abajo. La elección del valor de la corriente  $i_m$  se hace de preferencia de tal modo que provoque en el conductor CA, desde el circuito elemental de la fila  $N$  hasta el circuito elemental de la fila 1, una caída de tensión que minimice las variaciones de diferencia de potencial entre el conductor CA y el conductor CB a lo largo de la sucesión de circuitos elementales. Se puede considerar que la variación está minimizada cuando el valor de la fuente de corriente  $i_m$  se selecciona igual a  $(R_b/R_a) \cdot i_b \cdot N/2$ .

45 La figura 11 representa esta solución. Una fuente de corriente SC con un valor  $i_m$  está situada en el segundo extremo del conductor CA, la primera siendo aquella que está conectada al circuito de referencia de tensión CT.

Se seleccionará una resistencia mucho más elevada para el conductor CA y lo más baja posible para el conductor CB y se deducirá de estas el valor  $i_m$  de la fuente de corriente SC que hay que utilizar. Por ejemplo, si el conductor CA tiene una anchura treinta veces menor que el conductor CB y si está fabricado en el mismo material que el conductor CB, y si  $N$  es igual a 120, entonces la corriente  $i_m$  deberá tener un valor igual a  $2i_b$ .

50 La caída de tensión en el conductor CA no tiene una forma parabólica como era el caso en la figura 5, sino una forma lineal ya que toda la corriente  $i_m$  pasa por cada uno de los tramos de conductor CA. No obstante, la caída de tensión en el conductor CB no es lineal, sino parabólica. No hay, por lo tanto, un error variable a lo largo de la sucesión de circuitos elementales.

55 Para mejorar aun más la constancia de la diferencia de potencial a lo largo de los dos conductores, se propone compensar este error dando al conductor CB una configuración con una anchura variable, reduciéndose de acuerdo con la sucesión de circuitos desde la fila 1 hasta la fila  $N$ . La variación progresiva de anchura se calcula para linealizar la variación de potencial en el conductor CB y para darle la misma pendiente que la variación lineal en el conductor CA.

Esto se consigue dando al tramo de la fila  $j+1$ , restando la corriente  $i_b$  del circuito elemental de la fila  $j+1$ , una resistencia que está en relación  $(N-j)/(N-j+1)$  con la resistencia del tramo anterior de la fila  $j$ . Por lo tanto, se dará de preferencia al tramo de la fila  $j+1$  una anchura en relación inversa  $(N-j+1)/(N-j)$  con la anchura del tramo de la fila  $j$ .

- 5 También aquí, las restricciones tecnológicas harán que se establezca una variación siguiendo de forma aproximada y no de forma exacta esta ley, por ejemplo cambiando de anchura con un paso de  $k$  tramos ( $k>1$ ) y no con un paso de 1 tramo. Del mismo modo, si se elige adoptar una anchura mínima (por ejemplo al menos un micrómetro de ancho) y/o una anchura máxima (por ejemplo como máximo 30 micrómetros de ancho), se adaptará la ley de variación para tener en cuenta estas restricciones manteniéndose próximo a la ley en  $(N-j)/(N-j+1)$ .

