

YO REPARO.com

TÉCNICAS DIGITALES

ING. ALBERTO PICERNO

Derechos de Autor

Esta publicación no puede ser reproducida, total ni parcialmente, ni registrada o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, u otro, sin autorización previa por escrito del titular de los derechos de autor.

Aviso de Responsabilidad

El autor y publicador de este libro han hecho el máximo esfuerzo posible para asegurar la certeza y precisión del material contenido en este texto. Sin embargo, la información contenida en este libro es vendida sin garantías, ni expresas ni tácitas. Ni el autor del libro, ni YoReparo.com, ni tampoco quienes distribuyen y venden el libro, se hacen responsables por cualquier daño causado sea directa o indirectamente por las instrucciones contenidas en este libro, o por el software y hardware descrito en este.

Aviso de utilización de marcas

En lugar de indicar cada aparición de un nombre de marca como tal, este libro utiliza los nombres sólo de manera editorial y en beneficio del propietario de la marca sin la intención de infracción de la marca.

Dedicatoria

A todos aquellos que toman nuestra profesión en serio y no sólo como un negocio que deja sólo ganancias económicas.

A lo que además buscan aprender con cada trabajo.

A los que no les interesa la receta de cocina, porque sólo sirven para reparar una sólo marca y modelo de TV y no pueden ser extrapoladas a otros.

A los que les interesa trabajar hoy y poder trabajar mañana con lo que aprenden hoy.

A los que consideran que las bases sólidas son un modo de ahorrar tiempo, porque no van a tener que repasar lo mismo cada vez que emprenden el estudio de una nueva especialidad.

A los que reconocen que no pueden comenzar a estudiar a los modernos TVs LCD, sin saber cómo se transmiten las señales digitales de un CI a otro.

A los que quieren cruzar del campo analógico al digital y no saben como comenzar a hacerlo.

En síntesis, a Ud. mí querido lector; porque reconocer que no se sabe algo es el primer paso que se puede dar para aprender, desde lo más simple hasta lo más complejo. A todos los lectores, gracias por leer este libro, escrito por un ex ingeniero analógico, que comprendió por fin que la electrónica es una sola y que la experiencia en el campo analógico, es tan valiosa en el campo digital como lo era en su propio campo.

Tabla de Contenidos

Prólogo del autor	4
1. Trasmisión analógica y digital	6
▶ La trasmisión analógica entre dos puntos de un circuito.....	7
▶ Los problemas de las trasmisiones analógicas	9
▶ Números decimales y binarios	10
▶ Trasmisión digital binaria.....	11
▶ La trasmisión digital entre dos puntos de un circuito	12
▶ Primer problema de la digitalización: el muestreo.....	13
▶ Segundo problema de la digitalización: la cuantificación.....	15
▶ Circuito simulado de un conversor analógico digital	16
▶ La necesidad de una señal de clock al transmitir datos.....	21
▶ Conclusiones	22
2. Compuertas lógicas	23
▶ Introducción	24
▶ Las compuertas lógicas.....	25
▶ Almacenamiento de información en una compuerta	29
▶ Compuertas con memoria	30
▶ Utilización de cerrojos gatillados para crear un registro paralelo.....	32
▶ Un ejemplo práctico de trasmisión en paralelo.....	35
▶ Conclusiones	39
3. Comunicación entre 2 integrados	40
▶ Introducción	41
▶ El símil del tren eléctrico.....	42
▶ El circuito electrónico del puerto serie.....	42
▶ La necesaria transformación serie - paralelo	47
▶ Entradas de puesta a 1 y puesta a 0	48
▶ Las entradas para cargar y descargar datos en paralelo.....	49
▶ Otros tipos de flips flops	51
▶ Comunicaciones entre CIs de un TV	52
▶ Cálculo del flujo de datos.....	54
▶ Comunicaciones LVDS	55
▶ Conclusiones	58

4. Memorias	59
▶ Tipos de memorias	60
▶ Memorias masivas de acceso seriado	61
▶ Circuito de almacenamiento dinámico	63
▶ El acceso aleatorio y la memoria ROM	65
▶ Memorias PROM, EPROM y EEPROM.....	68
▶ Señales de control de una memoria	70
▶ Puertos compartidos	71
▶ Memorias flash	72
▶ Conclusiones	75
5. Microcontroladores	76
▶ Evolución de los microcontroladores	77
▶ El microcontrolador PIC16F84 por fuera.....	79
▶ El micropocesador PIC16F84A por dentro	80
▶ La fuente de alimentación.....	83
▶ CLOCK	84
▶ RESET	86
▶ Puertos de los microcontroladores	87
▶ El puerto I ² CBUS	88
▶ Conclusiones	92
Acerca del autor Ing. Alberto Picerno	93
Descarga de archivos	99

Prólogo del autor

Estamos en el siglo de las comunicaciones y el tema no sólo se refiere al exterior de los equipos, sino también al interior de los mismos. Un equipo suele ser en la actualidad un conjunto de integrados microprocesadores dirigidos y un microprocesador de uso general que los supervisa y dirige.

Los integrados pueden comunicarse entre sí por el clásico método analógico o por el moderno método digital y cada modo de comunicación posee sus características propias, no siempre bien entendidas por los reparadores.

Más aún, los reparadores con más experiencia suelen tener enormes dificultades con las técnicas modernas de comunicación digital utilizando números binarios. Y los técnicos más jóvenes no suelen tener la experiencia de reparación adecuada para reparar un equipo de última generación, debido a que la enseñanza oficial actual, sólo es teórica y el conocimiento que no se aplica se olvida.

Por estas razones y por un problemas de costo, los reparadores dejaron de reparar los equipos digitales desde el primero que apareció en el mercado, que fue el reproductor de CD y el siguiente, que fue el DVD y sólo ofrecen el servicio de cambiar el pick-up o resolver algún problema mecánico como cambiar un motor, pero cuando la reparación se complica dan la excusa más común: *"no se consigue el repuesto"* para esconder el real *"no se cómo funciona la electrónica de este equipo"* o en algún caso *"se cómo funciona la electrónica de este equipo, pero no se cómo medir sus señales"*.

Mientras solo existían CD y DVDs para reparar, el problema económico no era importante, porque esos equipos no mueven una gran cantidad de dinero debido a su bajo costo. El cliente los abandonaba y compraba uno nuevo. Y el reparador perdió la posibilidad de aplicar sus conocimientos de técnicas digitales en equipos sencillos que facilitarían el aprendizaje.

El arribo de los LCDs y los Plasma despertó de su letargo a todos los reparadores, que se dieron cuenta que necesitan saber como se transforman las señales analógicas en digitales, dentro de un equipo y eso requiere un conocimiento fluido de las técnicas digitales, que las circunstancias no le permitieron adquirir normalmente.

En este mini curso, vamos a tratar de salvar este problema explicando todo lo necesario para que posteriormente se pueda encarar un curso de reparación de LCD con todos los conocimientos necesarios de técnicas digitales.

Debemos aclarar que este curso de técnicas digitales no explica el funcionamiento de todos los componentes digitales sino solo aquellos que lo ameritan por su uso en los equipos digitales modernos o por razones didácticas. Por ejemplo; hoy no tiene sentido estudiar las compuertas lógicas porque ya no se usan; pero para saber cómo funciona una memoria es didácticamente necesario estudiarlas.

Trasmisión analógica y digital

Explicamos el problema general de las comunicaciones analógicas y digitales entre diferentes puntos de un producto electrónico de cualquier tipo.

▶ La transmisión analógica entre dos puntos de un circuito

▶ Los problemas de las transmisiones analógicas

▶ Números decimales y binarios

▶ Trasmisión digital binaria

▶ La transmisión digital entre dos puntos de un circuito

▶ Primer problema de la digitalización: el muestreo

▶ Segundo problema de la digitalización: la cuantificación

▶ Circuito simulado de un conversor analógico digital

▶ La necesidad de una señal de clock al transmitir datos

▶ Conclusiones

La transmisión analógica entre dos puntos de un circuito

La ciencia electrónica explica el tratamiento de corriente y tensiones eléctricas para que cumplan un fin útil. Para entender este hecho lo mejor es recurrir a un ejemplo. El mismo está relacionado con el sonido y analiza la transmisión de señales de audio, pero cuando corresponda por tener características diferentes, se hace referencia al video.

Un amplificador de audio adecua las señales de un micrófono para que se puedan aplicar a un parlante. El micrófono genera una pequeña tensión de audio, dentro de una banda de frecuencias comprendidas entre 10Hz y 20KHz que es la gama escuchada por el oído humano promedio.

La señal (corriente o tensión) entregada por el micrófono, responde a la modulación de la voz humana o a un instrumento musical y no posee una característica repetible en el tiempo. Los impulsos de electricidad pueden considerarse como totalmente aleatorios; es decir que aparecen en cualquier instante con cualquier amplitud y cualquier frecuencia, si bien el timbre de voz o las características del instrumento musical, limitan la banda total de audio entregada por el micrófono. Por ejemplo la voz humana solo tiene componentes que llegan a 5KHz pero cubren la banda completa es decir que tanto se puede emitir una señal de 100 Hz como otra de 2 KHz (con 5 KHz como máximo).

