

P- 33.420

JL/pl-3850/66 "D. 3056

P-Analyseur statis-
tique"



MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud
de

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

formulada el 26 de Octubre de 1966, con el nº 332.764

en

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de COMMISSARIAT A L' ENERGIE ATOMIQUE, entidad fran-
cesa, establecida en 29, rue de la Fédération, París, Fran-
cia, por:

"UN APARATO ANALIZADOR"

El invento se refiere a los analizadores, en par-
ticular de fenómenos estocásticos, es decir, a los disposi-
tivos electrónicos aptos para tratar informaciones de ori-
gen físico representables por funciones aleatorias.

5 Concierne mas particularmente, aunque no exclu-
sivamente, a los calculadores de las funciones de corre-
lación.

Se recuerda a este respecto que, siendo $X(t)$
e $Y(t)$ dos funciones aleatorias de una variable indepen-
10 diente t (que es generalmente el tiempo), se denomina:



- Función de intercorrelación $C_{xy}(h)$ la esperanza matemática del producto $X(t) \cdot Y(t-h)$, o sea

$$C_{xy}(h) = E[X(t) \cdot Y(t-h)],$$

5 - y función de autocorrelación $C_{xx}(h)$ la esperanza matemática del producto $X(t) \cdot X(t-h)$, o sea

$$C_{xx}(h) = E[X(t) \cdot X(t-h)],$$

10 siendo E el símbolo de la esperanza matemática y h un desfase temporal, que puede ser nulo en el caso de una función de intercorrelación.

Se pueden expresar igualmente estas dos funciones de correlación por los límites, cuando T tiende hacia el infinito, de las expresiones siguientes:

15

$$\frac{1}{T} \int_0^{+T} X(t) \cdot Y(t-h) dt \quad \text{para } C_{xy}(h)$$

20

$$\frac{1}{T} \int_0^{+T} X(t) \cdot X(t-h) dt \quad \text{para } C_{xx}(h)$$

(Esta es la hipótesis de ergodicidad)

25 El organismo solicitante ha descrito en una patente anterior francesa, número 1.362.476 presentada el 4 de marzo de 1963 (o en Gran Bretaña número 1.001.096 presentada el 4 de marzo de 1964) un calculador numérico de las funciones de correlación, indicando igualmente esta patente las principales aplicaciones prácticas de estas funciones y, por consiguiente, la utilidad de los

30 calculadores de funciones de correlación.



El calculador numérico descrito en dicha patente anterior, si funciona de una manera muy satisfactoria y proporciona excelentes resultados, presenta, sin embargo, el inconveniente de dar los puntos sucesivos de la función de correlación correspondientes a diferentes retardos h unos después de otros. Si el cálculo de la función de correlación se efectúa sobre una muestra de duración T y si se desea tener N puntos de función de correlación (es decir, calcular la función para N valores del retardo), es preciso, con este calculador, repetir N veces la operación, lo que requiere un tiempo de cálculo netamente superior a $N.T$, límite inferior teórico.

Si tal lentitud relativa no es un inconveniente mayor para utilizaciones del calculador en un laboratorio, llega a ser molesta durante una utilización industrial, cuando se trata de efectuar lo mas rapidamente posible un gran número de cálculos, e incluso redhibitorio cuando se desean efectuar cálculos en tiempo real (por ejemplo para determinar la respuesta de impulsión de un proceso con vistas a introducir el resultado de esta determinación en un bucle de dirección de este proceso).

El invento tiene, pues, por objeto, un analizador, especialmente un calculador de las funciones de correlación, que funciona en tiempo real y particularmente interesante en lo que concierne, tanto a la sencillez, la comodidad de empleo y la fiabilidad como a la rapidez de los cálculos.

Un analizador, especialmente un calculador de las funciones de correlación según el invento comprende en combinación:



dos convertidores muestreadores del sistema analógico en sistema numérico con bandas de cuantificación en número reducido, cada uno con una entrada para una señal analógica a analizar y una salida que suministra, en los instantes sucesivos de muestreo, la magnitud numérica cuantificada de esta señal.

por lo menos una unidad de retardo para retardar una señal, especialmente después de su cuantificación en el convertidor-muestreador correspondiente,

una primera unidad de memoria, denominada de medición, con una pluralidad de células de memoria aptas cada una para almacenar una magnitud cuantificada particular, siendo apta esta primera unidad de memoria para ser conectada a la salida de uno de los convertidores-muestreadores, eventualmente por medio de una unidad de retardo, para recibir de la misma las magnitudes cuantificadas de muestreo sucesivo, eventualmente retardadas, especialmente en una célula de entrada,

una memoria-tampón apta para almacenar una magnitud cuantificada particular, con una entrada apta para ser conectada a cada una de las células de dicha primera unidad de memoria y una salida,

un registro apto para almacenar un valor cuantificado particular con una entrada conectada a la salida de dicha memoria-tampón, y una salida conectable a cada una de las células, salvo dicha célula de entrada, de dicha primera unidad de memoria, y a una salida de evacuación del valor,

medios para conectar, por una parte a dicha entrada de la memoria-tampón secuencialmente dichas cé-



lulas de memoria en un orden determinado a partir de dicha célula de entrada y, por otra parte, la salida de dicho registro secuencialmente a dichas células de memoria en el orden citado, a partir de la célula que sigue a dicha célula de entrada, estando sustituida por lo demás esta célula en el ciclo por dicha salida de evacuación.

una unidad de multiplicación, especialmente del tipo matriz de diodos, apta para multiplicar una por otra dos magnitudes cuantificadas particulares con dos entradas conectadas, una, a la salida del segundo convertidor-muestreador, eventualmente por medio de una unidad de retardo, y la otra, a la salida de la memoria-tampón,

una segunda unidad de memoria, llamada de integración, que incluye tantas células de memoria como la primera unidad de memoria, teniendo cada célula de dicha segunda unidad de memoria una capacidad de varios órdenes de magnitud superior a la de cada célula de la primera unidad de memoria,

un circuito de adición, y sustracción con dos entradas, una conectada a la salida de la unidad de multiplicación y la otra conectable a cada una de las células de la segunda unidad de memoria, y una salida y medios para conectar, en primer lugar, dicha segunda entrada y luego dicha salida del circuito de adición y sustracción, secuencialmente, a cada una de dichas células de la segunda unidad de memoria.

El analizador puede presentar, además, una o varias de las características suplementarias siguientes:



- La porción numérica del analizador o calculador de funciones de correlación funciona bajo la forma binaria;

5 - la memoria-tampón y el registro están constituidos por dos cascadas idénticas de circuitos biestables;

10 - las dos unidades de memoria constituyen las dos partes, de importancia muy desigual, de una unidad de memoria, ventajosamente con película magnética delgada; la unidad de multiplicación suministra el módulo del producto en forma complementaria, si el signo del producto es negativo, y el circuito de adición y sustracción realiza la operación de sustracción por adición del complemento;

15 - el dispositivo analizador o calculador de funciones de correlación comprende órganos de entrada y de salida accesorios, especialmente una salida análogica del contenido de las células de la segunda unidad de memoria.

20 El invento podrá ser de todos modos bien comprendido con ayuda del complemento de descripción que sigue, así como de los dibujos anejos, cuyos complemento y dibujo están dados, naturalmente, sobre todo a título de indicación.

25 La figura 1 de estos dibujos, ilustra en forma de bloques funcionales, un calculador de funciones de correlación dotado de los perfeccionamientos según el invento.