## REIVINDICACIONES

1. Circuito integrado que comprende una sucesión de N circuitos elementales idénticos ( $CE_1, CE_2, \dots CE_N$ ), yuxtapuestos en el orden de su fila j que varían desde 1 hasta N, N siendo al menos igual a 20 y, de preferencia, superior a 50, todos unidos a un primer conductor (CA) que está conectado, en un punto (E1a) denominado entrada aguas arriba del primer conductor, a un primer potencial de referencia ( $V_{ref}$ ), y que se extiende desde esta entrada aguas arriba a lo largo de la sucesión de circuitos elementales, y todos unidos, por otra parte, a un segundo conductor (CB) que está conectado, en un punto (E1b) denominado entrada aguas arriba del segundo conductor, a un segundo potencial de referencia ( $V_0$ ), y que se extiende a partir de esta entrada aguas arriba a lo largo de la sucesión de circuitos elementales, **caracterizado porque** la entrada aguas arriba del segundo conductor está situada geográficamente en el lado de la fila 1 de la sucesión de circuitos yuxtapuestos, y la entrada aguas arriba del primer conductor está situada geográficamente en el lado de la fila N de la sucesión de circuitos yuxtapuestos.
2. Circuito integrado de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la resistencia ( $R_a$ ) de un tramo elemental de primer conductor entre dos circuitos elementales adyacentes tiene una relación beta con la resistencia  $R_a$  de un tramo elemental de segundo conductor entre dos circuitos elementales adyacentes, la relación beta siendo la relación entre la corriente ( $i_b$ ) extraída por el segundo conductor de un circuito elemental y la corriente ( $i_a$ ) extraída del primer conductor por un circuito elemental cuando los potenciales de referencia se aplican a los conductores.
3. Circuito integrado de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** la relación de resistencias está comprendida entre 20 y 500, de preferencia entre 100 y 250.
4. Circuito integrado de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el primer conductor tiene una anchura constante y el segundo conductor tiene una anchura variable que disminuye progresivamente desde su entrada aguas arriba.
5. Circuito integrado de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** la ley de reducción de anchura sigue al menos en parte una curva con un aspecto general en  $(N-j+1)/j$  en función de la fila j del tramo elemental de segundo conductor que une el circuito elemental de la fila j-1 con el circuito elemental de la fila j.
6. Circuito integrado de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual los circuitos elementales consumen una corriente nula a partir del primer conductor, **caracterizado porque** este conductor se extiende a lo largo de la sucesión de circuitos elementales entre su entrada aguas arriba y un extremo aguas abajo, una fuente de corriente extrayendo una corriente  $i_m$  de este conductor que está unido a este extremo aguas abajo.
7. Circuito integrado de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** la corriente  $i_m$  de la fuente de corriente tiene un valor tal que:
- $$i_m = (R_b/R_a) \cdot i_b \cdot (N/2),$$
- donde  $R_a$  es la resistencia de un tramo elemental de primer conductor entre dos circuitos elementales adyacentes,  $R_b$  es la resistencia de un tramo elemental de segundo conductor entre dos circuitos elementales adyacentes, e  $i_b$  es la corriente extraída de un circuito elemental por el segundo conductor cuando los potenciales de referencia se aplican a los conductores.
8. Circuito integrado de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** el segundo conductor tiene una resistencia por unidad de anchura variable a lo largo de la sucesión y una anchura que disminuye de forma progresiva desde su entrada aguas arriba.
9. Circuito integrado de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado porque** la ley de reducción de anchura sigue al menos en parte una curva con un aspecto general en la relación  $N(N-j)/(N-j+1)$  en función de la fila j del tramo elemental de segundo conductor que une el circuito elemental de fila j-1 con el circuito elemental de fila j.
10. Circuito integrado de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** el primer conductor está realizado en un material cuya resistencia por metro cuadrado es más elevada que la del material del segundo conductor.
11. Circuito integrado de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** el primer conductor es menos ancho que la anchura media del segundo conductor.

