

Sistema de instrumentación virtual de bajo coste y código abierto para la enseñanza de la electrónica en formación profesional

Javier Diz
Departamento Electrónica
IES Escolas Proval
Nigran, España
javier.diz@edu.xunta.es

Abstract—En este artículo se presenta un sistema de instrumentación virtual de desarrollo propio para la enseñanza de la electrónica en módulos de ciclos formativos de formación profesional. El sistema reproduce el funcionamiento de un generador de funciones y osciloscopio reales que los estudiantes pueden utilizar libremente tanto en el centro educativo como fuera de éste. Está formado por un conjunto de programas informáticos que pueden funcionar con diferentes plataformas y sistemas operativos (windows y linux) y un módulo opcional externo conectado por usb. Los programas son de código abierto, por lo que no suponen ningún coste para el alumnado. Está en proceso de desarrollo una unidad externa que puede ser construida por los propios estudiantes a un coste muy reducido, mejorando considerablemente las prestaciones del sistema.

Keywords—instrumentación virtual; código abierto; formación profesional

I. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje y uso de instrumentación electrónica supone uno de los principales obstáculos en la formación básica de los estudiantes de formación profesional. En muchos casos se entra en contacto por primera vez con instrumentos de medida cuyo manejo resulta complicado y el tiempo de uso presencial en el centro educativo resulta claramente insuficiente. Pero el alto coste de estos instrumentos, especialmente el osciloscopio, unido a las incógnitas del futuro profesional de los estudiantes, no permite su adquisición a nivel particular a pesar de que en los últimos tiempos el precio de los instrumentos ha bajado considerablemente e incluso existen soluciones económicas de instrumentación virtual comercial.

Para intentar cubrir estas carencias, en este artículo se presenta un sistema de instrumentación virtual de bajo coste y código abierto para la enseñanza de la electrónica en formación profesional. El desarrollo de este sistema comenzó hace 12 años como un simple simulador virtual de instrumentación. Desde entonces se modificó para permitir la adquisición y generación reales a través de la tarjeta de sonido del ordenador, se construyó un módulo externo conectable por puerto paralelo y actualmente se trabaja en el desarrollo de un módulo usb con convertidor analógico-digital de alta velocidad. También está

prevista la adaptación del sistema a tecnologías móviles como bluetooth y presentación a través de tabletas o teléfonos con sistema android.

Los programas informáticos desarrollados para este proyecto se ofrecen de forma gratuita y se proporciona el código fuente, permitiéndose su modificación y adaptación libre. Aunque el sistema se ha desarrollado bajo el sistema operativo windows está previsto su migración a linux. Los módulos hardware desarrollados son de bajo coste y complejidad, de forma que sea posible su construcción con los medios existentes en los centros educativos donde se imparta electrónica o tecnología.

Este sistema no pretende sustituir a un laboratorio profesional real, pero sus prestaciones permiten la realización de numerosas actividades tanto teóricas como prácticas. La pantallas pueden proyectarse en clase para la explicación teórica de los instrumentos comprobándose su funcionamiento en tiempo real.

El sistema consta de un generador de formas de onda programable y un osciloscopio de dos canales (Fig. 1), que pueden funcionar en modo de simulación, en modo real a través de la tarjeta de sonido del ordenador, con un módulo externo con microcontrolador conectado a través del puerto paralelo o con un módulo de alta velocidad conectado a través del puerto usb.

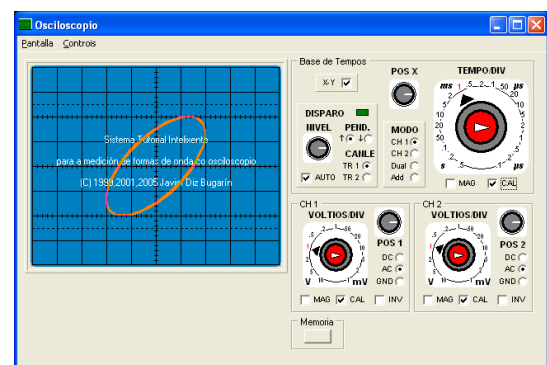


Figure 1. Pantalla del osciloscopio virtual

Se ha desarrollado un módulo de prácticas guiadas para la formación del alumnado en el manejo del equipo o para la realización de medidas. El objetivo final sería un sistema inteligente capaz de guiar el proceso de aprendizaje de los alumnos y la corrección automática de los errores que se cometan. Para este fin se han analizado las tipologías de errores más frecuentes cometidas en las medidas electrónicas y su forma de detección para automatización posterior.

