

# LA ENSEÑANZA DE LA INSTRUMENTACION DE MEDIDA EN LA E.U.I.T. DE TELECOMUNICACION DE LA U.P.M.

M. Ruiz, A. Martín, J.M. López, S. López y A. Carpeño.  
Dpto. Sistemas Electrónicos y de Control  
E.U.I.T. Telecomunicación. U.P.M.  
Crta. Valencia KM-7  
Madrid 28031  
Tf: 34-1-3367800 Fax: 3367801  
email: mruiz@sec.upm.es

**RESUMEN.-** El objetivo principal de este artículo es mostrar como está organizada la enseñanza de la Instrumentación de Medida en la E.U.I.T.T. de la U.P.M. indicando como se han resuelto los problemas que plantea el desarrollo de prácticas y Proyectos Fin de Carrera en este área. De forma concreta se presentan dos ideas que permiten acometer la enseñanza de las técnicas de acondicionamiento de señales y el diseño de instrumentos de medida en tarjeta, de una forma rápida y sencilla, recurriendo a módulos de propósito general.

## 1.-INTRODUCCION

En el Plan de Estudios actual de la E.U.I.T de Telecomunicación de la U.P.M. en la especialidad de Sistemas Electrónicos, se imparten las asignaturas de Instrumentación de Medida y Laboratorio de Instrumentación de Medida en el primer cuatrimestre de tercer curso con 6 y 3 créditos respectivamente. El objetivo de dichas asignaturas es formar a los alumnos en el análisis y diseño de sistemas de adquisición de datos (S.A.D.), así como en el conocimiento de productos comerciales. Para ello se concreta en los sistemas basados en Ordenador Personal (PC).

## 2.-FORMACION TEORICA

Los contenidos principales que se tratan en el temario de la asignatura Instrumentación de Medida se detallan a continuación.

### 2.1.-Estudio de los S.A.D basados en ordenador personal

Se estudian y analizan los principales tipos de S.A.D. haciendo especial hincapié en los parámetros que los definen con objeto de poder analizar sus prestaciones (velocidad de muestreo, precisión, etc). Como ejemplo de S.A.D. comercial se utiliza una tarjeta conectable al bus de expansión del PC, ya que es la mejor solución para el desarrollo de prácticas desde el punto de vista de la relación precio-posibilidades. El último aspecto estudiado en este punto son las diferentes posibilidades hardware-software que existen para controlar la adquisición en un PC.

## **2.2.-Acondicionadores de Señal**

Se estudian los circuitos más utilizados en los acondicionadores de señal como son el amplificador de instrumentación, el amplificador de aislamiento y el transmisor de corriente así como los parámetros que los definen (CMR, IMR, etc). Especial énfasis se hace en el cálculo de los errores cometidos por estos dispositivos al medir una señal cualquiera y en los modos de conexión, al dispositivo amplificador, más adecuados según el tipo de señal (flotante, referida a masa, etc).

## **2.3.-Sensores y transductores**

Se estudian los sensores y transductores más utilizados como son: Termopares, RTD's, galgas extensométricas, sensores de presión, etc. Se analizan desde el punto de vista de su utilización práctica, estudiando los errores que se cometen al utilizarlos y las técnicas más habituales que permiten linealizarlos.

## **2.4.-Instrumentos de Medida y técnicas de cableado, masas y apantallamientos**

Se estudian los diagramas de bloques de los instrumentos básicos más utilizados en los laboratorios de medida y prueba. De forma concreta se estudian los diagramas de bloques de los multímetros, generadores de señal, osciloscopios analógicos y digitales. Por último, se completa el bloque con el estudio de las técnicas de cableado, masas y apantallamientos, justificando como se utilizan estas técnicas en la conexión de las señales en un S.A.D. comercial.

## **3.-FORMACIÓN PRÁCTICA**

La enseñanza práctica de la Instrumentación de Medida se realiza a través de la asignatura de laboratorio que lleva el mismo nombre. Como ya se explicó que como ejemplo de S.A.D. se utiliza una tarjeta de adquisición de datos conectable a PC.