En realidad tanto un instrumento musical como la garganta de un ser humano generan señales senoidales y sus armónicas, que las distorsionan de modo tal que un osciloscopio puede mostrar una forma de onda estable durante un pequeño intervalo de tiempo. Por ejemplo la ejecución de la cuerda de una guitarra manteniendo las otras cuerdas trabadas, genera un tono fundamental con una amortiguación característica del tipo de guitarra que podemos observar en la figura siguiente.

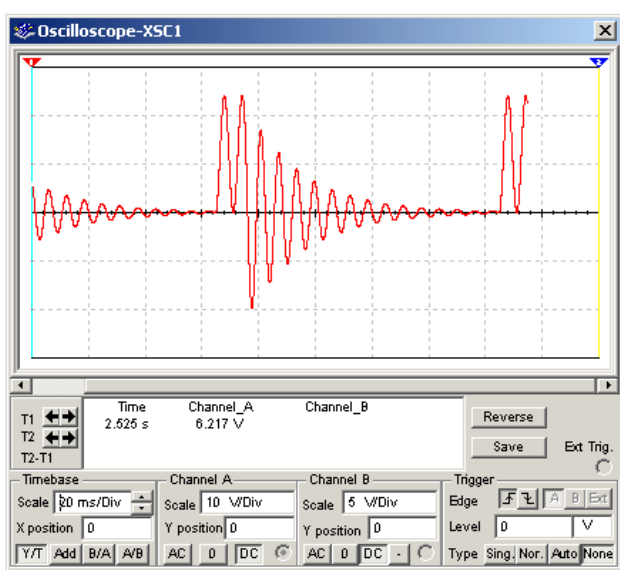


Fig.1 Señal de la cuerda de una guitarra

En realidad, la caja de la guitarra deforma la senoide con lo cual la forma de señal se vuelve mas compleja; pero siempre se puede representar como una suma de señales senoidales armónicas entre si (el doble el triple el cuádruple etc.). Es evidente que la repetición de la nota es función del guitarrista y no posee una relación armónica con el tono de la nota. Ésto significa que las componentes de frecuencia pueden ser cualquiera, armónicas o no armónicas y el sonido debe analizarse como un ruido aleatorio mostrado en la figura siguiente.

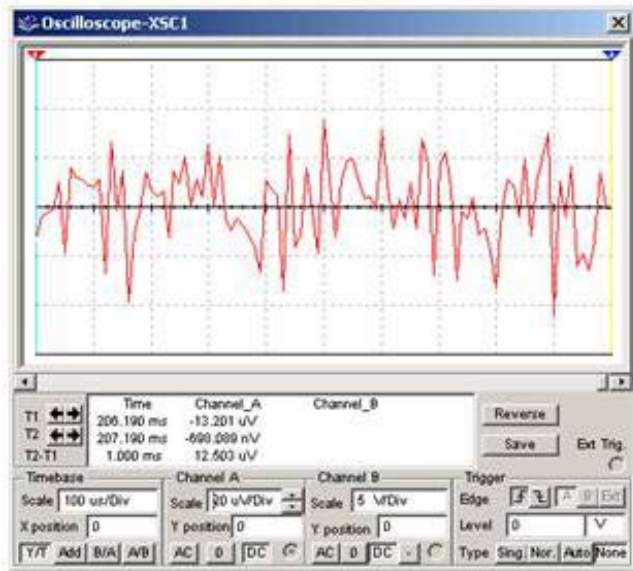


Fig. 2 Señal genérica de audio

Esta señal, normalmente con amplitudes del orden de 10 mV saliendo del micrófono, se procesa primero en un preamplificador donde se agrega un control de nivel, un control de tono y distorsionadores (para el caso específico de la guitarra eléctrica). Posteriormente la señal se amplifica en un amplificador de potencia para alimentar al parlante con una impedancia muy baja, del orden de las décimas de Ohms, capaz de entregar tensiones del orden de las decenas de voltio.

La señal de audio del micrófono es una señal analógica, porque puede tomar cualquier valor de tensión comprendido entre cero y un máximo. En

realidad la tensión aumenta en pequeños escalones mucho menores a 1 uV, debido a que la mínima carga eléctrica que puede existir es igual a la carga del electrón; pero esos escalones son tan pequeños que se pueden considerar como inexistentes. Es como considerar el diámetro de un átomo al medir una barra de metal de un metro de largo.

Las señales de video siempre son repetitivas a pesar de que la imagen puede ser cualquiera y se podría pensar que deberían representarse también como una señal aleatoria. Sin embargo no es así debido a que las señales de video se desarrollan partiendo de una señal de sincronismo horizontal H y vertical V que tienen frecuencias perfectamente determinadas que dependen de la norma. Para NTSC y PALM son de 15.750 Hz y 60 Hz y para otros PALs de 15.625 Hz y 50 Hz.

Si sólo existiera el sincronismo horizontal y se estuviera transmitiendo una señal fija se podría asegurar que la energía de la señal de video se concentraría en las frecuencias H y sus armónicas, con un decrecimiento hacia las zonas de altas frecuencias que para las normas de SDTV (televisión estándar) de América llega hasta 4 MHz aproximadamente. Al agregar el sincronismo vertical se producen armónicas de frecuencia V en la proximidad de las señales armónicas H en frecuencia tanto inferiores como superiores.

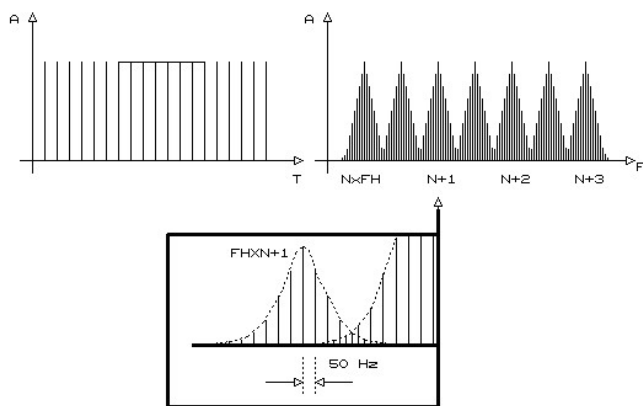


Fig.3 Distribución de energía de una señal de video fija

Esto significa prácticamente que el espectro está casi vacío, pero recuerde que esto es sólo para imágenes fijas. Cuando las imágenes están en movimiento las armónicas se corren en función de que el movimiento sea rápido o lento y el máximo corrimiento ocurre cuando se produce un cambio

de escena. Sin embargo la energía está siempre relativamente concentrada alrededor de las frecuencias H y V y sus armónicos.

Una transmisión analógica desde un punto a otro de un circuito eléctrico, consiste en un cable extendido entre esos dos puntos. Sólo hay que tener en cuenta que el circuito receptor de la información tenga una impedancia de entrada suficientemente elevada como para no atenuar demasiado a la señal del generador.

Los problemas de las transmisiones analógicas

En la figura siguiente se puede observar un diagrama de una transmisión analógica interna de un amplificador elemental sin controles.

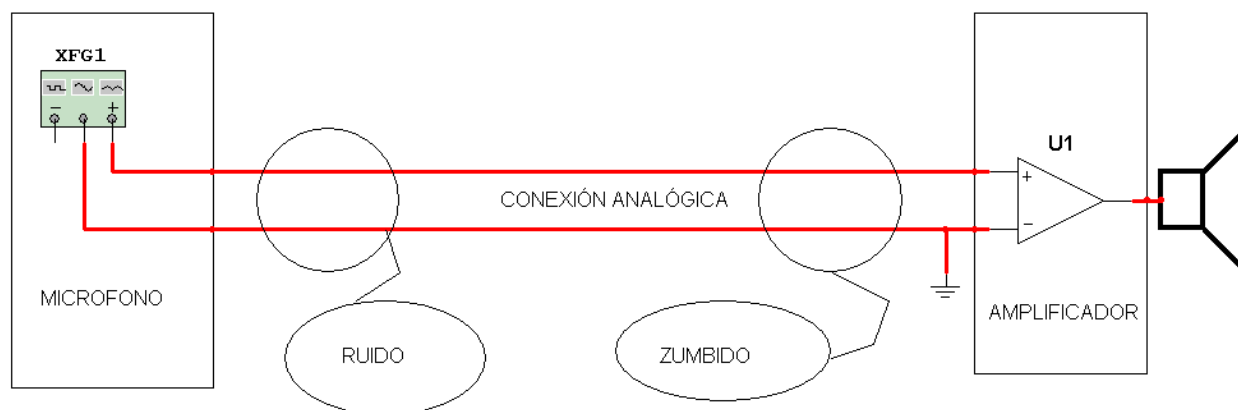


Fig.4 Diagrama de una transmisión analógica

Dado que una transmisión analógica permite todos los valores posibles de señal de entrada y salida es susceptible de captar todo tipo de interferencia interna o externa. Por ejemplo, si el equipo posee un transformador clásico es imposible evitar que la espira de transmisión capte el campo magnético del mismo y lo transforme en una tensión de 50/60 Hz de una amplitud que depende de la cercanía de la espira de transmisión al transformador de poder del equipo. Adentro de un equipo se pueden producir diferentes señales de ruido que pueden irradiarse hasta la espira de transmisión; si son audibles generarán una señal de interferencia en la entrada del amplificador.