II. FASES DEL PROYECTO

Este proyecto se ha planteado como un sistema abierto y en constante evolución en función de las necesidades docentes del autor y las nuevas titulaciones que se vayan implantando. El desarrollo inicial comenzó en 1998 como un programa de simulación, en 2001 se implementó la adquisición de datos mediante la tarjeta de sonido, en 2003 se desarrolló el primer módulo hardware para el puerto paralelo, y por último en 2010 comenzó el desarrollo del módulo usb que se está poniendo a punto en la actualidad.

A. Modo de simulación

En este modo el programa presenta dos generadores y un osciloscopio (Fig. 2), con los generadores conectados directamente a los canales de entrada del osciloscopio. En la pantalla de éste aparecerán las formas de onda generadas. Se pueden modificar los ajustes de los generadores y ver el efecto que producen en la visualización del osciloscopio. También se pueden modificar los controles del osciloscopio y ver cómo cambian las formas de onda visualizadas.

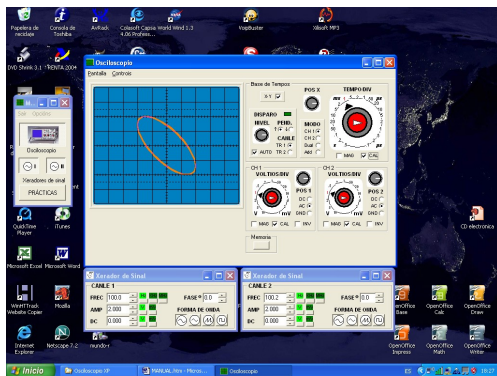


Figure 2. Modo simulado con osciloscopio y generadores

B. Modo real con tarjeta de sonido

En este modo las entradas y salidas del osciloscopio y generadores están conectadas a los canales de audio de la tarjeta de sonido del ordenador. Se pueden insertar circuitos electrónicos simples (por ejemplo, una red RC) y observar el efecto que producen sobre las formas de onda de los generadores. También se puede visualizar la forma de onda de la voz o un fragmento musical reproducido en el ordenador (Fig. 3). Los cables de entrada y salida (Fig. 4) se conectan mediante pinzas de cocodrilo a los circuitos que se desea medir. Los cables pueden ser construidos por los propios alumnos como experiencia didáctica y para reducir su coste.

La tarjeta de sonido supone una solución simple y de coste nulo para el usuario que disponga de un ordenador, pero el rango de frecuencias es muy limitado y especialmente tiene el problema de que elimina la tensión continua de entrada.

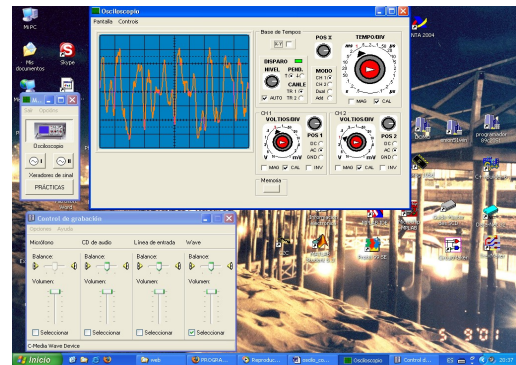


Figure 3. Onda sonora visualizada en el osciloscopio



Figure 4. Cables de conexión a la tarjeta de sonido

C. Módulo externo para puerto paralelo

Este módulo se desarrolló en el año 2003 como parte de la asignatura Proyecto Integrado del ciclo superior de Sistemas de Telecomunicación e Informáticos en el Instituto Ribeira do Louro de O Porriño (Pontevedra). Está compuesto por un microcontrolador PIC16F876 [2] que incorpora un convertidor analógico-digital y un conjunto de circuitos de acondicionamiento de señal. La Fig. 5 representa el esquema desarrollado por los alumnos, en la Fig. 6 puede verse el diseño de la placa de circuito impreso y la Fig. 7 el prototipo construido.

