

Se aclara aquí que del sol solo llega emisión radial desde la corona. En su ambiente de gas ionizado (cargado) solo pueden propagarse ondas de radio de frecuencia mayor a una frecuencia mínima, llamada de "corte", dada por la densidad electrónica local. A mayor densidad electrónica (mayor profundidad) mayor será esta frecuencia de corte, quedando vedada la propagación de las ondas de menor frecuencia.

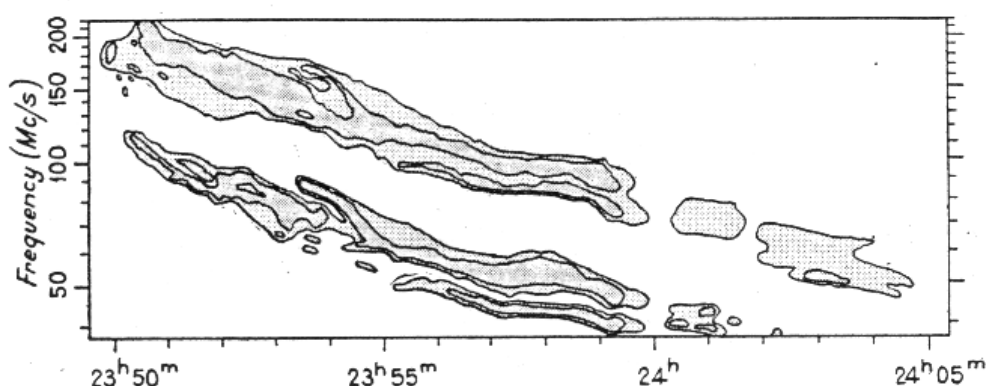


Fig. 3-26 Espectro dinámico de un estallido magnético solar (21 de Noviembre 1952). Los dos contornos representan densidades de flujo de aproximadamente 5 y $20 \cdot 10^5$ Janskys (Wild, Murray y Rowe, 1953)

Esto hace necesario el empleo de antenas de gran ancho de banda como las helicoidales y la rómbicas entre otras. Las rómbicas fueron muy usadas en estudios del sol, pero tienen la desventaja de ser muy voluminosas.

Además se emplea toda una batería de antenas con sus respectivos receptores a fin de abarcar todo el rango de frecuencias implicados en estos fenómenos.

AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO (LNA)

La etapa que sigue en nuestra consideración es el primer amplificador de la cadena. Es el más importante en lo que respecta al "ruido" y ahora veremos porqué.

Todos los amplificadores agregan algo de ruido propio a la señal que manejan, es decir, que a la salida del dispositivo

aparece la señal amplificada más una cantidad de ruido que no estaba a la entrada de la etapa.

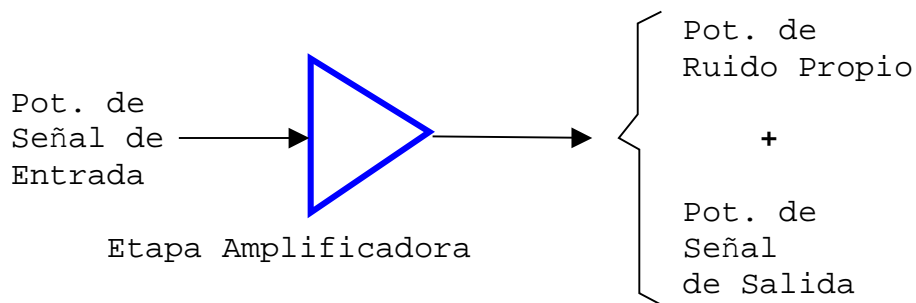


Fig. 3-27

Este ruido es una señal con una característica especial: Es aleatorio, es decir, imprevisible. Su "espectro" es plano, tiene componentes en todas las frecuencias. La "señal" que recibimos de los astros es una "portadora" también modulada con algo de ruido, significando esto que la intensidad de señal recibida de una radiofuente no es muy uniforme, sino que varía en un cierto porcentaje de su valor medio con el transcurso del tiempo. La naturaleza de su modulación, sin embargo, es parecida a la del ruido introducido por el amplificador, siendo muy difícil de separar.

