

Comprensión de las Especificaciones de Exactitud e Instrumentos Basados en Computadoras

por Paul Packebush
[National Instruments](#)

Paul Packebush dirige el grupo de Sustaining Engineering de NI, responsable por el rediseño y mantenimiento de productos de hardware existentes. Durante su permanencia en NI ha desarrollado sistemas de calibración automática y de ensayos.
paul.packebush@ni.com

Parte I

Tabla de Contenidos:

- [Introducción](#)
- [Revisión de la Instrumentación Basada en Computadoras](#)
- [Comprensión de las Fuentes de Inexactitudes](#)
- [No-linealidad diferencial](#)
- [Determinación del DNL](#)
- [Conclusión](#)
- [Autores adicionales](#)

Los sistemas modernos de medición resultan beneficiados por el poder de instrumentos basados en computadoras, de alta exactitud y bajo costo. Estos sistemas conjugan la funcionalidad de ser configurables por el usuario con la posibilidad de reutilizar componentes. Sin embargo, cuando se diseña un sistema de medición, se debe asegurar que los datos que se están adquiriendo sean exactos y confiables. Para ello se necesita comprender la exactitud del hardware de los instrumentos basados en computadoras. Esta serie de tres capítulos ayudará a comprender las modernas especificaciones de exactitud y los instrumentos basados en computadoras.

Introducción

Se debe tener en cuenta que un instrumento basado en computadora pobremente diseñado que utilice un conversor analógico-digital (ADC) de 16 bits no se puede comportar mejor que uno diseñado adecuadamente que posea un ADC de 12 bits. En realidad, un instrumento basado en computadora con un ADC de 16 bits puede ser menos exacto que uno con un ADC de 12 bits. Se deben analizar las especificaciones para asegurarse que se está utilizando un producto de calidad. Además, no existen normas para especificar la exactitud del hardware de un instrumento basado en computadora. Por consiguiente, los diferentes fabricantes a menudo enumeran las especificaciones que colocan a su producto de la mejor manera.

Un desarrollador necesita comprender la exactitud de la medición, para ello se necesita tener especificaciones que vayan más allá de la resolución del ADC. Se necesitan tablas detalladas de exactitudes absolutas o se requiere ser capaz de deducir la exactitud del producto a partir de las especificaciones publicadas. Cuando un fabricante no provee especificaciones o se necesita verificarlas, se pueden realizar algunos ensayos básicos para determinar las especificaciones del instrumento.

Revisión de los Instrumentos Basados en Computadora

Un instrumento típico puede utilizar un multiplexor (MUX) para adquirir datos desde varios canales de entrada. Utilizando esta arquitectura, un instrumento puede adquirir datos provenientes de un gran número de canales sin que se requiera costo adicional de agregar amplificadores de instrumentación de ganancia (Puyas) y ADCs para cada canal. A continuación del MUX se encuentra un terminal analógico, conformado por un PGIA, que es responsable de entregar las señales medidas al ADC. Éste luego requiere tanto un almacenamiento dedicado inmediato para sus datos, esto es, un FIFO (primero-en-llegar primero-en-salir), así como también temporización (“timing”) digital y control de señales. También se requiere una temporización y sincronización para controlar las interacciones entre el FIFO, el controlador de tráfico (“bus controller”) y cualquier otra señal de temporización externa. Finalmente, el controlador de tráfico provee una vía de comunicación de alta velocidad hacia algún otro lugar, tal como la memoria de la computadora que oficia de anfitrión (“host”).

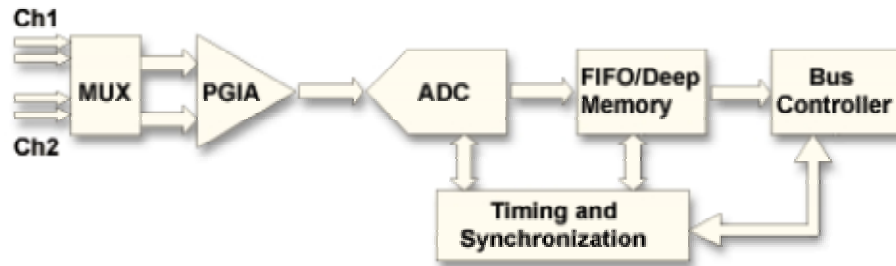


Figura 1. Revisión de un Instrumento Basado en Computadora

En un sistema ideal de medición basado en computadora, cualquier medición física es convertida inmediatamente y transferida a la computadora sin pérdida de información de datos. En este sistema ideal la etapa de amplificación del PGIA no agrega ningún error a los datos y no hay pérdida o corrupción de datos durante la conversión del dominio analógico al digital dentro del ADC. En este tipo de sistema también se puede cambiar entre cualquier número de señales de entrada – en cualquier rango de entradas – y reproducir fielmente los datos.

Si bien sería grato que un instrumento basado en computadora trabajara de manera ideal, se sabe que los componentes reales de un instrumento no son ideales. Esto lleva a que aparezcan inexactitudes dentro de la señal medida. Las mismas se deben a componentes hallados en la vía de la señal, tales como el PGIA, el ADC y ruido del sistema del propio instrumento.

Comprensión de las Fuentes de Inexactitudes

Cuando un valor medido se desvía de su valor real, definido por la función de transferencia del instrumento, se debe tener una indicación clara que la medición de un instrumento basado en computadora no es exacta. En general, a medida que el voltaje de entrada del instrumento se eleva, los códigos de salida del ADC deberían incrementarse linealmente. Cualquier desviación de esta respuesta tipo escalera “voltaje versus código” resulta en mediciones inexactas. La no-linealidad diferencial y la exactitud relativa del instrumento caracterizan esta desviación de la respuesta ideal.