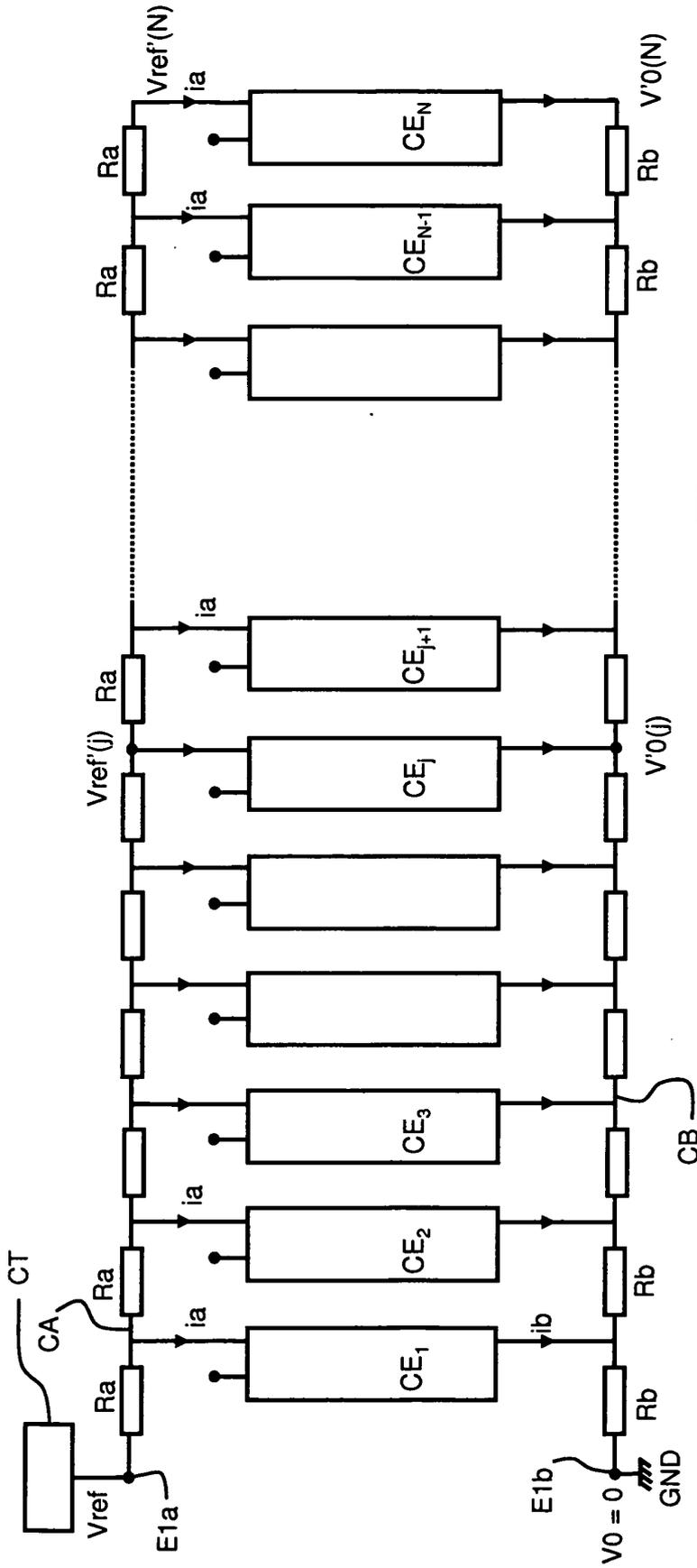


Fig 1

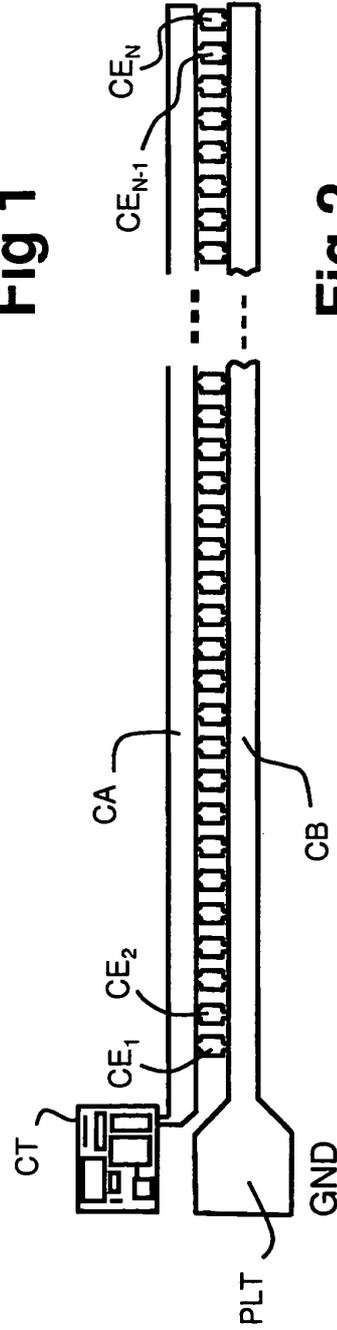