La etapa que sigue en la cadena, también amplifica lo que viene de la primer etapa, o sea, señal de radiofuente más ruido de la primer etapa. Pero esta etapa también introduce su ruido propio.

Para tener una idea de números, de una etapa amplificadora típica sale una potencia de señal de 30 a 80 veces mayor que la que estaba en su entrada.

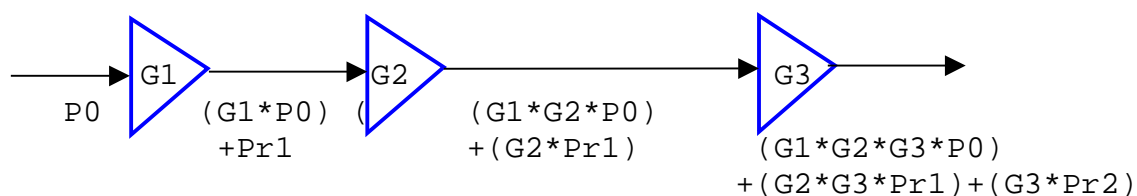


Fig. 3-28

En el gráfico, P_0 es la potencia de señal de interés a la entrada de la cadena de amplificadores. Las Pr son las potencias de ruido generado por cada etapa de amplificación. Se muestran las potencias existentes en la salida de cada etapa.

Al final de la cadena de N etapas, nos damos cuenta que el ruido del primer amplificador lo amplificaron N-1 etapas (todas menos la primera), al ruido de la segunda lo amplificaron N-2 etapas, y así sucesivamente, con lo que deducimos que el ruido más amplificado fué el de la primer etapa. El ruido de la segunda saldrá alrededor de 60 veces menos amplificado que el de la primera. Por ello la primer etapa debe ser lo menos "ruidosa" posible.

Esto hoy se consigue fácilmente con toda una suerte de dispositivos electrónicos, como Transistores Bipolares, Transistores de Efecto de Campo (JFET's), especialmente los de Arseniuro de Galio, transistores de alta movilidad electrónica (HEMT's), última moda en el tema. Cada día sale al mercado un nuevo dispositivo, con mejor performance y más barato. Desgraciadamente no son moneda corriente en nuestro país y para conseguirlos se deber tener un contacto adecuado en donde son comercializados más comúnmente.

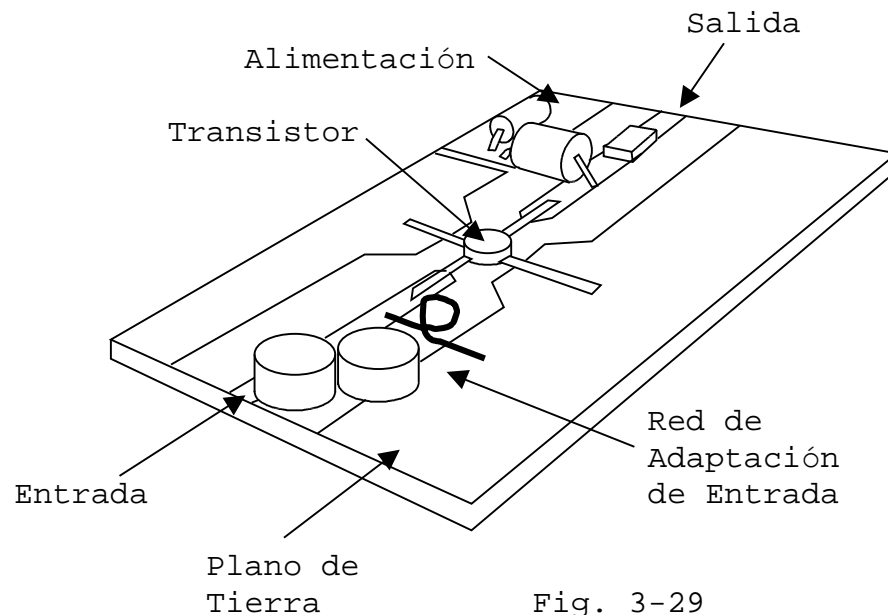
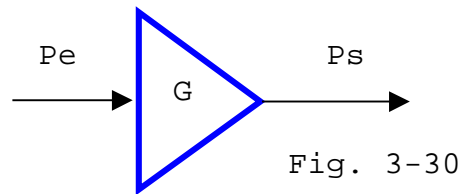


Fig. 3-29

El dibujo muestra la plaqueta de un amplificador a GaAsFET, como se denomina al FET de Arseniuro de Galio, montada en una plaqueta de epoxi con fibra de vidrio doble faz usando la técnica de micro strip line, sobre la que existe buena literatura.