30 La figura 2 permite explicar la distribución de la densidad de los puntos de análisis o de muestreo en el caso del funcionamiento de una analizador según

el invento como generador de una función cuya curva representativa se ilustra en esta figura.

5 Según el invento, se procede como sigue o de una manera análoga para realizar un calculador de funciones (intercorrelación y autocorrelación), que puede ser adaptado fácilmente, por lo demás, para funcionar como analizador estadístico universal, como se explica después.

10 La descripción detallada que sigue (con referencia a la figura 1) está hecha para el caso particular, tomada a título de ejemplo:

-en que se trabaja en el sistema binario,
 - en que se realiza una cuantificación con nueve intervalos (de niveles medios proporcionales a -4,-3,-2,-1, 15 0,+1,+2,+3 y +4) de las amplitudes de las funciones o magnitudes $X(t)$ e $Y(t)$ en que se quiere establecer la función de intercorrelación igual a

$$\frac{1}{T} \int_0^{+T} X(t).Y(t-h)dt$$

20 -y en que se determinan 128 puntos de esta función de intercorrelación,

siendo explicada después la elección de estos valores (9 niveles, , 128 puntos).

25 El calculador ilustrado en la figura 1 comprende en combinación:

Dos convertidores-muestreadores C_a y C_b del sistema análogo o sistema numérico, cuyas entradas E_a y E_b reciben las señales analógicas (normalmente continuas) a analizar, recibiendo la entrada E_a , por ejemplo,

30



la señal $X(t)$ y la entrada E_b la señal $Y(t)$, y cuyas salidas suministran en los instantes de muestreo determinados por el reloj H (siendo, por ejemplo, la frecuencia de muestreo F_2 de 25.000 Hz), las magnitudes o valores numéricos cuantificados representables por los niveles citados -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, y +4;

5
- eventualmente, dos unidades de retardo D_a y D_b conectadas, respectivamente a las salidas numéricas de los convertidores muestreadores C_a y C_b , siendo aptas estas unidades para introducir, cada una, un retardo comprendido entre 0 y un valor máximo igual, por ejemplo, a varios segundos;

10
- una primera unidad de memoria M_a , denominada memoria de medición, con 128 células de memoria $Q_1, Q_2 \dots Q_{127}, Q_{128}$, aptas, cada una, para almacenar una magnitud o valor cuantificado particular, es decir, por una parte, un bitio de signo (+ o -), y por otra parte, tres bitios de valor absoluto (siendo este valor absoluto como máximo igual a 4 en el ejemplo, pero que puede llegar hasta 7 cuando se utilizan células Q capaces de almacenar tres bitios de valor absoluto), estando conectada esta primera unidad de memoria M_a a la salida del primer convertidor-muestreador C_a , eventualmente por medio de la unidad de retardo D_a , para recibir sus salidas sucesivas, eventualmente retardadas;

20
- una memoria-tampón S apta para almacenar un valor cuantificado particular, es decir, igualmente cuatro bitios (de los cuales tres bitios de valor abso-



luto y un bitio de signo), siendo conectable la entrada de esta memoria-tampón S a cada una de las células Q de dicha memoria Ma;

5 - un registro U apto para almacenar un valor cuantificado particular, es decir, que tiene lamisma capacidad que la memoria de un tampón S, con una entrada conectada a la salida de la memoria-tampón S y una salida conectable a cada una de las células Q de dicha memoria Ma, salvo la célula Q_{128} , y a una salida de evacuación V;

10

 - medios Ga para conectar efectivamente, por una parte, a dicha entrada de la memoria-tampon S, sucesiva y cíclicamente, cada una de dicha células Q de la memoria Ma en el orden de los índices decrecientes $Q_{128}, Q_{127} \dots Q_2, Q_1, Q_{128}, Q_{127}$, etc.), y por otra parte, la salida de dicho registro U sucesiva y cíclicamente a las células Q de la memoria Ma en el mismo orden decreciente citado, con excepción, sin embargo, de la célula Q_{128} que no está conectada a la salida del registro, estando sustituida la conexión de esta célula por una evacuación en V del contenido del registro U;

15

20

 - una unidad de multiplicación P apta para multiplicar uno por otro dos valores cuantificados particulares con dos entradas P_1 y P_2 conectadas, una, (p_1), a la salida del segundo convertidor-muestreador Cb, eventualmente por medio de la segunda unidad de retardo Db, a través de una puerta G, y la otra, (P_2), a la salida de la memoria-tampón S;

25

30



5 - una segunda unidad de memoria M_b , denominada memoria de integración, que incluye 128 células de memoria $R_0, R_1 \dots R_{126}, R_{127}$, teniendo cada célula R de la unidad M_b una capacidad en bitios de varios órdenes de magnitud superior a la de cada célula Q , de la unidad M_a , por ejemplo, una capacidad de 26 bitios (25 bitios de valor absoluto y un bitio de signo);

10 - un circuito de adición y sustracción A con dos entradas, de las cuales una (A_1) está conectada a la salida de la unidad de multiplicación P y la otra (A_2) es conectable a cada una de las células R de la segunda unidad de memoria M_b , siendo la capacidad en bitios de dicho circuito de adición y sustracción
15 igual a la de las células Q , o sea 26 bitios;

- y medios para conectar efectiva, sucesiva y cíclicamente dicha segunda entrada A_2 , por una parte, y la salida A_3 , por otra parte, del circuito de adición y sustracción A , a dichas células R de la segunda unidad de memoria M_b , según el ciclo $R_0, R_1 \dots$
20 $R_{126}, R_{127}, R_0, R_1, \text{etc.}$

Los convertidores C_a y C_b están realizados, por ejemplo de elementos semiconductores y son del tipo
25 de pesajes sucesivos que funcionan con una frecuencia de reloj H del orden de 1 MHz, siendo efectuada la conversión en algunos microsegundos.

Las memorias M_a y M_b , están constituidas ventajosamente por las dos partes de importancia desigual, de una única memoria, por ejemplo una memoria
30



5 con película magnética delgada que tiene una capacidad de 128 palabras de 32 bitios, siendo utilizados cuatro bitios para la memoria Ma y 26 para la memoria Mb. La misma memoria sirve, pues, por "splittage" para almacenar, por una parte, los valores de medición muestreados (células Q_1 a Q_{128}), y por otra parte, los valores integrados sucesivos (células R_0 a R_{127}). Tal memoria con película magnética delgada tiene un tiempo de acceso del orden de 40 nanosegundos para la escritura y 40 nanosegundos para la lectura, debido a que no existe búsqueda de disección. En el caso de los fenómenos lentos, no necesitando, pues, un muestreo rápido, la memoria con película delgada puede ser sustituida muy económicamente por una memoria con toros o de magnetostricción.

15 La memoria-tamponS y el registro U, que tienen una pequeña capacidad (4 bitios), pueden estar constituidos ventajosamente, cada uno, por cuatro circuitos biestables montados en cascada, pudiendo almacenar cada circuito biestable un bitio. Si se utilizan cascadas de circuitos biestables realizadas como circuito integrado, el tiempo de transferencia para estos componentes puede ser inferior a 10 nanosegundos.

20 La unidad de multiplicación P debe efectuar la multiplicación de un número muy reducido de valores absolutos posibles, y el número de los diferentes productos, en valor absoluto, está limitado a 10, siendo estos productos: 1,2,3,4,6,8,9,12,16 y 0, evidentemente. Es, pues, fácil realizar tal unidad de multiplicación como se ha descrito en la patente citada
25 es decir, por medio de una matriz de diodos para la
30



multiplicación de los valores absolutos, completada por una matriz extremadamente reducida de diodos para la multiplicación de los signos. La duración de una multiplicación es del orden de algunos nanosegundos.