Las características del módulo desarrollado son las siguientes:

- Resolución: ± 20 mV.
- Tensión máxima: ± 80 V.
- Número de canales de entrada: 2.
- Frecuencia máxima: 50KHz
- Resolución convertidor: 9 bits (error del 0.2%)
- Error absoluto de medida: $< 1\%$
- Conexión al PC: puerto paralelo en modo SPP.

Como limitaciones de este módulo se pueden señalar un rango de frecuencias muy limitado, aunque mejor que la tarjeta de sonido, y limitaciones en la velocidad de transmisión de datos a través del puerto paralelo.

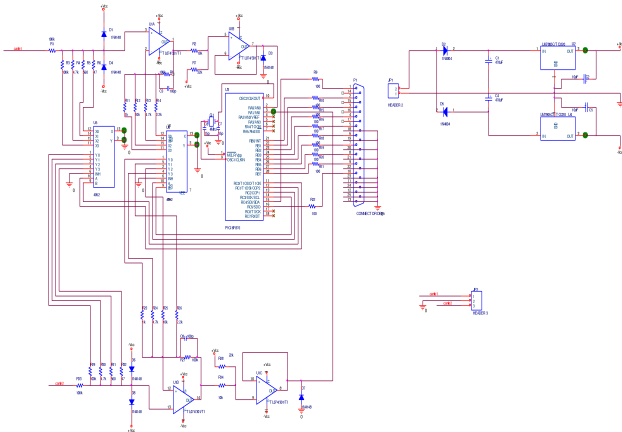


Figure 5. Esquema del módulo para puerto paralelo

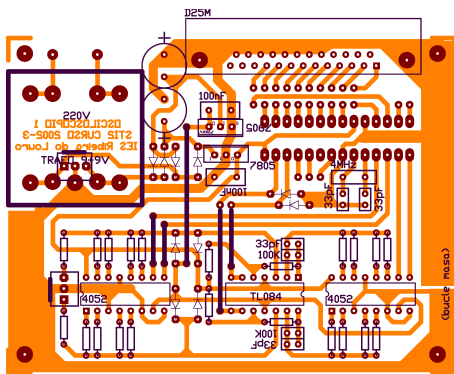


Figure 6. Placa de circuito impreso

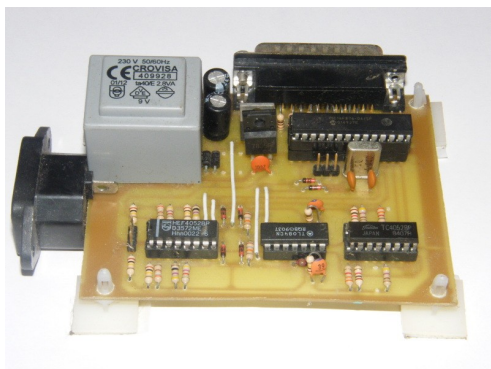


Figure 7. Prototipo montado

D. Módulo usb de alta velocidad

El prototipo actual de módulo externo desarrollado para este proyecto está formado por un microcontrolador Atmel 89S4051 [3] y un convertidor analógico-digital MCP3208 [4] para las pruebas iniciales, estando previsto sustituirlo por un convertidor de alta velocidad como el AD9288 [5]. La

conexión al ordenador se realiza mediante un convertidor serie-usb FT232R [6]. La Fig. 8 muestra el primer prototipo de este módulo ya montado.

Todos los circuitos integrados son de muy bajo coste, por lo que si el montaje lo realizan los alumnos el coste total del módulo también será reducido. El circuito convertidor serie-usb FT232R dispone de controladores para windows y linux de uso libre, y puede integrarse fácilmente con distintos sistemas de desarrollo (es el mismo que se emplea en los sistemas Arduino, pero también en entornos especializados como Player-Stage). Como los microcontroladores de la serie AT89S pueden programarse en circuito mediante un conector ISP específico el sistema puede reprogramarse fácilmente para otras aplicaciones. De este modo, además de su uso para este proyecto, este módulo puede emplearse como un sistema de adquisición de datos genérico para ordenador. El desarrollo del programa del microcontrolador se ha realizado bajo el entorno de código abierto Eclipse-SDCC [7], y para la transferencia de código al microcontrolador se ha utilizado el programa AVRDUDE [8] también de código abierto.