Además de lo captado se debe considerar el ruido generado en el propio amplificador de potencia y el generado en la resistencia de salida del micrófono. Es conocido que todos los componentes generan un ruido térmico. Por ejemplo el micrófono genera un ruido (que no es el captado) en función de su construcción y su valor de resistencia. Inclusive los resistores de polarización de la entrada del amplificador, generan un ruido térmico que depende

de su valor. Por ejemplo un resistor de 1 MOhm tiene un ruido térmico de 200 uV cuando trabaja a 60°C.

En una transmisión analógica no hay modo de rechazar el ruido o las interferencias, porque forman parte de la misma señal. Cuando el amplificador procesa la señal también procesa el ruido que es la suma de las interferencias y el ruido térmico.

Pero la transmisión analógica también tiene ventajas; si la señal se reduce a la mitad, la salida del parlante se reduce en la misma proporción, pero el sistema sigue funcionando. Luego veremos que en una transmisión digital puede llegar a cortarse directamente la salida.

Números decimales y binarios

¿Por qué debemos tratar un tema exclusivamente matemático en un curso de electrónica? Porque la mayoría de las personas tienen un conocimiento específico sobre los números decimales, que no es suficiente para entender la existencia de otros tipos de números. Los utilizan según una costumbre, pero no conocen el concepto mismo del número y por lo tanto no pueden entender la existencia de otro tipo de números diferentes a los números decimales.

Sin embargo existen una infinita cantidad de números diferenciados por su base. El número decimal tiene base 10, porque existen 10 símbolos diferentes para representar una cierta cantidad de elementos; 0, 1, 2, 3,.....9 es decir diez en total considerando al 0, aunque ciertos matemáticos no lo reconocen como un número, sino como la ausencia del mismo.

Si la cantidad de elementos es mayor, recurrimos al agregado de cifras. Con dos cifras contaremos hasta 99 y con tres hasta 999 etc. Por costumbre el número de la derecha es el menos significativo porque se multiplica por uno. El siguiente vale por 10 y el que le sigue por 100 y así sucesivamente.

Cuando ponemos un número de 3 cifras en realidad estamos escribiendo una operación matemática que incluye sumas y multiplicaciones. Por ejemplo cuando decimos 362 que-remos decir que la cantidad de elementos es de $3 \times 100 + 6 \times 10 + 2 \times 1$ porque los números valen según su posición y no sólo por su símbolo.

En la numeración decimal cada posición tiene su nombre propio; así tenemos las unidades, las decenas la centenas, etc.

¿Por qué decimos que los números decimales tienen base 10? Porque en la posición de las unidades los elementos valen por 1 que es igual a 100 y en las decenas valen 10 que es igual a 101 y en las centenas valen por 100 que es igual a 102 y así sucesivamente. ¿Se puede generalizar una fórmula para encontrar el valor decimal equivalente a un número de cualquier base? Si se puede y es una forma de escribir en una ecuación, todo lo que dijimos anteriormente.

$$N = A_n \cdot b_n + \dots + A_2 \cdot b_2 + A_1 \cdot b_1 + A_0 \cdot b_0$$

En donde "An" es el coeficiente de orden n y "b" es la base de los números que se deseen transformar. Esta formula general debe ser valida inclusive para base 10 y podemos probarla con el número utilizado anteriormente.

$$N = A_2 \cdot b_2 + A_1 \cdot b_1 + A_0 \cdot b_0 = 3 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^0 = 362$$

Aparte del número decimal, el que mas nos interesa es el de base dos, que tiene solo dos símbolos: "0" y "1". Esto se debe a que es el más utilizado en la electrónica digital (hay solo muy pocos casos de lógica triestado).

$$N = A_n \cdot 2^n + \dots + A_2 \cdot 2^2 + A_1 \cdot 2^1 + A_0 \cdot 2^0$$

En los números binarios los coeficientes no tienen un nombre propio. Todos se llama bit y se reconocen por su posición dentro de la formula como bit mas significativo o An, bit A2, bit A1, y bit menos significativo o A0.

Trasmisión digital binaria

Con un ejemplo de transmisión digital binaria, va a quedar mucho más aclarado el tema. Supongamos que nuestro micrófono excita un codificador A/D (análogo a digital) de 8 bits y que nuestro amplificador tenga un decodificador D/A (digital a analógico) por supuesto de la misma cantidad de bits.

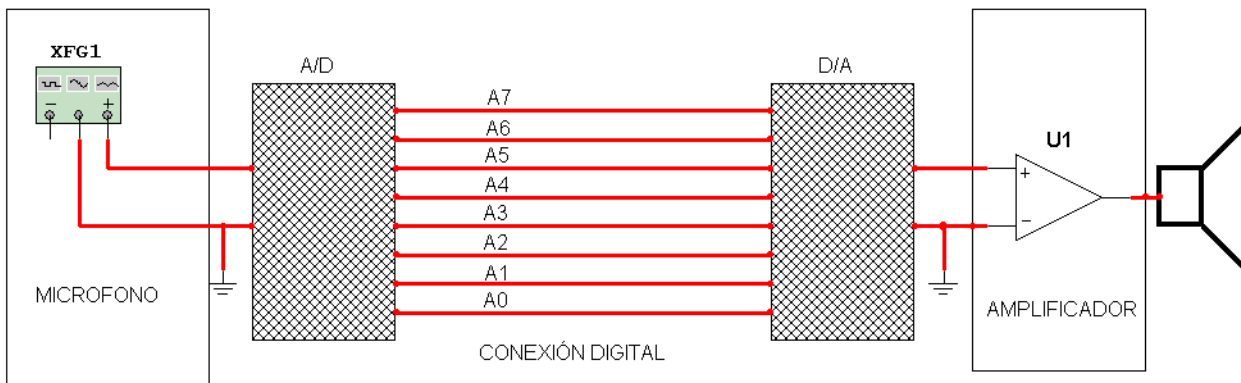


Fig.5 Transmisión digital por números binarios <Abrir **Circuito1-5.ms9**>

En este circuito queda aclarado el verdadero valor de los coeficientes A0 a A7 que pueden tomar un valor 0 o un valor igual a la tensión de fuente de los convertidores, por ejemplo 5V (o 3,3V en los equipos mas modernos) que genéricamente indicamos como 1.

En este caso se requieren 8 cables para unir ambos circuitos y se dice que el bus de datos es de 8 bits. Si esos cables tienen por ejemplo un código binario 1100 0101 estamos transmitiendo un número decimal que calculamos por la fórmula como:

$$N = A_7 \cdot 2^7 + A_6 \cdot 2^6 + A_5 \cdot 2^5 + A_4 \cdot 2^4 + A_3 \cdot 2^3 + A_2 \cdot 2^2 + A_1 \cdot 2^1 + A_0 \cdot 2^0$$

$$N = A_7 \cdot 128 + A_6 \cdot 64 + A_5 \cdot 32 + A_4 \cdot 16 + A_3 \cdot 8 + A_2 \cdot 4 + A_1 \cdot 2 + A_0 \cdot 1$$

$$N = 1 \cdot 128 + 1 \cdot 64 + 0 \cdot 32 + 0 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1$$

$$N = 128 + 64 + 4 + 1 = 197$$

El menor número posible es por supuesto 0 y el mayor es $128+64+32+16+8+4+2+1 = 255$ es decir que hay 256 niveles de tensión de salida cuando incluimos el cero.

Por supuesto la aplicación de la fórmula tiene solo un valor didáctico ya que una computadora científica puede realizar el cálculo en forma automática predisponiéndola en binario, introduciendo el número y pasándola luego a decimal.

La transmisión digital entre dos puntos de un circuito

En una transmisión analógica se transmite un valor de tensión que puede tomar un valor de 0 a un valor máximo con todos los valores intermedios posibles. En una transmisión digital también se transmite una tensión pero sólo puede tomar dos valores que en forma genérica se representan por "0" y "1" porque representan a un número binario. En la práctica el "1" se convierte en un valor de tensión de 3,3V en los integrados de bajo consumo o 5V en los comunes que son las tensiones de fuente de estos dispositivos.

En principio parece que una complicación tan grande del circuito no parece tener lógica pero un análisis en profundidad nos va a ayudar a desentrañar la evidente ventaja de las técnicas digitales frente a las analógicas.

Para comenzar, vamos a hablar de la posibilidad de los errores de interpretación de código. Un integrado de 3,3V tiene una tensión del eje de decisión de 1,15V. Si la entrada es mayor a ese valor el decide que llegó un uno y si es menor decide que es un cero. En la electrónica actual, que un decodificador se equivoque con esos enormes márgenes es absolutamente imposible y lo mismo ocurre con los codificadores que tienen mucha más precisión que la que necesitan para decidir entre los 256 posibles valores que deben asignar a la tensión de entrada.