### **3.1.-Utilización de una tarjeta comercial**

Se está utilizando la tarjeta LAB-PC+ de la firma National Instruments ya que ofrece las prestaciones suficientes para el desarrollo de prácticas (posee 8 canales de entrada analógica, 2 de salida analógica y 24 líneas de I/O digital).

En este punto el principal problema que aparece es el software que se debe utilizar para el desarrollo de las prácticas [1]. Hoy en día existen multitud de entornos software que realizan adquisición, tratamiento y representación de datos, y que están soportados por lenguajes tradicionales (C, Pascal, Visual Basic) o lenguajes gráficos (HPVEE, LabView, Test Point, Visual Designer). Aparentemente los segundos son los más potentes y sencillos de manejar pero el problema aparece en que solo se dispone de 15 semanas para la realización de prácticas y no se pueden consumir exclusivamente en el aprendizaje del entorno. La solución escogida en el Departamento ha sido el entorno LabWindows/CVI de National Instruments [2]. ¿Por qué? Porque es un entorno que permite realizar programas en Windows sin necesidad de saber programar con las dificultades que éste exige, porque se programa en lenguaje C y este es un lenguaje conocido para los alumnos y en último lugar porque incluye librerías que solventan la adquisición de datos, el procesamiento y la representación de forma muy sencilla.

Otro punto importante a solucionar es qué tipo de prácticas se realizan con sensores y acondicionadores de señal. Aquí los problemas que aparecen son muchos y de complicada

solución. Quizás, como siempre, el más importante es el tiempo del que se dispone para realizar las prácticas. Si se desea que los alumnos diseñen un acondicionador medianamente complejo (amplificador de instrumentación con una tensión de referencia y un filtro) nos encontramos con que su realización, recurriendo a la utilización de *protoboards*, es imposible por los problemas del ruido y del cableado [3]. ¿Qué solución se puede aplicar? Desde nuestro punto de vista la mejor solución es la utilización de alguno de los sistemas de acondicionamiento comercial que existen actualmente. Varias compañías ofrecen módulos que se insertan en un chasis y que realizan acondicionamientos de todo tipo. En nuestro caso se ha optado por el uso del sistema SCXI (Signal Conditioning eXtension for Instrumentation), que nos ofrece:

- a) La posibilidad de realizar prácticas de manejo de acondicionadores con los propios módulos que comercializa National Instruments.
- b) La posibilidad de diseñar módulos por el propio usuario en los cuales se conectan los dispositivos de acondicionamiento. Esta opción es muy interesante y el Departamento ha desarrollado un módulo de interface que permite diseñar acondicionadores de forma muy sencilla.

### 3.2.-Descripción del sistema SCXI

El sistema SCXI consiste en un chasis externo al PC dotado de fuente de alimentación que permite alojar módulos que realizan procesos de acondicionamiento de señales analógicas. Cada uno de los módulos está formado por un circuito impreso, que contiene los dispositivos electrónicos necesarios para realizar las tareas de acondicionamiento, por los conectores, que permitirán el acceso a las diferentes señales del sistema y por la carcasa que dota al sistema de robustez y de protección frente a interferencias de otros módulos o elementos externos al sistema.

Los sistemas tradicionales de acondicionamiento como los diseñados por el propio usuario o los comercializados disponen de configuraciones que se limitan a recibir las señales provenientes de los sensores y a entregarlas acondicionadas a su salida. En cambio los sistemas SCXI, además de realizar esta función, incluyen un elemento adicional que es el denominado bus SCXI que permite enviar señales analógicas y digitales entre los diferentes módulos que constituyen el sistema. La diferencia esencial que aporta este bus está en la posibilidad de poder multiplexar varios canales analógicos y enviarlos a una tarjeta de adquisición de datos conectada en uno de los slots de expansión del PC pudiendo realizar la adquisición de un elevado número de canales (para ello es necesario que la tarjeta de adquisición de datos envíe al sistema una señal de temporización que indique cuando se debe direccionar el siguiente canal). De forma general el sistema SCXI se puede configurar de dos formas distintas, la explicada anteriormente, y mediante un módulo que se encargue de realizar la conversión A/D y enviar las muestras a través del puerto paralelo del PC. En cualquiera de los dos casos la potencia y versatilidad del sistema está incluida en el bus SCXI.