5 El valor absoluto es proporcionado ventajosamente en forma binaria complementaria si el signo del producto es negativo, y naturalmente en forma binaria verdadera si el signo del producto es positivo.

10 El circuito de adición y sustracción A tiene por objeto añadir algebraicamente al contenido de una célula R de la memoria Mb un producto proporcionado por la unidad de multiplicación P. Tiene que añadir, por consiguiente, un pequeño número de bitios (5 para el valor absoluto). Se realiza ventajosamente en
15 forma de un circuito de adición binario que realiza la sustracción por adición del complemento proporcionado por la unidad de multiplicación P, como se ha indicado anteriormente.

20 Por otro lado, es ventajoso prever en el circuito de adición y sustracción A un sistema de "arrastre acelerado" para disminuir el tiempo requerido para cada operación de sustracción o adición. La capacidad total del circuito de adición y sustracción A es la misma que la de cada célula R, es decir, de 26 bitios,
25 de los cuales uno de signo. La duración de una operación de adición o de sustracción con un circuito de adición y sustracción de transistores puede ser inferior a 200 nanosegundos.

30 Las unidades de retardo numérico Da y Db (por ejemplo del tipo de líneas de magnetostricción)



pueden ser sustituidas por unidades de retardo analógico (por ejemplo con bucles magnéticos) dispuestos aguas arriba de los convertidores Ca y Cb.

5

La salida de las células R se efectúa, por ejemplo, por una impresora.

10

Finalmente, el calculador de la figura 1 puede comprender órganos de entrada y de salida accesorios, especialmente dos convertidores del sistema numérico en sistema analógico para la salida analógica de las informaciones contenidas en la Memoria Mb, suministrando uno de los convertidores al sistema analógico el número de orden de la célula (entre 0 y 127) y el otro, el valor contenido en cada célula. Estas dos informaciones pueden ser enviadas a un dispositivo de representación XY (osciloscopio o registrador XY) que da directamente la línea del trazado de correlación.

15

20

Se puede prever igualmente un órgano de entrada numérico que permite introducir, o bien por teclado, o bien a partir de una lectura de banda perforada, de banda magnética o de tarjeta perforada, un número dado en una célula dada de memoria, para permitir la utilización del calculador como generador de funciones, como se explica después.

25

El funcionamiento del calculador ilustrado en la figura 1 y descrito más arriba es el siguiente:

30

Las dos magnitudes $X(t)$ e $Y(t)$ en que se quiere establecer la función de intercorrelación, se introducen como señales eléctricas de amplitud $X(t)$ e $Y(t)$ funciones del tiempo t , una en la entrada Ea



del convertidor Ca y la otra en la entrada Eb del convertidor Cb. Un retardo suplementario fijo puede ser introducido según el caso en una de las unidades de retardo Da o Db.

5 Los convertidores Cb y Ca realizan una cuantificación en amplitud y un muestreo en el tiempo, este último bajo el mando del reloj H. A cada instante de muestreo, es decir, por ejemplo, a intervalos $T_e = 1/25.000$ ésima de segundo (pudiendo ser T_e tan grande como se quiera, lo que es útil para los fenómenos lentos), estos convertidores proporcionan una salida codificada que corresponde, como se ha indicado anteriormente, a niveles medios proporcionales a $-4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ y $+4$. Las salidas sucesivas cuantificadas del

10 convertidor Ca, eventualmente retardadas en la unidad de retardo Da, son enviadas a las células Q_{128} de la unidad de memoria Ma. Los 128 primeros valores cuantificados son finalmente almacenados (como se ha indicado mas arriba, por pasadas sucesivas de una célula a la

15 otra de índices cada vez menores, por medio de la memoria-tampón S y el registro U) en las 128 células Q_{1a} Q_{128} , siendo almacenado el valor X_1 , de $X(t)$ durante el primer muestreo, en la primera célula Q_1 , siendo almacenado el valor X_2 de $X(t)$ durante el segundo muestreo, en la célula Q_2 , y así sucesivamente hasta el

20 valor X_{128} de $X(t)$ durante el 128º muestreo, que es almacenado en la célula Q_{128} . En el instante de 128º muestreo, la puerta G es abierta y permanecerá abierta por lo demás hasta el final de la operación de

25 cálculo. Un primer subciclo comienza entonces.

30



El valor cuantificado Y_{128} de $Y(t)$ en el instante del 128° muestreo, llega a la entrada P_1 de la unidad de multiplicación F , que recibe en primer lugar, en su entrada P_2 , el valor X_{128} enviado a la memoria-tampón S desde la célula Q_{128} por accionamiento de los medios G_a que incluyen una puerta entre Q_{128} y S , puerta que está entonces abierta. La unidad de multiplicación P efectúa, pues, el producto de Y_{128} por X_{128} y envía el resultado al circuito de adición y sustracción A que recibe en su entrada A_2 el contenido de la célula R_0 bajo el mando de los medios G_b que incluyen una puerta entre R_0 y A_2 , puerta que está entonces abierta. El contenido de R_0 es nulo al principio y, por consiguiente, la salida A_3 del circuito de adición y sustracción A suministra entonces el producto de Y_{128} por X_{128} que es enviado a la célula R_0 , abriendo los medios G_b una puerta dispuesta entre A_3 y R_0 . Se observará que el producto Y_{128} por X_{128} corresponde a un retardo nulo $H_0 = 0$.

Luego los medios G_a mandan la transferencia del contenido de la célula Q_{127} , es decir, X_{127} , a la memoria-tampón S (cuyo contenido preferente X_{128} ha sido transferido al registro U) y la unidad de multiplicación P efectúa el producto de Y_{128} por X_{127} . Los medios G_b mandan la transferencia del contenido (nulo) de la célula R_1 a la entrada A_2 , y luego la transferencia de la salida A_3 , es decir, el producto de Y_{128} por X_{127} , a la célula R_1 . Se observará que este producto corresponde al retardo $h_1 = T_e$ (siendo T_e el período de muestreo igual, por ejemplo, a $1/25.000$ éxima de segundo, pero que puede ser superior a



esta duración). Durante este tiempo, el contenido anterior de la memoria-tampon S, a saber X_{128} , que ha sido transferido al registro U, es enviado por los medios G_a a la célula Q_{127} en sustitución del valor X_{127} que ha sido transferido a la memoria-tampón S.

5

La tercera sucesión de operaciones de este primer subciclo correspondiente al valor Y_{128} es análoga a las dos precedentes y consiste en transferir X_{126} , contenido en Q_{126} , a la memoria-tampón S, en multiplicar, en P, Y_{128} que llega a P_1 por X_{126} que llega a P_2 , en añadir en A el producto $Y_{128} \cdot X_{126}$ al contenido (nulo) de R_2 , luego en transferirla suma, siempre igual a $Y_{128} \cdot X_{126}$, a la célula R_2 que corresponde al retardo $h_2 = 2 T_e$; al mismo tiempo X_{127} , que ha sido transferido de la memoria-tampon S, al registro U, es enviado a la célula Q_{126} , cuyo contenido acaba de ser utilizado.

10

15

Luego la misma sucesión de operaciones se prosigue con el contenido de las células Q_{125} , Q_{124} , etc. ... Q_2 , siendo enviado cada contenido, después de la transferencia a la memoria-tampón S y multiplicación por Y_{128} , en la unidad P, a la célula Q de índice inferior en una unidad al de la célula de que se había extraído dicho contenido, mientras que el producto de la multiplicación por Y_{128} es enviado a una célula R de la Memoria M_b de índice igual al complemento a 128 del índice de la célula Q de que se trata.