Fig 2

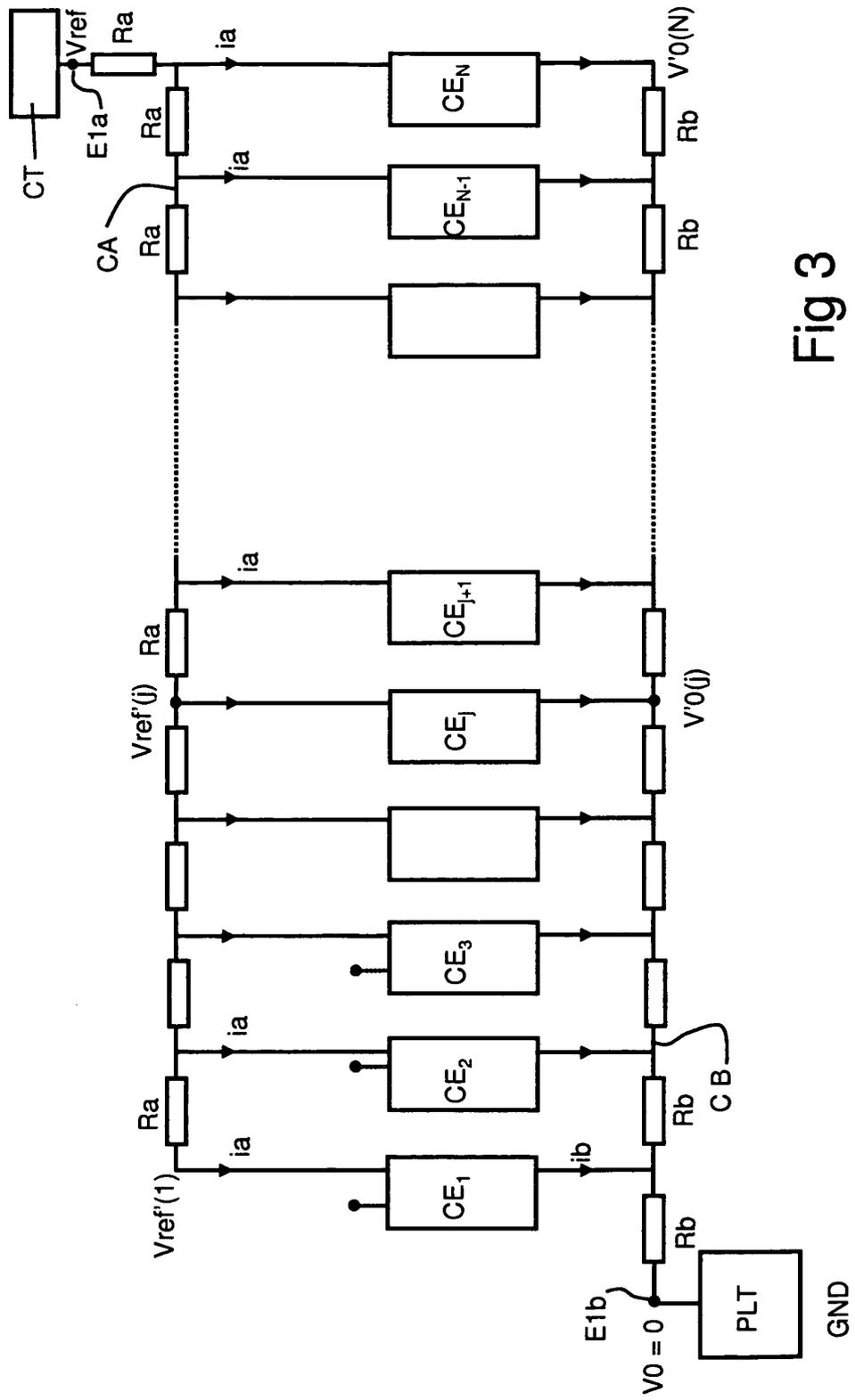


Fig 3

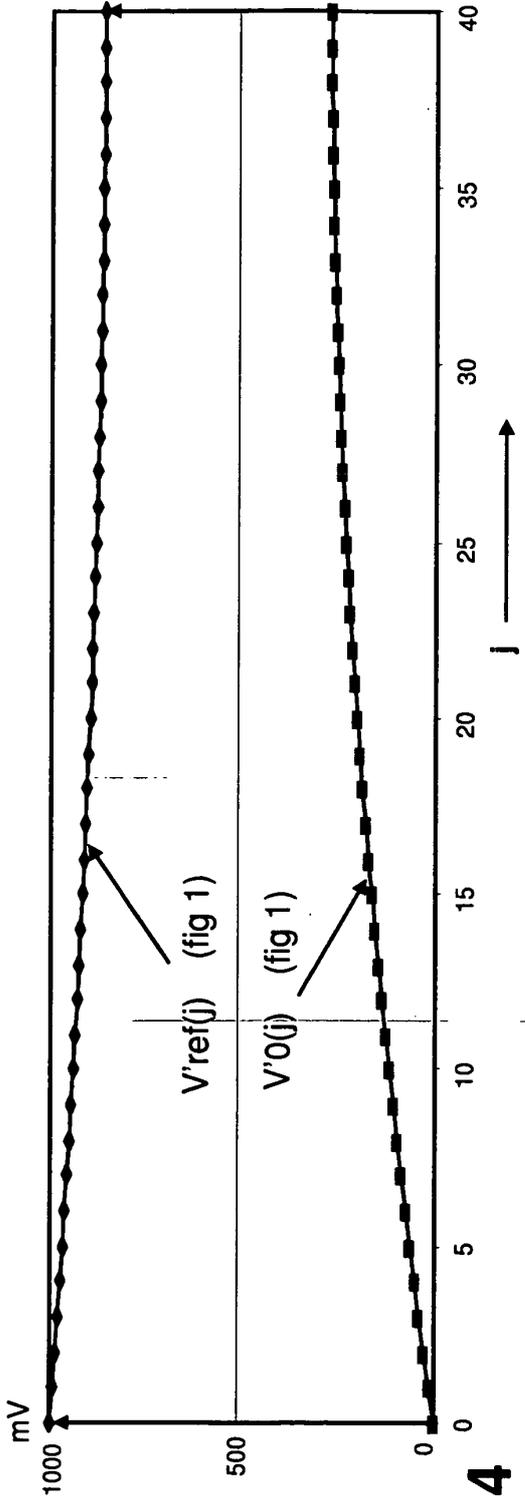