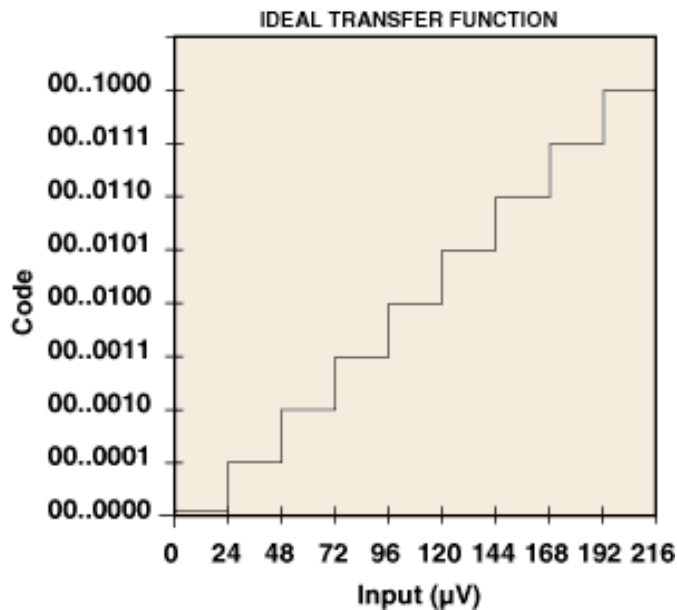


Figura 2. Función de Transferencia Ideal de un ADC

El ruido del instrumento también puede producir inexactitudes. Éstas resultan en una señal convertida que está compuesta de la medición original más el ruido.

Finalmente, cuando se determina una medición exacta, se necesita considerar el tiempo de estabilización del instrumento para la arquitectura con multiplexor. Debido a que el PGIA y el ADC se comparten entre múltiples canales, debe haber un tiempo apropiado para que las entradas se estabilicen al valor correcto antes que el ADC convierta las mediciones. Si la señal no se ha estabilizado a su valor real, el instrumento convierte y retorna una lectura incorrecta.

Es importante comprender las fuentes de estas inexactitudes cuando se determina si el instrumento basado en computadora cumple con los requerimientos de medición. No obstante ello, puede haber una tentación de verificar esta información con el propio instrumento. En las siguientes secciones se explican con más detalles estas fuentes de inexactitud y se dan ejemplos de cómo verificarlas.

No-linealidad Diferencial

A medida que el voltaje de entrada al ADC se incrementa, los códigos digitales de salida producidos por él también se incrementan (ver Figura 2). En el caso de un ADC ideal, esta función de transferencia “voltaje vs. Código” se asemeja a una escalera en la cual ningún escalón es más alto o ancho que otro escalón. Se puede calcular este escalón, denominado como ancho de código, del siguiente modo:

$$\text{Ancho de Código} = (\text{Rango de Voltaje de Entrada}) / 2^n$$

donde “n” representa la resolución en bits del ADC.

Por ejemplo, un instrumento de 16 bits basado en computadora con un rango de entrada de 0 a 10 V posee un ancho de código calculado como $(10 \text{ V}) / 2^{16} \text{ códigos} = 153 \text{ } \mu\text{V}$ por código. En este ejemplo, $153 \text{ } \mu\text{V}$ equivale a un bit menos significativo (LSB) para este instrumento. Esto significa que el ancho de cada escalón es de $153 \text{ } \mu\text{V}$. En este ejemplo, el instrumento basado en computadora puede digitalizar, idealmente, señales de entrada que varíen en $153 \text{ } \mu\text{V}$, como mínimo. Variaciones menores a esa pueden no ser detectadas por el ADC.

El ancho de código de un instrumento basado en computadora no posee límites superiores de ningún tipo. Sin embargo, nunca puede ser inferior a 0 LSB. Un ancho de código de 0, o casi 0 LSB, representa un código perdido. En la Figura 3 se puede ver el ejemplo de cómo afecta un código perdido a la linealidad de la función de transferencia del instrumento.

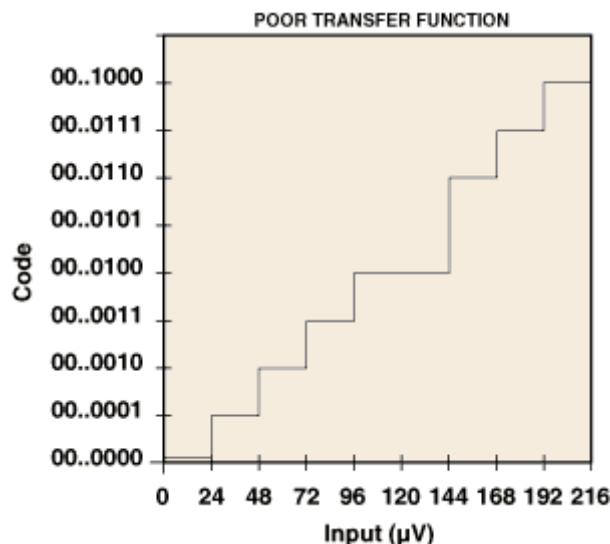


Figura 3. Función de Transferencia con un Código Perdido.