20

25

Finalmente, para terminar el subciclo correspondiente a Y_{128} , el calculador efectúa de la misma manera el producto de X_1 extraído de Q_1 por Y_{128} ; este producto es enviado a la célula R_{127} correspondiente al

30

230



retardo l_{27} Te, y el valor X_2 ocupa el sitio de X_1 en la célula Q_1 , mientras que X_1 es evacuado del registro U hacia la salida de evacuación V.

Habiendo terminado el subciclo correspondiente a la muestra Y_{128} , se realiza un nuevo muestreo y dá, por una parte, Y_{129} y, por otra parte X_{129} , siendo introducido este último valor en la célula Q_{128} que ha sido dejada libre por el desplazamiento del valor X_{128} que ha pasado a la célula Q_{127} , como se ha indicado anteriormente.

El mismo subciclo de operaciones, descrito anteriormente para Y_{128} , vuelve a empezar con Y_{129} . Este subciclo comienza por la multiplicación de Y_{129} por X_{129} en la unidad de multiplicación P que recibe Y_{129} en su entrada P_1 y X_{129} (a partir de la memoria-tampón S) en su entrada P_2 . El circuito de adición y sustracción A recibe entonces en su entrada A_1 el producto $Y_{129} \cdot X_{129}$ y en su entrada A_2 el contenido actual ($Y_{128} \cdot X_{128}$) de la célula R_0 de la memoria Mb. En efecto, los dos productos $Y_{128} \cdot X_{128}$ e $Y_{129} \cdot X_{129}$ corresponden a un retardo nulo y están integrados, por consiguiente, en la célula R_0 correspondiente al retardo nulo. La segunda operación de este segundo subciclo consiste en realizar las mismas operaciones en Y_{129} aplicado en P_1 y X_{128} procedente de la Célula Q_{127} y aplicado por la memoria-tampón S en la entrada P_2 . El producto $Y_{129} \cdot X_{128}$ es es añadido en el circuito de adición y sustracción A al contenido actual ($Y_{128} \cdot X_{127}$) de la célula R_1 , y luego esta suma algebraica es enviada de nuevo al almacenaje en la célula R_1 , que integra, pues, los productos que



corresponde un retardo $H_1 = T_e$. Durante este tiempo, X_{129} , que ha llegado a la memoria-tampón S, es enviado al registro U, y luego desde allí a la célula Q_{127} . Este segundo subciclo se prosigue hasta el producto Y_{129} .
5 X_2 procedente de la célula Q_1 , siendo añadido este producto al contenido actual de la célula R_{127} , que integra, por consiguiente, los productos que corresponden a un retardo $h_{127} = 127 T_e$. Finalmente, X_2 es evacuado en V.

10 Un tercer subciclo análogo comience entonces con Y_{130} , que es multiplicado sucesivamente por X_{130} , X_{129} , ... X_3 . Estos diferentes subciclos se repiten hasta el fin del cálculo, es decir, durante el período T de las señales consideradas.

15 Se ve, pues, que un cálculo completo está constituido por un ciclo de operaciones que suponen un cierto número de subciclos que comprenden, cada uno, 128 operaciones de multiplicación en la unidad de multiplicación P y 128 adiciones o sustracciones en el circuito
20 de adición y sustracción A, así como un cierto número de transferencias por las puertas comprendidas en los medios Ga y Gb, debiendo ser realizadas todas las operaciones de un subciclo, especialmente las 128 multiplicaciones y 128 adiciones, en un período de muestreo T_e .
25 Es, pues, la duración del subciclo, determinada por la tecnología de los componentes, la que limita la frecuencia del muestreo es por esto por lo que se tiene interés en realizar las operaciones de multiplicación y de adición por medio de componentes tan rápidos como sea posible,
30 aplicándose igualmente esta observación a la me-



5 memoria-tampón S y a las memoria Ma y Mb. Las duraciones indicadas anteriormente para las diferentes operaciones y para la escritura y la lectura en memoria conducen a una duración de subciclos del orden de 300 nanosegundos, lo que permite trabajar con una frecuencia de muestreo de 25.000. Hz sin dificultad. Si se considerara suficiente 64 puntos (en lugar de 128) sobre la función de correlación, se podría trabajar con una frecuencia de muestreo de 50.000 Hz.

10 El retardo incremental se realiza durante la elección de las muestras para la multiplicación. Multiplicando X_{128} por Y_{128} , se tiene un retardo nulo, multiplicando X_{127} por Y_{128} , se tiene un retardo igual a T_e ; multiplicando X_{126} por Y_{128} , se tiene un retardo igual a $2T_e$; etc.; el retardo incremental es pues, igual a T_e ; este es el intervalo que separa dos retardos sucesivos 0, T_e , $2 T_e$, etc.

20 En lo que concierne a la duración T de análisis, se recuerda la fórmula dada por J. BENDAT en "Principles of random noise", capítulo VII, que relaciona la duración necesaria de análisis de la señal T, la amplitud B del espectro de la señal y la precisión p buscado:

25
$$BT = 8. \frac{1}{\bar{n} p}$$

o sea, aproximadamente, $BT = \frac{2,5}{p}$. Si el espectro tiene

30 una amplitud de 100 Hz ($B = 100$) y si se quiere una



precisión de 1% ($p = 0,01$), se encuentra $T = 250$ segundos. Se debe analizar, pues, la señal durante un período T de 250 segundos, es decir, efectuar tomas y subciclos con el período T_e durante 250 segundos. Por otra parte, la frecuencia de muestreo que, de acuerdo con el teorema de SHANNON, debería ser por lo menos igual a $2 F_m$ (siendo F_m la frecuencia mas elevada contenida en la señal), debe ser en realidad netamente superior a este valor, debido a que la interpolación correspondiente al teorema de SHANNON es muy difícil de realizar físicamente. Si se considera satisfactoria una interpolación lineal, y si se quiere una precisión del orden de 1%, es necesario tomar una frecuencia de contraste igual a 22 veces la frecuencia superior F_m . Parecería sin embargo, que se puede elegir una frecuencia de muestreo inferior a 22 veces la frecuencia más elevada de acuerdo con los estudios matemáticos mas recientes. Sin embargo, por razones de seguridad, se ha preferido elegir una frecuencia de muestreo superior a 22 veces la frecuencia superior, a saber, una frecuencia de muestreo de 25.000 Hz. para analizar señales cuya frecuencia no excede de 1000 Hz, señales más frecuentes en los procesos para los cuales se tiene que efectuar cálculos de correlación.

A partir de los límites citados de T y F_e , se puede determinar el número de informaciones elementales o "palabras" tratadas. Este es, en efecto, igual a $T \cdot F_e$, o sea, en el caso de los valores particulares tomados a título de ejemplo:



$$\frac{25 \cdot 10^3}{B} \times 22 \text{ Fm}$$

5 En el caso mas favorable, $B = F_m$ y el número de palabras es entonces de 550.000. Si se hacen cálculos de autocorrelación, se precisarán, pues, por lo menos 550.000 palabras en memoria, en el caso en que no se haga el cálculo simultáneo de todos los puntos de la función de autocorrelación. Este número debe ser duplicado para los cálculos de intercorrelación, por que se precisan 550.000 palabras para cada señal, o sea, en total 1.100.000 palabras.