Fig 4

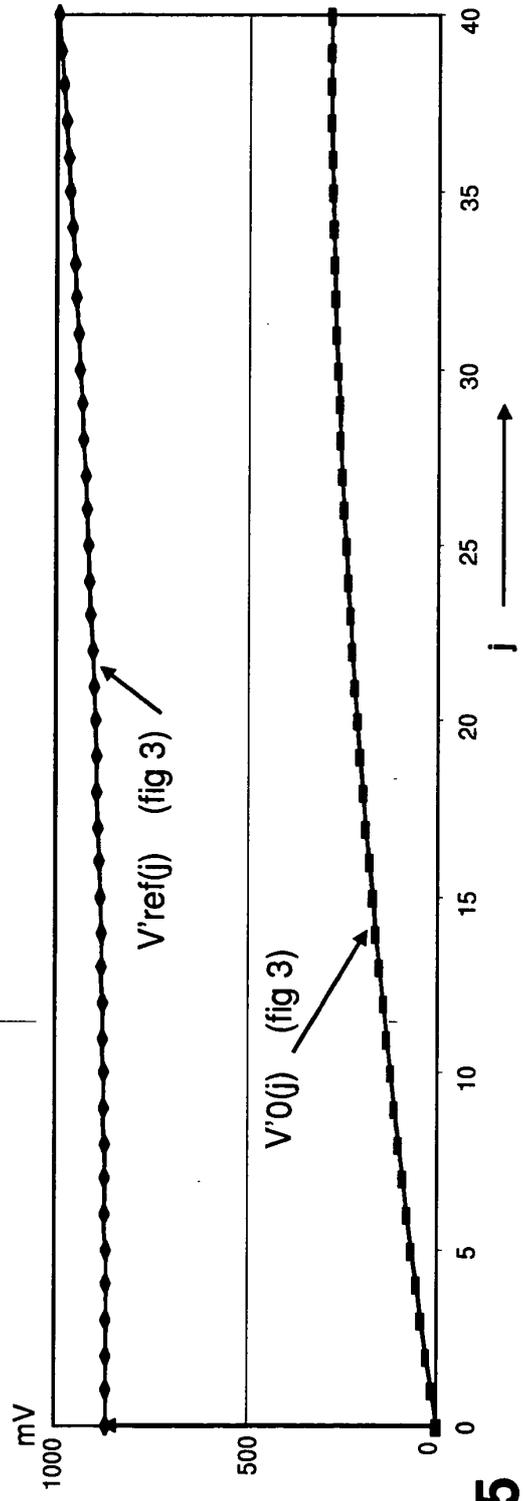


Fig 5

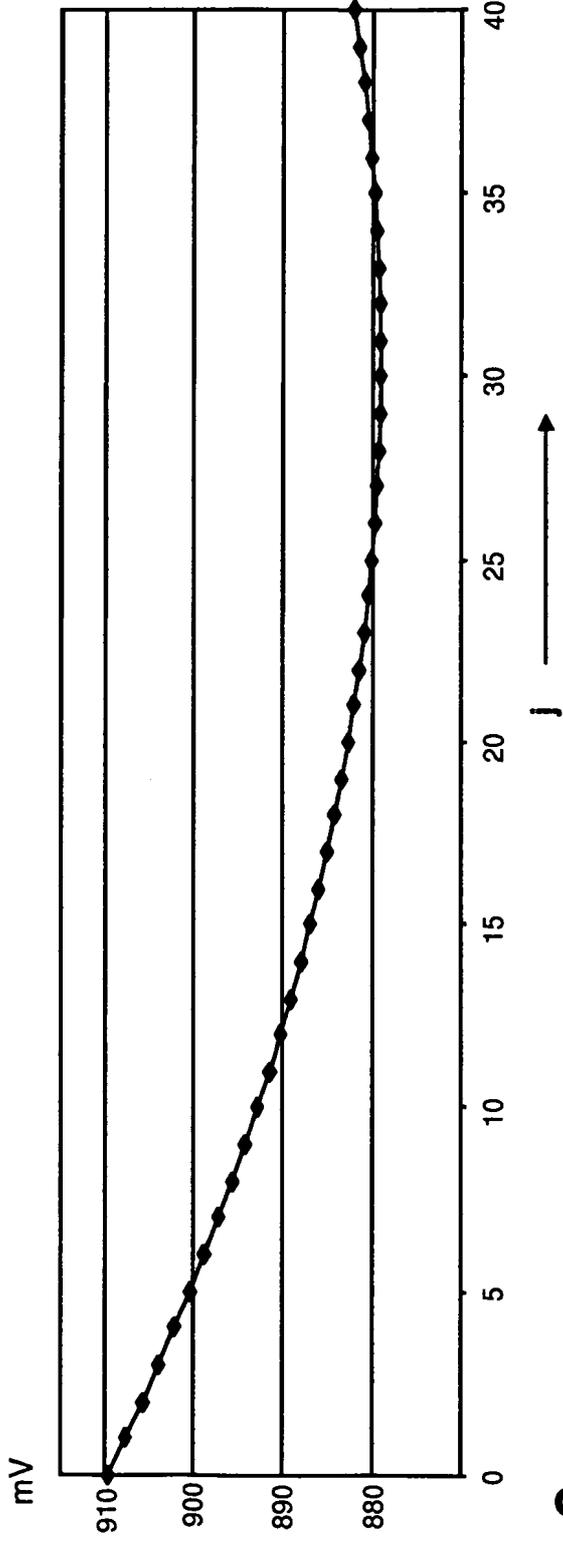