Los 8 cables de conexión entre ambos sectores del circuito pueden recibir valores muy altos de interferencias irradiadas desde el interior o el exterior, porque mientras los picos de la

interferencia no superen al valor de tensión del eje de decisión, no se producen errores de decodificación.

Y si se utilizan codificadores y decodificadores de 5V los márgenes son aún mayores y los errores pueden considerarse nulos.

Pero si la señal analógica del micrófono o el amplificador tienen ruidos o interferencia no hay nada que pueda mejorarlas y el equipo estará en la misma condición que el sistema analógico.

Ahora el alumno debe pensar en un equipo moderno de reproducción del sonido. Lo más probable es que la fuente de sonido sea digital, ya que ese es el caso de los reproductores de discos CD y de los de discos DVD. Y la tendencia actual es aún más digitalizada debido al uso de los MP3 y MP4 que no poseen sistemas mecánicos. Eso anula el problema en el conversor analógico digital. Por último ya son comunes los amplificadores digitales de audio y ya comienzan a aparecer los parlantes digitales multifilares y los parlantes digitales de láminas de nanotubos de carbono, con lo cual el dispositivo amplificador es totalmente digital desde la fuente de señal hasta el oído del usuario.

Con esto desaparece el ruido térmico, los zumbidos del transformador y las interferencias externas, pero comienzan a aparecer otras distorsiones debidas a la digitalización aunque estas son siempre manejables y posibles de reducir. Inclusive aquello que parece imposible de resolver, como por ejemplo la complejidad del circuito impreso (que ahora es 8 veces más complejo para nuestro caso) tiene una solución simple.

Primer problema de la digitalización: el muestreo

Para digitalizar una señal primero se la debe muestrear, que significa medir el valor instantáneo a intervalos regulares de tiempo. En efecto, como lo que se transmite es un número binario, se debe establecer el número requerido de mediciones o muestras por segundo, necesarias para representar fielmente la señal de entrada. Surge inmediatamente que cuando más alta es la frecuencia de la señal a digitalizar, más frecuente debe ser el muestreo. Si queremos que la señal decodificada sea muy parecida a la señal original serán necesarias muchas muestras por ciclo de la señal de mayor frecuencia que se desea transmitir. Por ejemplo 50 o 100 muestras por ciclo ya que la señal de salida se genera como la unión de los puntos que representan a cada muestra (como si dibujáramos un gráfico).

Pero cuando mayor es la frecuencia de muestreo (es decir cuando se realizan más mediciones por ciclo) mayor es la complejidad del codificador y el decodificador y más rápidamente deben cambiar los valores binarios en el bus de datos.

Sin embargo un científico llamado Nyquist estudió el problema llegando a substanciosas conclusiones. El teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, también conocido como teorema de muestreo de Whittaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon, criterio de Nyquist o teorema de Nyquist, es un teorema fundamental de la teoría de la información, de especial interés en las telecomunicaciones.

Este teorema fue formulado por primera vez en forma de conjetura por Harry Nyquist en 1928, mientras estudiaba las transmisiones telegráficas y fue demostrado formalmente por Claude E. Shannon en 1949 mientras estudiaba las comunicaciones en presencia de ruido térmico (el ruido que generan los componentes electrónicos).

El teorema demuestra que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua, a partir de sus muestras, es matemáticamente posible si la señal tiene una banda limitada y si la tasa de muestreo es superior al doble de la máxima frecuencia a transmitir.

Dicho de otro modo, la información completa de la señal analógica original que cumple el criterio anterior está descrita por la serie total de muestras que resultaron del proceso de muestreo.

Según Shannon si la frecuencia más alta contenida en una señal analógica es F_i y la señal se muestrea a una tasa mayor a $2F_i$, entonces se puede decodificar totalmente a partir de sus muestras, mediante una adecuada función matemática de interpolación y filtrado.

Un ejemplo de determinación de frecuencia de muestreo lo constituye el disco CDDA (compact disc digital audio o simplemente CD de audio) que usa una frecuencia de muestreo de 44.100 Hz y que contiene frecuencias de audio de hasta 20 KHz.

Si se observa la señal decodificada de 20 KHz con un osciloscopio se observa una severa distorsión de la misma. Pero esa distorsión es producida por frecuencias superiores a 20 KHz y por lo tanto no son audibles. Podemos concluir que si se trata de escuchar una señal, el teorema es absolutamente cierto, pero no lo es si por ejemplo pretendemos observar una señal en un osciloscopio digital de muestreo directo.

Para aclarar el tema, lo mejor es recurrir a una simulación con el Multisim de un circuito de codificación y decodificación digital. Pero antes vamos a hablar de otra característica de las transmisiones digitales que es la cuantificación o cuantización.

Segundo problema de la digitalización: la cuantificación

El teorema de Shannon trata solo de la frecuencia de muestreo. El muestreo no debe ser confundido o asociado con la cuantificación, que es un proceso que sigue al de muestreo y que, al contrario del muestreo, no es reversible. Es decir que en la cuantificación se produce una pérdida de información, incluso en el caso ideal o teórico, y esto a su vez se traduce en una distorsión de la señal.

Esta distorsión se conoce como error o ruido de cuantificación y establece un límite teórico superior a la relación señal a ruido; al equivalente de la relación señal a ruido que es la relación de cuantificación. Dicho de otro modo, una señal analógica puede tomar los infinitos valores intermedios existentes entre un valor mínimo y un máximo, pero una señal digital no. Una señal digital solo puede tomar una cantidad de valores determinados por la cantidad de bits de la señal (igual a la cantidad de cables disponibles para la transmisión).

Si tenemos 1 cable, es evidente que solo podemos transmitir dos estados lógicos, es decir un "uno" o un "cero". Si tenemos dos cables ya existen cuatro combinaciones posibles y con 3 cables se pueden obtener 8 combinaciones posibles. En forma genérica la cantidad de combinaciones posibles es 2^n de modo que por ejemplo con 8 cables tendremos $2^8 = 256$ combinaciones. Es decir que se pueden formar los números 0,1, 2, 3, 4,255. Ahora imaginemos que queremos transmitir una señal con un máximo de 255 mV; el sistema podría llegar a tomar una muestra justo cuando la señal analógica de entrada tiene un valor de 120,5 mV pero ese valor es imposible de codificar; el codificador deberá optar por generar un número igual a 120 o a 121 y eso es equivalente a un ruido de 0,5 mV (o un error porcentual de $1/120 = 0,83\%$) aunque no se manifieste como un ruido analógico, sino como una variación por saltos de la señal de salida.

¿Este problema no se puede solucionar? No, siempre existirá un error de cuantificación, pero el mismo puede ser reducido si se cambia la topología del circuito. Por ejemplo si se utilizan 10 cables en lugar de 8 la cantidad de saltos posibles se incrementa a $2^{10} = 1024$ posibilidades. Si para hacer números redondos ahora consideramos que la señal de entrada es de 1024 mV el salto seguirá siendo de 1 mV pero el error porcentual de cuantificación se redujo a $1/1024 = 0,98$ por mil es decir que se redujo casi unas 10 veces.

Pero tenga en cuenta que aumentar la cantidad de bits no solo complica la topología sino que requiere una mayor potencia de procesamiento (convertidores y memorias más grandes).

Ahora si, podemos realizar una simulación para afianzar el conocimientos y observar como cambian los oscilogramas de salida al cambiar la cantidad de bits.

Circuito simulado de un conversor analógico digital

En la figura siguiente se puede observar el circuito simulado de un conversor A/D y un conversor D/A de 8 bits, conectados a un generador de funciones predispuesto en señal triangular de 1KHz y 2V pap de amplitud.