No es la intención de este apunte la de dar fórmulas, pero algunas son de riguroso empleo, y por ello se dirá que en el medio electrónico la amplificación se suele manifestar en

decibeles (dB). Esta es una unidad relativa, es decir ue depende de las relaciones entre potencias. Veremos un ejemplo:



En un amplificador de ganancia G entra una potencia de señal P_e . Esta señal se amplifica y sale con una potencia P_s de tal modo que

$$P_s = G * P_e$$

La ganancia G es adimensional (no tiene unidad) y solo representa las "veces" que se multiplica la señal de entrada, a la salida.

Para traducir la amplificación de "veces" a decibeles se calcula:

$$G \text{ (dB)} = 10 * \log (G \text{ veces})$$

Así, como dijimos antes, una amplificación de 60 veces será:

$$G(\text{dB}) = 10 * \log (60)$$

$$G(\text{dB}) = 10 * 1.78$$

$$G(\text{dB}) = 17.8 \text{ dB}$$

La operación inversa se debe realizar para traducir al revés.

$$G(\text{veces}) = 10^{(17.8 / 10)}$$

$G(\text{veces}) = 10^{1.78}$ y con la calculadora científica se obtiene:

$$G \text{ (veces)} = 60.2 \text{ redondeando } \rightarrow 60 \text{ veces.}$$

Además de los dispositivos "discretos" (transistores) que se señalaron antes, existen en el mercado algunos Circuitos Integrados que hacen de amplificadores ahorrando mucho trabajo

de diseño en lo que respecta a su adecuada "polarización". La polarización de estos transistores consiste en la determinación de los valores de los elementos que se conectan a ellos a fin de que puedan funcionar correctamente. Los GaAsFET's son especialmente propensos a entrar en oscilación si no se realiza un trabajo práctico adecuado. Es muy recomendable tener algún instrumento a mano, como puede ser un Generador de Ruido Blanco y un Analizador de Espectros, Voltímetro Electrónico, un Frecuencímetro adecuado y un buen Osciloscopio.

La ventaja de los circuitos integrados es que se arman así como vienen, sin demasiadas consideraciones a tener en cuenta, pues ya son compensados internamente para responder a variantes externas, pero no suelen ser adecuados para la primer etapa pues son algo ruidosos. Sin embargo no se los debe perder de vista en el diseño de etapas subsiguientes.

Para evitar indeseables entradas (bleeding en inglés) desde canales adyacentes, como TV o radioaficionados, se suele filtrar la entrada con un circuito resonante de limitado ancho de banda. Generalmente usando una línea resonante a modo de cavidad. Con esto se consiguen dos cosas importantes:

Una es, como se dijo, evitar la entrada de canales adyacentes que darían ascensos en la señal que no corresponden con radiofuentes espaciales. El fenómeno que ocasiona este defecto son los llamados productos de intermodulación.

Otra es que una señal fuerte dentro de la banda recibida por el transistor de las primeras etapas puede causar su saturación, con lo cual se produce lo que se suele llamar des-sensibilización del transistor. Esto produce una caída incorrecta de la señal deseada dando lugar a registros arruinados por interferencias.

Por eso es muy necesario buscar una banda de frecuencias lo más limpia posible, aunque hoy eso sea una utopía debido a la alta rentabilidad del espectro para usos comerciales.

