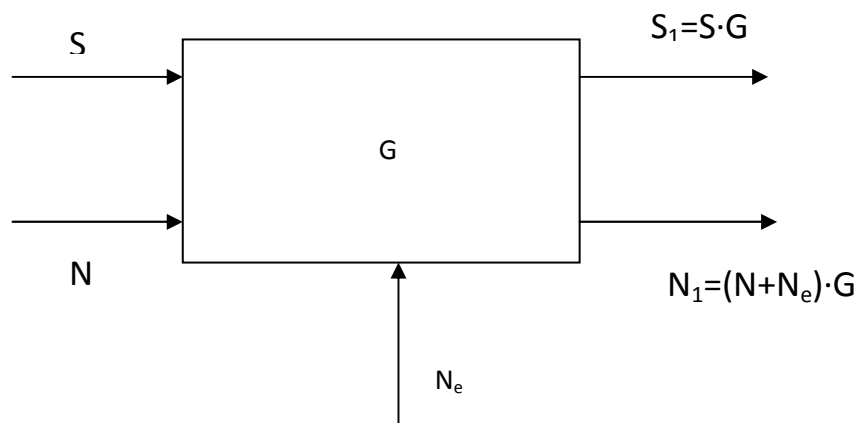


Todo circuito eléctrico o electrónico, posee un ruido inherente que se sumará a la señal de entrada de dicho circuito. Dicha señal de entrada está constituida por una parte que transporta la información y por otra parte que es el ruido que acompaña a esta información. El ruido inherente del circuito será sumado a la señal de entrada, de tal forma que a la salida obtendremos una nueva señal compuesta de la información, del ruido que acompaña a la información y del ruido propio del circuito. Si bien es cierto que en esta nueva señal de salida es imposible separar cada una de estas componentes, para el estudio que a continuación se propone se tratará cada componente de forma separada, agrupando por un lado lo que corresponde a la parte de la información S y agrupando por otro lado las componentes propias del ruido N .

En la siguiente figura se muestra la idea anteriormente comentada. S es la señal, N es el ruido que acompaña a esta señal, N_e es el ruido que introduce el circuito y G es la ganancia del circuito en veces, no dBs.



La relación señal-ruido a la entrada del sistema se puede escribir como

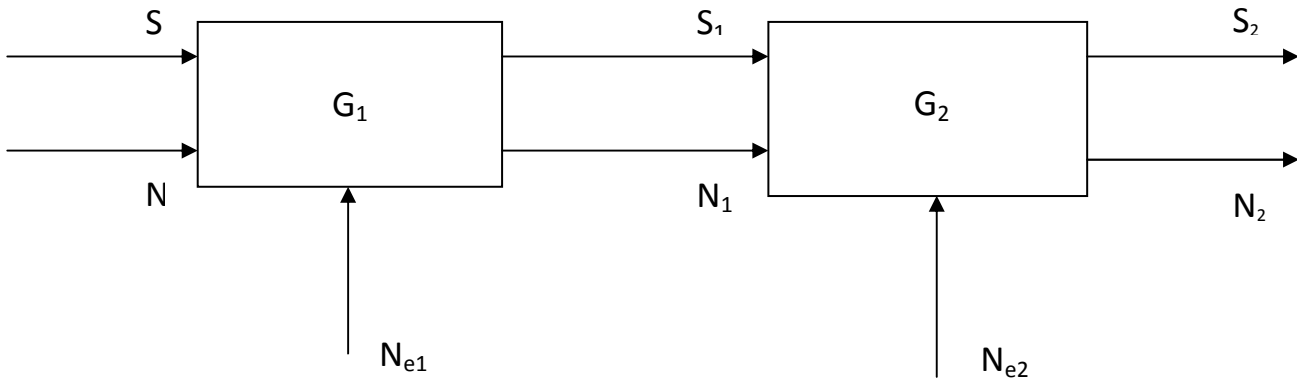
$$\frac{S}{N}$$

La relación señal-ruido a la salida del sistema se puede escribir como

$$\frac{S_1}{G_1} = \frac{S \cdot G}{(N + N_e) \cdot G} = \frac{S}{N + N_e}$$

Tal como se puede observar, ambas expresiones son parecidas, salvo que a la salida aparece un término N_e que se suma al ruido de entrada. Este término hace que el denominador sea más grande y por tanto la relación señal-ruido a la salida es más pequeña que a la entrada.

A continuación se muestra el estudio de la relación S/N a su paso por dos circuitos. A partir del estudio de este modelo se podrán obtener algunas conclusiones relevantes.



Se tienen dos circuitos en cascada. El primer circuito tiene como entrada una determinada señal S y un determinado ruido N. Además el circuito posee un determinado valor N_{e1} de ruido inherente.