En la Figura 3 se puede observar que está perdido el código 00..0101. En otras palabras, no existe voltaje de entrada que haga que el ADC emita una salida para este valor digital en particular, lo cual significa que el instrumento no vería la diferencia entre una entrada de $100 \text{ } \mu\text{V}$ o una entrada de $140 \text{ } \mu\text{V}$, aún cuando la diferencia de $40 \text{ } \mu\text{V}$ es muy superior al valor LSB correspondiente a $24 \text{ } \mu\text{V}$. Cada código perdido es un escalón menos en la función de transferencia lo que significa que un instrumento de 16 bits que puede digitalizar voltajes mediante 65536 escalones técnicamente ya no puede operar a 16 bits si hay códigos faltantes.

El término no-linealidad diferencial (DNL) es utilizado para cuantificar cómo el ancho de código afecta la exactitud de las mediciones. El DNL es una medida en LSB de la peor desviación del ancho de código de su valor ideal de 1 LSB. Un instrumento perfecto basado en computadora posee un DNL de 0 LSB. No obstante ello, en la realidad se puede esperar que instrumentos basados en computadora tengan DNLs de +/-0.5 LSB. En algunos casos el DNL se especifica estableciendo que el instrumento no posea códigos perdidos. Esta especificación significa que el DNL posee un límite inferior menor de -1 LSB y no establece nada acerca de sus límites superiores.

Determinación del DNL

El ensayo del DNL de un instrumento basado en computadora es muy directo, no obstante lo cual requiere una fuente de señal que pueda proveer una onda triangular altamente lineal. En realidad, cualquier forma de onda servirá dado que está caracterizada de manera precisa – alguna gente utiliza ondas sinusoidales debido a que son algo más fáciles de generar y su forma no es afectada por la respuesta en frecuencia del sistema. La mayor ventaja de la onda triangular es que torna los cálculos más simples. La exactitud de los resultados puede estar limitada por la linealidad de la onda triangular. Para obtener resultados precisos del DNL a un X porcentaje de un LSB, la pendiente de la onda triangular debe ser constante dentro de un X porcentaje sobre todo el rango de códigos del ADC. Por ejemplo, para obtener resultados del DNL que sean exactos dentro de un 0,01 LSB, la pendiente de la onda triangular debería ser constante dentro del 1% sobre todo el rango de códigos del ADC. La onda triangular barre todo el rango de entradas del instrumento basado en computadora, generando una distribución uniforme entre los códigos del ADC (para otros tipos de forma de onda, tales como sinusoidales, debe esperarse una distribución diferente). La frecuencia de la onda triangular debería conservarse varios órdenes de magnitud inferior al ancho de banda de entrada del instrumento, de otro modo los bordes de la onda triangular pueden resultar atenuados y no se recibirá una distribución uniforme en todo el rango de códigos del ADC.

Los pasos requeridos para determinar el DNL de un instrumento basado en computadora se detallan a continuación:

1. Conectar la onda triangular al canal de entrada y asegurar que la amplitud de la señal oscile suavemente más allá del rango a fondo de escala, positivo y negativo, para el canal. Por ejemplo, si el rango a fondo de escala fuera +/-5 V, la onda triangular debería oscilar alrededor de +/-5,2 V.
2. Comenzar la adquisición del canal seleccionado utilizando la máxima velocidad de muestreo permitida para el instrumento (Nota: algunas arquitecturas de ADC pueden tener un DNL que es función de la velocidad de muestreo, por lo que el usuario puede no estar interesado en el DNL para una velocidad distinta que la máxima. En tal caso, se debe elegir la velocidad de muestreo de interés del usuario. Se recomienda simplemente la velocidad máxima de muestreo ya que acelera el proceso). Adquirir al menor 1.000.000 muestras para un instrumento de 12 bits y 20.000.000 para uno de 16 bits. Obtener los códigos binarios reales que son entregados por el instrumento, no las lecturas de voltaje dadas por el instrumento.
3. Crear un histograma de los códigos binarios adquiridos durante contando cada ocurrencia de código binario. Para un instrumento de 16 bits el histograma posee 2^{16} intervalos y cada intervalo contiene el número de veces que fue contado un código binario dado. Los códigos máximos y mínimos deberán ignorarse ya que poseen un número de ocurrencias desproporcionadamente alto.
4. Bajo condiciones ideales, cada intervalo debería tener el número exacto de ocurrencias; esto se debe a que la onda triangular debería barrer todos los códigos posibles a lo largo del rango de entradas del instrumento. Puesto el instrumento no es ideal, se deberán constatar posibles desviaciones de los datos. Para esto se deberá normalizar los datos contando el número de ocurrencia en todos los intervalos y dividirlo por el número de intervalos para obtener el valor medio de ocurrencias por intervalo. Luego se dividirá el número de ocurrencias en cada intervalo por ese valor medio, lo que proveerá un valor normalizado en LSBs. Este valor normalizado representa la probabilidad de que una ocurrencia particular va a suceder en cada intervalo. Dado que esta medida se da en LSBs, también representa el ancho de código.
5. A fin de determinar el DNL del instrumento, se deberá restar 1 LSB de cada valor normalizado de intervalo, lo cual provee la peor desviación del ancho de código del valor ideal en cada intervalo. Ahora se deberá buscar la mayor desviación, la cual representa el valor real del DNL del instrumento.

Parte II

Tabla de Contenidos:

- [Comprensión de la Exactitud Relativa](#)
- [Determinación de la Exactitud Relativa](#)
- [Comprensión del Tiempo de Estabilización](#)
- [Determinación del Tiempo de Estabilización](#)
- [Conclusión](#)
- [Autores adicionales](#)

En la **Parte I** se dio un repaso de los instrumentos basados en computadoras y cómo pueden ocurrir inexactitudes en las transferencias analógicas a digitales (ADC). Ahora se expandirá la comprensión de las fuentes de inexactitudes explicando cómo son afectadas las mediciones por la exactitud relativa y el tiempo de estabilización.