10 El almacenaje de 550.000 ó 1.100.000 palabras exigiría una memoria-tampón de capacidad muy grande entre el dispositivo generador de las señales a estudiar y el correlacionador mismo, es decir, aguas arriba de las entradas E_a y E_b de la figura 1. Es precisamente para evitar esta memoria-tampón de capacidad muy grande por lo que se han previsto componentes de cálculo muy rápidos que permiten trabajar en tiempo real, de donde se deriva la supresión de la memoria-tampón aguas arriba de E_a y E_b .

20 Por el contrario, el número de palabras a tratar, de 550.000 por señal, interviene directamente para determinar la capacidad de las células R de la memoria Mb. En efecto, si se admite que para la mayoría de las señales tratadas el valor absoluto medio no excede de 77% de su valor máximo (es decir, el nivel 3 de la cuantificación), el valor máximo de la suma a almacenar en cada célula R es de $550.000 \times 3 \times 3,0$ o sea, aproximadamente 5 millones. En el dispositivo, se ha elegido una



capacidad de 16 millones, lo que es ampliamente suficiente. Se puede incluso prever, conectado a cada célula R, un indicador de desbordamiento que avisaría al operador en caso de un rebasamiento, por lo demás muy improbable, de la capacidad de 16 millones en una célula R particular de la memoria Mb.

Finalmente, un cálculo aproximado del valor del retardo necesario para el cálculo de una función de correlación con una precisión dada, ofrece, para una precisión exigida de 1%, un retardo máximo del orden de 120 Te, siendo Te, como se ha indicado más arriba, el período de muestreo. A título de seguridad y dado el número de células de las memorias normales, se ha elegido un retardo máximo de 128 Te.

La organización del calculador de funciones de correlación ilustrado en la figura 1, aunque sea muy sencilla dada la complejidad y la rapidez de los cálculos efectuados, permite, por muy paradójico que esto pueda parecer a primera vista, calcular a costa de modificaciones o incorporaciones poco importantes, otras funciones (distintas de las funciones de autocorrelación y de intercorrelación) que presentan un gran interés en el tratamiento de las informaciones.

En particular, este calculador ligeramente modificado permite determinar las funciones siguientes:

- La densidad de probabilidad del primer orden,
- el valor medio de una señal ,
- las densidades de probabilidad condicional con dos variables,



- el reparto de los retardos entre sucesos aleatorios correlacionados, y estos con una compensación automática del ruido de fondo.

El calculador puede funcionar igualmente como:

Generador de funciones,

- analizador armónico de una función conocida por su representación física,

10 - memoria análogica-numérica para el almacenaje y la restitución de un fenómeno físico representado por una tensión que varía en función del tiempo (o de cualquier otro parámetro).

15 Se examinarán ahora sucesivamente estos diferentes funcionamientos accesorios del calculador de la figura 1.

1. MEDICIONES DE DENSIDADES DE PROBABILIDAD DEL PRIMER ORDEN

Se trata de obtener una función de la amplitud a de la señal:

$$20 \quad P(a, da) = P_r \int_a^{a+da} X(t) \quad a + da,$$

siendo da igual a $1/128^2$ de la amplitud máxima de la señal.

25 Para realizar esta operación, se actúa sobre una sola magnitud que es la única que ha de ser introducida en el aparato. Se utiliza en esta vía la salida del convertidor C_a , por ejemplo, codificada a 64 niveles en valor absoluto mas signo (de hecho, los convertidores C_a y C_b estan previstos con 64 niveles
30 en el analizador descrito más arriba con referencia a



la figura 1, pero para el cálculo de las funciones de correlación, se utilizan nueve salidas a niveles -4, -3, ... +3, +4). Cada vez que el valor de la magnitud muestreada de $X(t)$ está comprendido entre el nivel n y el nivel $n + 1$, se añade una unidad a la célula R del índice n , yendo n de 0 a 127. En el caso en que la función está centrada alrededor del origen, las células de índice de 0 a 63 están adscritas a las amplitudes negativas. En el caso en que la señal no está centrada, un dispositivo permite desplazar el nivel "cero".

El calculador, de la figura 1 funciona entonces como un selector de amplitudes, pero supone la adaptación a las amplitudes negativas tanto como a las positivas.

2. MEDICION DEL VALOR MEDIO DE UNA SEÑAL.

La señal $X(t)$ cuyo valor medio se quiere conocer, se inyecta en la entrada E_a , mientras que en la entrada E_b se aplica con permanencia una señal de nivel 1. Se opera entonces como para el cálculo de una función de correlación, pero efectuando un solo producto a cada muestreo y en la célula R_0 se almacena la suma de los productos que corresponden a la integral:

$$\int_0^T X(t) \cdot 1 \cdot dt \quad \text{o sea} \quad \int_0^T X(t) dt$$

Conociendo la duración T de la medición, se deduce de ella el valor medio de la señal.



3. MEDICIONES DE DENSIDADES DE PROBABILI- DAD CONDICIONAL CON DOS VARIABLES.

Es útil, en ciertos casos, poder medir la
densidad de probabilidad del segundo orden, es decir,
la probabilidad de tener a la vez:

$$a \leq X(t) < a + da \quad \text{y} \quad b \leq Y(t) < b + db.$$

Esta operación puede hacerse muy fácilmente
para todo par de valores a y b tales que $a = b + c^{te}$,
pudiendo variar a y b en todo el ámbito de las tensiones
de entrada.

Para esto, se introduce $X(t)$ en una entra-
da E_a e $Y(t)$ en la otra entrada E_b .

Se señala el valor de la constante $a - b$
y se envía una unidad a la célula R de índice n corres-
pondiente al valor "a" de $X(t)$, cada vez que $X(t)$
presenta este valor e $Y(t)$ el valor "b".

Como en el caso de la densidad de probabi-
lidad del primer orden, da y db tienen como valor $1/128^2$
de la escala plena.

Sería posible, evidentemente, realizar
esta medición para una ley cualquiera $a = f(b)$, pero
parece preferible, dadas las múltiples formas que puede
tomar esta Ley, realizar entonces la indicación por un
órgano exterior al aparato.

4.- MEDICION DEL REPARTO DE LOS RETARDOS ENTRE SUCESOS ALEATORIOS CORRELACIONADOS CON COMPENSACION AUTOMATICA DEL RUIDO DE FONDO.

Esta aplicación puede ser muy importante
en diferentes ámbitos, como por ejemplo, la biología



(medición de la respuesta de los elementos del sistema nervioso), la física nuclear (medición de los tiempos de vida de los cuerpos de vida larga), la técnica (por ejemplo, medición de velocidades de burbujas en una circulación difásica líquido-vapor)

5

En el caso mas general, existen dos detectores adscritos, uno, a los sucesos de tipo A, y el otro, a los sucesos de tipo B, siendo producido todo suceso del tipo B por un suceso del tipo A, pero con un retardo aleatorio entre estos dos sucesos. Se trata entonces de determinar la distribución de estos retardos. Las señales que corresponden a los sucesos A son enviadas a la vía que dispone de los 127 retardos y a la salida de cada retardo se ponen en coincidencia estas señales con las producidas por los sucesos B. Cuando existe coincidencia entre un suceso B y un suceso A retardado $n \cdot r$, se añade una unidad al contenido de la célula R de índice de rango n .

10

15

20

Este método se aplica igualmente cuando existen "falsas" señales A o B y falsas coincidencias, y es fácil suprimir el "ruido" debido a estas falsas coincidencias sin complicaciones.

25

Los 127 retardos realizables estan espaciados igualmente un valor r que puede ser ajustado a voluntad a partir de un microsegundo.

Se puede igualmente, si se mostrara esto necesario, utilizar en una u otra de las vías un retardo adicional por la unidad Da o Db.

