

327630

26



327630

P A T E N T E D E I N V E N C I Ó N

=====

a favor de

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INC. - de nacionalidad norteamericana -
con domicilio en 195, Broadway, NEW YORK (EE.UU.),

por :

"Dispositivo de impedancia negativa".

-----:oOo:-----

M e m o r i a d e s c r i p t i v a

Este invento concierne a circuitos eléctricos, y más concretamente a circuitos con características voltio-amperio de impedancia negativa.

Siempre ha sido conveniente obtener un circuito ó dispositivo sencillo y eficaz de impedancia negativa, para una multitud de



aplicaciones en las que conviene un funcionamiento sin distorsiones ni pérdidas. Una aplicación específica en la que sería muy útil tal dispositivo es en líneas de transmisión telefónica bifilar ó bidireccional. Si pudiera neutralizarse la resistencia del conductor,
5 no habría necesidad de alambre grueso, igualadores y bobinas de carga, pues la resistencia del conductor es una fuente primaria de pérdidas de transmisión y distorsiones de frecuencia.

Ya se han hecho varios intentos, con éxito limitado, para satisfacer estos requisitos. Se han empleado disposiciones con termistores de características negativas de temperatura, pero resultan imperfectas, por su lentitud inherente de respuesta a las frecuencias de las señales, y porque no sirven para duplicar respuestas deseadas. Los circuitos de válvulas de vacío acopladas a transformador para obtener impedancias negativas son voluminosos, no aprovechan eficientemente la potencia de accionamiento, y presentan complejidades en la respuesta de frecuencias. Otras combinaciones comprendían circuitos con elementos semiconductivos, pero eran inadecuadas para muchas aplicaciones, por su limitado margen de acción y sus características inestables, tanto en la región de impedancia negativa como fuera de ella.
10
15

Un objeto del presente invento es la provisión de un dispositivo ó circuito de impedancia negativa nuevo y perfeccionado.
20

Un aspecto de este invento es un dispositivo ó circuito de impedancia negativa de confianza, que ocupa poco espacio y es económico.

Otro aspecto del invento es un dispositivo de impedancia negativa con características estables, independientes en lo esencial de las posibles variaciones en los elementos componentes.
25

Otro aspecto de este invento es un dispositivo de resistencia negativa, regulado por corriente, con características transitorias adecuadas para cargar una línea de transmisión.
30



Otro aspecto del invento es un dispositivo de resistencia negativa, sustancialmente lineal en el margen de las señales.

Estos y otros objetos y aspectos del invento se consiguen, conforme a los principios del invento, disponiendo como característica principal del mismo un par de transistores de conductividad de tipo opuesto, conectados de manera que la línea principal de corriente de cada uno está acoplada a la línea de control ó de entrada del otro. Un circuito de polarización sirve para efectuar un aumento regenerativo de la corriente que circula a través de los transistores al sobrepasar un valor de umbral. El circuito de polarización comprende tambien una impedancia conectada entre las líneas del circuito de control de los dos transistores. La función de esta impedancia se puede concebir como un medio de desviar la corriente que de otro modo circularía desde la línea principal de corriente a la de control del otro. Esta "corriente desviada" se hace pasar ahora desde la línea principal de corriente de un transistor y por la del otro de modo que la tendencia regenerativa del circuito sea moderada y regulada una vez rebasado el valor de umbral de la corriente de entrada. Por consiguiente, suponiendo que la corriente provenga de una fuente con resistencia positiva de valor absoluto mayor que la resistencia negativa del circuito, el efecto neto es permitir que el circuito funciones de manera estable en el margen de corriente correspondiente al aumento regenerativo de la corriente. Dentro de este margen de corriente, la característica volts-ampers. tiene una pendiente negativa bien determinada.