Comprensión de la Exactitud Relativa

La exactitud relativa es una medida, en LSBs, de la peor desviación de la función de transferencia de los instrumentos con respecto a una línea recta. La exactitud relativa asegura la exactitud de la conversión desde los valores reales de voltaje a código binario. En otras palabras, si se tomara una función de transferencia ideal tal como la que se muestra:

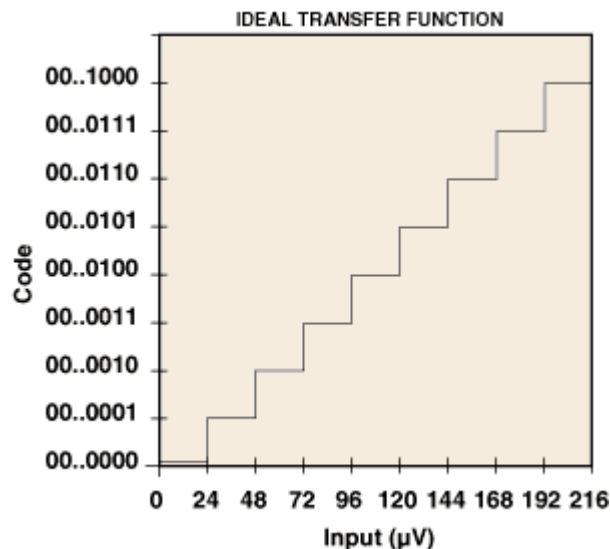


Figura 1. Función de Transferencia Ideal

y se colocara una línea recta a través del escalón horizontal de cada código, debería esperarse obtener una línea recta desde el primero al último código. La Figura 2 es un ejemplo de una función teórica en línea recta obtenida de un instrumento basado en computadora de 16 bits.

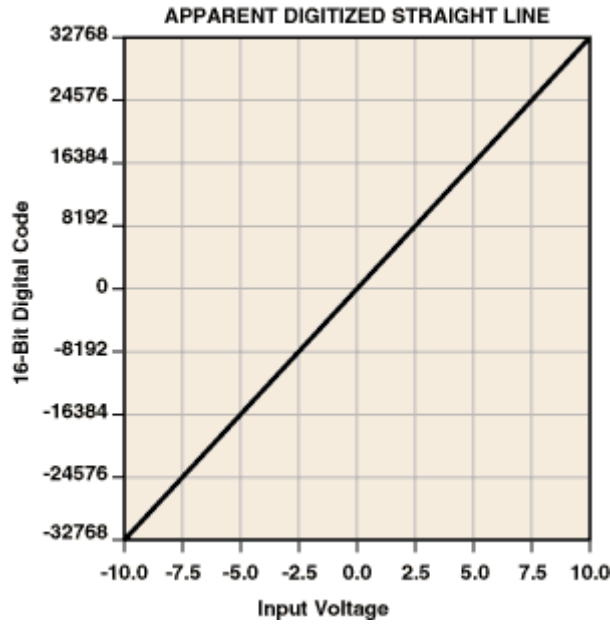


Figure 2. Línea Recta Digitalizada

En la realidad, sin embargo, si se dibuja una línea entre los escalones horizontales, no será una línea recta. En lugar de ello, ocurrirá alguna desviación. La máxima desviación se denomina como la exactitud relativa del instrumento. La Figura 3 muestra las desviaciones halladas en un típico instrumento basado en computadora. Nótese que la peor desviación es de 0,5 LSB, por lo tanto, se puede decir que este instrumento posee una exactitud relativa de 0,5 LSB.

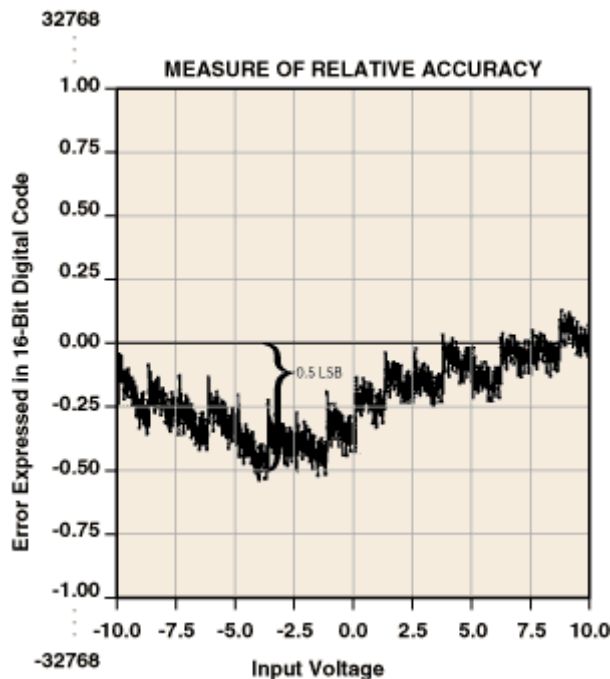


Figura 3. Medición de la Exactitud Relativa de un Instrumento Basado en Computadora

Para obtener una buena exactitud relativa se requiere un diseño adecuado, tanto del ADC como del circuito analógico circundante.

Determinación de la Exactitud Relativa

A fin de verificar la exactitud relativa de un instrumento basado en computadora, se debe tener una fuente de voltaje que sea capaz de generar señales que cubran todo el rango de entradas del instrumento. Esta fuente de voltaje debe ser mucho más precisa que el instrumento, lo cual significa que se necesita una fuente que sea, al menos, exacta a 50 ppm para instrumentos de 12 bits y 10 ppm para los de 16 bits.