30

Naturalmente, cuando, como es el caso aquí, se trabaja sobre impulsos, las entradas se hacen después



de los convertidores Ca y Cb, que no son entonces utilizados.

Este procedimiento de cálculo se aplica igualmente si se utiliza un solo y mismo detector para detectar a la vez los sucesos A y los sucesos B, es decir, si nada distingue un impulsos debido a un suceso A de un impulso debido a un suceso B.

5.- GENERADOR DE FUNCIONES.

Se puede utilizar, utilizando los órganos de salida análogica (citados y no ilustrados), la memoria Mb del correlacionador como generador de funciones. Basta para esto. muestrear la curva representativa de la función a generar en 128 puntos e inscribir estos valores en las 128 células R de Mb. La gran ventaja para el usuario procede precisamente de que la indicación se hace numéricamente, permaneciendo la salida analógica, con una escala de tiempos cualquiera (siendo la limitación por el lado de la rapidez del orden de 50 microsegundos para la generación mas rápida de la función).

Este generador de funciones puede funcionar evidentemente como "repetitivo", es decir, que la función es repetida periódicamente. La generación se hace por 128 segmentos de recta, lo que ofrece una precisión muy buena, si se compara con los generadores de funciones clásicas que funcionan con una veintena de segmentos de recta.

Además, estos diferentes segmentos de recta, pueden tener una componente diferente en el eje de los tiempos, con objeto de poder ser adaptados a la forma de la función a generar. Esto equivale a muestrear esta función de frecuencia variable según su espectro instan-



táneo. En la figura 2, se ha ilustrado a título de ejemplo una curva de pendientes muy diferentes en las zonas ab, bc, cd, de, ef, y mas allá de f. Para tal curva, se puede prever, por ejemplo, la generación de una densidad de:

5	2	segmentos de recta por centímetro entre a y b,
	5	- - - - - b y c,
	10	- - - - - c y d,
	5	- - - - - d y e,
10	2	- - - - - e y f, y
	1	- - - - - más allá de f,

es decir, una densidad proporcional a la inversa del valor absoluto de la pendiente.

Sería posible, si se mostrara necesario, efectuar la generación de la función en 256 puntos en lugar de 128 por "splittage" de las células R en dos mitades.

Esta solución permitiría obtener en ciertos casos una precisión suficiente con una interpolación en forma de "peldaños de escaleras" (interpolador de orden 0) mas fácil de realizar que la interpolación lineal (interpolador de orden 1).

6.- ANALISIS ARMONICO DE UNA FUNCION CONOCIDA POR SU REPRESENTACION FISICA.

(transformación de Fourier).

La función a analizar es generada por el generador de funciones y es ciclada a la frecuencia F_0 . Si la salida analógica (mencionada y no ilustrada) es filtrada en un filtro que no deja pasar más que esta frecuencia F_0 , su amplitud representará la amplitud de



la componente fundamental.

Si esta misma función es ciclada luego a la frecuencia $F_0/2$ y enviada al mismo filtro sintonizado a F_0 , se tendrá en la salida el armónico 2. Si la función
5 es ciclada a la frecuencia F_0/n y si la salida es filtrada en el mismo filtro, se tendrá la amplitud correspondiente al armónico n .

El dispositivo de filtración utilizado debe ser muy selectivo; es, por ejemplo, del tipo por de-
10 tección pseudósincroma.

Importa señalar que si la función es par (o si es impar), la operación que acaba de ser descrita da su descomposición en serie de Fourier (que puede ser considerada como la transformada de Fourier de la función
15 definida en un ámbito limitado).

Si la función es cualquiera, se puede obtener todavía su descomposición en serie de Fourier por dos operaciones sucesivas que recaen, una, sobre $1/2[f(t) + F(-t)]$, y la otra sobre $1/2[f(t) - f(-t)]$, siendo estas
20 dos nuevas funciones una par y la otra impar.

La salida de este analizador armónico puede ser hecha automática por impresión, en una impresora, del rango de cada armónico y de su valor.

7.- MEMORIA ANALOGICO-NUMERICA PARA EL
25 ALMACENAJE Y LA RESTITUCION DE UN FENOMENO FISICO REPRESENTADO POR UNA TENSION QUE VARIA EN FUNCION DEL TIEMPO (O DE CUALQUIER OTRO PARAMETRO).

30 Esta función de memoria puede ser realizada



sin dificultad para cualquier fenómeno de duración igual o superior a un milisegundo.

5 La señal analógica es inyectada en uno de los convertidores (Cb, por ejemplo, no siendo utilizado el otro en este momento) que realiza el muestreo y la codificación. La frecuencia de muestreo se regula de manera que se repartan las 128 muestras en la duración útil de la señal. Cada muestra es enviada, después de la codificación, a la célula R cuyo índice corresponde a su rango temporal. Una vez almacenadas las 128 muestras, el aparato funciona como generador de función.

10 El aparato se comporta, pues, como memoria analógica.

15 Este es el modo de funcionamiento que parece más interesante, pero, naturalmente, podría funcionar como memoria análogo-numérica o como memoria numérico-analógica, o incluso como memoria numérica-numérica.

20 Como consecuencia de esto, cualquiera que sea el modo de realización adoptado, se establece siempre un analizador, en particular de fenómenos estocásticos, especialmente un calculador de las funciones de correlación, cuyo funcionamiento resalta suficientemente de lo que precede para que sea inútil insistir a este respecto y que representa, con relación a los analizadores o correlacionadores de las funciones de correlación de la clase en cuestión, ya existentes, numerosas ventajas, especialmente las siguientes.

25 En primer lugar, efectúa los cálculos con una precisión muy buena (del orden de 1% o incluso mejor).



Es de un funcionamiento seguro y de una utilización sencilla, sin reglaje fastidioso.

5 Aunque las operaciones de multiplicación y de integración sean hechas por vía numérica, las señales de entrada son analógicas, lo que permite realizar simplemente las operaciones de filtración previa, casi siempre necesarias.

Funciona en tiempo real, lo que permite evitar una memoria-tampón de gran capacidad en la entrada.

10 Proporciona, en una sola medición que recae sobre una sola duración T de muestra, un número N de puntos de la función de correlación que permite obtener una definición suficiente.

15 Aunque el número N sea normalmente de 128 en el modo de realización descrito, se puede duplicar este número volviendo a empezar la operación después de haber añadido un retardo suplementario de $128 T_e$.

Presenta una gran fiabilidad, pudiendo ser realizado en circuitos integrados.

20 Finalmente, permite, a costa de un aumento mínimo de su complejidad y del precio de coste, constituir un analizador estadístico universal capaz de realizar otras operaciones distintas del cálculo de las funciones de correlación, especialmente las funciones señaladas
25 más arriba.

30 Como es evidente y como resulta ya además de lo que precede, el invento no se limita en absoluto a aquellos modos de aplicación, así como tampoco a aquellos modos de realización de sus diversas partes que han sido más especialmente considerados; abarca, por el con-



trario , todas sus variantes.