Más concretamente, de acuerdo con un aspecto de este invento, un transistor NPN y otro PNP se conectan con el electrodo de base ó de control de cada uno acoplados al colector ó línea principal de corriente del otro. El conjunto se polariza de modo que, una vez rebasado un valor de umbral de corriente de entrada, la corriente de



colector procedente de un transistor produce una polarización hacia adelante en el circuito de base del otro transistor, y ocasiona un aumento de la corriente del colector del segundo transistor, lo que produce a su vez una polarización hacia adelante en el circuito de

5 base del primer transistor, para aumentar más, en forma regenerativa, la corriente del colector del primer transistor. Además, hay una impedancia conectada entre los electrodos de base de los respectivos transistores, a fin de disponer una línea para desviar casi toda la corriente que de otro modo circularía desde el circuito del colector

10 de uno por el circuito de polarización de la base del otro. Esta corriente se desvía entonces de modo que circule desde el circuito del colector de uno, retroceda por la impedancia de desviación, y vaya luego por el circuito del colector del otro, con objeto de estabilizar y regular el aumento de corriente regenerativa. Para corrientes

15 de valor operante aplicadas desde una fuente suficientemente resistiva, cada transmisor está así polarizado de modo estable dentro de su margen lineal de funcionamiento. La corriente de retroceso creciente a través de la impedancia de desviación se deduce efectivamente de la corriente hacia adelante que la atraviesa al valor de umbral,

20 de modo que cualquier nuevo aumento de la corriente de entrada se manifiesta por una disminución correspondiente de la corriente total a través de la impedancia de desviación. Como a la tensión de entrada en esta región de corriente puede aproximarse a la que atraviesa la impedancia de desviación, la impedancia de entrada del dispositivo

25 es negativa, y esencialmente proporcional a la impedancia positiva conectada entre los electrodos de base.

Estos y otros objetos y aspectos del invento se puede comprender mejor y más ampliamente por la siguiente descripción detallada, en relación con los dibujos anexos, en los cuales indican :

30 La figura 1, un esquema de un circuito que representa un



ejemplo de realización del invento;

La figura 2, un gráfico que representa una característica típica del circuito;

Las figuras 3, 4, 5 y 6, otros ejemplos de realización del invento; y

La figura 7, un ejemplo de aplicación del circuito que constituye el objeto del invento.

En el dibujo, el circuito ilustrado en la figura 1 comprende un transistor PNP Q1 y un transistor NPN Q2 conectados con la base de cada uno acoplada al colector del otro, y con el emisor de cada uno acoplado respectivamente a terminales 1 y 2. La resistencia R1 conectada entre el emisor y la base del transistor Q1, la resistencia R3 conectada entre las respectivas bases de los transistores Q1 y Q2, y la resistencia R2 conectada entre la base y el emisor del transistor Q2, forman en conjunto el circuito de polarización del dispositivo.

Aplicando una alimentación de corriente I a los terminales 1 y 2, y midiendo la tensión entre ellos, puede verse que el circuito presenta una curva característica representada por la gráfica de la figura 2. Al aumentar la corriente desde cero, representado por el punto a en la figura 2, los transistores Q1 y Q2 se mantienen sin conducir hasta que la corriente alcanza el valor de umbral junto al punto b. En consecuencia, la inclinación de la curva entre los puntos a y b viene determinada en sustancia por la suma de los valores de las resistencias R1, R2 y R3. En esta región del funcionamiento, casi toda la corriente I (excepto las corrientes de fuga) va del terminal 1 al terminal 2 por las resistencias R1, R2 y R3, respectivamente. Una vez que el valor de la corriente sobrepasa el que corresponde al punto b, la tensión a través de cada una de las resistencias R1 y R2 es suficiente para polarizar hacia adelante las uniones emi-



sor-base de los transistores Q1 y Q2, a fin de que circule la corriente del colector en cada transistor. Si no existe la resistencia R3, y en presencia de circuito polarizador usual, toda la corriente del colector que procede del transistor Q1 tendrá que pasar por la resistencia R2 en paralelo con la unión base-emisor del transistor Q2, para aumentar la polarización hacia adelante de este transistor. Por consiguiente, un aumento de la polarización hacia adelante que rebase el valor de umbral (combinada con un descenso correspondiente de la tensión V de los terminales, a menos que la fuente de alimentación tenga una impedancia cero) se manifestará por un aumento regenerativo de la corriente del colector, hasta que ambos transistores se saturen. Los transistores, algo polarizados al umbral cuando no hay la resistencia R3, funcionarán de modo estable sólo cuando ambos estén desconectados ó saturados, y se producirá una transición de una situación estable a la otra muy rápidamente, por el proceso regenerativo descrito.