El bus está compuesto por líneas analógicas, digitales y de alimentación. Las líneas analógicas permiten enviar las señales acondicionadas entre los diferentes módulos que forman el sistema. Las líneas digitales permiten enviar información de configuración y estado entre los módulos con objeto de programarlos de la forma más adecuada. Estas líneas también permiten gestionar módulos acondicionadores que realizan funciones de entrada/salida digital o funciones de conversión A/D y D/A. Por último, indicar que dentro de las líneas digitales existe un conjunto de ellas que realizan funciones de disparo y sincronización del bus, que permiten multiplexar el bus analógico para que pueda ser compartido por todos los módulos. Para conseguir dicha multiplexación existe una línea denominada SCANCON que será la encargada de indicar a cada módulo cuando debe acceder al bus analógico, su frecuencia marca la

frecuencia de muestreo del sistema y el número de canales medidos en un segundo.

### 3.3.-Módulo de propósito general para el bus SCXI

Con las ideas expuestas en el punto anterior podemos decir que un módulo SCXI debe estar compuesto por tres elementos hardware que denominaremos:

- Interface digital básico, que se encargará de permitir a otro módulo el acceso a los registros internos que forman el modulo.
- Circuito de temporización-multiplexación, que a través de la señales de disparo y sincronización se encargará de direccionar los diferentes canales analógicos que contiene el módulo y de multiplexarlos al bus analógico.
- Dispositivo acondicionador, que realizará las funciones de acondicionamiento analógico que el usuario desee.

De estos tres elementos, los dos primeros son comunes a todos los módulos que componen el sistema y el tercero será dependiente de la aplicación que se desee realizar. Aquí nace la idea de desarrollar un modulo de propósito general que incluya los dos elementos mencionados y que incluya espacio físico para albergar el tercero de acuerdo a los requerimientos de la aplicación. En el Departamento se ha desarrollado el módulo ocupando el 50% del espacio disponible en un placa con un tamaño total de 17,70 x 15,62cm.

Para utilizar el módulo, el usuario solo tiene que conectar sus señales acondicionadas a un multiplexor analógico que junto con las señales de temporización se encargará de enviarlas al bus SCXI.

Desde el punto de vista docente el módulo se presta a la realización de prácticas de diferentes tipos utilizando para ello, un Ordenador Personal, una tarjeta de adquisición de datos de propósito general (cualquier tarjeta es válida siempre que disponga de 8 líneas digitales y que permita programar la frecuencia de muestreo mediante un temporizador pudiendo tener disponible esta señal en su conector), un chasis SCXI y el modulo de propósito general. Las prácticas se pueden enfocar con los siguientes objetivos:

- Comprender el funcionamiento de los sistemas de adquisición de datos multicanal y, en este sentido, medir todos los parámetros de velocidad de este tipo de sistemas al tener todas las señales accesibles.
- Realizar sistemas de adquisición de datos y control de procesos.
- Realizar el diseño de acondicionadores de señal para cualquier tipo de sensor.

Por último, indicar que el Departamento ha diseñado módulos de acondicionamiento con 4 canales de ganancia programable, módulos de conversión V/F , F/V , A/D y D/A.

### 4.-PROYECTOS FIN DE CARRERA

Una vez que el alumno ha aprobado las asignaturas de Instrumentación de Medida y Laboratorio de Instrumentación de Medida, y siempre y cuando haya superado 180 créditos, tiene la posibilidad de realizar el Proyecto Fin de Carrera (PFC). En este sentido el Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control de la E.U.I.T.T. ofrece la posibilidad de realizar el PFC en el área de Instrumentación trabajando en el desarrollo de sistemas de adquisición de datos y en el desarrollo de Sistemas Automáticos de Medida basados en los estándares IEEE-488 y VXI (IEEE-1155).

Los PFC que actualmente se están desarrollando se pueden dividir en los siguientes tipos:

- a) Proyectos de tipo software donde se realizan programas de manejo de instrumentos o de gestión de sistemas de adquisición de datos con herramientas como LabView, LabWindows/CVI, HPVEE y Visual Designer [4][5].
- b) Proyectos de tipo hardware donde se están desarrollando módulos para acondicionamiento

de señales en SCXI y acondicionadores inteligentes con interface RS485.

c) Proyectos de diseño de instrumentos VME y VXI.