Esta solicitud que corresponde a la presentada en Francia, el día 28 de Octubre de 1965, bajo el nº 36.574, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

5

- N O T A -

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

10

1.- Un aparato analizador, especialmente calculador de funciones de correlación, caracterizado por el hecho de que comprende en combinación: dos convertidores-muestreadores del sistema analógico en sistema numérico con bandas de cuantificación en número reducido, cada uno con una entrada para una señal analógica a analizar y una salida que suministra en los instantes sucesivos de muestreo, la magnitud numérica cuantificada de esta señal, por lo menos una unidad de retardo para retardar una señal, especialmente después de su cuantificación en el convertidor-muestreador correspondiente, una primera unidad de memoria, denominada medición, con una pluralidad de células de memoria aptas, cada una, para almacenar una magnitud cuantificada particular, siendo apta esta primera unidad de memoria para ser conectada a la salida de uno de los convertidores-muestreadores, eventualmente por medio de una unidad de retardo, para recibir sus magnitudes cuantificadas de

15

20

25

30



muestreo sucesivo, eventualmente retardadas, especialmente en una célula de entrada, una memoria-tampón apta para almacenar una magnitud cuantificada particular, con una entrada apta para ser conectada a cada una de las células de dicha primera unidad de memoria y una salida, un registro apto para almacenar un valor cuantificado particular con una entrada conectada a la salida de dicha memoria-tampón y una salida conectable a cada una de las células, salvo dicha célula de entrada de dicha primera unidad de memoria, y a una salida de evacuación del valor, medios para conectar, por una parte, a dicha entrada de la memoria-tampón secuencialmente dichas células de memoria en un orden determinado a partir de dicha célula de entrada y, por otra parte, la salida de dicho registro secuencialmente a dichas células de memoria en el orden citado, a partir de la célula que sigue a dicha célula de entrada, estando sustituida por lo demás esta última célula en el ciclo por dicha salida de evacuación, una unidad de multiplicación apta para multiplicar una por otra dos magnitudes cuantificadas particulares con dos entradas conectadas, una, a la salida del segundo convertidor-muestreador, eventualmente por medio de una unidad de retardo y, la otra, a la salida de la memoria-tampón, una segunda unidad de memoria, denominada de integración, que incluye tantas células de memoria como la primera unidad de memoria, teniendo cada célula de dicha segunda unidad de memoria una capacidad de varios ordenes de magnitud superior a la de cada célula de la primera unidad de memoria, un circuito de adición y sustracción con dos entradas, una conectada a la salida de la unidad de multiplicación y la



otra conectable a cada una de las células de la segunda
unidad de memoria, y una salida , y medios para conectar,
en primer lugar, dicha segunda entrada y luego dicha se-
gunda salida del circuito de adición y sustracción, se-
cuencialmente a cada una de dichas células de la segunda
5 unidad de memoria.

2.- Aparato analizador, especialmente co-
rrelacionador, según la reivindicación 1, caracterizado
por el hecho de que su porción numérica funciona en forma
10 binaria.

3.- Aparato analizador, especialmente
correlacionador, según las reivindicaciones 1 ó 2, ca-
racterizado por el hecho de que la memoria-tampón y el
registro están constituidos por dos cascadas idénticas
15 de circuitos biestables.

4.- Aparato analizador, especialmente co-
rrelacionador, según las reivindicaciones 1, 2 ó 3, ca-
racterizado por el hecho de que las dos unidades de me-
memoria constituyen las dos partes, de importancia muy de-
20 sigual, de una única memoria, ventajosamente con película
magnética delgada.

5.- Aparato analizador, especialmente co-
rrelacionador, según las reivindicaciones 1, 2, 3 ó 4,
caracterizado por el hecho de que la unidad de multipli-
cación es del tipo de matriz con diodos, especialmente
25 con una matriz para los valores absolutos y una matriz
para los signos.

6.- Aparato analizador, especialmente co-
rrelacionador, según una cualquiera de las reivindicacio-
nes precedentes, caracterizado por el hecho de que la uni-
30 dad de multiplicación suministra el módulo del producto



en forma complementaria si el signo del producto es negativo y que el circuito de adición y sustracción realiza la operación de sustracción por adición del complemento.

5 7.- Aparato analizador, especialmente correlacionador, según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que comprende órganos de entrada y de salida accesorios, especialmente una salida análogica del contenido de las celulas de la segunda unidad de memoria.

10 8.- Aparato analizador, especialmente correlacionador, según la reivindicación 7, caracterizado por el hecho de que incluye una entrada numérica que permite introducir valores numéricos en memoria.

15 9.- Aparato analizador, especialmente correlacionador, según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que incluye medios para introducir un retardo incremental que es una fracción determinada del período del muestreo.

20 10.- Un aparato analizador.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en el dibujo que se acompaña y con los fines que se han especificado.



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

Madrid,

P. A.

23 JUL 1931
Albani de
F. A. de

fb.

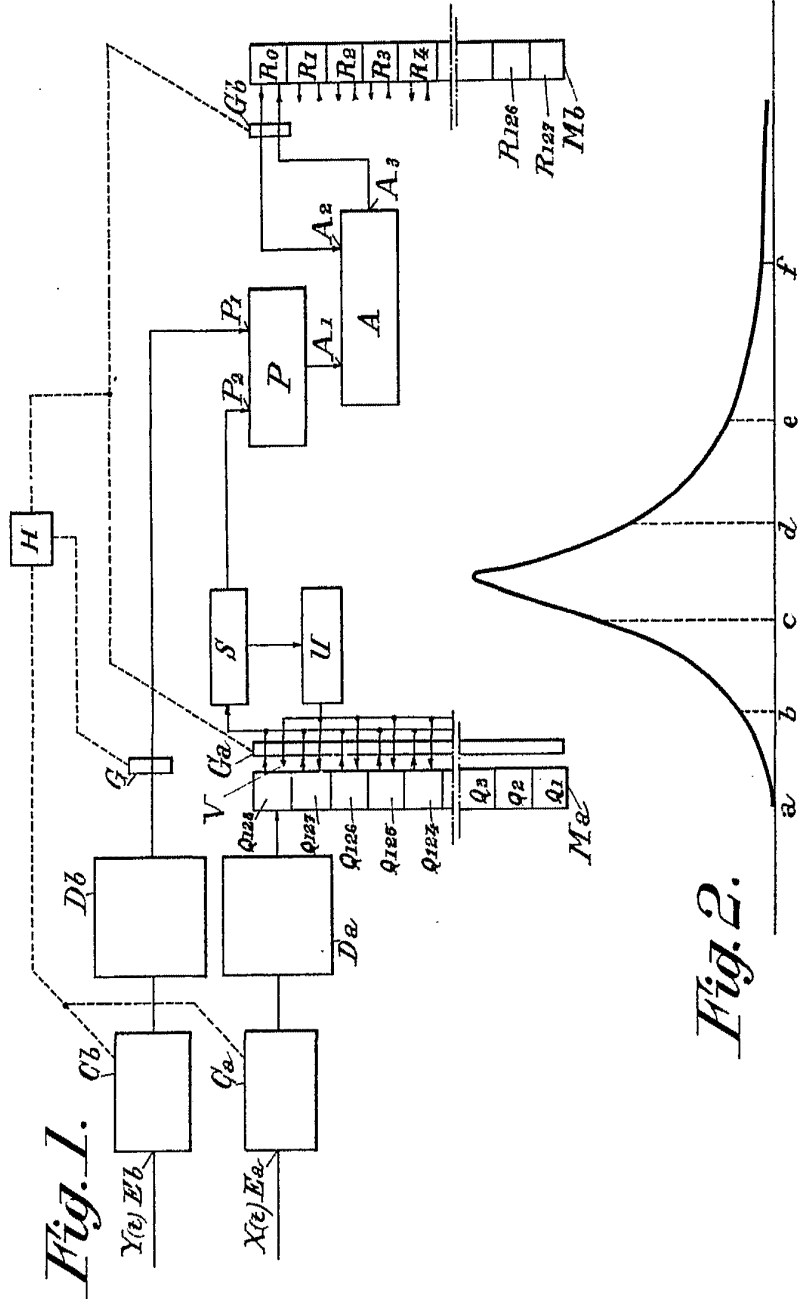
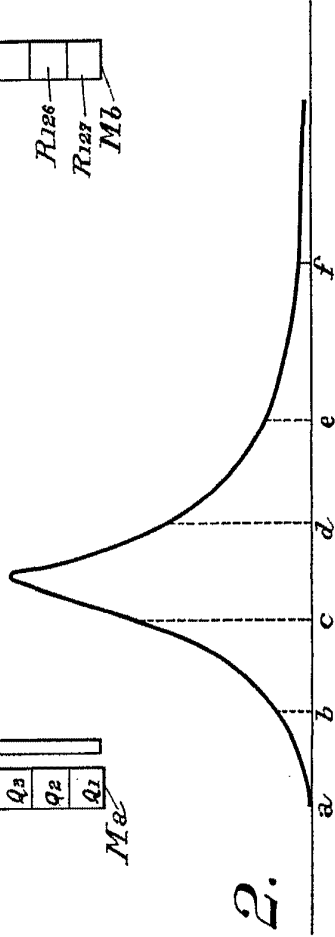