La inserción de la resistencia R3 proporciona una línea por la que la corriente procedente de la línea principal del transistor Q1 (de emisor-colector) se desvía de la resistencia R2 en paralelo con la unión del emisor del transistor Q2. Entonces, la corriente del colector que procede del transistor Q1 puede retroceder a través de la resistencia R3, y pasar desde allí por la unión colector-emisor del transistor Q2, de modo que no aumenta mucho la polarización hacia adelante del transistor Q2, con el consiguiente aumento regenerativo de la polarización hacia adelante del transistor Q1. De manera análoga, la resistencia R3 proporciona una línea de desviación de la corriente del colector que circula en el transistor Q2, parte de la cual pasaría en otro caso por la resistencia R2 para aumentar la polarización hacia adelante de la unión base-emisor del transistor Q1. El resultado neto de la inserción de la resistencia



R3 es regular el efecto regenerativo descrito, y permitir que el circuito funcione de un modo estable en unión de una fuente adecuada de alimentación de corriente (de resistencia finita) dentro del sector de pendiente negativa de su característica voltios-amperios correspondiente a la acción regenerativa.

La característica voltios-amperios de pendiente negativa estable (indicada en la figura 2 entre los puntos b y c), resultante de la polarización hacia adelante controlada de cada uno de los transistores en la región regenerativa, se explica a continuación con más detalle. En principio, debe advertirse que la tensión en los terminales V se compone de la suma de las caídas de tensión a través de las resistencias R1, R2 y R3. Cuando la corriente I aplicada rebasa el valor de umbral del punto b, las tensiones a través de las resistencias R1 y R2 se mantienen constantes en lo esencial (ó, con más precisión, aumentan sólo un poco), pues cada una de ellas viene determinada por la tensión de su correspondiente unión base-emisor polarizada hacia adelante, la cual regula sensiblemente la corriente del colector entre el umbral y la saturación, sin subir más de unas décimas de voltio. En virtud de esta constancia de la tensión a través de las resistencias R1 y R2, la tensión en los terminales V es casi igual a la que pasa por la resistencia R3, aumentada en un pequeño valor fijo. Como se verá, la tensión a través de la resistencia R3 disminuye al aumentar la corriente I, hasta que los transistores Q1 y Q2 se saturan al valor de corriente que corresponde al punto c de la figura 2. Cualquier nuevo aumento de corriente I se refleja en un pequeño aumento de tensión V, por subir algo la tensión de saturación al aumentar la corriente.

La porción de la curva entre los puntos b y c es sustancialmente lineal, con una pendiente negativa igual a kR_3 , donde k es un número menor que 1. La desviación, relativamente insignificante de



la linealidad, y la restricción de la constante k de proporcionalidad a valores menores que la unidad, provienen del pequeño aumento de tensión a través de las resistencias R_1 y R_2 , al aumentar la corriente I , y de la desviación de la unidad por parte del factor α de amplificación de corriente para cada transistor. Finalmente, como ya se ha indicado, la pendiente de la curva característica para una corriente mayor que la del punto c es muy pequeña, y puede atribuirse al ligero aumento de la tensión de la unión en la región de saturación.