Estos últimos proyectos de desarrollo hardware son de difícil realización si no se dispone de las herramientas adecuadas. Para poder realizarlos se ha recurrido al diseño de módulos de interface que aíslan al usuario del conocimiento específico del funcionamiento de los buses para que únicamente se centre en el diseño del acondicionador o del instrumento.

#### 4.1.-Diseño de instrumentos VXI

El alumno puede realizar su P.F.C en el área de los Sistemas Automáticos de Medida, mediante la realización de instrumentación programable basada en el bus VXI. Puesto que el diseño de un interface para el bus VXI conlleva una dificultad que entorpecería la consecución de los objetivos marcados, es necesario darles solución a este aspecto. Para ello se ha diseñado un módulo interface con las características que se describen a continuación.

El interface diseñado puede ser utilizado para desarrollar dispositivos VXI esclavos basados en registros. Responde a direccionamientos A16 y A16/24, con transferencias de datos D16. Implementa internamente los cuatro registros de configuración (ID/Logical Address, Device Type, Status/Control y Offset), soporta configuración dinámica y genera interrupciones VXI (del nivel seleccionado por el usuario), respondiendo adecuadamente al ciclo de reconocimiento. A él pueden ser conectados hasta 28 registros de 16 bits de lectura o escritura, y bancos de memoria con un ancho de palabra de 16 bits. Tanto el número de registros y el tamaño de la memoria, así como otras muchas opciones, pueden ser configuradas mediante 24 microinterruptores.

El interface permite la conexión de cualquier instrumento al bus VXI. Teniendo como principal característica el ser de propósito general y modular, es decir, se puede amoldar a cualquier especificación que se pueda realizar. Además, su pequeño tamaño y su gran versatilidad permite un fácil acoplamiento a cualquier tarjeta. Las dimensiones del circuito impreso que contiene el interface son de 100mmx125mm (aproximadamente un 15% del área de una tarjeta tamaño C).

Debe destacarse también que, gracias a interfaces como éste el desarrollo de Sistemas Automáticos de Medida resulta mucho más asequible, ya que la problemática de diseño se reduce únicamente al propio sistema de medida sin preocuparnos de la interacción con el bus VXI a su nivel más bajo.

Desde el punto de vista docente, el interface cumple una doble función. Por una parte se utiliza para la explicación del funcionamiento de los buses VME y VXI, y por otra para la realización de instrumentación programable. De esta forma, durante el desarrollo del P.F.C se acomete la realización de un conjunto de prácticas conducentes a la comprensión de la función que realizan las distintas señales existentes en el bus VXI, así como de los protocolos de comunicación. Asimismo por medio del módulo de interface se manejan los recursos más importantes del bus VXI. El proyecto propiamente dicho consiste en el diseño del hardware necesario para la implementación de las funciones propias del dispositivo concreto de que se trate: multímetro, generador de forma de onda, matriz de conmutación, etc, teniendo en cuenta que el control del instrumento de forma remota (a través del bus VXI) se llevará a cabo mediante la escritura y lectura en los registros y bancos de memoria antes mencionados.

En la actualidad se ha utilizado el interface VXI para desarrollar algunos instrumentos, entre los que podemos citar: un sistema de adquisición de datos VXI de alta velocidad con un controlador inteligente SCXI y una matriz-scanner de conmutación.

## 5.-REFERENCIAS

- [1] López J.M. Ruiz M, Martin A.. "Desarrollo de aplicaciones software para sistemas de adquisición de datos basados en Ordenador Personal". Dpto Publicaciones E.U.I.T.T. U.P.M. 1995.
- [2] Dr. Joseph Morgan. "LabWindows Plays a Key Role in Engineering at Texas A& M University". Texas A& M University
- [3] Derenzo. E. "INTERFACING A laboratory approach using the microcomputer for instrumentation, data analysis and control". Prentice Hall International Editions 1990.
- [4] Terence C. Karselis. "Teaching Instrumentation in the 21st Century with LabVIEW". Ed. Medical College of Virginia-Virginia Commonwealth University.
- [5] Steven A. Orth and Robert D. Lorenz. "Improving Physical Understanding through Laboratory Automation" Ed. University of Wisconsin-Madison.