

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 228 847**

51 Int. Cl.:

G10L 21/02 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.04.2001 PCT/FR2001/01126**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.10.2001 WO01080223**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2001 E 01925627 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **07.11.2018 EP 1275109**

54 Título: **Método y dispositivo de enriquecimiento espectral**

30 Prioridad:

18.04.2000 FR 0005023

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

14.06.2019

73 Titular/es:

**ORANGE (50.0%)
78, rue Olivier de Serres
Paris, FR y
TDF (50.0%)**

72 Inventor/es:

**PHILIPPE, PIERRICK y
COLLEN, PATRICE**

74 Agente/Representante:

GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro María

ES 2 228 847 T5

DESCRIPCIÓN

Método y dispositivo de enriquecimiento espectral

- 5 La presente invención se refiere a un método y un dispositivo de enriquecimiento espectral de una señal de espectro incompleto. Más particularmente, la presente invención encuentra aplicación en la mejora de la decodificación de una señal de audio codificada por un codificador de limitación de banda espectral.
- 10 En codificación de audio con reducción de caudal, la señal de audio debe sufrir a menudo una limitación de banda pasante cuando se debilita el caudal binario. Esta limitación de banda pasante es necesaria para evitar la introducción de ruido de cuantificación audible en la señal codificada. Es entonces deseable regenerar en la medida de lo posible el contenido de alta frecuencia de la señal original.
- 15 Es conocida por el estado de la técnica, y principalmente por el documento WO-A-9857436, la regeneración del contenido espectral de alta frecuencia de la señal original procediendo a una transposición armónica del espectro de baja frecuencia de la señal decodificada hacia las altas frecuencias. Esta transposición se efectúa recopiando el valor espectral de una fundamental en f_k a todas las frecuencias de la serie armónica $n \cdot f_k$. La forma del espectro de alta frecuencia así obtenida se ajusta aplicando factores de ponderación espectral.
- 20 La figura 1 ilustra esquemáticamente el dispositivo de reconstrucción espectral según el estado de la técnica. La señal de audio codificada es decodificada por un decodificador 101 que proporciona una señal SB, de espectro de baja frecuencia, a una batería de filtros de análisis 102, estando conectadas las salidas k de estos filtros a las entradas de rangos armónicos $n \cdot K$ ($n=1..N$) de una batería de filtros de síntesis 104 después de haber sido ponderadas por factores de ponderación espectral 103. En obsequio de la simplicidad, los decimadores en salida del banco de filtro de análisis (respectivamente los interpoladores del banco de filtro de síntesis) no han sido representados.
- 25 La señal resultante de la síntesis, S_H , posee un espectro de alta frecuencia. Es sumada a la señal SB por un sumador 105 para generar una señal de banda ancha reconstruida S_R .
- 30 La técnica de reconstrucción expuesta más arriba se fundamenta en un análisis en subbandas y una duplicación armónica compleja. Pone en práctica métodos de ajuste de fase y de amplitud costosos en cálculo. Además, los factores de ponderación espectral no modelan más que toscamente la envolvente espectral.
- 35 De manera general, fuera de todo contexto de decodificación, es importante poder enriquecer el contenido espectral de una señal física de espectro incompleto. Se llama espectro incompleto a todo espectro de soporte limitado o todo espectro que presente "agujeros". Este será el caso principalmente de una señal de audio o de una señal de palabra de banda limitada: un enriquecimiento espectral mejora entonces sensiblemente la impresión de calidad sonora y la inteligibilidad de la señal.
- 40 El problema que constituye la base de la invención es la realización de un dispositivo de reconstrucción espectral y más generalmente de un dispositivo de reconstrucción espectral que y más generalmente de un dispositivo de enriquecimiento espectral sea de buen funcionamiento y de baja complejidad.
- 45 Un problema subsidiario que es la base de un modo de realización de la invención es obtener una conformación espectral de la señal reconstruida que sea al mismo tiempo más precisa y más simple que en el estado de la técnica.
- 50 El problema que constituye la base de la invención es resuelto por el procedimiento reivindicado en la reivindicación 1 y por el dispositivo reivindicado en la reivindicación 13.
- 55 Las características de la invención mencionadas más arriba, así como otras, aparecerán más claramente con la lectura de la siguiente descripción de un ejemplo de realización, siendo efectuada dicha descripción en relación con los dibujos adjuntos, entre los cuales:
- la figura 1 representa esquemáticamente un dispositivo de reconstrucción espectral de una señal de audio según el estado de la técnica;
- la figura 2 representa esquemáticamente un dispositivo de enriquecimiento espectral según la invención;
- 60 la figura 3a representa un módulo de transposición espectral utilizable en un modo de realización de la invención;
- la figura 4 ilustra esquemáticamente el procedimiento de enriquecimiento espectral según un modo de realización de la invención;