Es posible demostrar cualitativamente la existencia de la pendiente negativa en la curva característica entre los puntos b y c considerando el efecto de las diversas corrientes definidas en la figura 1. Supóngase el circuito polarizado para funcionar en el punto b de la curva característica por medio de una corriente aplicada I , y que esta corriente se aumenta luego en una cantidad ΔI . Este aumento de corriente tiene que traducirse en un aumento correspondiente de las corrientes I_{c1} e I_{e2} , pues la tensión de la unión emisor-base de los transistores Q_1 y Q_2 no sobrepasa mucho los valores de la polarización hacia adelante. Por tanto, como la tensión a través de las resistencias R_1 y R_2 se restringe así, las corrientes I_{R1} e I_{R2} se mantienen sustancialmente iguales. Suponiendo que el respectivo factor α de amplificación de corriente sea igual a 1, la corriente del colector de cada transistor será igual a la corriente de emisor respectiva. En consecuencia, por aumentar la corriente I en una cantidad ΔI , cada una de las corrientes I_{c1} e I_{e2} aumenta en una cantidad igual a ΔI . Además, como la suma de las corrientes I_{c1} , I_{R3} e I_{e2} tiene que ser en todo momento igual a la suministrada a través de los terminales 1 y 2, la corriente I_{R3} disminuirá en una cantidad ΔI cuando la corriente aplicada aumente en ΔI . Es decir, que la corriente I aumenta entre los puntos b y c , y la corriente I_{R3} disminuye en proporción, lo mismo que la tensión a través de R_3 .



Las figuras 3A y 3B ilustran el hecho de que la conexión eléctrica entre los transistores Q1 y Q2 produce un efecto análogo con un dispositivo PNP, y, por consiguiente, que es posible el esquema de circuito representado en la figura 3A empleando un dispositivo PNP. Además, como en cada uno de los ejemplos expuestos, si se utiliza una impedancia generalizada Z3 en lugar de la resistencia R3 indicada en la figura 1, la impedancia en los terminales Z_n será igual a -kZ₃. Dicho de otro modo, si Z₃ es una impedancia generalizada con una parte positiva real y otra positiva imaginaria, la impedancia en los terminales tendrá en correspondencia una parte negativa real y otra negativa imaginaria. La figura 3B ilustra gráficamente que el dispositivo PNP puede dissociarse eléctricamente en una porción PNP y otra NPN, con interconexiones eléctricas apropiadas entre las porciones separadas, a fin de obtener un dispositivo de dos transistores análogo al dispositivo PNP.

La figura 4 representa otra forma de realización del invento en la que la impedancia de "regulación" ó "desviación" entre los electrodos de base de los transistores Q1 y Q2 presenta la forma de un circuito RC paralelo, y las resistencias están incluidas en el circuito del emisor de cada transistor, para proporcionar una realimentación negativa. Incluyendo el condensador C3 en paralelo con la resistencia R3, el circuito se hace más apropiado para incluirlo en líneas de transmisión como circuito de carga de impedancia negativa. Los efectos de la reactancia distribuida en las líneas de transmisión, combinados con reflexiones entre circuitos de carga adyacentes, tienden a producir inestabilidad, a menos de procurar que, a alguna frecuencia, la impedancia negativa de cada circuito no se relacione de modo inestable con la impedancia de la línea en que esté insertado. Esto es lo que ocurre en alguna forma de autooscilación, aunque la línea sea excitada desde un generador regulado de corriente continua.



El condensador C3 se manifiesta en los terminales 1-2 como condensador negativo en paralelo con la resistencia negativa, y por ello impide la condición de inestabilidad, introduciendo una inductancia efectiva y eliminando gradualmente la resistencia negativa al aumentar la frecuencia. El efecto general del condensador consiste, pues, en alterar las relaciones de impedancia (gráfico de Nyquist) de modo que asegure un funcionamiento estable.