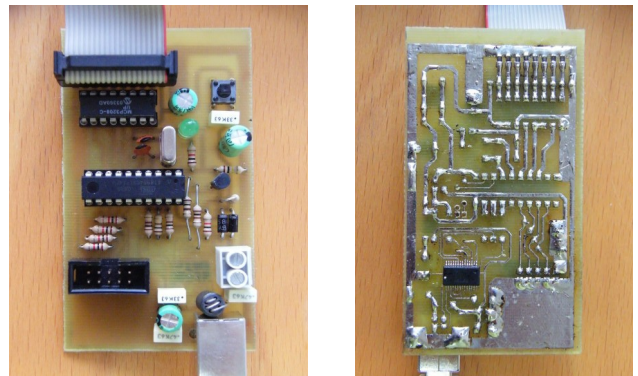


Figure 8. Módulo externo usb

III. PRÁCTICAS GUIADAS

El sistema desarrollado permite difentes usos, tanto como instrumentación general para medidas de circuitos en prácticas de clase, para la realización de exámenes bajo control del profesor o para la realización de prácticas guiadas. Para este fin dispone de un editor de prácticas que luego podrá ir realizando el alumno de forma secuencial. Las prácticas predefinidas en el sistema están basadas en un estudio de la tipología de errores más frecuentes que se cometen en la realización de medidas con el osciloscopio, que se revisan a continuación:

A. Tipología de errores frecuentes

A partir de la experiencia acumulada durante varios años en el trabajo diario con alumnos de primeros cursos de formación profesional y la bibliografía consultada [1], se ha elaborado una clasificación de los errores más frecuentes que se van a encontrar en la realización de medidas con instrumentación electrónica básica. Estos errores se deben a diferentes causas, desde una simple confusión en la conexión de las puntas de prueba a errores de conceptos teóricos o de cálculo matemático:

1) Errores en medidas de amplitudes

Errores cometidos en medidas de tensión o corriente con polímetro o osciloscopio:

- Confusión entre escalas de tensión y corriente (polímetro)
- Confusión entre escalas de continua y alterna (polímetro)
- Lectura incorrecta de escalas (confusión entre prefijos m y μ , 1 y .1, etc).
- Confusión entre divisiones y subdivisiones en pantalla (osciloscopio).
- Lectura incorrecta de valor (contar mal los cuadros en pantalla, marcas en polímetro analógico)
- Operaciones matemáticas incorrectas: hacer mal el producto valor x escala
- Cálculo incorrecto de valores de pico, eficaces, medios (osciloscopio)
- Conexión inadvertida de los magnificadores o atenuadores (osciloscopio)
- Modo de acoplo incorrecto (AC,DC, GND) en el osciloscopio.

2) Errores en medidas temporales

- Errores cometidos en medidas de tiempo (período), frecuencia y desfases con osciloscopio:
- Lectura incorrecta de escalas (confusión entre prefijos m y μ , 1 y .1, etc).
- Confusión entre divisiones y subdivisiones en pantalla (osciloscopio).
- Lectura incorrecta de valor (contar mal los cuadros en pantalla)
- Operaciones matemáticas incorrectas: hacer mal el producto valor x escala
- Conexión inadvertida de los magnificadores o atenuadores (osciloscopio)

A partir de los errores anteriores y otros que se puedan detectar se elaborará un protocolo de diagnóstico dirigido a determinar en cada caso qué error (o errores) se pudieron cometer. En la mayor parte de los casos, cuando se trata de errores de un único tipo, es relativamente simple aislar la causa y guiar al alumno para que pueda solucionar por sí mismo el error cometido.

B. Métodos de diagnóstico

A continuación se proponen métodos de diagnóstico para algunas de las tipologías de errores más frecuentes:

1) Acoplo incorrecto (uso de modo AC)

Las medidas efectuadas tienen todas el mismo valor (0 u otro, pero constante). Proponer al alumno dos medidas consecutivas de diferentes tensiones continuas. Si ambas tienen el mismo valor es muy probable que se esté cometiendo este tipo de error.

2) Nivel de referencia incorrecto

Las medidas están desplazadas en el mismo valor. Proponer al alumno dos medidas consecutivas de diferentes tensiones continuas. Si la diferencia es correcta pero la suma no (o bien cada una de ellas es errónea por separado) es muy probable que se esté cometiendo este tipo de error.