Fig 6

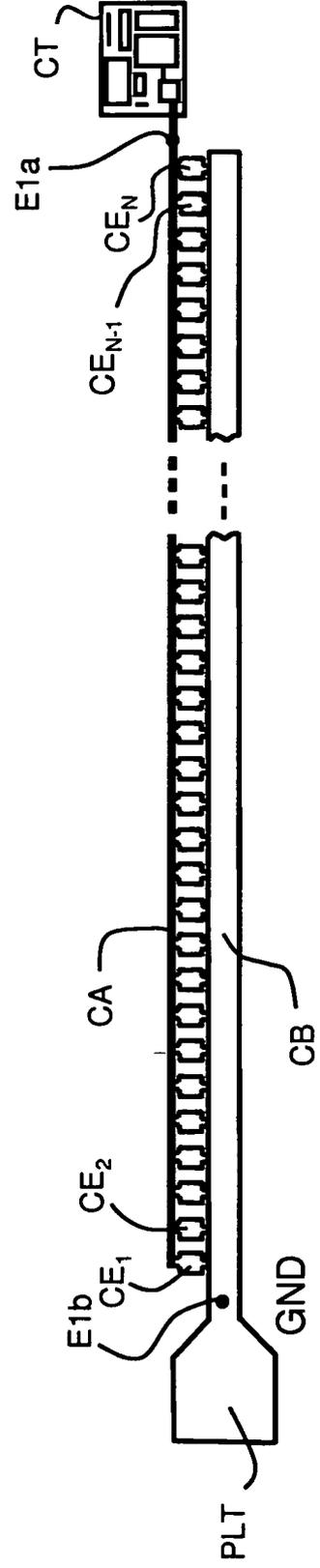


Fig 7