la figura 5 representa esquemáticamente un sistema según la invención que comprende un codificador y un descodificador con dispositivo de enriquecimiento espectral.

5 Nos ponemos de nuevo en el caso del enriquecimiento espectral de una señal S_B de espectro incompleto y principalmente de una señal de banda limitada.

La presente invención explota el hecho de que se puede modelar una señal bajo ciertas hipótesis de estacionalidad, como el resultado de la filtración de una señal de excitación por un filtro de envolvente espectral. Si se dispone de una descripción de la envolvente espectral de la señal S_B , es entonces posible blanquear su espectro haciéndole pasar por un filtro blanqueador de función de transferencia (aproximadamente) inverso a la función de envolvente. Se obtiene así una aproximación de la señal de excitación inicial, desembarazada de la influencia de la forma espectral en la banda considerada. Así, en el caso particular de una señal de palabra, la señal de excitación será desembarazada de su estructura formántica. La invención propone enriquecer el espectro de la señal S_B transponiendo el espectro blanqueado. La señal resultante es una señal de espectro transpuesto que debe ser conformada. Esta conformación espectral es realizada por un filtro de conformación cuya función de transferencia es, por ejemplo, extrapolada a partir de la función de envolvente espectral de la señal S_B .

La figura 2 representa un dispositivo de enriquecimiento espectral según la invención. La señal de espectro incompleto, típicamente una señal de audio de banda limitada (por ejemplo a la banda 0-5kHz) es filtrada por un filtro blanqueador 201 cuya función de transferencia se obtiene a partir de una estimación de la envolvente espectral. La estimación de la envolvente espectral es efectuada por un módulo 202 del dispositivo de enriquecimiento. Según un primer modo de realización de la invención, la envolvente espectral es estimada a partir de un análisis de la señal de espectro incompleto. Según un segundo modo de realización de la invención, la envolvente es estimada a partir de un información proporcionada por una fuente exterior, por ejemplo un descodificador. En ambos casos la función de transferencia del filtro blanqueador es la inversa de la función de envolvente espectral.

La señal de espectro blanqueado, S_w , es sometida a una transposición espectral por un módulo de transposición 203. La señal de espectro desplazado obtenida, S_H , típicamente una señal de espectro trasladado hacia las altas frecuencias (5-10 kHz por ejemplo en el caso de la señal de audio precedente), es filtrada seguidamente por un filtro de conformación 204. Según un primer modo de realización, su función de transferencia es extrapolada a partir de la función de envolvente espectral de la señal S_B . Según un segundo modo de realización, la función de transferencia es estimada a partir de una información exterior que describe la envolvente espectral de la señal de banda llena de la que sale S_B la señal filtrada, S_e , a la que llamaremos señal de enriquecimiento espectral, es añadida a la señal de espectro limitado S_B por un sumador 205 para generar una señal enriquecida (o reconstruida) espectralmente S_R .

El módulo 202 de estimación de envolvente espectral puede modelar, por ejemplo, la envolvente por un análisis LPC, tal como se ha descrito en el artículo de J. Makhoul, titulado "Linear Prediction: a tutorial review", Proceedings of the IEEE, Vol. 63, nº4, pp 561-580. La señal S es modelada según un modelo autoregresivo de orden P :

$$s_n = -\sum_{k=1}^P a_k s_{n-k} + G u_n$$

donde s_n representa la señal a modelar, a_k son los coeficientes de predicción (o incluso coeficientes LPC), u_n es el residuo de la predicción, P es el orden del filtro utilizado, es decir, el número de coeficientes del filtro LPC utilizado. G es una ganancia de normalización. Este filtro LPC modela la señal S bajo la forma:

$$S(z) = G / A(z) \text{ con } A(z) = \sum_{i=0}^P a_i z^{-i}; a_0 = 1$$

Escogiendo convenientemente el orden P del filtro (p suficientemente elevado) y los valores de los coeficientes LPC se puede hacer el residuo de predicción un espectralmente blanco (o casi blanco). Como resultado de la filtración de $S(z)$ por el filtro $A(z)$ es $U(z)$, el filtro $A(z)$ es llamado igualmente filtro blanqueador. El cálculo de los coeficientes de este filtro es en sí clásico (por ejemplo, por medio del algoritmo Levinson-Durbin). La forma del espectro es modelada entonces por:

$$\hat{S}(\omega) = \frac{G^2}{\rho(0) + 2 \sum_{i=1}^P \rho(i) \cos(\omega i)}$$

Con la siguiente convección:

$$\rho(i) = \sum_{k=0}^{P-i} a_k a_{k+i} \quad a_0 = 1, \quad 0 \leq i \leq P$$

5 La evaluación de los coeficientes a_k puede haberse realizado directamente por análisis LPC de la señal de espectro limitado S_B o incluso a partir de una información exterior (proporcionada por ejemplo por un descodificador como se ha descrito más adelante). Este modo de realización es ilustrado por la línea de trazos interrumpidos 230.

10 La evaluación de los coeficientes a_k puede haberse realizado igualmente por análisis LPC de la señal de banda llena original. Este será el caso, por ejemplo, si la señal S_B procede de una codificación con limitación de banda: el codificador podrá proporcionar los coeficientes LPC (directamente o bajo su forma reducida y cuantificada), al dispositivo de enriquecimiento, permitiendo encontrar los valores de los coeficientes encontrar la forma espectral del espectro de banda llena. Este modo de realización es ilustrado por la línea de trazos interrumpidos 220.

15 La determinación de los coeficientes se realiza sobre un soporte temporal que puede ser escogido para que corresponda mejor a las estacionalidades locales de la señal. Así, en el caso de una señal no estacionaria, se cortará la porción de la señal a analizar en subtramas homogéneas en término de contenido espectral. Esta homogeneidad puede medirse directamente gracias al análisis espectral midiendo la distancia entre los espectros estimados sobre cada una de las subtramas y después reagrupando los filtros de las zonas similares.

20 Evidentemente, la información que describe la envolvente espectral puede ser distinta de los coeficientes LPC; basta con que permita modelar la envolvente espectral bajo la forma de un filtro. Se puede concebir, por ejemplo, que esta información esté disponible bajo la forma de vectores de un diccionario de formas espectrales: basta con que puedan deducirse entonces los coeficientes del filtro de modelación. La función de transferencia del filtro blanqueado es escogida como la inversa de la función de transferencia del filtro de modelación de envolvente.

El blanqueo por el filtro 201 puede efectuarse tanto en el dominio temporal como en el dominio frecuencial.

30 De la misma manera, el módulo de transposición espectral 203 puede operar en el dominio frecuencial o en el dominio temporal. La operación de transposición es una simple traslación.

La operación de transposición es trivial en el dominio frecuencias, y no será por tanto descrita.

35 La transposición es también realizable en el dominio temporal.

40 La transposición se realiza por medio de un banco de filtros de análisis y de un banco de filtros de síntesis (por ejemplo, por un banco de filtros polifásicos) como se ha ilustrado en la figura 3a. Se efectúa la traslación gracias a la conexión de las salidas de los filtros de análisis a las entradas de rangos trasladados de las entradas de los filtros de síntesis (3a).

45 La transposición puede afectar a la totalidad o parte de la banda inicial. Son contemplables varias transposiciones en la banda objetivo a frecuencias diferentes antes de la etapa de conformación espectral. Además, las transposición puede intervenir bien sea después o bien antes del blanqueo espectral o incluso ser conjugada con este último.

Después de la transposición en la banda objetivo la señal es conformada por un filtro de conformación 204. Son posibles varios modos de realización.

50 Primeramente, si el dispositivo de enriquecimiento espectral recibe una información de envolvente espectral de banda llena (por ejemplo, en el caso de una señal extraída de una codificación con limitación de banda evocada más

arriba), esta información podrá utilizarse para estimar la función de transferencia del filtro de conformación. Este será el caso, por ejemplo, si se dispone de los coeficientes LPC de la señal de banda llena. El espectro de la banda objetivo tendrá entonces la forma de la envolvente en la banda considerada. Este modo de realización está ilustrado por la línea de trazos interrumpidos 220.