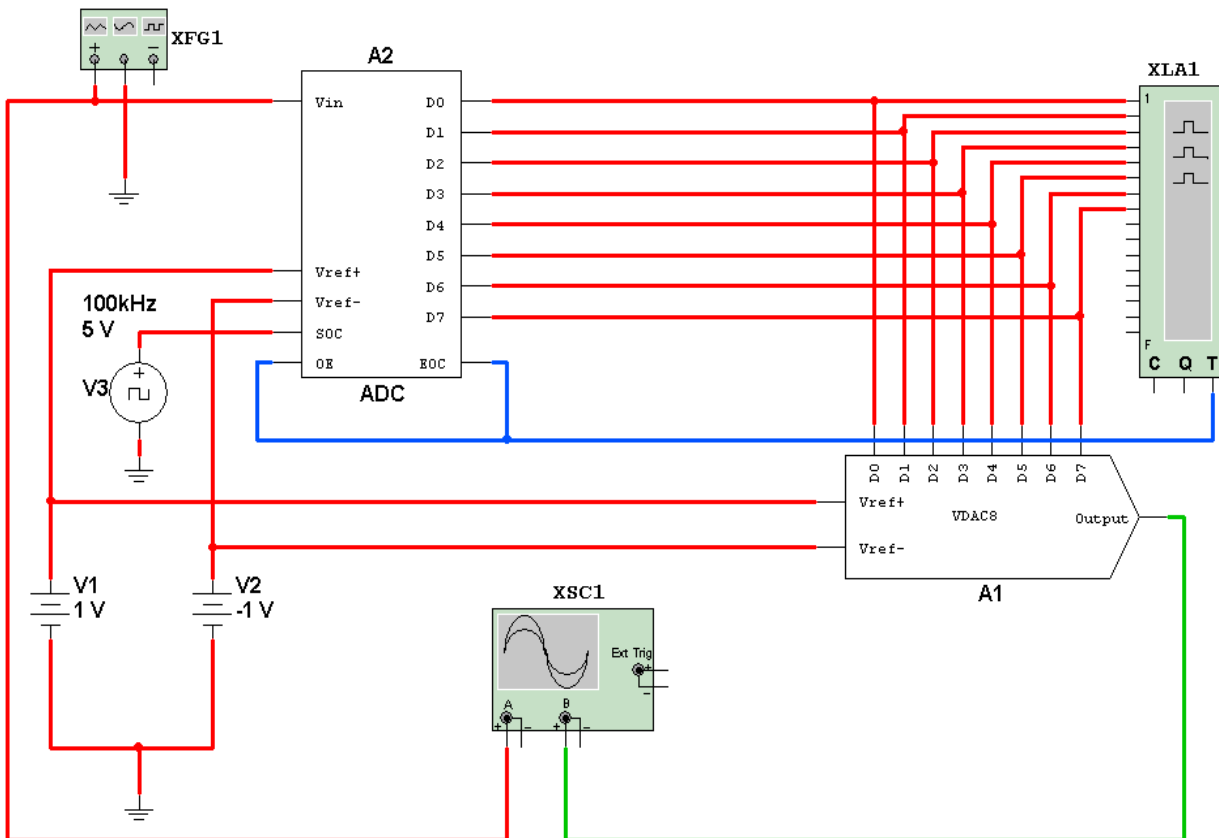


Fig.6 Circuito de un conversor genérico A/D y D/A <Abrir **Circuito1-6.ms9**>

Como se puede observar el circuito integrado conversor A/D posee muy pocos componentes externos, ya que prácticamente realiza todas sus funciones sin necesitar ayuda exterior. Pero algunas cosas son imprescindibles para predisponer adecuadamente al conversor. Por ejemplo debemos fijar su rango de medición que en nuestro caso lo fijamos entre -1 y +1 V ya que queremos transmitir una señal triangular de CA de 2V pap. Ese rango se debe fijar con dos divisores de tensión o con dos fuentes aplicadas como Vref+ y Vref-.

El Multisim tiene conversores de 8 y de 16 bits. Elegimos el de 8 para poder observar el error de cuantificación (escalones) que va ser pequeño, con saltos de $2V/256 = 7 \text{ mV}$. Fijamos el generador de muestreo V3 en un valor de 100 KHz para obtener 100 escalones por cada ciclo de señal de entrada, evitando la distorsión que se produce con una frecuencia de muestreo baja.

También se observan dos patas del conversor A/D (OE y EOC) dedicadas a una salida de señal que sincroniza el analizador de señales XLA1 por la entrada T y que nos permitirá observar la señal en las salidas D0 a D7 todas al mismo tiempo.

Nota: un analizador de señales es un instrumento utilizado en informática que permite dibujar las señales rectangulares de datos en un puerto de múltiples bits y las señales de clock y sincronismo. A diferencia de un osciloscopio la pantalla no refleja la forma en que varía realmente la tensión de cada bits; sólo realiza un dibujo simulando la salida en un estado alto o bajo.

En la figura siguiente a la izquierda, se puede observar la señal de entrada en rojo y la de salida en verde; a la derecha, una parte ampliada de la señal en donde se mide la amplitud y duración de un escalón.

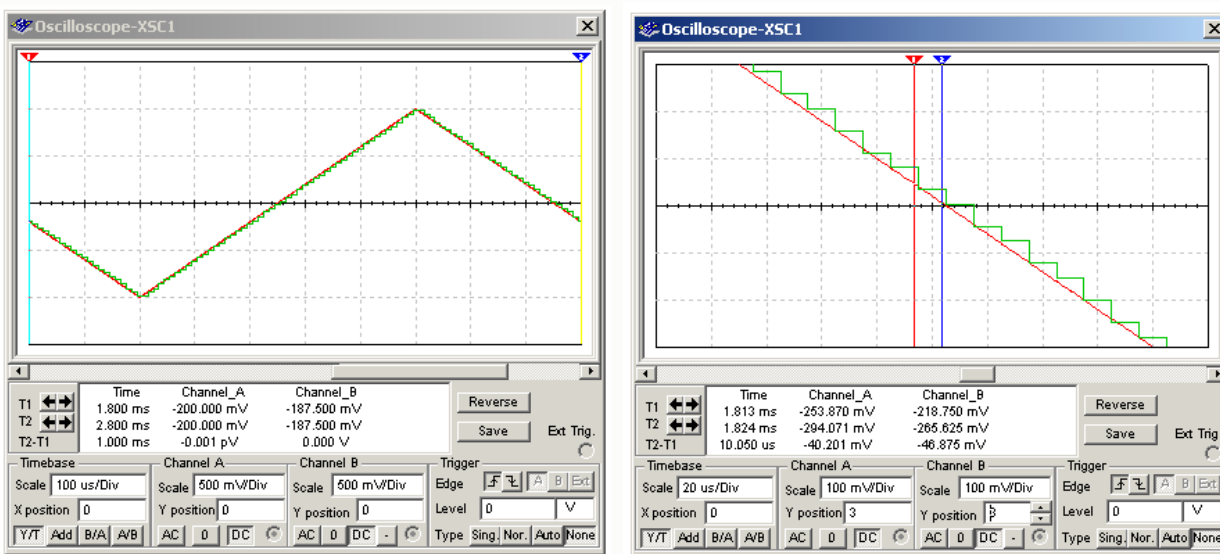


Fig.7 Oscilogramas comparados de entrada (rojo) y salida (verde)

Una señal de 1 KHz tiene un periodo de 1ms o 1000 uS, al tomar 100 muestras dentro de ese periodo cada escalón debe tener una duración de 10 uS que es precisamente el valor medido como T2-T1 en la pantalla de mediciones del cursor. En cuanto a la amplitud se puede observar un valor de 46 mV que resulta de dividir la amplitud pico a pico por 50 que es la cantidad de muestras tomadas dentro de un semiciclo, es decir $2V/50 = 40$ mV. En realidad el sistema podría generar 256 escalones es decir saltos de $2V/256 = 7,8$ mV pero en ese caso debería aumentarse la frecuencia de muestreo por lo menos a 1 MHz y la simulación resultaría muy lenta.

Para que este problema sea definitivamente entendido, nuestro sistema simulado de audio con la frecuencia de muestreo de CD de 44.1 KHz nos será de gran utilidad. Pero el audio es para escucharlo y no para verlo en un osciloscopio de 20 MHz. Por esta razón nuestro circuito debe ser completado con una curva de respuesta similar a la del oído promedio. Este filtro puede ser diseñado automáticamente con el Multisim que tiene un sistema de cálculo rápido. Aproximadamente se puede suponer que el oído comienza a perder res-

puesta a unos 8 KHz y corta a unos 20 KHz. En la figura siguiente se puede observar el filtro y la curva de respuesta en frecuencia del mismo.

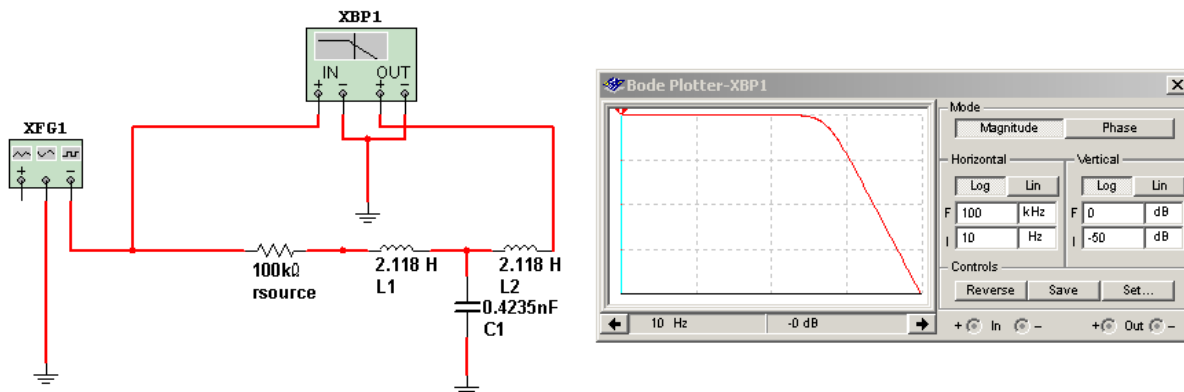


Fig.8 Filtro similar al oído humano <Abrir **Circuito1-8.ms9**>

En la figura siguiente se puede observar el circuito completo con un osciloscopio de cuatro canales conectado sobre el generador de funciones, la salida del convertor D/A y la salida del filtro que habitualmente se llama filtro de muestreo.