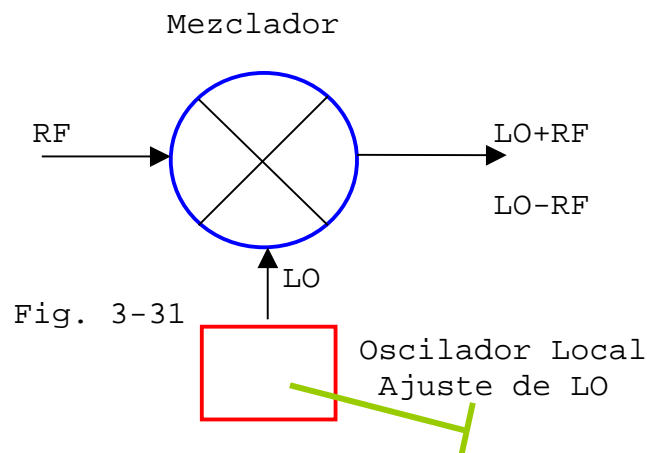
En equipos profesionales, se usa bajar el ruido propio aún más enfriando a temperaturas del orden de unas pocas decenas de grados Kelvin, las primeras etapas amplificadoras. Operando a 10 grados Kelvin se incrementa algo más la sensibilidad del instrumento pero este sistema está muy fuera del alcance del aficionado.

OSCILADOR LOCAL Y MEZCLADOR

En nuestro receptor casero de FM seleccionamos la emisora que deseamos escuchar, de entre otras, con un simple rotar de una perilla. Que es lo que estamos haciendo al rotar la perilla?

La perilla controla la frecuencia de oscilación de un dispositivo llamado Oscilador Local (LO, por Local Oscillator) localizado dentro del radio receptor. La frecuencia de salida de este oscilador se introduce, junto con la frecuencia de la onda de la emisora (RF), que para las broadcastings en FM van desde 88 a 108 MHz, en otro dispositivo llamado Mezclador.

En este dispositivo las dos ondas entrantes se multiplican entre sí. De este proceso de multiplicación se generan nuevas frecuencias que no estaban originalmente. Estas nuevas frecuencias son varias (el proceso se puede demostrar matemáticamente), pero las más importantes son las frecuencias **suma** y **diferencia**.



Es decir, que del mezclador salen las siguientes frecuencias

frecuencia suma $\rightarrow LO+RF$ y frecuencia diferencia $\rightarrow LO-RF$

En algunos casos, también sale algo de la RF y LO entrantes. La elección del tipo de mezclador a usar determina cuales frecuencias serán desechadas en la salida.

A la salida del mezclador se rechazan por medio de un filtro todas las frecuencias, salvo la diferencia $LO-RF$. A esta frecuencia se la llama Frecuencia Intermedia (FI). En un receptor de FM comercial, las frecuencias de RF van desde 88 a

108 MHz. La FI se elige en 10.7 MH. Por lo que el Oscilador Local deberá tener un rango desde 98.7 a 118.7 MHz.

Toda la cadena amplificadora que sigue al Mezclador se llama cadena de FI, y tiene sintonía fija. En las radios AM la FI es de 455 KHz, y en los receptores de televisión es 45 MHz.

Los receptores que se basan en este sistema de Oscilador y Mezclador se llaman Heterodinos, y son lo más populares por lejos, en todo lo que se refiere a recepción comercial de radio y televisión. El conjunto Oscilador-Mezclador se llama etapa Conversora (de frecuencia).

Las ventajas del uso de este sistema radican en que:
El receptor es fácilmente sintonizable.
Prácticamente toda la amplificación se hace a sintonía fija en las etapas de FI.

En radioastronomía también se usa la conversión de frecuencia. A veces se hacen necesarias varias conversiones de frecuencia para lograr objetivos especiales.

Existen en el mercado abundantes circuitos integrados monolíticos (de una sola pieza) que son llamados mezcladores balanceados y doble balanceados (DBM). Son los de uso más conveniente en RA. El oscilador puede ser del tipo a cristal (frecuencia fija), con multiplicador de frecuencia para alcanzar el valor deseado de la misma. Esto fija desde el inicio la frecuencia de trabajo del aparato, y, si llegara a existir una interferencia en la zona, no hay más remedio que cambiar el cristal y toda la sintonización de bobinas, etc.

Es más conveniente el uso de un oscilador sintonizable. Un recurso hoy muy usado se basa en el empleo de varicaps para obtener la sintonía del Oscilador Local.

Un varicap es en realidad un diodo polarizado en inversa. La tensión aplicada sobre él origina una capacidad que se puede variar a gusto modulando dicha tensión. Si este varicap se coloca como parte de un circuito resonante a bobina-capacitor, se podrá variar la frecuencia de resonancia a voluntad constituyendo de este modo un Oscilador Controlado por Tensión (VCO en inglés).