Fig. 2.



W. W. W.

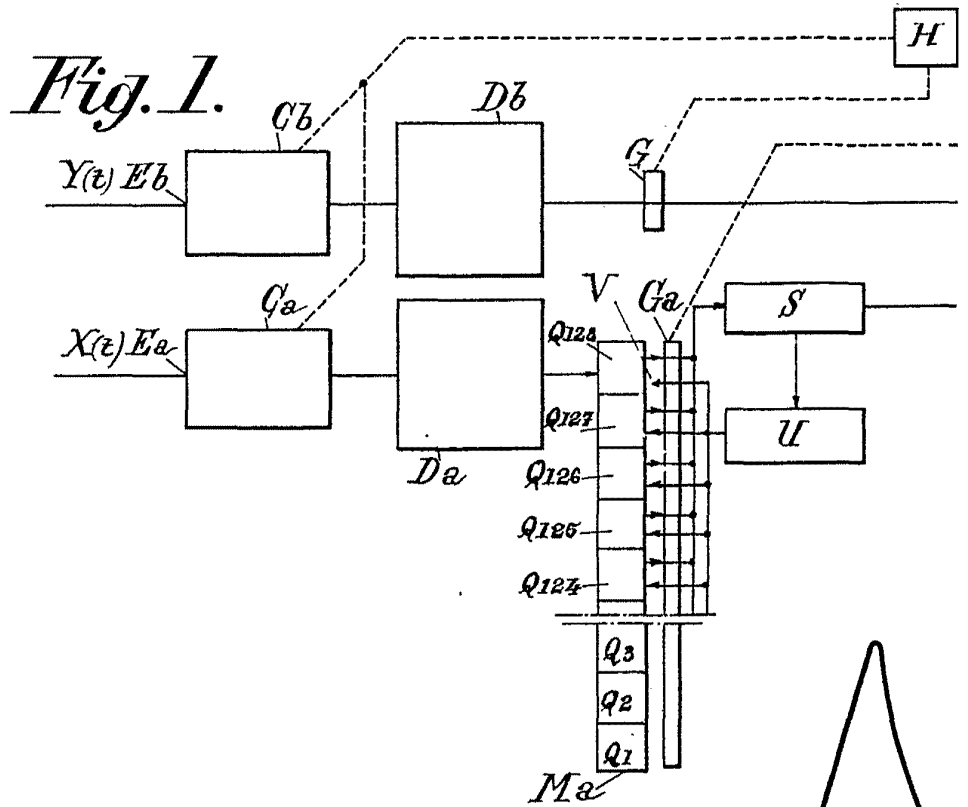
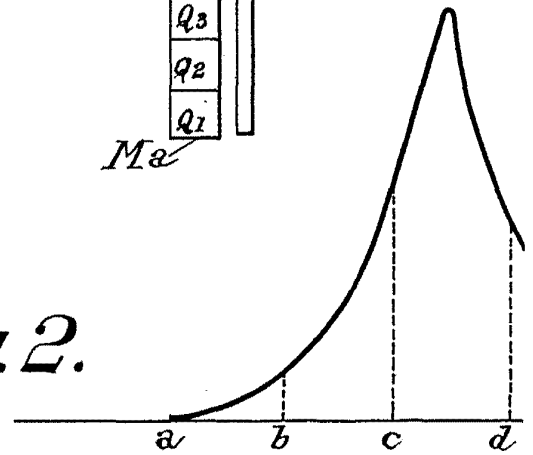
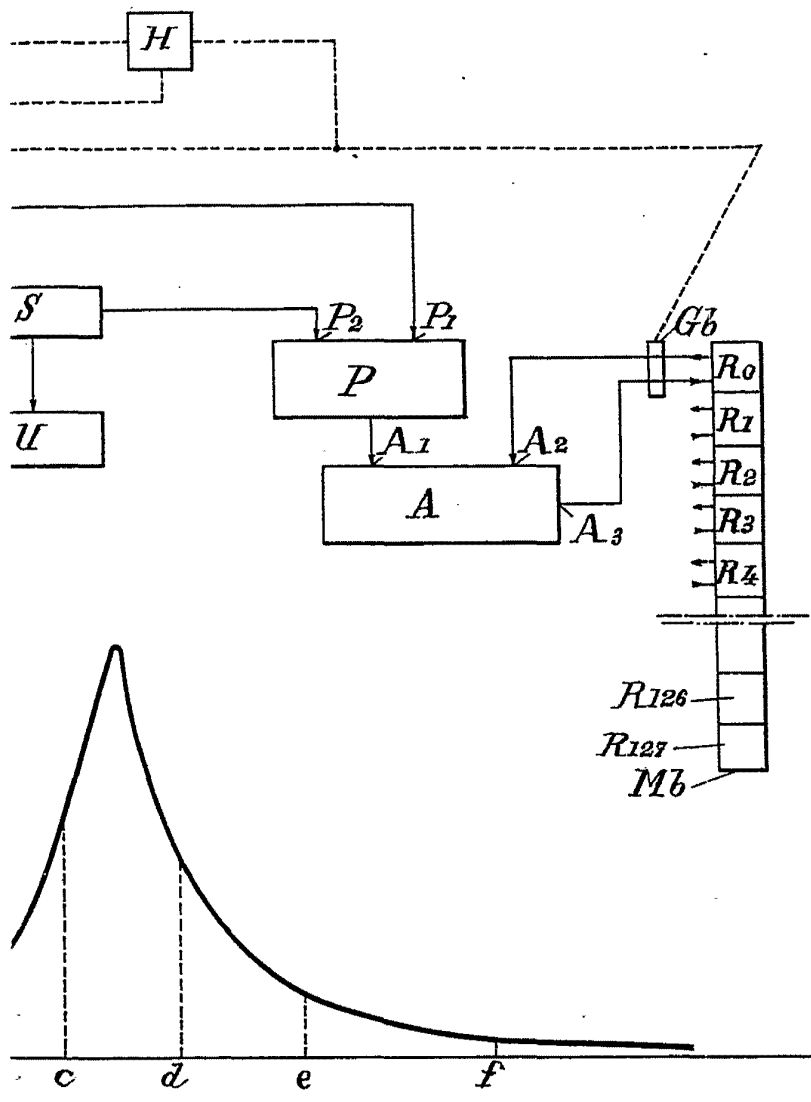


Fig. 2.





Arch