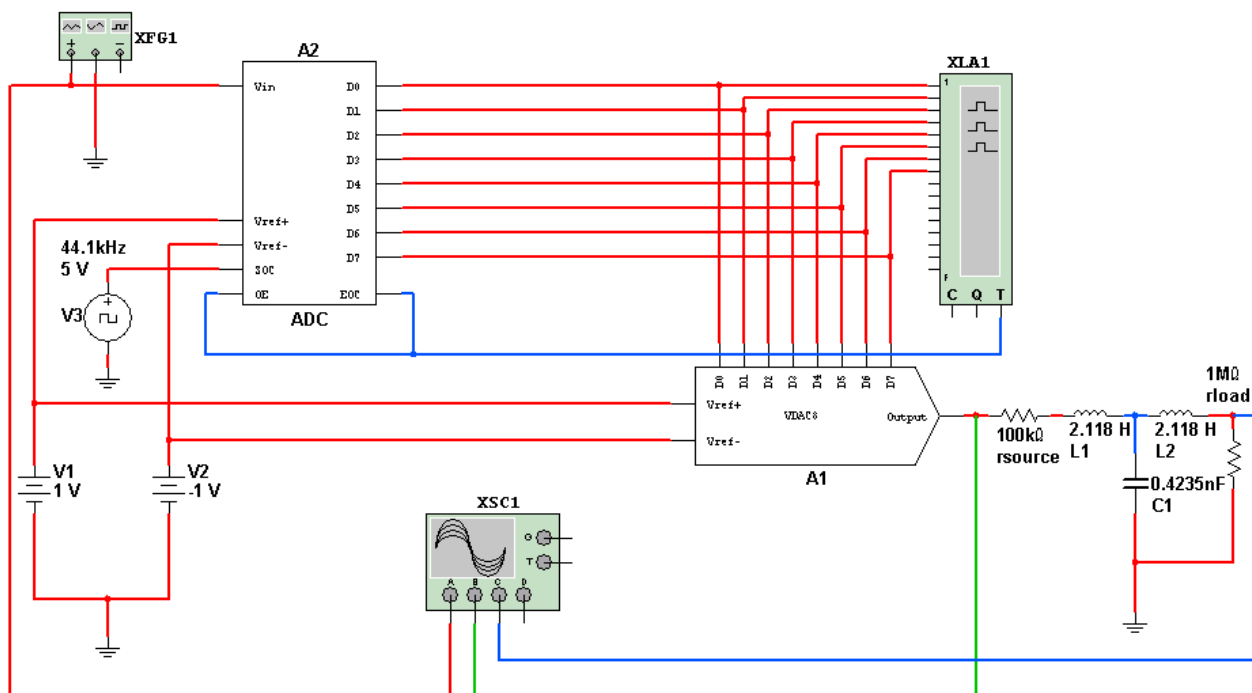


Fig.9 Circuito A/D D/A con filtro de muestreo <Abrir **Circuito1-9.ms9**>

Para probar las características de transmisión de este circuito vamos a modificar la frecuencia del generador de funciones partiendo de 1 KHz como referencia y luego aumentando la

frecuencia al doble en cada paso. En la figura siguiente se pueden observar los resultados para frecuencias dentro y fuera de banda de 1 KHz, 2 KHz, 4 KHz, 8 KHz, 16 KHz y 32 KHz.

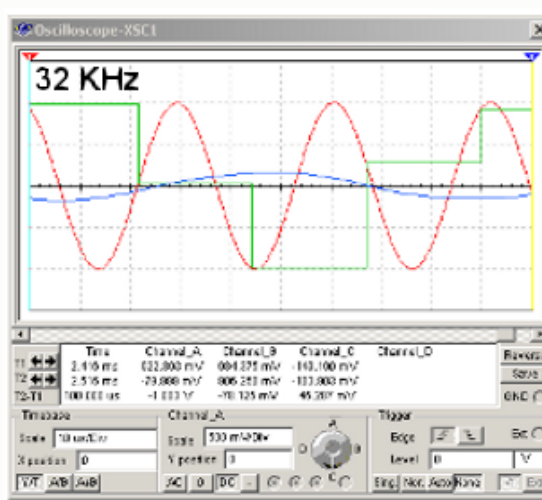
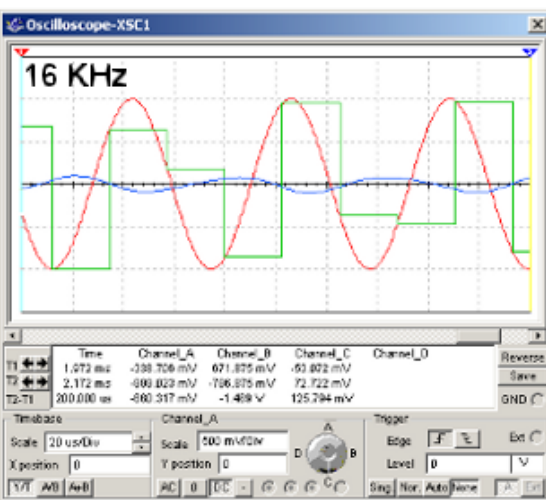
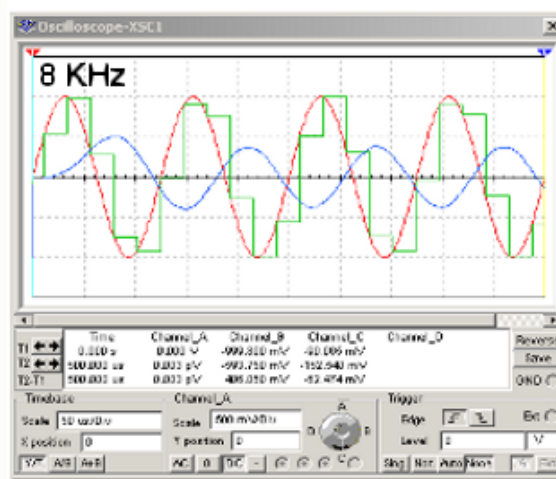
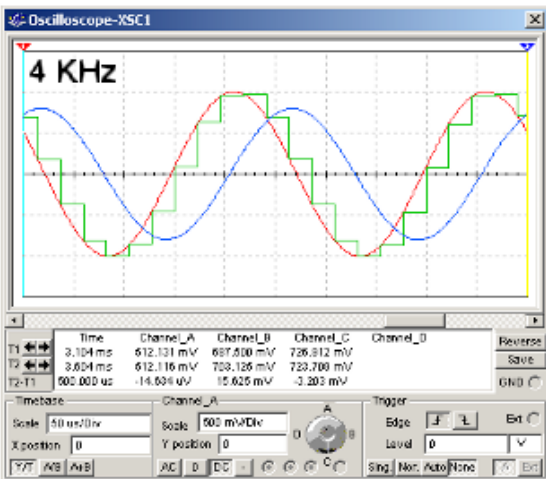
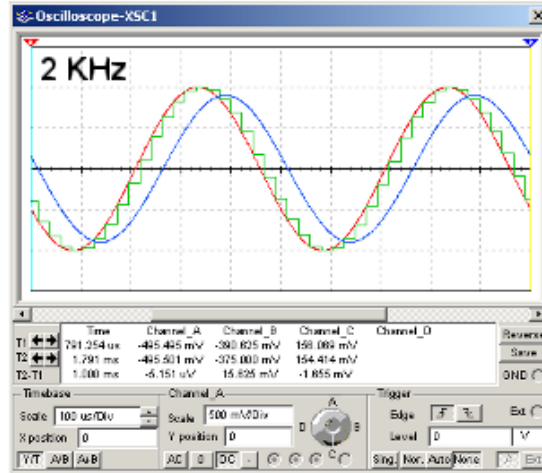
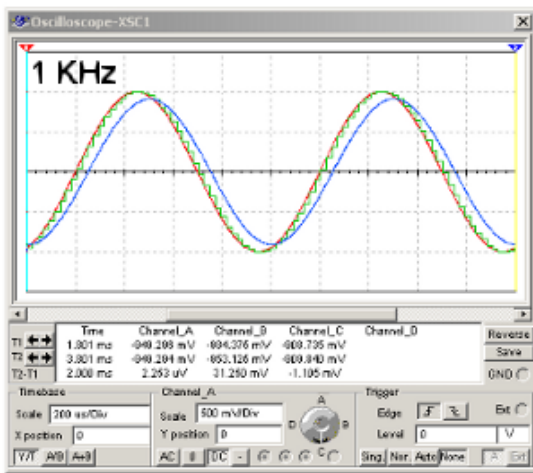


Fig.10 Respuesta del convertor a diferentes señales de audio

Los resultados son realmente muy interesantes y nos demuestran que salvo la atenuación propia del oído, a frecuencias altas, la señal senoidal de salida (azul) no tiene mayores distorsiones cuando el amplificador es excitado por frecuencias de audio menores a la frecuencia de muestreo, dividida por 2; es decir 22,05 KHz. Si se observa un corrimiento de fase, que depende de la frecuencia transmitida; pero como la audición no considera la fase de las señales, esa distorsión no tiene mayor importancia.

Cuando la frecuencia de entrada supera ese valor se produce un fenómeno llamado aliasing (no tiene traducción al español) que genera frecuencias inexistentes en la señal de origen. En nuestro caso por ejemplo, se genera una frecuencia de 12,1 KHz que se produce por el batido de la señal de muestreo con la frecuencia de entrada de 32 KHz ($44,1 - 32 = 12,1$ KHz).