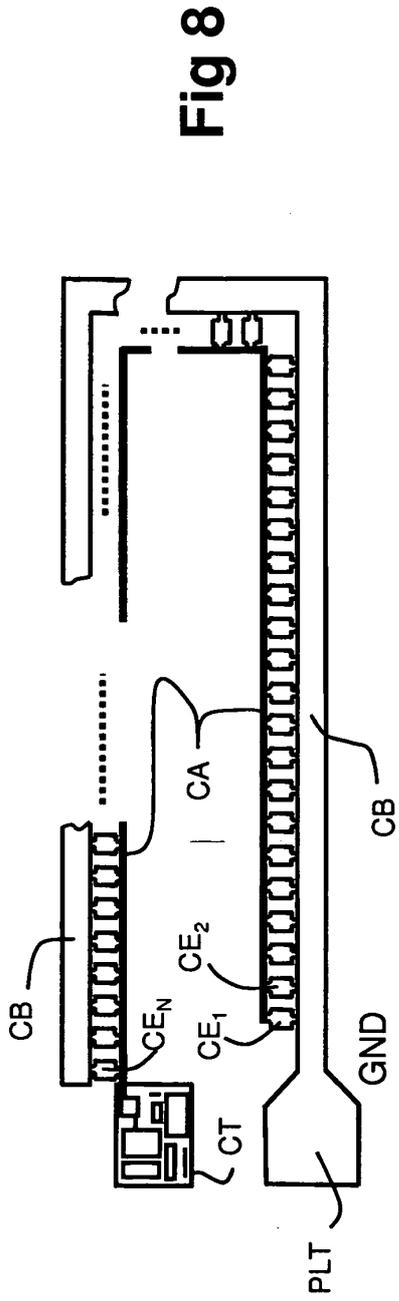


Fig 8

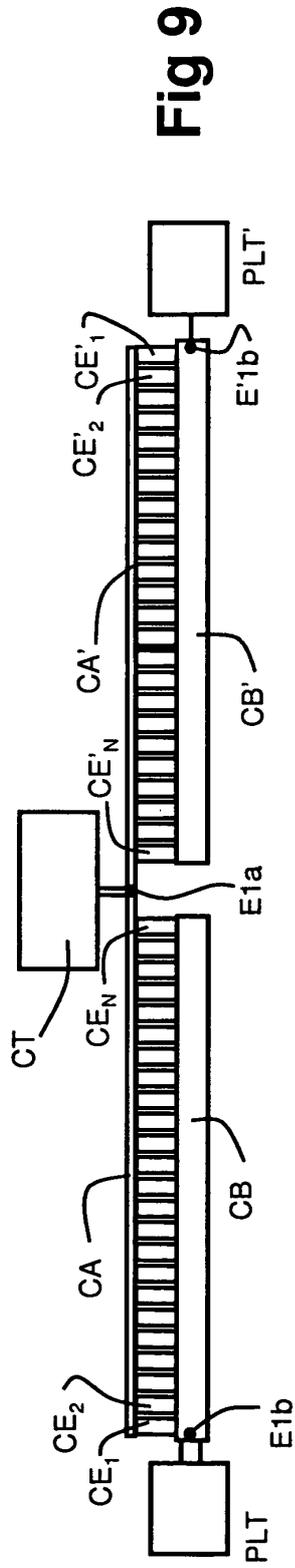


Fig 9