Para determinar la exactitud relativa de un instrumento basado en computadora se deben seguir los siguientes pasos:

1. Conecte la fuente al canal del instrumento basado en computadora. Configure la fuente para que genere una salida de nivel de voltaje que esté cerca del fondo de escala negativo de entrada del instrumento.
2. Barra la fuente de voltaje desde el fondo de escala negativo al positivo. Para un instrumento de 16 bits utilice incrementos entre 10.000 y 30.000 para todo el rango de escala. Para instrumentos de 12 bits, utilice incrementos de 1.000 para todo el rango de escala.
3. Una vez adquiridos todos los datos, cree un gráfico de voltaje de entrada versus códigos digitales. Idealmente, este gráfico debería formar una línea recta.
4. Para determinar las desviaciones de la línea recta ideal, se deben comparar los datos adquiridos con una línea recta ideal. Para crear ésta se debe utilizar los valores de voltaje positivos y negativos de fondo de escala y los pares de código de la adquisición como puntos inicial y final de la recta ideal. Por ejemplo, si el valor negativo a fondo de escala medido fue el código -32.750 a un voltaje de entrada de -9,99 V, entonces el punto final utilizado para el fondo de escala negativo de la recta ideal también debe ser -9,99 V con un código de -32.750. Cuando se trata de determinar cuáles son los valores positivo y negativo a fondo de escala, se debe tener cuidado. En el ejemplo anterior, si -9,99 V se convirtieron digitalmente en -32.768 también se debería obtener el mismo valor digital si la entrada fuera -10 o -12 V dado que se estaría en el límite negativo a fondo de escala. Dependiendo del monto de "dither" y ruido del sistema, los efectos de "fringe" cerca de los rieles puede tornar difícil la determinación precisa del voltaje analógico correspondiente al fondo de escala negativo. En tal caso, es correcto permanecer unos pocos LSBs apartados de los fondos de escala positivos y negativos y utilizarlos como los extremos de la recta.
5. Dibuje la diferencia entre la recta ideal y la real obtenida para el instrumento. La máxima desviación desde 0 representa la exactitud relativa del instrumento.

Comprensión del Tiempo de Estabilización

Una señal muestreada por un instrumento basado en computadora pasa a menudo a través de un cierto número de etapas antes de ser digitalizado. La figura siguiente provee un buen ejemplo de etapas de entrada – la señal pasa a través de un multiplexor y un amplificador de instrumentación antes de alcanzar el ADC. Cuando la señal de entrada varía de nivel (especialmente debido al cambio del MUX a un canal diferente), estas etapas deben rastrear los cambios o será digitalizada la señal errónea. Para asegurarse que es el valor correcto el digitalizado, el instrumento basado en computadora debe aguardar que todos los componentes de entrada se estabilicen al valor del voltaje de entrada antes de digitalizar la señal. El tiempo requerido para que las etapas de entrada se estabilicen se denomina tiempo de estabilización del instrumento.

En este documento, el término "tiempo de estabilización" se asocia con instrumentos que siguen la arquitectura de multiplexor descrita en la Parte I. En este caso, el interés se concentra en el tiempo que toma a las etapas de las entradas analógicas estabilizarse a un nuevo valor una vez que se selecciona un nuevo canal a partir del MUX. El tiempo de estabilización impone un límite acerca de cuán rápido un instrumento puede repasar ("scan") sus canales. El caso límite ocurre cuando canales adyacentes difieren por un gran voltaje; tal salto ejercita la respuesta al gran escalón de señal del PGIA y del ADC. Se debe notar que el término

“tiempo de estabilización” puede también aplicarse a sistemas sin multiplexor y se caracteriza como la respuesta al escalón de entrada. En tal caso, el usuario está a menudo interesado en los datos adquiridos durante la transición en lugar que sólo el valor de corriente continua luego de que el sistema se ha estabilizado.

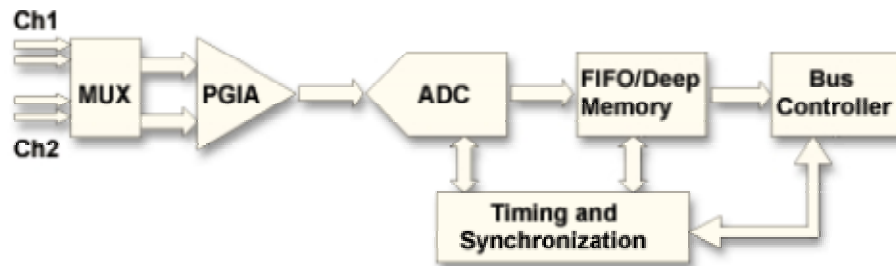


Figura 4. Esquema de un Instrumento Basado en Computadora

Todas las etapas de entrada contribuyen al tiempo de estabilización, esto significa que se necesita considerar la capacitancia parásita en el multiplexor (MUX), el “slew rate” y las limitaciones del ancho de banda del amplificador de ganancia programable (PGIA) y el tiempo de estabilización del propio ADC.

A medida que se incrementa las diferencias de voltaje entre canales y aumenta la velocidad de muestreo el tiempo de estabilización se convierte en un tema importante dado que las etapas de entrada deben rastrear diferencias de voltaje más grandes en un período más corto. Idealmente, el fabricante diseñó el circuito temporizador de su instrumento para compensar el tiempo de estabilización requerido antes de digitalizar la señal de entrada. Esto asegura que se recibirán datos válidos sin importar qué velocidad de muestreo o voltaje de entrada se elija. Sin embargo, si el fabricante no garantiza que todas las velocidades de muestreo pueden proveer datos de calidad, o si uno desea confirmarlos, se pueden realizar algunos ensayos simples.