3) Factores de escala incorrectos.

Todas las medidas quedan multiplicadas por una constante. Proponer al alumno dos medidas consecutivas de diferentes tensiones continuas. Si ambas son incorrectas pero se cumple que $m_2/r_2 = m_1/r_1$ (donde $m_{1,2}$ son los valores medidos y $r_{1,2}$ son los valores reales correspondientes) es muy probable que se esté cometiendo este tipo de error.

4) Medida de período en lugar de frecuencia

Este caso se produce cuando se asocia erróneamente período (valor medido sobre la pantalla) y frecuencia, lo que es un fallo relativamente común. Resultando las medidas resultan inversamente proporcionales a las frecuencias asociadas. Proponer al alumno dos medidas consecutivas de diferentes frecuencias. Si se cumple que $m_2 r_2 = m_1 r_1$ (donde $m_{1,2}$ son los valores medidos y $r_{1,2}$ son los valores reales correspondientes) es muy probable que se esté cometiendo este tipo de error.

5) Medida de valor pico a pico o eficaz en lugar de valor de pico:

En este caso existe una constante de proporcionalidad pero es de valor conocido (2, $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$). Para detectarlo se procede igual que en el caso de factor de escala incorrecto, verificando si el error cometido coincide con alguna de las constantes mencionadas.

6) Medida del valor de pico incluyendo la componente continua

En este caso el valor de pico queda aumentado en una constante que coincide con el valor medio de la onda. Proponer al alumno dos medidas consecutivas y comprobar si ambas cumplen que el valor medido de pico es el correcto sumándole la componente continua.

En estas tipologías de error no se ha considerado la posibilidad de errores concurrentes, que requerirían métodos de diagnóstico mucho más elaborados, ni errores esporádicos que serían muy difíciles de detectar. También queda pendiente discriminar diferentes causas para cada tipo de error (por ejemplo, un factor de escala incorrecto puede deberse al conmutador de escalas, magnificador, atenuador e incluso a una lectura incorrecta de las divisiones en pantalla por parte del alumno, causas que pueden ser verificadas individualmente proponiendo las prácticas apropiadas).

C. Prácticas predefinidas

En función del estudio anterior elaboramos un primer conjunto de prácticas orientadas a la detección de los errores considerados. Estas prácticas son las siguientes:

1) Medidas de Componente Continua

Esta práctica consiste en presentar al alumno varias pantallas con diferentes valores de continua (traza plana del osciloscopio) que deberá ser capaz de medir. Si los valores son incorrectos o siempre dan cero indicaría un mal ajuste del osciloscopio (conmutadores de entrada o mandos de posición vertical).

2) Identificación de formas de onda

Esta práctica consiste en presentar al alumno varias formas de onda diferentes de la misma amplitud que deberá ser capaz de identificar correctamente.

3) Medidas de Frecuencia

Esta práctica consiste en presentar al alumno varias formas de onda del mismo tipo (senoidal) y amplitud pero diferente frecuencia, que deberá ser capaz de medir de forma aproximada. Si no lo hace puede intentar detectarse la causa planificando prácticas más específicas, orientadas a verificar la posición de la base de tiempos, magnificador horizontal, modo de disparo, etc.

4) Formas de onda con continua

Esta práctica consiste en presentar al alumno varias pantallas con formas de onda de la misma frecuencia y amplitud pero diferentes valores de continua (valor medio). El alumno deberá ser capaz de identificar amplitud de pico y valor medio por separado, si no lo hace puede intentar detectarse la causa planificando prácticas más específicas.

5) Desfase entre ondas

Esta práctica consiste en presentar al alumno varias pantallas con formas de onda de la misma amplitud y frecuencia pero desfasadas entre ellas (una en cada canal del osciloscopio). El alumno deberá ser capaz de medir y calcular el desfase aproximado entre las ondas.

D. Edición de prácticas

El programa permite la modificación de las prácticas existentes o añadir otras nuevas. Para eso dispone de la opción de menú Editor de ondas, que abre una nueva ventana en la que se presenta una lista con los parámetros de las formas de onda que componen cada práctica. Estos datos pueden modificarse, borrarse, añadir otros, guardarlos en ficheros de texto o importarlos de ficheros existentes.