A la salida de este circuito aparece la señal S multiplicada por la ganancia G_1 del primer circuito, siendo el resultado una señal S_1 .

$$S_1 = S \cdot G_1; \quad \text{Ecuación 1}$$

Además de la señal de salida S_1 a la salida también se obtiene el ruido como la suma del ruido a la entrada N más el ruido intrínseco del circuito N_{e1} multiplicados por la ganancia del circuito.

$$N_1 = (N + N_{e1}) \cdot G_1; \quad \text{Ecuación 2}$$

Para el segundo circuito la señal de salida S_2 es igual a la señal de entrada S_1 multiplicada por la ganancia del segundo circuito G_2 . Usando la ecuación 1 se puede expresar S_2 en función de la señal de entrada S

$$S_2 = S_1 \cdot G_2;$$

$$S_2 = S \cdot G_1 \cdot G_2; \quad \text{Ecuación 3}$$

El ruido de salida del segundo circuito es el ruido de entrada al circuito N_1 más el ruido propio del circuito 2, N_{e2} , multiplicados por la ganancia del segundo circuito G_2 . A partir de la ecuación 2 se puede expresar el ruido de salida de este segundo circuito en función del ruido de entrada N al bloque

$$N_2 = N_1 \cdot G_2 + N_{e2} \cdot G_2;$$

$$N_2 = (N + N_{e1}) \cdot G_1 \cdot G_2 + N_{e2} \cdot G_2; \quad \text{Ecuación 4}$$

El siguiente paso es calcular la relación señal-ruido a la salida del segundo sistema en función de S y N a partir de las ecuaciones 3 y 4

$$\frac{S_2}{N_2} = \frac{S \cdot G_1 \cdot G_2}{(N + N_{e1}) \cdot G_1 \cdot G_2 + N_{e2} \cdot G_2};$$

Si sacamos factor común $G_1 \cdot G_2$ y simplificamos, la anterior expresión resulta

$$\frac{S_2}{N_2} = \frac{S}{N + N_{e1} + N_{e2}/G_1}; \quad \text{Ecuación 5}$$

Si extrapolamos este resultado para N circuitos la expresión resultante es

$$\frac{S_n}{N_n} = \frac{S}{N + N_{e1} + N_{e2}/G_1 + \dots + N_{en}/G_1 \cdot G_2 \dots G_{n-1}}; \quad \text{Ecuación 6}$$

A continuación se muestra una comparación entre la relación señal-ruido a la entrada del bloque de los dos circuitos S/N con la relación señal-ruido a la salida del bloque S_2/N_2 (ecuación 5), pudiéndose observar de una forma sencilla la degradación de la relación señal-ruido cuando atraviesa varias etapas.

$$\frac{S/N}{S_2/N_2} = \frac{\frac{S}{N}}{\frac{S}{N + N_{e1} + N_{e2}/G_1}};$$

Si extraemos S como factor común y reordenamos la expresión

$$\frac{S/N}{S_2/N_2} = \frac{N + N_{e1} + N_{e2}/G_1}{N} = 1 + \frac{N_{e1} + N_{e2}/G_1}{N} > 1; \quad \text{Ecuación 7}$$

Conclusiones:

- 1) La primera conclusión, es que cuando se ha sacado factor común y se ha simplificado posteriormente, se ha supuesto que todos los parámetros son diferente de cero, por lo tanto todos los parámetros existen y tienen su correspondiente valor distinto de cero.
- 2) De la ecuación 6 se puede concluir varias cosas. En el denominador aparece la suma de todos los ruidos presentes a lo largo de todas las circuiterías. Como se puede observar el ruido que mayor peso tiene corresponde a los términos N y N_{e1} , estando el resto de los términos de ruido divididos por las diferentes ganancias de cada uno de los circuitos. Por lo tanto el ruido que mayor peso tiene es el ruido exterior y el ruido inherente del primer sistema.

