

## **EQUIPO DE PRACTICAS PARA SIMULACIÓN Y REALIZACIÓN DE CONVERTIDORES DC/AC**

J.M. JIMENEZ, J.A. VILLAREJO, J. ROCA, B. ALVAREZ Y A. IBORRA

<sup>1</sup>*Departamento de Tecnología Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena. 30202-Cartagena. España.*

*En el presente trabajo se muestra un equipo de prácticas de laboratorio orientado a introducir al alumno en el mundo de los convertidores DC/AC, enfrentándolos al problema de la modulación. Para ello se emplea una metodología docente tradicional, basada en la simulación previa de las topologías más habituales y la contrastación de los resultados obtenidos con la ayuda de un montaje real. De este modo, el alumno obtiene, mediante la instrumentación necesaria, los valores representativos de tensión y corriente tanto en el montaje como en la simulación, comparándolos con los conocidos de teoría.*

### **1. Introducción**

Mediante un entorno de programación visual[1] (Labview) se han programado un conjunto de prácticas, cuya principal característica es la facilidad con la que el alumno puede configurar los distintos módulos del equipo, programar los instrumentos que se utilizan y visualizar los resultados de las pruebas propuestas.

Las prácticas que se han desarrollado para una primera versión han sido las siguientes configuraciones de inversores: semipuente; puente monofásico con funcionamiento unipolar; puente monofásico con funcionamiento bipolar; y puente trifásico.

Dentro de cada práctica pueden seleccionarse, de un modo muy intuitivo, tanto el tipo de señal utilizada para la modulación (senoidal, triangular o cuadrada), su amplitud y frecuencia, y las señales a visualizar que pueden ser los disparos de los IGBTs, la tensión en la carga (resistiva) y su contenido armónico.

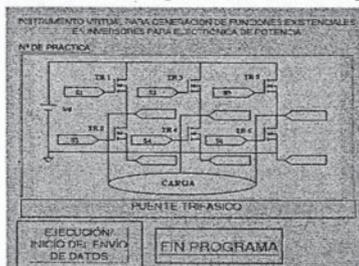
En el siguiente punto se realiza una descripción del equipo de prácticas, y a continuación se realiza un montaje real para comparar los resultados obtenidos con la teoría y los datos obtenidos en simulación. Finalmente, se describen las conclusiones que han sido obtenidas mediante la utilización del equipo de prácticas descrito.

### **2. Descripción del equipo**

Para la ejecución física de las prácticas el equipo empleado esta constituido por los siguientes elementos: un ordenador personal, una tarjeta microcontroladora y un equipo de potencia.

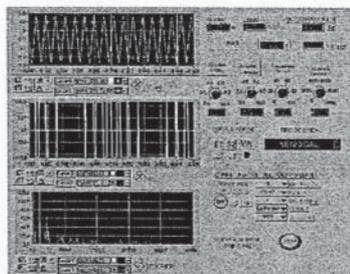
Para una determinada configuración de inversor, el software desarrollado calcula las conmutaciones que son necesarias y almacena el estado de los interruptores de potencia para el periodo de la señal que se desea sintetizar. A continuación, éstos valores son enviados a la placa microcontroladora por medio del puerto serie del ordenador.

La interfaz gráfica para el usuario (GUI) desarrollada cuenta de un menú principal mediante el cual el alumno puede seleccionar la práctica que tiene que realizar y donde se le facilita un esquema simplificado de la conexión del equipo de potencia que se va a programar de un modo automatizado. En la Figura 1 se muestra la pantalla correspondiente a la selección de un convertidor CC/CA trifásico.



**Figura 1:** Menú principal.

En la Figura 2 se muestra la pantalla correspondiente al inversor en semipunto, donde es visualizada la tensión en los extremos de la carga, en concreto una modulación triangular-senoidal. En la zona izquierda se representan gráficamente las señales triangular y senoidal, los pulsos de disparo de los IGBTs y el espectro de Fourier de la tensión en la carga, mientras que a la derecha se encuentran todos los controles que permiten ajustar la modulación a los valores deseados, así como el voltaje de la batería de tensión continua.



**Figura 2:** Pantalla de selección de datos y resultados..

La placa microcontroladora está basada en un DALLAS5000 que consta de una memoria de 32K y que puede configurarse según la necesidad en RAM o ROM; además se incluye el necesario "interface" RS-232 para la comunicación con el PC y los adaptadores de tensión a la salida de los puertos para obtener señales de control mayores de 13V. Este último paso ha sido necesario ya que los "drivers" utilizados (SKHI 22 de SEMIKRON) necesitan estos niveles para ser disparados.

La frecuencia de conmutación que la placa es capaz de controlar es de 7KHz, esta limitación es debida a que las instrucciones de acceso a memoria externa son lentas y por tanto se obtiene una frecuencia de conmutación inferior a la máxima del equipo de potencia (10KHz). Una posible solución a este problema es añadir un controlador a una memoria externa y de esta manera aumentar la frecuencia de salida de datos. Este método no ha utilizado ya que

complica en exceso el diseño de la placa, en comparación con la mejora a los resultados que se obtendrían con la disposición anterior.

Por otro lado, la tarjeta está diseñada para gestionar los mensajes de error que puedan producirse en los "drivers", Avisar mediante un indicador óptico de que se ha producido un error y esperar la acción del usuario para reiniciar los disparos.