Este arreglo es mucho más conveniente aunque más inestable que el de cristal.

La conveniencia se extiende hasta el extremo de que se puede convertir el radiotelescopio en un analizador espectral, modulando la tensión de sintonía, por ejemplo, con una tensión en forma de "diente de sierra". Eso está realizado en el instrumento de la Asociación siendo una poderosa herramienta para eludir interferencia indeseable. Se explora el espectro en la zona en que las primeras etapas amplificadoras están sintonizadas. Se busca la zona más "limpia" y se pasa a sintonía fija.

Existen dispositivos osciladores que usan cristal pero a su vez son sintonizables. La sintonía no es continua, sino a saltos. Los factores de diseño determinan la magnitud de los saltos de frecuencia y la cantidad de saltos en todo el rango espectral sintonizable. La frecuencia de un VCO es monitoreada (lazo de realimentación) contra un múltiplo seleccionable de la frecuencia del cristal, corrigiéndose automáticamente. Esto dispositivos llevan el nombre de Sintetizadores de Frecuencia. La frecuencia obtenida de este tipo de dispositivo es mucho más estable que en el caso de los osciladores a varicap sin lazo de realimentación. Los sintonizadores de TV comerciales fabricados en la actualidad son de este tipo, y la tendencia es al uso generalizado de ellos en todos los equipos de RF.

El empleo de un sintonizador comercial de TV en un radiotelescopio de aficionado representa un ahorro de trabajo considerable. Hoy existen sintonizadores de todas las bandas y son económicas secciones de nuestro radiotelescopio listas para su uso y, por sobre todo, a varicap.

En general, la salida de estos sintonizadores está fijada en 45 o 70 MHz.

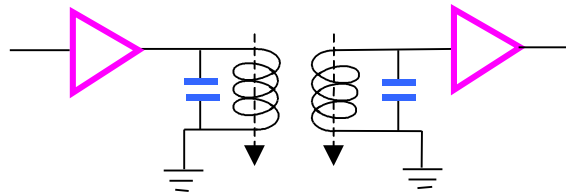
Es decir que la frecuencia de trabajo de las etapas subsiguientes, de Frecuencia Intermedia (FI) será esa. El ancho de banda máximo manejado por estos dispositivos es de 6 MHz. Si se deseara tener un mayor ancho de banda (lo que aumenta la sensibilidad del Rtelescopio) no habría más remedio que recurrir al diseño particular. En la práctica, los canales comerciales, telefonía celular, etcétera no han dejado muchos lugares libres, así que la decisión está dada de entrada. Solamente en lugares aislados del ruido producido por el hombre se pueden usar grandes anchos de banda.

ETAPAS DE FRECUENCIA INTERMEDIA

Esta parte del radiotelescopio es donde la señal recibe el más fuerte empujón de amplificación. Se le suele llamar la "tira" de amplificadores de FI. En general, son etapas doble sintonizadas a bobina-capacitor, típicas de las existentes en los equipos comerciales de receptores de TV. Se pueden realizar con toda una gama de dispositivos como transistores bipolares, FET's, integrados, etc.

Lo más difícil aquí es hacer las bobinas y medir las etapas, pues hay que contar con algún instrumental.

Fig. 3-32 La doble sintonía se realiza entre las etapas. El doble circuito "tanque" (bobina-capacitor) crea una banda de paso cuyo ancho y frecuencia es ajustable.



Es común que la salida, que es la señal ya amplificada se realimente en la entrada. Cuando esto sucede, la etapa oscila. Si el problema se hace demasiado rebelde, no habrá más recurso que hacer una segunda conversión, que desvíe la energía hacia otras frecuencias.

En general la impedancia que se maneja en todas las etapas es de 50 Ohm, que es un valor standard.

DETECTOR

Esta etapa no difiere mayormente de la de una radio AM normal. El trabajo lo realiza un diodo de baja tensión de barrera, es decir, de Germanio, al que es conveniente mantener a una temperatura constante, pues es causa de corrimientos a largo plazo. Se hace trabajar el diodo en una región que se da en llamar "zona cuadrática".