5 Seguidamente puede obtenerse la función de transferencia por extrapolación de la envolvente espectral de la banda inicial. Pueden contemplarse diferentes métodos de extrapolación, principalmente todo método que modele la envolvente espectral.

10 En el caso particular en que los coeficientes LPC han sido estimados por el módulo 202 a partir de la envolvente de la banda inicial, resulta ventajoso utilizar un filtro de conformación que posea como coeficientes estos coeficientes LPC.

15 Si se conjuga la transposición con el blanqueo, el filtrado blanqueador y el filtrado consecutivo de filtración pueden realizarse en una sola operación por un filtro de función de transferencia igual al producto de las funciones de transferencia respectivas del filtro blanqueador y del filtro de conformación.

20 La figura 4 ilustra el procedimiento de enriquecimiento espectral según un modo de realización de la invención. Más precisamente da una representación esquemática de las diferentes señales S_B , S_W , S_H , S_E , S_R en el caso particular de que el espectro incompleto esté limitado a una banda de baja frecuencia y la banda objetivo es la banda adyacente de alta frecuencia (caso típico de una aplicación de audio). Se supone que la transposición es posterior al blanqueo.

25 La figura 4a representa el espectro de la señal de baja frecuencia S_B así como la envolvente espectral de banda llena. La misma es determinada bien sea extrapolando la envolvente de la señal de baja frecuencia (curva en trazos interrumpidos) o bien suministrada por una fuente de información exterior que da la descripción de envolvente de banda llena.

La figura 4b representa el espectro de la señal S_W después del blanqueo espectral.

30 La figura 4c representa el espectro de la señal S_H después de la transposición espectral. La transposición escogida aquí es una simple translación.

La figura 4d representa el espectro de la señal después de la conformación espectral S_E .

35 La figura 4e representa el espectro de la señal enriquecida espectralmente o reconstruida S_R .

La figura 5 representa un sistema según la invención que comprende un codificador de limitación de banda (510) así como un decodificador (500) asociado a un dispositivo de enriquecimiento espectral tal como se ha descrito.

40 El codificador puede proporcionar, gracias a un módulo de estimación espectral (511), una información que describe la envolvente espectral de la señal de banda llena. Alternativamente, puede proporcionar una información que describe la envolvente espectral de la señal en una o varias bandas que han de ser objeto de la conformación. Esta información puede ser usada entonces directamente por el filtro de conformación espectral como se ha visto más arriba. Llegado el caso la información transmitida por el codificador será utilizada para corregir la función de transferencia del filtro blanqueador de modo que el resultado de la operación blanqueo-transposición-conformación reconstituye mejor la envolvente espectral de la señal antes de la codificación. Este modo de realización es ilustrado por la línea de trazos interrumpidos (520).

50 El decodificador proporciona una señal de espectro incompleto o limitado que es susceptible de enriquecimiento espectral según el procedimiento descrito más arriba. Se trata entonces hablando con propiedad, de una reconstrucción espectral, habiéndose truncado por la codificación una parte del espectro de la señal fuente S original. Además de la señal descodificada de espectro incompleto, el decodificador puede proporcionar igualmente a su vez una información relativa a la envolvente espectral de esta señal utilizable por el módulo de estimación de envolvente (502). Este modo de realización es ilustrado por la línea de trazos interrumpidos (530). Si el decodificador no proporciona más que la señal descodificada de espectro incompleto, la envolvente espectral será estimada a partir de esta última señal.

60 Una aplicación típica del sistema según la invención es la de la reconstrucción espectral de una señal de audio codificada por un codificador perceptivo. El codificador de audio puede ser de reducción de caudal del tipo por transformada (por ejemplo, MPEG1, MPEG2 o MPEG4-GA) o del tipo CELP (ITU G72X) o incluso paramétrico (tipo MPEG4 paramétrico).

Para un mismo caudal transmitido se mejorará la calidad sonora percibida, haciéndose el sonido "más claro". Alternativamente, puede disminuirse el caudal para una calidad equivalente. Un ejemplo de configuración es el

siguiente: transmisión de una señal codificada a 24 kbit/s con adición de dos kbit/s de informaciones espectrales de alta frecuencia. La calidad de la señal a 26 kbit/s así obtenida equivale a la de una señal a 64 kbit/s aproximadamente, sin el dispositivo de la invención.