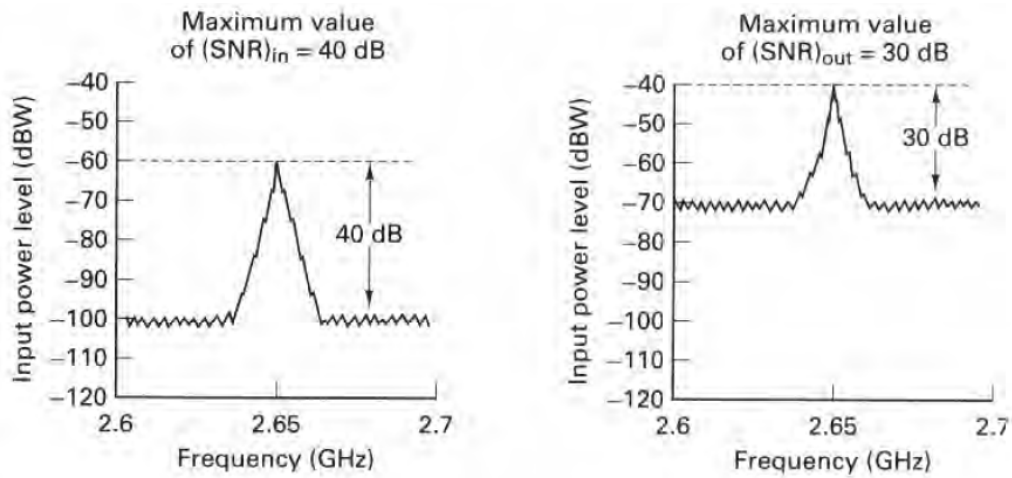
La ganancia más importante de todos los circuitos se corresponde con la ganancia del primer equipo, ya que este factor divide a todos los términos de ruido excepto a N y N_{e1} . Todos los términos están divididos por G_1 , por lo tanto cuanto mayor sea esta ganancia, menor será el peso que tiene el ruido del resto de los circuitos que van en cascada.

- 3) A partir de la ecuación 7 se puede concluir que si la relación $(S/N)/(S_2/N_2)$ es siempre mayor que 1 es porque S/N es siempre mayor que S_2/N_2 , con lo que el paso de una señal por diferentes sistemas o circuitos lo único que hace es degradar la relación S/N . La mejor relación S/N va a ser la que se tenga a la entrada del primer sistema, y el paso por el resto de circuiterías lo que va a hacer es degradar esta relación
- 4) En el caso de un sistema pasivo con atenuación en lugar de ganancia, su correspondiente ganancia G_n se corresponde con un número entre 0 y 1, por lo tanto en aquellos términos de ruido que aparece dividiendo, realmente lo que hará será multiplicar. El uso de atenuadores, incrementa notablemente el ruido ya que suma su ruido inherente multiplicado por el valor de atenuación, mientras que reduce los valores de señal y ruido que entran en el circuito.

En términos de audio, esto tiene algunas consideraciones importantes para mantener la relación S/N lo mejor posible.

- 1) Cuantos más equipos atraviese la señal, más se degradará la relación S/N , por lo tanto se debería usar los equipos imprescindibles para tener una relación S/N óptima.
- 2) El equipo más importante de toda la cadena es el primero. Su ganancia y factor de ruido son determinantes para la relación S/N final. El mejor de los equipos disponibles en cuanto a ganancia y ruido deberían estar situados al principio de la cadena.
- 3) La relación señal-ruido más importante es la que ataca al primer equipo, es recomendable que esta relación sea lo más alta posible antes de entrar en una cadena muy larga.
- 4) Es recomendable no abusar de los atenuadores, por ejemplo, saturando un previo para después atenuar su salida. Es mejor dejar la salida a cero y ajustar correctamente la ganancia. A la hora de mezclar, no se debe mezclar en los potenciómetros de ganancia de la mesa, se debería usar los faders que suelen estar electrónicamente ubicados en partes más alejadas de la entrada del canal (en la cascada estarían ubicados lejos de la circuitería de entrada, mientras que los potenciómetros de ganancia están ubicados en el primer circuito de la cadena).

Por último se muestra un dibujo del libro de Bernard Sklar “Comunicaciones digitales”. Una imagen se entiende mejor que mil formulas



En esta figura se muestra a la izquierda una señal a la entrada de un equipo modulada, y la misma señal a la salida del equipo a la derecha. En la parte de la izquierda se puede ver que la señal tiene un nivel de -60 dBW, y el ruido tiene un nivel de -100 dBW. En la derecha se ve que la señal a la salida de un circuito amplificador, con una ganancia de 20 dB, con lo que el nivel de señal sube hasta -40 dBW y el nivel de ruido debería subir hasta -80 dBW. Sin embargo se puede apreciar que realmente el ruido está a -70 dBW, los 10 dB extra que ha subido el ruido es debido al ruido inherente del circuito amplificador.

Mientras que en la parte de la izquierda la relación S/N es de $-60 \text{ dBW} - (-100 \text{ dBW}) = 40 \text{ dB}$. Para la parte de la derecha la relación S/N es de $-40 \text{ dBW} - (-70 \text{ dBW}) = 30 \text{ dB}$. Es decir aunque el circuito amplificador ha levantado la señal 20 dB, el ruido se ha levantado 30 dB, como consecuencia del ruido inherente del circuito amplificador. Es decir, el paso de la señal por un circuito eléctrico, degrada siempre su relación S/N.