IV. DESARROLLOS FUTUROS

El objetivo último de este sistema de instrumentación es el desarrollo de un sistema tutorial inteligente que permita la autoformación de los alumnos en el manejo de instrumentación electrónica. Este sistema tendría diferentes aplicaciones tanto en la formación presencial como a distancia, ya que su bajo coste permitiría que cualquier estudiante pudiera disponer de él fuera del centro educativo.

El módulo usb que se ha descrito es un primer prototipo al que está previsto realizar diferentes mejoras, como el aumento de velocidad de conversión, incorporación de memoria para almacenamiento de tramas de mayor longitud, circuitos de acondicionamiento de señal con diferentes ajustes (escala, offset, etc). Este módulo podría además acoplarse a otro tipo de dispositivos distintos del pc, como tabletas con sistema android o teléfonos móviles.

V. COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS

En los últimos años han aparecido en el mercado numerosas alternativas de instrumentación de bajo coste con prestaciones aceptables para uso académico. Como ejemplo podemos mencionar los osciloscopios usb como Picotech [10], con modelos de 10Mhz de ancho de banda desde 150 euros y los osciloscopios digitales de OWON [9] como el PDS5022 (25Mhz) con un precio aproximado de 300 euros.

Un sistema comercial de instrumentación virtual de amplia difusión y versatilidad es el entorno Labview de National Instruments [11]. Este sistema no es de código abierto, aunque es posible agregar módulos de desarrollo propio. Su principal problema es el elevado coste de las licencias y complementos, ya que una licencia múltiple para uso académico cuesta un mínimo de 8000 euros.

El sistema desarrollado en este proyecto es gratuito si se usa la adquisición mediante la tarjeta de sonido del ordenador, y para el módulo externo de construcción propia sólo tienen que adquirirse los materiales, como ejemplo el conversor ad9218 (40Msps) tiene un coste aproximado de 10 euros, el microcontrolador at89s4051 2 euros, el adaptador serie-usb ft232rl 4 euros, y el módulo completo se estima en menos de 50 euros.

VI. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un sistema de instrumentación virtual para la enseñanza de la electrónica. El sistema es de desarrollo propio, de bajo coste y código abierto. Las versiones anteriores del sistema (simulado y tarjeta de sonido) ya han sido ampliamente utilizadas en la docencia práctica y han contribuido a facilitar la formación del alumnado, así como la realización de exámenes específicos asistidos por ordenador de forma semi-automática. En este tiempo de uso se ha detectado la necesidad de mejorar las prestaciones, por lo que actualmente está en desarrollo un módulo hardware específico de alta velocidad y bajo coste con conexión por puerto usb.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a los alumnos y profesores del IES Escuelas Proval de Nigrán por su colaboración para la puesta a punto y las pruebas de las diferentes versiones de este sistema, y a los alumnos del curso 2002-3 del Ciclo Superior "Sistemas de Telecomunicación e Informáticos" del Instituto Ribeira do Louro que desarrollaron el módulo externo por puerto paralelo.

REFERENCIAS

- [1] E. Mandado, P. Mariño, A. Lago, Instrumentación Electrónica, Barcelona, España: Marcombo, 1995.
- [2] Microchip 16F876 microcontroller datasheet. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf>. Acceso 11 de enero de 2012.
- [3] Atmel AT89S4051 microcontroller datasheet. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc3390.pdf. Acceso 11 de enero de 2012.
- [4] Microchip MCP3208 analog to digital converter. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21298c.pdf>. Acceso 11 de enero de 2012.
- [5] High speed A/D converter AD9288. <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad9218/products/product.html>. Acceso 11 de enero de 2012.
- [6] USB uart FT232R. <http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT232R.htm>. Acceso 11 de enero de 2012.
- [7] IDE Eclipse-SDCC: <http://eclipse-sdcc.sourceforge.net/> Last accessed 2012, January 11th.
- [8] AVRDUDE ISP program: <http://www.nongnu.org/avrdude/> Last accessed 2012, January 11th.
- [9] Osciloscopio OWON PDS5022: <http://www.owon.com.cn/eng/pds.asp>, Last accessed 2012, March 15th.
- [10] Pico usb oscilloscopes: <http://www.picotech.com/oscilloscope-specifications.html>, Last accessed 2012, March 15th.
- [11] National Instruments Labview: <http://www.ni.com>, Last accessed 2012, March 15th.