Como se ha indicado antes, la porción de la curva característica de la figura 2 entre los puntos b y c se desvía de la linealidad por aumentar, al hacerlo la corriente del colector, el factor α de amplificación de corriente, y a causa del aumento de tensión, pequeño, pero no lineal, a través de las resistencias R1 y R2, al elevarse el valor de la corriente I del circuito. Esta porción de la curva tiene una ligera inclinación cóncava descendente, y produce por ello distorsiones armónicas de frecuencia que pueden ser molestas para algunas aplicaciones. El efecto de las resistencias R_{e1} y R_{e2} de realimentación insertas en los circuitos de emisor de los transistores Q1 y Q2, respectivamente, para estabilizar la transconductancia de base a colector, aumenta bastante la linealidad y reduce así la distorsión introducida. Además, el empleo de la realimentación disminuye la constante de proporcionalidad k, de modo que ha de emplearse una resistencia R3 de valor más alto para obtener una resistencia negativa nada. El efecto neto de tal ajuste es alterar la curva característica de la figura 2, de modo que la porción entre a y b tenga una pendiente mayor, y se reduzca de este modo la mínima corriente utilizable del margen operante entre los puntos b y c. En efecto, el margen de corriente entre b y c se acerca más al eje de la tensión, comprimiéndose entre los puntos a y b.

El circuito expuesto en la figura 5 es una modificación del representado en la figura 1, con un circuito ("piggy-back") del ti-



po descrito en la patente de EUA 2.663.806, de dos transistores, en
sustitución de cada uno de los transistores expuestos en la figura
1. La finalidad de esta modificación es hacer más lineal la porción
de resistencia negativa de la curva característica, aumentando efec-
5 tivamente hacia la unidad y estabilizando el valor del factor α de
amplificación de corriente de cada fase. Con una sola excepción,
el circuito funciona por lo demás de modo idéntico al descrito con
relación al de la figura 1, pues los dos transistores de igual con-
ductividad conectados entre sí (piggy-back) son equivalentes a un
10 solo transistor de α mayor. Dicha excepción consiste en que el um-
bral de polarización hacia adelante a través de la resistencia R1 ó
R2 es esencialmente doble, pues cada uno corresponde a dos uniones
base-emisor en serie. En consecuencia, los puntos b y c de la figu-
ra 2 suben, lo que representa efectivamente un mayor consumo de ten-
15 sión operante media.

Otra forma de realización del invento se expone en la figura
6. Este circuito elimina sustancialmente la no linealidad en la por-
ción de resistencia negativa de la curva, a causa de la desviación
de α respecto a la unidad, y de la tensión variable a través de las
20 resistencias R1 y R2. En este circuito, un par de transistores Q1_a
y Q2_a, de conductividad opuesta (NPN y PNP, respectivamente), deri-
van la corriente que rebasa el valor indicado en el punto b de la fi-
gura 2 en torno de la resistencia R3, en forma similar a la acción de
los transistores Q1 y Q2 en el esquema de circuito de la figura 1.
25 El transistor Q1_b, intercalado entre el transistor Q1_a y la resisten-
cia polarizadora R1 del circuito, funciona como amplificador que res-
ponde a los cambios de tensión a través de la resistencia R1, para
regular la corriente de base del transistor Q1_a. Como los electro-
dos de base y de emisor del transistor Q1_b están conectados a través
30 de la resistencia R1, cualquier cambio de tensión a través de la re-



sistencia R1 se manifiesta por un cambio correspondiente de tensión en el colector del transistor Q1_b. Así, la sensibilidad a la corriente del emisor del transistor Q1_a, en respuesta a los cambios de tensión a través de la resistencia R1, aumenta efectivamente en

5 (aproximadamente igual a $\frac{1}{1-\alpha}$) la transconductancia del transistor agregado Q1_b. El funcionamiento del transistor Q2_b es idéntico al del transistor Q1_b, de modo que su efecto combinado es aumentar la sensibilidad de los transistores Q1_a y Q2_a a los cambios de tensión a través de las resistencias R1 y R2, respectivamente. Las corrientes que pasan por las resistencias R1 y R2 se ven así obligadas a mantenerse muy constantes, a fin de producir efectivamente una

10 variación lineal de la corriente de emisor de los transistores Q1_a y Q2_a con la corriente total I. Con este circuito, los puntos b y c de la figura 2 no suben, como se ha descrito respecto al circuito de la figura 5, pues las resistencias R1 y R2 enlazan sólo una simple


15 unión emisor-base.