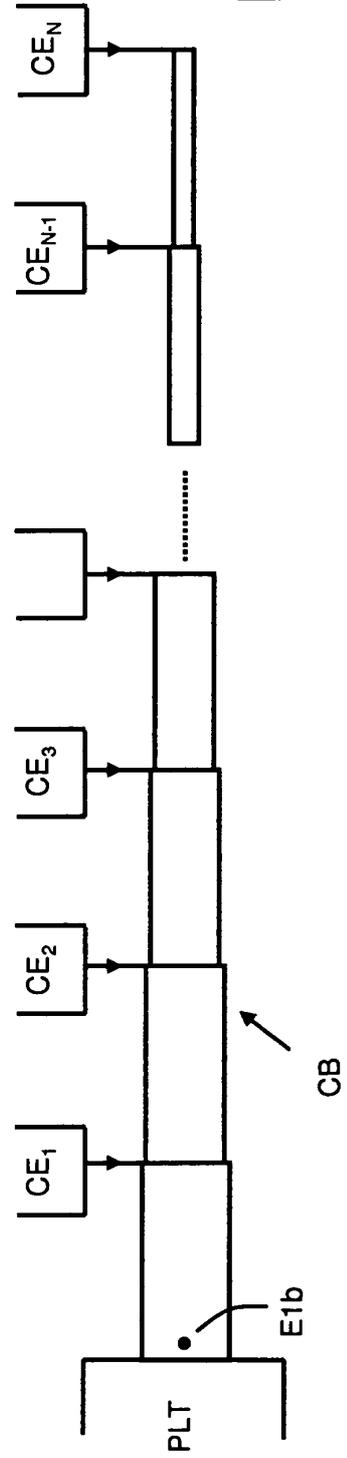


Fig 10

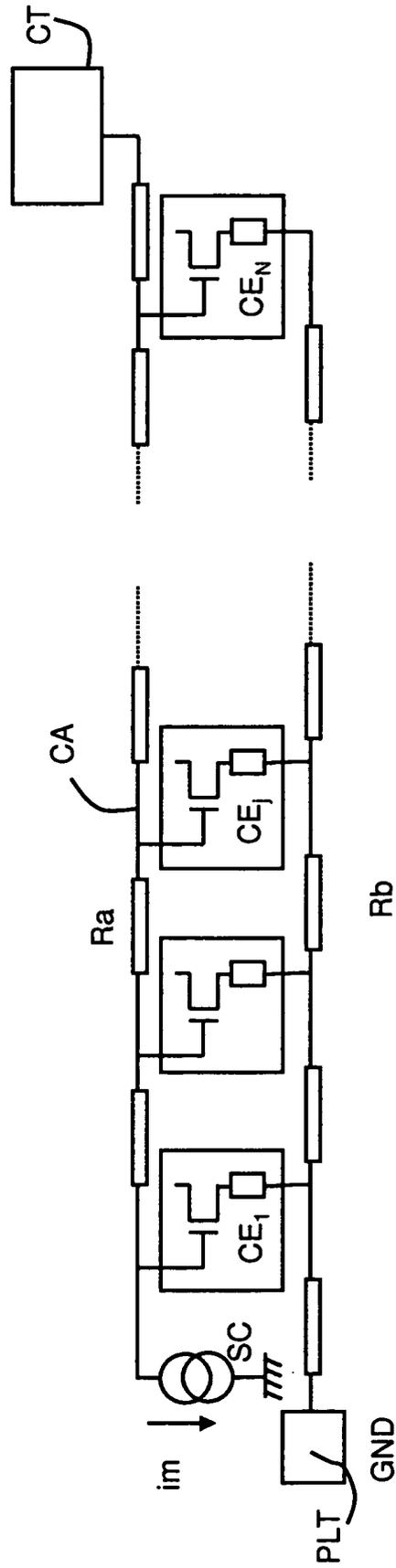


Fig 11