Esto nos indica que el sistema debe poseer dos filtros. Uno sobre la señal de entrada y otro sobre la señal de salida aunque el segundo puede ser anulado si es una señal de audio, ya que el oído mismo se encarga de filtrarla. El filtro de entrada debe tener un corte a 20 KHz y debe ser lo mas empinado posible para evitar el corte de agudos.

Para otros usos que no sean los de audio, puede ocurrir algo similar. Por ejemplo cuando se transmite video standard (SDTV) o de definición mejorada tipo DVD sin compresión de datos, se usa una frecuencia de muestreo de 13 MHz habida cuenta que las frecuencias máximas a transmitir son del orden de los 6 MHz. En este caso se utiliza un filtro de muestreo con un corte lo mas neto posible en 6 MHz, pero teniendo cuidado de que no afecte la respuesta de fase, porque en ese caso los bordes de las imágenes no serían netos.

En otros dispositivos, como osciloscopios digitales, el problema es mucho mas serio. En efecto, un osciloscopio para analizar distorsiones por recorte de picos de salida de audio o destinado al uso de señales de SDTV, debe tener un ancho de banda mucho mayor a la señal senoidal distorsionada (10 ó 20 veces) debido a que la distorsión se produce por la generación de señales armónicas. Por ejemplo para ver una señal rectangular de 15.625 o 15.650 Hz (salida de excitación horizontal del jungla por ejemplo) se requiere un osciloscopio de 10 o 20 veces esa frecuencia, para que reproduzca la décima (150 KHz) o la vigésima armónica (300 KHz).

En los osciloscopios analógicos se debe considerar la máxima frecuencia que pueden reproducir y dividirla por 10 o 20 para saber que frecuencia máxima puede tener la señal a visualizar en el caso que no sea senoidal. Por ejemplo con un osciloscopio de 20 MHz se pueden observar señales cuadradas, triangulares o de forma híbrida de hasta 1 MHz solamente.

En los osciloscopios digitales de muestreo directo, el fabricante suele dar el valor de muestras por segundo que puede tomar. Este dato lo suele dar en general medido en "Mega samples" o millones de muestras por segundo. En ese caso la frecuencia de trabajo máxima debe ser menos de la mitad de la frecuencia de muestreo y luego considerar que para ver una señal rectangular hay que dividir por 10 o por 20.

La necesidad de una señal de clock al transmitir datos

Los datos que salen del codificador A/D no están presentes por mucho tiempo dado que se debe generar un flujo de datos alto, para transmitir mucha información. Por esa razón, la señal de datos es acompañada siempre por otra de clock que le indica al integrado receptor en que momento debe realizar la lectura.

Lo que por lo general se acostumbra es a generar una señal de clock cuyo flanco creciente determine el momento de la medición. Por supuesto que en ese momento se deben leer todos los bits que representan al número que se desea leer.

Este modo de operar evita que se produzcan faltas lecturas debidas a pulsos de interferencia. Es decir que solo aquellos pulsos que coincidan perfectamente en el tiempo, con el flanco ascendente del clock, pueden ingresar al decodificador D/A y provocar un error de lectura. Si la ventana de medición es muy pequeña, el sistema se hace prácticamente inmune al ruido impulsivo.

En el Multisim el decodificador A/D está permanentemente enganchado con el D/A debido al proceso mismo de la simulación. Pero en un circuito real, debe existir un cable disponible para esta función. Dicho cable recibe en este caso el nombre de clock de lectura de datos.

El hecho de requerir tantos cables como bits no es imposible de modificar. En efecto una transmisión digital de por ejemplo 8 bits puede ser transmitida por un solo cable de datos y uno de clock.

El sistema de transmisión visto hasta este momento se llama por puerto paralelo. El número o palabra de la cantidad de bits deseada, se transmite hacia al receptor con todos los bits al mismo tiempo y por lo tanto toma el nombre de transmisión paralelo.

Conclusiones

En este capítulo analizamos la transmisión de señales analógicas y digitales entre dos puntos de un circuito (aunque los conceptos pueden ser extendidos a dos lugares geográficos distintos como por ejemplo una oficina y un taller de producción).

Dicho análisis fue realizado sólo para puertos paralelos. Pero nada nos prohíbe que los datos de una palabra sean emitidos en serie y luego al entrar en el receptor se carguen en una memoria transitoria y sean leídos en paralelo, como una palabra completa. Esto requiere el uso de una memoria, que deberemos estudiar antes de analizar el funcionamiento de un puerto serie. Y para saber como funciona una memoria vamos a tener que estudiar las compuertas lógicas hasta llegar al Flip-Flop.

En el próximo capítulo vamos entonces a estudiar los componentes requeridos para realizar una transmisión de datos en serie, para luego en la siguiente aplicarlos a la transmisión propiamente dicha.

Acercas del autor

Ing. Alberto Picerno

Ingeniero en Electrónica, autor de más de 35 libros técnicos y cientos de artículos, pionero en la fabricación y reparación de radios y televisores en Argentina, fundador de Escuela Picerno donde enseña reparación de LCD y Plasma y otros cursos y seminarios.

¿Quién soy? Es muy difícil responder a esa pregunta, pero contando algunos detalles de mi vida es posible que Ud. se forme una idea más concreta que por mi propia opinión.

Mis antepasados fueron inmigrantes Italianos muy pobres que vinieron a “La América” para alejarse de la pobreza y las guerras. Mis abuelos maternos se dedicaban a reparar toneles de vino en Italia y en pocos años y con mucho sacrificio compraron un terreno, un carro playo, dos caballos de tiro, y montaron un galpón con un taller de reparaciones de toneles. Posteriormente edificaron su casa en el mismo lugar que en donde hoy funciona mi escuela.

Mis abuelos paternos eran aun más pobres y se dedicaban a coser camisas viviendo en una pieza alquilada. Cuando mi padre tenía 9 años falleció mi Abuelo paterno y tuvo que abandonar la escuela primaria para ir a trabajar. Y lo hizo en una fábrica de zapatos; una de las primeras fabricas no artesanales, montadas con máquinas modernas. Y lo que no aprendió en la escuela lo aprendió en la fábrica porque siempre tuvo una extraordinaria curiosidad que lo llevó a aprender todos los secretos de esas avanzadas máquinas. A los 16 años era el único oficial múltiple (el que podía manejar todas las máquinas) y como valor agregado también las sabía reparar. Y leía de corrido mejor que sus compañeros porque le gustaba la ciencia ficción (Verne sobre todo).

El mundo de esa época estaba recién conociendo las radios a galena y mi querido viejo visitaba los negocios que las vendían, para mirarlas, porque estaba construyendo una en su casa bajo la mirada dubitativa de mi tía y mi abuela que no sabía lo que estaba haciendo. Mi querido viejo copió todo lo que era de metal y madera y reemplazo el auricular por un teléfono en desuso, que le regalaron por hacer una instalación eléctrica, al auricular le agregó un cono de cartón como amplificador. Pero le faltaba la “piedra de Galena” y no sabía

como obtenerla; hasta que un comerciante que vendía artículos eléctricos y lo veía todos los días mirando la radio de su vidriera le preguntó que problema tenía y compadecido, le regaló una "piedra de Galena". El viejo completó su radio que comenzó a sonar asustando a mi abuela y mi tía que no sabían de este dispositivo de comunicación a distancia.

Por esa época mi padre comenzó a cortejar a mi madre, conocida de la colectividad, ya que mis abuelos eran todos de la misma ciudad de Potenza y visitaban a mi abuela paterna porque era la única de la colectividad que sabía escribir en Italiano. Mi padre terminó la primaria en una escuela para adultos; se casaron y vinieron mi hermana primero y luego yo.

Mi madre era lo que se acostumbraba en esa época. Ama de casa y madre de 24 horas. Mi padre "Salvador" aunque todos lo llamaban "Don Salva" era una cosa excepcional, porque fue padre y maestro de ciencias y literatura. Y es el día de hoy que le doy más valor a lo que el me enseñó, que a todo lo que aprendí en la secundaria y en la terciaria. Porque el me enseñaba a formarme una meta y cumplirla como sea, sin detenerme por ninguna dificultad, primero me explicaba la teoría y luego la plasmaba en la práctica. Al principio experimentábamos en la cocina, que era el lugar donde se comía y se vivía, pero a raíz de los ruidos, olores, chispas y otras calamidades, mi abuela materna nos cedió "el cuartito de arriba"; una pequeña habitación de 2 por 4 que era alternativamente, laboratorio de física, de química, de reparación de artefactos eléctricos y electrónicos (ya estábamos en la época de las radios a válvulas) y armadero de dispositivos que salían en la revista "Hobby" y que yo leía como podía junto con los libros de Verne, porque tenía 6 años y recién estaba aprendiendo a leer; estoy seguro que no hay nadie que pueda decir que aprendió a leer con libros de ciencia ficción y revistas de aficionados a los hobbies.