La respuesta de un detector a diodo no es lineal ni mucho menos. El fin del detector es rectificar la señal alterna que

viene de etapas anteriores a fin de adecuarla para su medición.

La alinealidad de la respuesta del diodo es aprovechada para convertir el valor de la tensión de señal que ingresa a él en otra que es proporcional a su cuadrado.

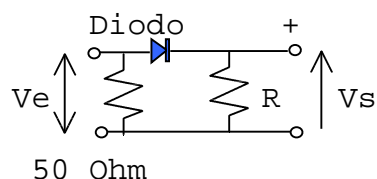
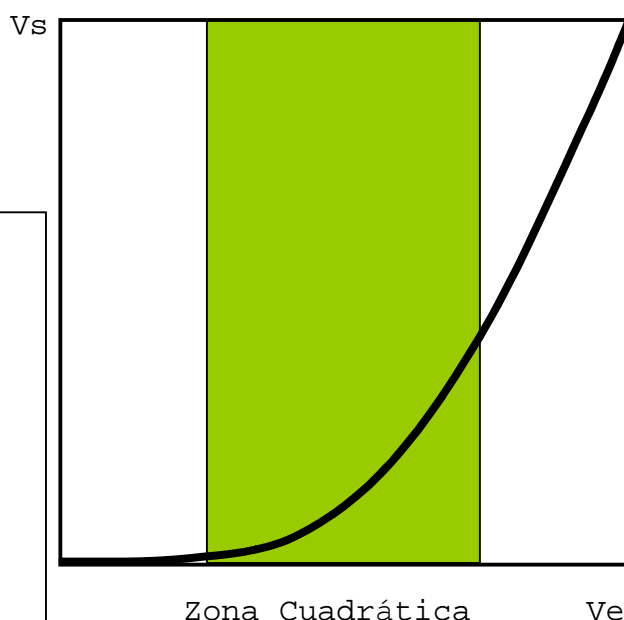


Fig. 3-33 La curva representa los valores de la tensión continua de salida (V_s) en función de la tensión alterna de entrada (V_e). La función matemática es una especie de exponencial, pero posee una zona aproximadamente cuadrática, donde es

$$V_s = K * V_e^2$$



La potencia de señal que entra al detector se puede calcular como

$$P_e = \frac{V_e^2}{50\ \Omega}$$

Pero la tensión de salida (V_s) del detector será proporcional, no a la tensión de entrada (V_e), sino a la potencia de entrada (P_e).

Esto es muy importante pues como resultado tendremos un radiotelescopio que nos indica directamente que potencia nos llega de cada radiofuente estudiada.

En la salida de la etapa detectora hay un pequeño capacitor para filtrar la envolvente de las ondas provenientes de las etapas de FI.

PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL AMPLIFICADORES DE CONTÍNUA

Como en radioastronomía necesitamos saber el valor de la potencia total llegada desde un astro, debemos amplificar adecuadamente el valor de la tensión continua (de una sola polaridad) que viene desde el detector.

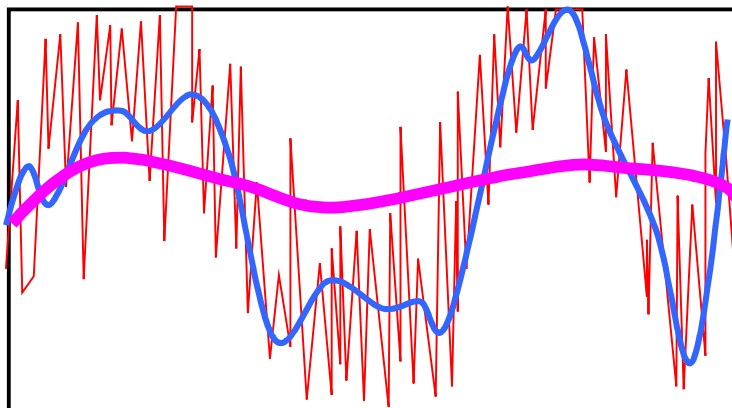
Nos interesa conocer el valor total promedio que posee la señal que llega de los astros. En este punto, el tratamiento de la señal difiere del que se realiza en los receptores de radio comerciales, los que nos permiten extraer la información que está superpuesta a la onda de radio que se usó como vehículo para transmitirla. El método usado para insertar la información en la onda de radio que proviene de una emisora comercial consiste en la modulación de esa onda, que se llama portadora. En estos receptores, el valor de la portadora en sí se descarta.