Determinación del Tiempo de Estabilización

Para determinar el tiempo de estabilización del instrumento basado en computadora, se necesita una fuente que provea señales cerca de los niveles máximos y mínimos de entrada del instrumento. Se debe asegurar que la impedancia de salida de la fuente sea muy baja en todas las frecuencias a fin de que no se afecte negativamente el tiempo de estabilización. Se debe variar el instrumento entre estos dos niveles para determinar cuánto tiempo toma al proceso de entrada para estabilizarse antes que se obtenga un resultado. Se deben seguir los siguientes pasos para determinar el tiempo de estabilización del instrumento:

1. Conecte una señal que se encuentre cerca del fondo de escala positivo de un canal del instrumento.
2. Conecte una señal que se encuentre cerca del fondo de escala negativo de otro canal del instrumento.
3. Programe el instrumento para adquirir 1.000 datos a la velocidad de muestreo deseada en el primer canal. A fin de observar tiempo de estabilización en LSBs, registre los códigos binarios entregados por el instrumento en lugar de los valores reales de voltaje. El promedio de estos 1.000 datos representa el valor entregado por el instrumento cuando mide una señal cerca del fondo de escala positivo y el proceso de entrada se ha estabilizado.
4. Programe el instrumento para adquirir 1.000 datos a la velocidad de muestreo deseada en el segundo canal. A fin de observar tiempo de estabilización en LSBs, registre los códigos binarios entregados por el instrumento en lugar de los valores reales de voltaje. El promedio de estos 1.000 datos representa el valor entregado por el instrumento cuando mide una señal cerca del fondo de escala negativo y el proceso de entrada se ha estabilizado.
5. Programe ahora el instrumento para cambiar entre los dos canales, adquiriendo 100 datos a una velocidad de muestreo deseada. Esto fuerza al instrumento para cambiar entre dos niveles de entrada muy diferentes, exponiendo el tiempo requerido para que el proceso de entrada se estabilice. Nuevamente, registre los códigos binarios entregados por el instrumento, no los valores reales de voltaje.



6. Promedie al menos 100 datos de cada canal. La diferencia entre los valores de los canales simples en los pasos 3 y 4 y los valores del paso 5 representan el error del tiempo de estabilización del instrumento a la dada velocidad de muestreo.
7. Para realizar gráficos del tiempo de estabilización, repita los pasos 4 a 6 para diferentes velocidades de muestreo y ganancias multicanales.

Parte III

Table of Contents:

- [Comprensión de las Contribuciones al Ruido del Sistema](#)
- [Determinación del Ruido del Sistema](#)
- [Agregando "All Up" o Exactitud Absoluta](#)
- [Verificación de la Exactitud Absoluta](#)
- [Asegurar la Exactitud mediante Calibración](#)
- [Comprensión de la Calibración Externa](#)
- [Comprensión de la Calibración Interna](#)
- [Colocar Todo Junto](#)
- [Autores Adicionales](#)

En la Parte II se descubrió cómo la exactitud relativa y el tiempo de estabilización afectan la exactitud total de las mediciones. En la Parte III se aprenderá cómo el ruido del sistema contribuye con inexactitudes así como también todas las diversas fuentes de inexactitudes que afectan al instrumento. También se descubrirá cómo determinar la exactitud absoluta y cómo asegurar la exactitud mediante la calibración.

Comprensión de las Contribuciones al Ruido del Sistema

Idealmente, una señal que es digitalizada y entregada por un instrumento basado en computadora es la misma señal que es ingresada al instrumento. Frecuentemente se pueden atribuir las diferencias entre las señales de entrada y salida al ruido del sistema, el cual proviene de un diverso número de fuentes, incluyendo el medio ambiente y el instrumento mismo.

El diseño de un instrumento basado en computadora requiere que se comprenda la instrumentación, el diseño del circuito y el medio ambiente computacional. Si no se entienden las preocupaciones relativas al diseño, tales como la interferencia electromagnética (EMI), manejo de la fuente de potencia, puesta a tierra y la configuración electrónica, entonces no se puede diseñar un instrumento que sea exacto dentro de un medio ambiente eléctricamente ruidoso.

Determinación del Ruido del Sistema

Dado que no requiere un equipamiento especial, el ruido del sistema es tal vez el ensayo más fácil que se puede realizar sobre un instrumento basado en computadora. Primeramente se deben poner a tierra las entradas del instrumento y medir cualquier señal de ruido remanente.

Se deben seguir los siguientes pasos para determinar el ruido del sistema de un instrumento basado en computadora:

1. Seleccione un canal de entrada del instrumento y conecte las entradas positivas y negativas a la tierra del mismo. Se deberán conectar las entradas del conector del instrumento tan cerca del conector como sea posible a fin de reducir cualquier acoplamiento de ruido externo sobre la conexión.
2. Configure el instrumento para adquirir un millón o más de datos a la deseada velocidad de muestreo. Repase sólo los códigos binarios entregados por el instrumento.
3. Ahora cuente cada vez que ocurre un código binario y coloque la información en un histograma. Para un instrumento de 16 bits, su histograma posee 2^{16} intervalos y cada intervalo contiene la cantidad de veces que fue contado el código binario en particular.
4. Luego se deberá normalizar los datos adquiridos. Bajo condiciones ideales* sólo el intervalo en cero contiene cualquier dato. Debido a que el instrumento no es ideal, se deberán buscar las desviaciones de los datos con respecto al cero. Para normalizar los datos se debe dividir el número de ocurrencias en cada intervalo por el número total de muestras adquiridas. Esto provee un valor normalizado que representa la probabilidad de ocurrencia de un código en particular.