Otro efecto de este circuito es un aumento del valor de la constante de proporcionalidad k hacia la unidad, a fin de aproximar más la resistencia negativa entre los terminales al valor de la resistencia R3. Si se quiere, pueden insertarse resistencias de realimentación del emisor, correspondientes a las indicadas en la figura 4, en los conductores d y e de la figura 6, para establecer un

20 valor estable preferido de la constante k menor que la unidad. Debe entenderse que, si hace falta, es posible conectar resistencias de valor apropiado entre la base y el emisor del transistor Q1_a, a fin de evitar la inestabilidad térmica y de impedir que el transistor Q1_a funcione involuntariamente a causa de la corriente de colector de polaridad inversa (I_{co}) del transistor Q1_b. Otro tanto puede decirse respecto a la inclusión de una resistencia entre la base y

25 el emisor del transistor Q2_a.

30

327630²⁶ 

La figura 7 muestra una aplicación específica de cualquiera de los circuitos correspondientes a las variantes respectivas. Esta figura sirve para ilustrar cómo se puede obtener una larga línea de transmisión conectada entre una estación central 7 y un aparato dis-
5 tante 8 de abonado, en forma sencilla, estable, flexible y económica. Empleando los elementos de impedancia negativa del tipo descrito, es posible reducir el tamaño del alambre y eliminar igualadores y bobinas de carga voluminosas, necesarios antes para reducir los efectos de pérdida y distorsión en las líneas. Así, colocando cir-
10 cuitos de carga $10, 11... n$ a intervalos regulares a lo largo de un lado de la línea, y circuitos de carga $10', 11'... n'$ en el lado opuesto (consistentes en impedancias negativas de los tipos aquí re- señados), pueden suprimirse las pérdidas entre las porciones de lí-
15 nea así compensadas. Como es notorio, un espacio adecuado entre los repetidores corresponde aproximadamente a $1/4$ de longitud de onda a la frecuencia máxima en tal región. Disponiendo en la esta- ción central una alimentación de corriente regulada capaz de pola- rizar los respectivos circuitos de carga en sus regiones de resis-
20 tencia negativa, y disponiendo terminaciones resistivas adecuadas, la línea puede quedar esencialmente exenta de distorsiones y pérdi- das dentro de una región dada de frecuencias. Dada la sencillez de los esquemas de circuito explicados, tal disposición constituye una técnica económicamente ventajosa para mejorar líneas de transmisión bidireccionales de dos alambres, y, por consiguiente, el servicio a
25 abonados.

Debe entenderse que las formas de realización aquí descritas son simplemente ilustrativas de la aplicación de los principios del invento. Los entendidos en la materia pueden idear muchas otras sin apartarse de su espíritu y alcance.

327630



N O T A
=====

Se reivindica como objeto de la presente patente :

- 5 1. - Dispositivo de impedancia negativa que comprende un par de transistores de tipos opuestos de conductividad, cada uno con base, colector y emisor; medios para conectar la base de cada transistor al colector del otro; una resistencia conectada entre la base y el emisor de cada transistor, y un par de terminales, conectados cada uno a un emisor respectivo; caracterizado por la conexión de una impedancia polarizadora entre las bases de los transistores.
- 10 2. - Dispositivo según la reivindicación precedente, caracterizado porque la impedancia polarizadora es una resistencia derivada por un condensador.
- 15 3. - Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los dos transistores, con sus bases y colectores conectados entre sí, tienen como equivalente eléctrico un diodo de 4 capas, con dos bases y dos emisores.
4. - Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 ó 2, caracterizado porque cada transistor comprende un transistor Darlington equivalente.
- 20 5. - Dispositivo de impedancia negativa.

Esta memoria consta de catorce páginas, escritas por una sola cara.

BARCELONA,

26 MAYO 1966

P. A.