De ese cuartito salían mis juguetes, porque a mi viejo en esa época no le gustaba (o no podía) comprar nada. El miraba en las juguetería del "Once" que es donde estaba la fábrica de zapatos y plasmaba lo que tenía en su cabeza en "el cuartito de arriba". Y yo era su ayudante; con él aprendí a soldar, a cortar chapa, fundir piezas metálicas, arreglar ventiladores, teléfonos y todo lo que sonaba, iluminaba, o calentaba. Recuerdo, un avión a control remoto, un velero pirata, una lancha de carreras y tantas cosas más que el tiempo borró de mi memoria. Más adelante mejoró su poder adquisitivo por el reconocimiento de los dueños de la fábrica de zapatos y el viejo comenzó a comprar algunas cosas, el mecano; un tren eléctrico, la bicicleta. Ahora Don Salva se dedicaba a armar dispositivos con el mecano, hacer un recorrido fijo para el tren "por adentro del cuartito de arriba" y a adornar la bicicleta. El me enseñó el valor de personalizar las cosas, agregándole algo construido con mis propias manos.

Y llegaron mis 12 años y en esa época era de estilo que al terminar la primaria se le hiciera al hijo la pregunta fundamental "vas a estudiar o a trabajar". Mi hermana había abandonado el 4º año de la escuela comercial a insistencia de su novio que tenía un buen pasar y decía que no hacía falta que estudiara y yo me di cuenta lo importante que era mi respuesta porque era la esperanza de Don Salva. Y mi respuesta fue que quería estudiar electrónica, pero que cuando supiera arreglar radios y televisores quería estudiar y trabajar para obtener práctica y ayudar a pagar los gastos de la casa.

Y me recuerdo a los 15 años trabajando en un taller donde se armaban 4 TVs Wells Gardner por día y yo era el técnico que los probaba y realizaba el servicio técnico. Me recibí en la escuela técnica Nro 28 con medalla de plata al segundo promedio de la promoción, hice el servicio militar como reparador teletipista y al terminar compre el diario Clarín busqué en el suplemento de pedidos, vi un aviso de la empresa Tonomac pidiendo técnicos, me presenté y empecé a trabajar al día siguiente en la línea de producción de una radio a transistores. Y yo pensaba que la mitad de mi sueldo que le daba al viejo ayudaba a mantener la casa; en realidad el abrió una caja de ahorro y depósito a mi nombre cada centavo que le di. Luego sacó plazos fijos y otras inversiones que me devolvió cuando me casé y tuve que comprar mi casa.

Y el viejo me hizo la segunda pregunta de rigor en aquella época al terminar el secundario: ¿vas a seguir estudiando? Y cuando le dije que si observé que se le nublabla la vista pero no lloró. Y yo pensé; si el viejo hubiera podido estudiar....Me inscribí en la Universidad Tecnológica Nacional Regional Bs As.

Al año de trabajo había recorrido todos los puestos de trabajo en las líneas de producción de Tonomac y me destinaron al laboratorio de desarrollo. Y diría que cumplí mi sueño de la teoría y la práctica porque lo que estudiaba en la Tecnológica lo aplicaba en Tonomac. Y además de encontrar el lugar, también encontré la época mas adecuada. En la Argentina estaba comenzando a armarse una pujante industria electrónica de la mano del "Desarrollismo" y yo estaba justo en el medio del ella. Y puedo decir que ayudé a construir esa industria, desde la nada hasta el punto de exportar a toda América incluyendo Brasil, mientras estudiaba ingeniería.

Llegó el día en que me recibí de ingeniero. Y ese día el viejo lloró. Don Salva ya se había jubilado en la zapatería y para no ser menos yo seguía trabajando en Tonomac. Trabajé en el desarrollo de todas las radios modernas; los TV de blanco y negro y los de color. Como había pasado por todas las líneas de producción era el ingeniero más popular de la fábrica y un grupo de técnicos me hizo una propuesta que me cambiaría la vida: ¿por qué no das un curso de electrónica en el comedor? Yo jamás había enseñado, pero pensé en Don Salva. Tenía terminada la primaria acelerada nocturna y era mi maestro de ciencias. Si el me enseñó a mi yo le tengo que enseñar a mis amigos, pensé.

En la empresa tomaron muy bien el tema y casi inmediatamente me autorizaron a dar las clases y recuerdo que me pagaron bastante bien por ellas. Yo las hubiera dado gratis pero al ser pagas me permitía prepararlas mejor, tomarlas más en serio y sentirme un verdadero profesor. El día que comenzaron las clases observe que tenía 40 inscriptos y me agarró el miedo escénico. No podía hablar a pesar de que me había preparado con mucho entusiasmo y había practicado a solas. Hasta que con esfuerzo dije mi primer palabra, y fue algo mágico, me sentí tan bien adelante de mis compañeros explicando lo que yo sabía, que es una de las sensaciones que más recuerdo después de mi casamiento y el nacimiento de mis hijos. Ese día supe que era un "maestro". Podía diseñar mil TVs pero no tendría la misma satisfacción que al dar una clase. Formar a una persona. Muchos de los que estaban en mi primera clase aun vienen a mi escuela. Y otros no se olvidan de llamarme para el día del maestro para recordarme que yo les enseñé a ganarse la vida y me lo quieren agradecer.

Pero llegaron los días tristes en que aquella industria floreciente comenzó a marchitarse por falta de apoyo de los gobiernos militares. Y en la Argentina comenzó el antagonismo "campo o industria" cuando debería ser "campo e industria" y la industria prácticamente desapareció y Tonomac cerró.

Era la época de las zonas francas y yo me prendí en una patriada. Rediseñe un TV y me fui a la provincia de San Luis a radicarme con toda mi familia a transformar un pequeño armadero en una fabrica de TVs y esa fabrica llegó a producir unos 1.000 TVs por mes cuando Philips fabricaba 2.000. Y también monté una escuelita en la fábrica que era lo que mas necesitaba. Hasta que el dueño murió en un accidente.

Estuve a punto de montar otra fabrica en la provincia de San Juan pero ya era prácticamente imposible competir con los TVs importados que no tenían recargos y me quedé sin trabajo y sin posibilidades de trabajar. Fabricando y diseñando... pero el campo de la enseñanza era inmenso. Yo había escrito algunos manuales técnicos de TV, los junté y me fui a ver al director de la única revista de electrónica que quedaba en la Argentina: Saber Electrónica. El ingeniero Vallejo leyó algunas páginas salteadas de los manuales y me dijo: "De aquí en más la revista va a publicar un artículo tuyo todos los meses. Elegí el tema."

Y mi primer artículo fue "Los asesinos andan sueltos" que fue una serie en la cual explicaba en forma novelada porque fallaban los TVs. Ya no recuerdo cuantos años pasaron pero jamás faltó un artículo mío en la revista Saber y durante muchos años escribí dos por mes. Y llegó mi primer libro para venta en kioscos, también en Saber, que fue "La video enciclopedia". Mi primer libro para venta en librerías fue para otra editorial Argentina, pero eso ya es historia reciente. Como sea, llegaron 43 libros más y cuando ya creí que no había mas sorpresas me viene a ver un joven Uruguayo llamado Mauricio Etcheverry y me propone escribir un eBook sobre LCD y Plasma.

Con mi gran intuición para los negocios pensé que no se vendería; que todo el mundo lo copiaría y mis sabias palabras fueron "vas a vender un libro por provincia". Me equivoqué dos veces al mismo tiempo. Si ya tenía un poco de fama en la Argentina por todo mi trabajo en el país, YoReparo.com me hizo famoso en el mundo de habla Hispana. Cuando me llegan los correos electronicos y me entero de que países del mundo llegan, les aseguro que mas de una vez tuve que recurrir a Internet para saber donde quedaba un ignoto país. ¿Y Don Salva? Don Salva esta en el cielo, observando la felicidad de su hijo cada vez que publica un libro o comienza un curso en su escuela; no en la mía, en la de él, porque la escuela está en "su casa". Allí donde el me enseñaba. En cada libro y en cada clase está su alma y el lee sobre mis hombros y si es algo muy teórico; me golpea en el hombro y yo escribo la aplicación de esa teoría. El hombre es su propia conciencia y el medio ambiente que lo rodea; yo en mi caso agregaría y el alma de Don Salva.

Técnicas Digitales

A la venta exclusivamente en YoReparo.com
<http://www.yoreparo.com/libros/tecnicas-digitales/>

COMPRAR



¿Consultas?

✉ libros@yoreparo.com

Descarga de archivos

Descargue los 22 circuitos para simular en Multisim desde:

<http://www.yoreparo.com/libros/descargas>

DESCARGAR ↓

Nota: Los archivos .ms9 se abren con [Multisim](#). Si no sabe cómo se usa el programa, puede hacer una pregunta en el [foro de simuladores de circuitos](#) en YoReparo o consultar los siguientes tutoriales del Ing. Alberto Picerno:

- ▶ [Introducción a los simuladores de circuitos](#)
- ▶ [Introducción al Multisim](#)
- ▶ [Dibujo de un circuito sencillo en Multisim](#)
- ▶ [Instrumental en Multisim](#)
- ▶ [Capturas de esquemáticos con Multisim](#)

¿Consultas?

 **libros@yoreparo.com**