5. El gráfico de los datos normalizados muestra la probabilidad de que un dado código aparezca en la medición.
6. Para determinar el peor ruido, se debe encontrar el código que posea la mayor probabilidad y compararlo con el código que se halle más lejos y posea la menor probabilidad. La diferencia entre los dos en LSBs es el mayor ruido del instrumento.

* Lo que se entiende como “ideal” en este caso es un sistema sin ruido. Sin embargo, tal sistema podría no ser necesariamente el mejor para una aplicación particular. Cuando se digitalizan datos analógicos, usualmente se adiciona ruido (Gaussiano por lo general) a la señal a fin de utilizar análisis estadístico (usualmente una promediación) y poder conseguir una mejor resolución que la que posee el chip ADC. Esta práctica de agregar ruido es denominada “dithering”. En este sentido, un pequeño ruido (hasta algunos pocos LSBs) no siempre es algo malo. Sin embargo, por lo general se prefiere que el ruido no posea estructura (en otras palabras, que su espectro de frecuencia esté libre de picos). La mayoría de los tipos de ruido pueden eventualmente ser promediados pero si éste requiere varios segundos de promediación (de no demasiado largo alcance en el caso del ruido de línea significativo de 60 Hz) entonces la velocidad efectiva de muestreo se torna inaceptable.

A modo de ejemplo, la Figura 1 muestra los gráficos de ruido de dos instrumentos basados en computadora utilizando el mismo convertidor analógico-digital (ADC) de 16 bits. La Figura 1^a muestra la distribución que posee una mayor probabilidad en 0, la cual es deseada, con un pequeño número de puntos ocurriendo en otros códigos. A partir de este gráfico es fácil observar que el nivel pico de ruido está dentro de los +/- 3 LSB. La Figura 1b representa un instrumento que posee un nivel pico de ruido que se halla dentro de los +/- 20 LSB y un gran número de puntos distribuidos en códigos distintos de cero. Esto representa un instrumento que sufre problemas de ruido del sistema.

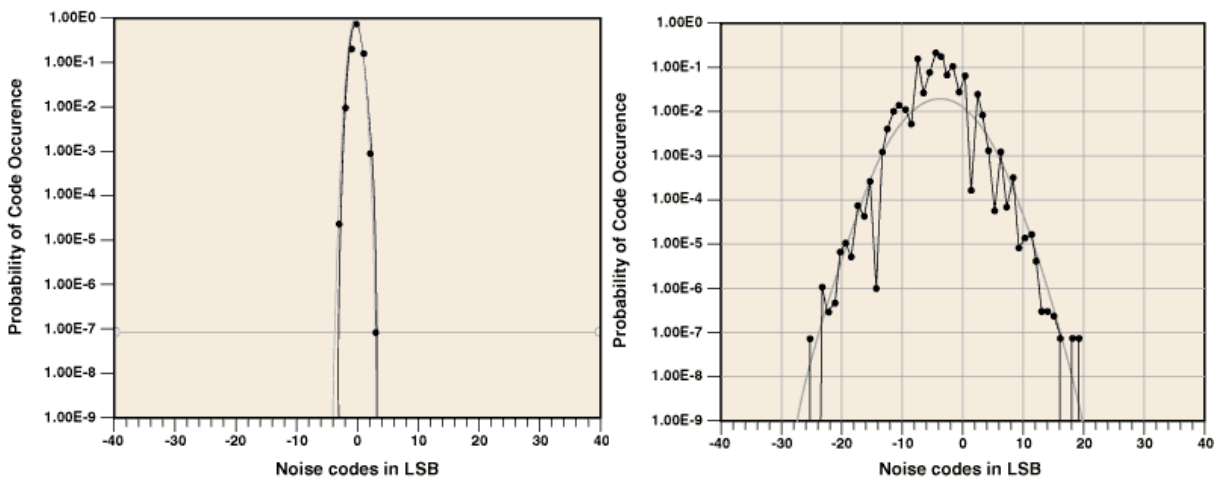


Figura 1. Probabilidad de Ruido del Sistema

Agregando “All Up” o Exactitud Absoluta

Hasta aquí la discusión se centró en la comprensión de las causas individuales de las inexactitudes de medición de un instrumento. Es importante entender cada causa individualmente, no obstante lo cual, se deben combinar todos estos efectos para comprender la exactitud total, o absoluta, del instrumento.

La inexactitud absoluta de un instrumento basado en computadora es la máxima diferencia entre el valor medido entregado por el instrumento y el valor real aplicado en su entrada. Típicamente, un fabricante provee información de la exactitud absoluta para cada rango de entradas y modos que el instrumento puede manejar. Esta información es a menudo mostrada en una tabla, tal como la Tabla 1.

