

Introducción

Con el advenimiento de los sistemas digitales, fue necesario transformar las variables analógicas del mundo real en variables discretas del mundo digital. Por lo tanto surgieron los sistemas de adquisición analógico-digital que, actualmente, son esenciales en los sistemas de medición, de automatización y de control. La rápida evolución de los esquemas de procesamiento digital ha sido acompañada por la aparición de nuevas técnicas de procesamiento y el desarrollo de nuevas tecnologías donde los sistemas de conversión analógico-digital han sido claves.

Un sistema de adquisición está concebido normalmente para adquirir múltiples canales analógicos. La estructura elemental de un sistema de adquisición está formada por una etapa de acondicionamiento de señales por canal, y luego un multiplexor y un único convertidor Analógico Digital. El funcionamiento de esta estructura está basado en la teoría del muestreo.

La teoría del muestreo se sustenta en la periodicidad del muestreo, es decir que se supone que los instantes de adquisición son periódicos. En estas condiciones, dicha teoría establece que las señales a adquirir deben poseer un ancho de banda limitado y menor que la mitad de la frecuencia de muestreo (frecuencia de Nyquist). Si esta premisa no se cumple, se produce una alteración irremediable del espectro original de la señal (efecto aliasing).

En los sistemas de adquisición de señales, la frecuencia de muestreo está restringida principalmente por el tiempo de conversión del convertidor A/D. Además, cuando un único conversor A/D debe atender a numerosos canales, la frecuencia de muestreo máxima de cada señal es igual a la inversa del tiempo de conversión, dividida por la cantidad de canales. Adicionalmente, la aplicación del multiplexado impone una frecuencia de muestreo menor aún debido al tiempo de establecimiento que se necesita al multiplexar de un canal a otro [AD65](#). Por otro lado, aún en sistemas de adquisición muy rápidos y/o de pocos canales, la frecuencia de muestreo se debe restringir cuando, periódicamente y durante cierto intervalo de tiempo, las señales que se deben adquirir no están disponibles. Esto obedece a que en dichos intervalos no es posible realizar la adquisición o sensado de las variables del proceso y, en consecuencia, el propio proceso es el que impone la frecuencia de muestreo. El rasgo común en estos casos es una frecuencia de muestreo que no cumple con las premisas establecidas.

Bajo estas condiciones restrictivas de la frecuencia de muestreo, las señales a adquirir pueden poseer un espectro que se extiende más allá de la frecuencia de Nyquist. Un caso muy común es aquel en el que la señal posee un espectro útil de baja frecuencia cuya frecuencia máxima sea efectivamente inferior a la frecuencia de Nyquist sumado a un espectro de ruido de alta frecuencia. Como consecuencia del espectro del ruido se produce aliasing.

La solución convencional a este problema es la utilización de filtros antialiasing. El objeto de los filtros antialiasing es atenuar lo más posible el contenido armónico superior a la frecuencia de Nyquist. Los filtros antialiasing son analógicos y se insertan en las etapas circuitales de acondicionamiento de las señales, previas a la conversión analógico-digital. El diseño de un filtro antialiasing debe considerar tres conceptos: la frecuencia máxima de la señal útil, la frecuencia de muestreo y la mínima atenuación que debe presentar el filtro para las componentes de aliasing, las que necesariamente existen ya que el filtro no es ideal. Los filtros antialiasing están concebidos a partir de amplificadores operacionales y poseen resistencias y capacitores que sirven para realizar el filtrado. Los filtros antialiasing más simples requieren un amplificador operacional, dos resistencias y dos capacitores por filtro si se implementan en versión diferencial. La

implementación de este circuito implica una superficie de la placa electrónica que puede ser significativa si la cantidad de canales es importante.

Los problemas mencionados motivaron el análisis de otros métodos de muestreo que, de alguna manera, permitan aumentar la frecuencia de utilización, eliminar los filtros antialiasing y reducir el tamaño de la electrónica.

Propuesta

En esta tesis se propone analizar, cuantificar e implementar técnicas de muestreo aleatorio, seguido del filtrado digital tipo FIR (Respuesta Finita al Impulso), que atenúen los problemas anteriores.

El razonamiento que a priori llevó a proponer estos métodos se apoyó en el análisis de un caso particular: el muestreo uniforme de una perturbación senoidal cuya frecuencia es muy cercana a la de muestreo. En estas condiciones se podría inferir que el aliasing de baja frecuencia causado por la perturbación, se produce en la medida en que las frecuencias sean cercanas, es decir cuando exista cierta correlación entre la senoidal interferente y la función de muestreo. Una forma intuitiva de reducir la correlación y, por lo tanto, mitigar el aliasing, consistiría en esparcir el espectro de la función de muestreo, lo cual se puede lograr, por ejemplo, muestreando en forma aleatoria en lugar de uniforme. Luego, una vez reducido el aliasing, el ruido provocado por la propia aleatoriedad del muestreo podría ser atenuado por medio de un filtro de reconstrucción tipo pasa-bajos.

El propósito de la tesis es trabajar sobre las dos técnicas existentes de muestreo aleatorio: Muestreo Aleatorio tipo Jitter (Jitter Random Sampling, JRS) y Muestreo Aleatorio Aditivo Asincrónico (Random Additive Asynchronous Sampling, RAAS).

Los objetivos particulares de este trabajo de tesis son los siguientes:

- Estudiar ambas técnicas de muestreo aleatorio, cuando se utilizan filtros de reconstrucción tipo FIR.
- Desarrollar las expresiones analíticas necesarias para el diseño del sistema de adquisición con muestreo aleatorio tipo JRS y RAAS seguido de FIR.
- Aplicar las expresiones a fin de reducir el efecto aliasing en sistemas de adquisición.
- Comparar ambas técnicas, JRS y RAAS, y verificar cuál conviene según sea la aplicación.
- Elaborar un conjunto de rutinas para simular estas aplicaciones.
- Implementar experimentalmente las técnicas mencionadas y verificar su desenvolvimiento.

Estructura de la tesis

En cuanto a la estructura de esta tesis, la misma está constituida por seis capítulos y dos apéndices. En el Capítulo 1 se relatan los aspectos introductorios y la justificación de la propuesta y, además, se esboza la solución para resolverlos. En el Capítulo 2 se presenta la teoría del muestreo uniforme y la del aleatorio. En el Capítulo 3 se desarrolla la formulación teórica de las expresiones que determinan las características del proceso de muestreo aleatorio del tipo Jitter Random Sampling (JRS). En el Capítulo 4 expone el desarrollo teórico de las ecuaciones relacionadas con el muestreo aleatorio tipo Random Additive Asynchronous Sampling (RAAS). En el Capítulo 5 se describen los resultados obtenidos de comparar los dos tipos de muestreo

aleatorio abordados en los Capítulos 3 y 4, para distintos tipos de filtros. En el Capítulo 6 se detallan los resultados experimentales que confirman las simulaciones mostrados en los capítulos anteriores. En el Capítulo 7 se explicitan las conclusiones de esta tesis. Finalmente en el Capítulo 8 se lista la bibliografía utilizada. En el Apéndice 1 se muestran las simulaciones realizadas y el conjunto de rutinas MATLAB que fueron utilizadas. En el Apéndice 2 se describe el banco experimental basado en un DSP y los programas desarrollados para realizar las experiencias de verificación. Por último, en el Apéndice 3 se documentan las publicaciones realizadas por el tesista en relación con el tema de tesis.