- 5 Las aplicaciones de la invención son múltiples y no se limitan a la reconstrucción espectral de señales de audio. La invención es susceptible de reconstruir una señal física cualquiera y principalmente una señal de palabra.

Finalmente, la invención no se limita, como se ha visto, a la reconstrucción espectral de una señal original preexistente sino que puede aplicarse al enriquecimiento espectral de una señal en general.

10

15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de enriquecimiento del contenido espectral de una señal que tiene un espectro incompleto incluyendo una primera banda espectral, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
- 5 al menos una transposición, constituida por una simple translación del contenido espectral de dicha primera banda en una segunda banda espectral de la cual no se incluye ninguna frecuencia en dicho espectro, filtrando la señal de espectro incompleta por un banco de filtros de análisis y aplicando sus salidas sobre entradas de rangos trasladados de un banco de filtros de síntesis para generar una señal de espectro transpuesto, de espectro limitado a dicha segunda banda espectral;
- 10 conformación del espectro de la señal de espectro transpuesto para obtener una señal de enriquecimiento; combinación de la señal de espectro incompleto y de la señal de enriquecimiento para producir una señal de espectro enriquecido;
- 15 comprendiendo la generación de la señal de espectro transpuesto una etapa de blanqueo de dicho contenido espectral de modo que el espectro de la señal de espectro transpuesto sea una versión blanqueada de dicho contenido espectral.
2. Procedimiento de enriquecimiento de contenido espectral según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la segunda banda espectral es adyacente a la primera.
- 20 3. Procedimiento de enriquecimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque** se efectúa el blanqueo del contenido espectral filtrando la señal de espectro incompleto por un filtro blanqueador.
- 25 4. Procedimiento de enriquecimiento de contenido espectral según la reivindicación 3, **caracterizado porque** se obtiene la función de transferencia del filtro blanqueador a partir de una información que da la envolvente espectral de la señal de espectro incompleto.
- 30 5. Procedimiento de enriquecimiento de contenido espectral según la reivindicación 4, **caracterizado porque** la información que da la envolvente comprende coeficientes LPC de la señal de espectro incompleto.
- 35 6. Procedimiento de enriquecimiento de contenido espectral según una cualquiera de las reivindicaciones 4 o 5, **caracterizado porque** se realiza la conformación del espectro filtrando la señal de espectro transpuesto por un filtro de conformación.
- 40 7. Procedimiento de enriquecimiento de contenido espectral según la reivindicación 6, **caracterizado porque** se obtiene la función de transferencia del filtro de conformación extrapolando la envolvente espectral de la señal de espectro incompleto.
- 45 8. Procedimiento de enriquecimiento de contenido espectral según la reivindicación 6, **caracterizado porque** se obtiene la función de transferencia del filtro de conformación a partir de una información que da la envolvente espectral de una versión de espectro completo de la señal de espectro incompleto.
9. Procedimiento de enriquecimiento de contenido espectral según la reivindicación 8, **caracterizado porque** se corrige la función de transferencia del filtro de blanqueador en función de dicha información que da la envolvente espectral de la versión de espectro completo.
- 50 10. Procedimiento de mejora de la decodificación de señal de espectro incompleto, en particular de una señal de audio de banda limitada, habiéndose obtenido dicha señal de espectro incompleto por una codificación con limitación de espectro de una señal fuente de banda ancha, por ejemplo una codificación perceptiva, **caracterizado porque** la mejora consiste en enriquecer la señal descodificada por el procedimiento de enriquecimiento espectral según una de las reivindicaciones 1 a 9.
- 55 11. Procedimiento de mejora de la decodificación de señal de espectro incompleto, en particular de una señal de audio de banda limitada, habiéndose obtenido dicha señal de espectro incompleto por una codificación con limitación de espectro de una señal fuente de banda ancha, por ejemplo, codificación perceptiva, **caracterizado porque** la mejora consiste en enriquecer la señal descodificada por el procedimiento de enriquecimiento espectral según la reivindicación 6 o 7 y **porque** la información que da la envolvente espectral de la señal de espectro incompleto se proporciona por la etapa de decodificación.
- 60 12. Procedimiento de mejora de la decodificación de señal de espectro incompleto, en particular de una señal de audio de banda limitada, habiéndose obtenido la señal de espectro incompleto por codificación con limitación de espectro de una señal fuente de banda ancha, **caracterizado porque** la codificación proporciona una información que da la envolvente espectral de la señal fuente de banda ancha, consistiendo la mejora en enriquecer la señal

descodificada por el procedimiento de enriquecimiento espectral según la reivindicación 8 o 9, siendo la versión de espectro completo de la señal de espectro incompleto la señal fuente de banda ancha.