El diseño que se ha realizado, es lo suficientemente versátil, cómo para poder añadir con facilidad nuevas prácticas con distintos tipos de modulaciones. En la actualidad se están desarrollando las siguientes prácticas: selección de conmutaciones para eliminar armónicos deseados y modulación mediante vectores espaciales.

El equipo de potencia empleado para implementar la configuración deseada ha sido proporcionado por SEMIKRON, y no sólo incluye los módulos de inversores sino también un modulo de convertidores AC/DC no controlados y otro de convertidores DC/DC. En concreto, los dispositivos que incorpora para la conmutación son IGBTs, como ya se ha indicado anteriormente y acompañados cada uno de ellos por un diodo volante y sendos "drivers" cuya función es aislar la parte de control de la parte de potencia e indicar posibles fallos por la alimentación o excesivo calentamiento.

### 3. Montaje práctico. Inversor monofásico

A continuación se incluyen los resultados obtenidos tras realizar el montaje de un inversor monofásico con carga resistiva, utilizando una modulación senoidal-triangular de relación  $m_a = 0.8$  y  $m_f = 9$ , con una tensión continua de  $V_{dc} = 30V$  en la fuente.

Con estos valores, sobre el espectro de la señal de tensión en la carga se puede decir lo siguiente[2,3]:

- Al tomar un valor impar de  $m_f$ , únicamente aparece la simetría impar, junto con la simetría de media onda.
- La amplitud del armónico fundamental viene dada por el producto de la tensión en la fuente y el factor  $m_a$ .
- Los armónicos que aparecen en el espectro, vienen dados por la siguiente fórmula:

$$f_h = (jm_f \pm k)f_1 \quad (1)$$

con las peculiaridad de que si  $j$  es impar solo hay armónicos para valores pares de  $k$  y si  $j$  es par solo aparecen para valores impares de  $k$ .

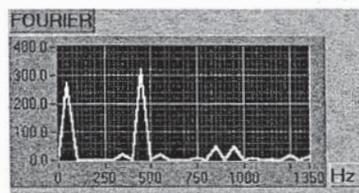
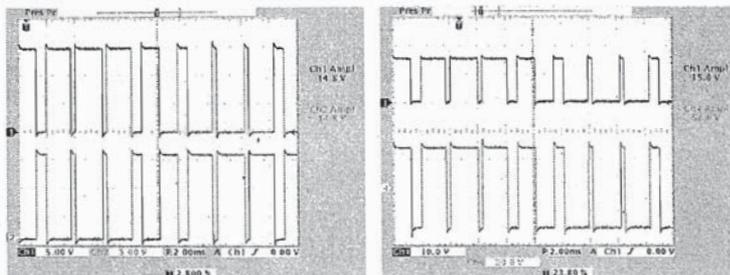


Figura 3: Espectro de la tensión en la carga. Inversor monofásico.

Estas propiedades se pueden comprobar en la Figura 3, en la que los armónicos son los indicados. Las unidades del espectro de potencia son en Voltios<sup>2</sup>-rms. La amplitud del armónico fundamental de 50 Hz es  $(V_{dc} * m_a)^2 / 2 = 288$  V.

Los resultados obtenidos en el montaje real para este caso son los que se muestran en la Figura 4, donde se ha capturado los pulsos correspondientes a los

interruptores S1 y S2 del puente monofásico y la tensión en la carga frente a los pulsos del interruptor S1. Existe una pequeña diferencia en el valor máximo de tensión suministrada a la carga y que es debido a la caída de tensión en los IGBTs. En este caso, el valor alcanzado es de  $\pm 28V$ .



**Figura 4:** Datos reales para modulación por ancho de pulso para S1 y S2 y tensión en la carga.

#### 4. Conclusiones

En el presente trabajo se ha mostrado un equipo hardware/software formado por un PC y una placa microcontroladora, para simulación y realización de prácticas de inversores DC/AC, centrado principalmente en el estudio de la modulación PWM utilizada en este tipo de convertidores. El montaje práctico realizado pone de manifiesto la bondad de los resultados obtenidos y la facilidad de manejo de este equipo.

Como principales ventajas cabe destacar que la metodología propuesta, enlaza de un modo casi inmediato las fases de simulación y de experimentación de un montaje práctico, lo que agiliza la posibilidad de realizar diferentes prácticas de laboratorio sobre un mismo tema y con ello afianzar los distintos conocimientos teóricos. Por otro lado, permite que el alumno se familiarice con la problemática de la elaboración de pruebas de laboratorio en base al empleo de entornos de programación visual de instrumentos de laboratorio e instrumentos virtuales.

Indicar también la fácil ampliación del software para un nuevo montaje, puesto que solo habría que incluir en el software un módulo específico para la nueva configuración.

#### Referencias

- [1] A.M. Lázaro. *LABVIEW. PROGRAMACION GRÁFICA PARA CONTROL DE INSTRUMENTACIÓN*. Editorial Paraninfo (1997)
- [2] M.H. Rashid. *POWER ELECTRONICS, CIRCUITS, DEVICES AND APPLICATIONS*. Editorial Prentice-Hall (1998).
- [3] N. Mohan, T.M. Undeland, W.P. Robbins. *POWER ELECTRONICS, CONVERTERS, APPLICATIONS, AND DESIGN*. Editorial John Wiley & Sons (1995)