Range	24 Hour (25 °C ± 1 °C)	90 Day (25 °C ± 10 °C)	1 Year (25 °C ± 10 °C)
250.000 V	0.0032% ± 4.9 mV	0.021% ± 49 mV	0.024% ± 49 mV
25.0000 V	0.0032% ± 4.9 mV	0.021% ± 49 mV	0.024% ± 49 mV
2.00000 V	0.0029% ± 37 µV	0.014% ± 260 µV	0.017% ± 260 µV
200.000 mV	0.0029% ± 27 µV	0.014% ± 250 µV	0.017% ± 250 µV
20.0000 mV	0.0029% ± 27 µV	0.014% ± 250 µV	0.017% ± 250 µV

Tabla 1. Tabla de Exactitud Absoluta para el NI 4050

De la Tabla 1 se puede determinar que la exactitud absoluta es:

$$\text{Exactitud absoluta} = \text{señal entrada} \times \% \text{lectura} \pm \text{offset}$$

Seleccionando el rango de entradas apropiado para la señal, es fácil calcular la exactitud absoluta de la medición. Como ejemplo, supóngase que se está midiendo una señal de 1,5 V y se requiere conocer la exactitud absoluta de la medición. De la tabla anterior, debería elegirse un rango de 2 V y calcular la exactitud absoluta como:

$$\text{Exactitud Absoluta} = 1,5 \text{ V} (0,0029\%) \pm 37 \mu\text{V}$$

$$\text{Exactitud Absoluta} = 80,5 \mu\text{V}$$

Por consiguiente, cuando se mida una señal de 1,5 V, el valor entregado por el instrumento será $1,5 \text{ V} \pm 80,5 \mu\text{V}$.

Las tablas de exactitud absoluta a menudo incluyen información de la exactitud basadas en el período transcurrido desde la última calibración del instrumento. Esto se representa en las columnas de 24 horas, 90 días y 1 año. A partir de esta información, se puede determinar la exactitud absoluta del instrumento a lo largo de un cierto tiempo. Esta variación de la exactitud con el transcurso del tiempo se debe a la deriva de los componentes electrónicos que constituyen el instrumento. Para tener en cuenta esta deriva, se debe calibrar el instrumento a intervalos determinados.

Verificación de la Exactitud Absoluta

La verificación de las especificaciones publicadas de la exactitud absoluta de un instrumento requiere el uso de normas precisas que sean cuatro a diez veces más exactas que el instrumento bajo análisis. Esto significa que se necesita una fuente que posea, al menos, una precisión de 50 ppm (0,005%) para instrumentos de 12 bits y 50 ppm (0,001%) para instrumentos de 16 bits.

Para verificar la exactitud absoluta de un instrumento basado en computadora, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Utilice la tabla de exactitud absoluta proporcionada por el fabricante y calcule la exactitud para una dada entrada. En muchos casos, se eligen puntos de ensayo cerca de los fondos de escala negativos y positivos del rango de entrada así como también el cero.
2. Utilice una fuente de precisión y entre el valor a ensayar al instrumento.
3. Compare las mediciones del instrumento con la exactitud calculada en el paso 1. Un instrumento diseñado adecuadamente que se halla calibrado provee resultados de mediciones que cumplen con las especificaciones de exactitud absoluta publicadas.

Asegurar la Exactitud Mediante la Calibración

Las especificaciones de exactitud absolutas ayudan a determinar la incertidumbre general de las mediciones, sólo si se utilizan instrumentos calibrados exitosamente. La habilidad del instrumento para medir con exactitud una magnitud física varía con una serie de factores, tales como: tiempo en servicio, temperatura, humedad, exposición al medio ambiente y abuso. La calibración cuantifica la incertidumbre en la medición comparando las mediciones con una norma conocida. Esto verifica que el instrumento se halla operando dentro de especificaciones establecidas.

Durante algún tiempo los usuarios comprendieron la necesidad de calibrar instrumentos tradicionales. Los mismos principios se aplican a mediciones realizadas con computadoras. Se deberían seleccionar instrumentos basados en computadora que provean herramientas para realizar tanto calibraciones internas, conocidas como auto-calibraciones, como externas.

Las opciones de calibración externa e interna ofrecen dos beneficios diferentes: con la calibración externa se puede asegurar que la exactitud de la medición está sujeta a una norma conocida. Con la calibración interna, se puede ajustar el instrumento para ser utilizado en medios ambientes diferentes a los cuales se realizó la calibración externa.

Comprensión de la Calibración Externa

La calibración externa requiere el uso de fuentes de alta precisión, también conocidas como patrones. Durante una calibración externa, las constantes de calibración a bordo y las referencias se ajustan con respecto a las constantes patrón externas. La calibración externa se reserva a laboratorios de metrología u otras instituciones que mantengan normas verificables. Una vez que se completó la calibración externa, las nuevas constantes de calibración se almacenan en un área protegida de la memoria de los instrumentos y no pueden ser modificadas por el usuario. Esto protege la integridad de la calibración de la adulteración.

Comprensión de la Calibración Interna

Debido a que la calibración interna no se basa en patrones externos, es un método mucho más simple. Con la calibración interna, las constantes de calibración del instrumento se ajustan con respecto a referencias precisas existentes en el mismo. Luego de que se calibró externamente el instrumento y colocado en un medio ambiente donde las variables externas, tales como temperatura, difieren de las del medio ambiente original, se puede utilizar este tipo de calibración. Finalmente, a diferencia de la calibración externa, se puede realizar una calibración interna en cualquier momento utilizando funciones del software que son provistas con el manejador de la placa del instrumento.

Colocar Todo Junto

La no-linealidad diferencial, la exactitud relativa y el ruido del sistema contribuyen todos a afectar la exactitud total de la medición. Sin embargo, no se necesita comprender las contribuciones individuales de estos efectos si su fabricante de instrumental provee las especificaciones de la exactitud absoluta. Estas especificaciones combinan todas las posibles fuentes de inexactitudes y proveen un conjunto de especificaciones de exactitud fácil de comprender.

Traducción al español: Tracnova S.A., www.tracnova.com