5 13. Un dispositivo de enriquecimiento del contenido espectral de señal que tiene un espectro incompleto incluyendo una primera banda espectral, **caracterizado porque** está adaptado para poner en práctica las etapas del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9.

10 14. Dispositivo adicional con un descodificador de señal, proviniendo la señal a descodificar de un codificador de limitación de banda, por ejemplo un codificador de audio perceptivo, **caracterizado porque** el dispositivo adicional está adaptado para poner en práctica las etapas del procedimiento según la reivindicación 10.

15 15. Dispositivo de recepción que comprende un descodificador de señal codificada por un codificador de limitación de banda, por ejemplo un codificador de audio perceptivo, y un dispositivo adicional adaptado para poner en práctica las etapas del procedimiento según la reivindicación 10 u 11.

20 16. Dispositivo de codificación/descodificación que comprende un codificador de limitación de banda, por ejemplo un codificador perceptivo, que recibe una señal fuente y produce una señal codificada, un estimador de espectro que da información de envolvente espectral de la señal fuente de banda llena, un descodificador de la señal codificada y un dispositivo adicional adaptado para poner en práctica las etapas del procedimiento según la reivindicación 12.

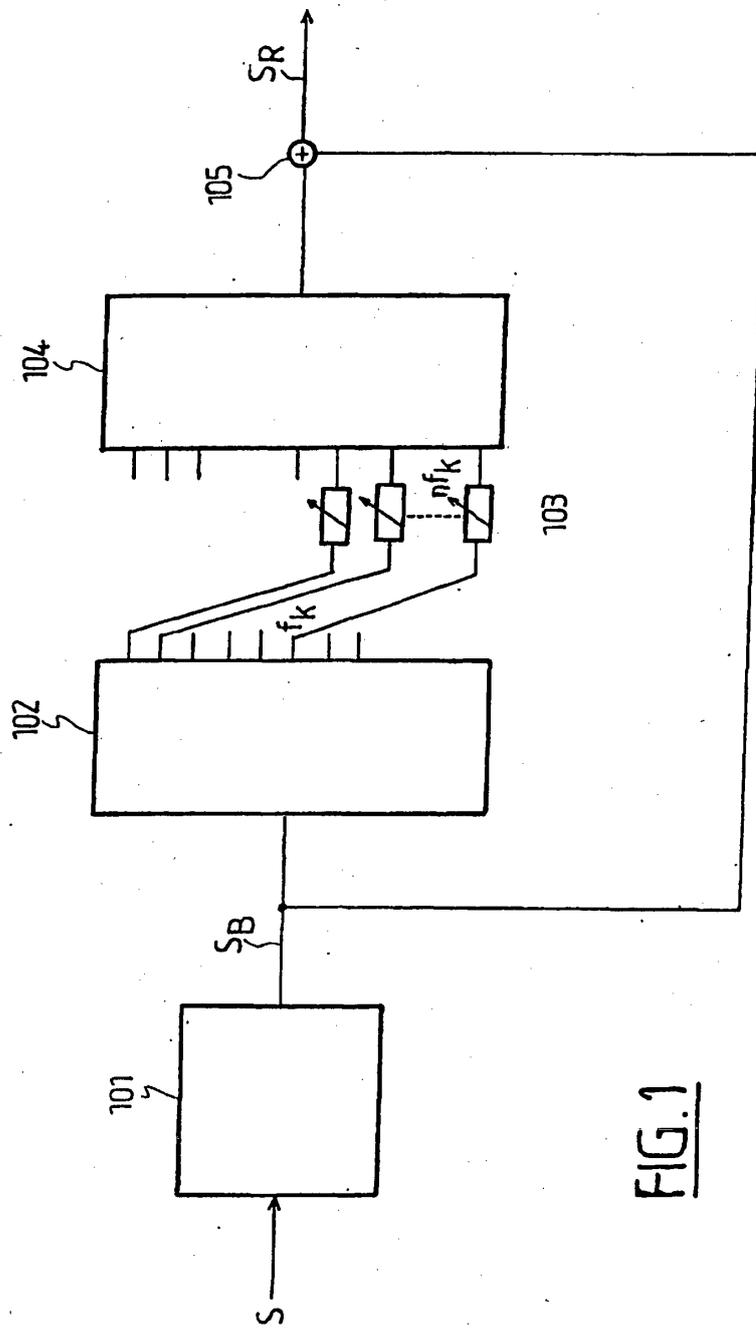


FIG. 1

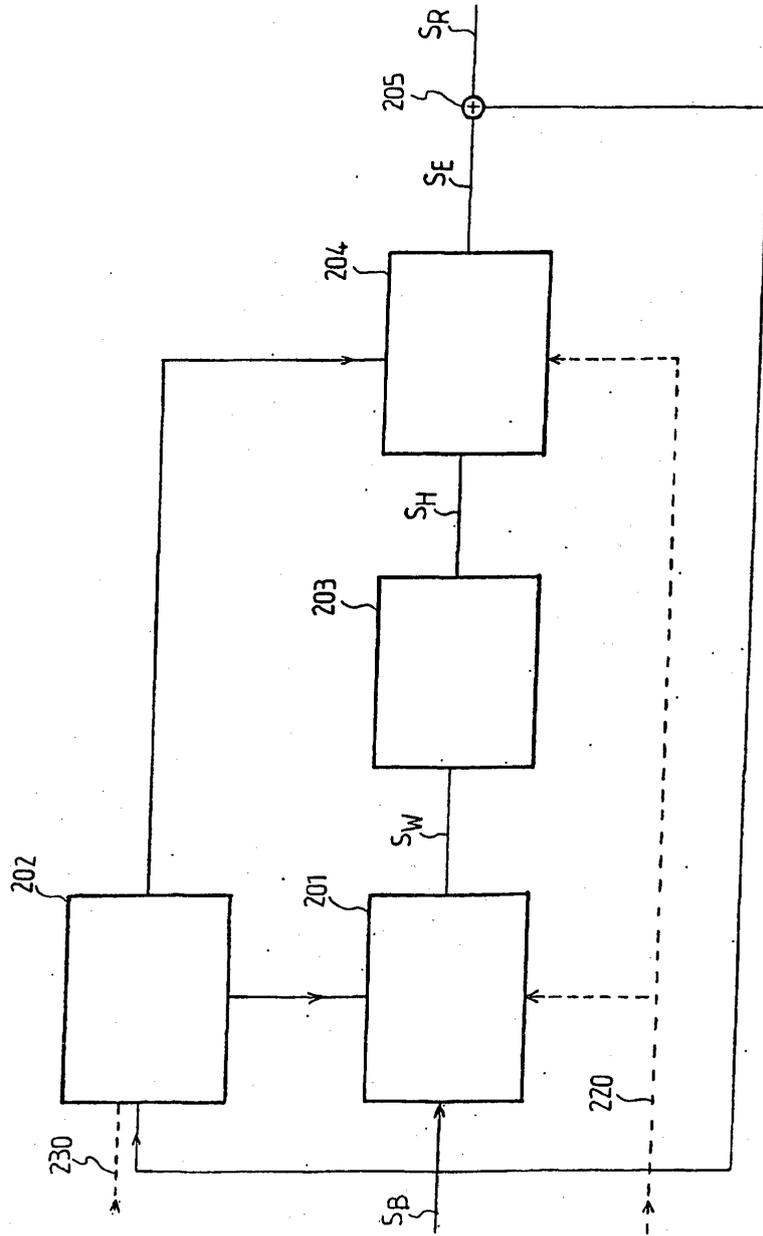


FIG.2

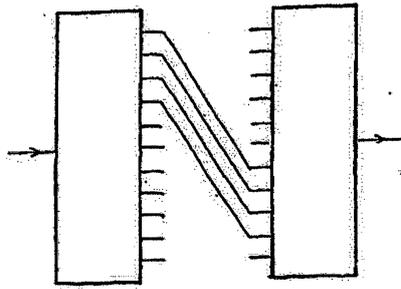


FIG. 3a

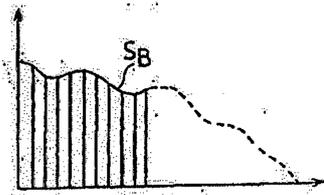


FIG. 4a

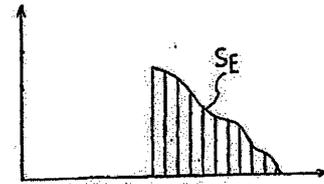


FIG. 4d

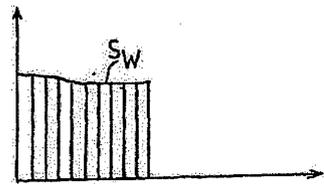


FIG. 4b

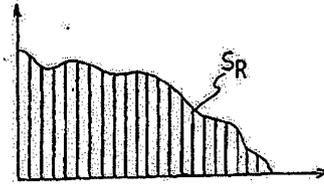


FIG. 4e

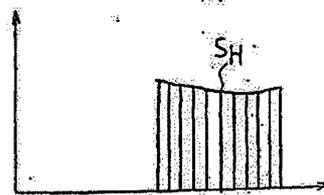


FIG. 4c

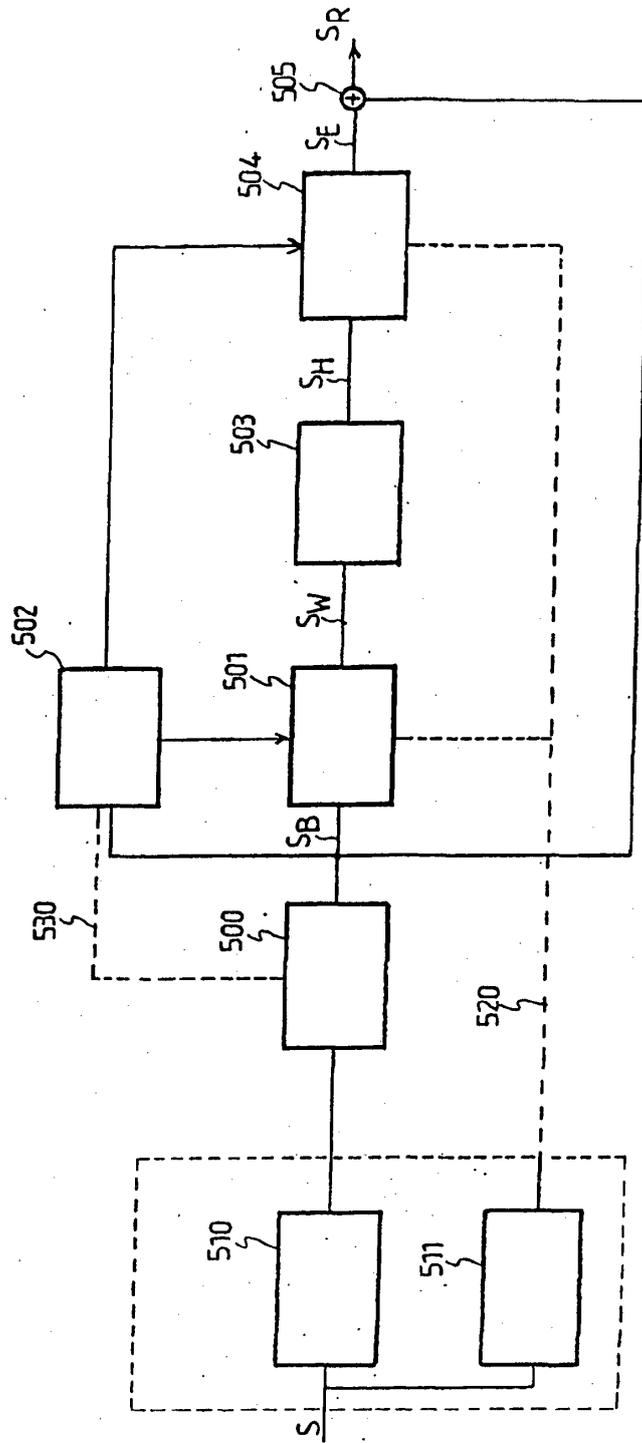


FIG. 5