Nuestro radiotelescopio es, en realidad, un radiómetro (o fotómetro) pues mide la cantidad de energía (descartando la modulación) que llega de las radiofuentes celestes.

Se dijo antes que la portadora viene algo modulada ya desde la radiofuente (por ejemplo en el caso de los pulsars o la emisión solar). No es así en caso de otras radiofuentes mucho más comunes como radiogalaxias o fuentes quiescentes. Además el ruido propio de las etapas receptoras, especialmente de la primera, se suma con su modulación. También todo lo terrestre e indeseable captado por los lóbulos laterales de la antena contribuyen con su ruido. El resultado es que se tendrá una tensión continua de cierto valor promedio con alterna (modulación) superpuesta. Esta modulación tendrá componentes de variación rápida y lenta.

Fig. 3-34 Tres diferentes tiempos de integración de un mismo registro. codificado por colores.

Corto
Mediano
Largo



Si nuestra antena está quieta, las radiofuentes pasarán por delante de ella según la rotación terrestre. Y con el ancho de haz del orden de los grados, una radiofuente que entra y sale del haz producirá una variación lenta en la tensión de salida del radiotelescopio. Por ello, a toda variación rápida la supondremos de origen extraño a nuestro interés y la filtraremos, dejando solamente las componentes lentas. Este proceso se llama integración y es fundamental en la determinación de la sensibilidad de nuestro instrumento. La integración, entonces, se debe adecuar al tiempo que tardan las radiofuentes en pasar por el haz de la antena. Una antena de haz muy agudo no permitirá tiempos de integración elevados so pena de borrar la información útil.

Una antena que se mueve ex-profeso, como la de la Asociación, se ve forzada a usar cortas constantes de integración, del orden de los 0.2 segundos como máximo, a fin de no perder detalles de las fuentes.

Como se dijo antes, la señal de salida viene compuesta por:

Señal terrestre.

Ruido de amplificadores.

Señal celeste de nuestra radiofuente.

La señal terrestre, más la del ruido propio de amplificadores es más o menos constante en el tiempo, de manera que se dispone de un potenciómetro para correr el nivel de salida hasta hacer cero la indicación del medidor. Al iniciar el paso una radiofuente frente a la antena, el nivel se irá elevando y más luego, bajando al salir del haz, hasta cero nuevamente, de manera que lo que se ve y amplifica es solo la radiofuente.

Esto se realiza con el control de nivel.

En 600 MHz, el Sol es una fuerte radiofuente. Si el equipo está ajustado a una fuerte amplificación, se producirá saturación de señal de salida y como resultado, el indicador se irá a fondo de escala, perdiéndose la posibilidad de ver algún detalle.

Si en cambio, se está amplificando poco, el Sol aparecerá sin saturar, pero las otras radiofuentes más débiles, como la galaxia apenas levantará el registro. Esto hace necesaria la existencia de este control de amplificación. Si se estudia el Sol, se seteará para un pequeño valor. Si en cambio, se estudian radiofuentes débiles, se aumentará su valor.

SENSIBILIDAD

La sensibilidad de un radiotelescopio está definida por la radiofuente más débil que puede distinguir del ruido de fondo.

Esta característica se conocerá cuando se sepa cual es la variación máxima de la señal de salida sin una motivación a la entrada, es decir, sin que por el haz de la antena pase una radiofuente. Esta variación máxima será inherente a "imperfecciones" del radiotelescopio. Aún suponiendo que las fluctuaciones en la salida debidas a variaciones de la ganancia del receptor se consigan anular (Dicke), quedarán derivas residuales debidas a la propia naturaleza aleatoria de la señal de ruido.

Se ve enseguida que el uso de constantes de tiempo de integración elevadas suavizan la señal, haciendo que la amplitud de las variaciones producidas por ruido propio sean menores, y viceversa, a ctes. de tiempo más cortas corresponden fluctuaciones de señal de salida más bruscas e intensas. De esto resulta que el uso de ctes. de tiempo elevadas dejarán ver más fácilmente las variaciones reales producidas por una verdadera radiofuente. Esto es equivalente a decir que el instrumento tendrá mayor sensibilidad.

Existe entonces una fórmula deducida por el mismo Dicke que da el límite teórico máximo de sensibilidad alcanzable por un radiotelescopio. Este es un valor teórico al que se debe tender una vez eliminadas todas las causas técnicas de error.

$$S(\text{watt}) = \frac{P_{\text{sis}}(\text{watt})}{\sqrt{B(\text{Hz}) * \tau(\text{seg})}}$$

donde $P_{\text{sis}}(\text{watt})$: Potencia total de ruido del sistema.

$B(\text{Hz})$: Ancho de banda de la etapa de FI (pre-detector).

$\tau(\text{seg})$: Constante de Integración en segundos.

La potencia P_{sis} se calcula sumando la potencia de ruido equivalente de los amplificadores, más la correspondiente a la temperatura de antena sin radiofuente.

El ancho de banda [B(Hz)] se refiere a la existente en las etapas de FI pre-detector que generalmente son las que más limitan a la banda útil. Se mide en ciclos por segundo o Hertz.

La constante de tiempo τ (seg) viene dada por las características del circuito, si está obtenida por hard, o a la fijada por el software que procesa los datos posteriormente.

Por ejemplo, para el receptor de la Asociación, el ancho de banda B pre-detector es de 100 kHz y la cte de tiempo de 0.2 segundos. De esto resulta que la mínima señal discernible del ruido de fondo es

$$\frac{1}{\sqrt{100000 * 0.2}} = 0.007 \text{ del total de señal}$$

lo que significa que la mínima señal detectable con seguridad es = 0.7 % del total de señal medido. Si la señal total a la salida del radiotelescopio es de 6V (sin radiofuente apuntada) la mínima radiofuente detectable deberá ser capaz de levantar la señal de 6V en

$$S (V) = 0.007 * 6V = 0.042 V = 42 \text{ mV (miliVolt)}$$

Esto permite saber en forma práctica hasta donde llega un radiotelescopio a separar confiablemente del ruido de fondo una señal verdadera de una radiofuente.

En la Asociación se obtienen imágenes del cielo en radio. Una por día, con las características enunciadas. La sensibilidad de cada imagen es pobre, pero se mejora notablemente por medio de la superposición de imágenes, hecho que lleva a promediar los valores de la potencia recibida de cada punto del cielo alcanzable. Con esto se consigue hacer que el ruido de fondo, no repetible, aleatorio, se vaya anulando con cada imagen que se agrega, pero la señal dada por las radiofuentes reales siempre está y nunca se anula, poniéndose cada vez más de manifiesto con cada agregado de otra imagen. Esto es exactamente equivalente a aumentar el tiempo de integración, por cada imagen agregada en otros 0.2 segundos, por ejemplo, 8

imágenes superpuestas dan $8 * 0.2 = 1.6$ segundos de integración.

Hasta el momento presente se han podido reunir en una sola, 84 imágenes con una considerable mejora en la relación señal ruido. Por el cálculo de arriba se deduce que se ha obtenido un tiempo de integración de 24 segundos, que es parecido al obtenido por otros aficionados por el método de antena estacionaria (drift scan).

Es muy importante distinguir entre ruido aleatorio e interferencia. El ruido ocasiona que la señal, suba y baje, mientras que la interferencia solo hace subir la señal. Por ello, la interferencia no debe tener el mismo tratamiento que el ruido.

Existen interferencias sistemáticas de imposible eliminación por su característica similar a la de la señal verdadera, atribuible posiblemente a luces de gas de mercurio o canales de TV que se "filtran" en la banda del radiotelescopio.

El aumento del tiempo de integración no puede mejorar la nitidez de la imagen, siendo ésta independiente del mismo. Como se ha explicado antes, la resolución angular solo mejora con el aumento de las dimensiones de la antena. El aumento en poder separador aumenta en forma directamente proporcional con el tamaño, pero el costo con el cubo del mismo, lo que aclara el porqué de la escases de equipos grandes, especialmente en el ámbito de los aficionados.

