

EXPERIENCIA EN LA DOCENCIA DE LA ASIGNATURA INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE POTENCIA

F. SOTO, J.A. VILLAREJO, J. JIMÉNEZ Y E. DE JODAR

*Departamento de Tecnología Electrónica.. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial.
Universidad Politécnica de Cartagena. España.*

pencho.soto@upct.es

En este artículo se presenta la metodología docente llevada a cabo en la asignatura optativa de quinto curso, Ingeniería Electrónica de Potencia. En ella, se pretende aunar gran parte de los conocimientos adquiridos durante la carrera y ponerlos en juego para resolver un caso práctico real. El caso práctico real propuesto a los alumnos consiste en diseñar y construir un convertidor de potencia utilizado para el electrosacrificio de atunes rojos cultivados.

1. Introducción

En este artículo se presenta la metodología docente llevada a cabo en la asignatura optativa de quinto curso, Ingeniería Electrónica de Potencia. Se trata de una materia con carácter multidisciplinar donde se utilizan continuas referencias a otras asignaturas básicas. En este contexto y dentro de la trayectoria en la universidad del alumno, la capacidad de deducción y trabajo científico y autónomo se encuentra en el punto más maduro de la titulación.

Nuestro objetivo no ha sido únicamente lograr el desarrollo de habilidades en el marco de la temática de la asignatura, sino otras capacidades no curriculares, como el trabajo en grupo y la capacidad de coordinación entre los grupos. Así, los alumnos podrán afrontar los retos competitivos dentro del sector industrial.

2. Asignatura, Ingeniería Electrónica de Potencia

2.1. Entorno

La asignatura Ingeniería Electrónica de Potencia es una asignatura optativa de 5º curso (2º cuatrimestre) de la titulación Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial. En esta asignatura se pretende por parte de la metodología docente presentada, aunar gran parte de los conocimientos adquiridos durante la carrera y ponerlos en juego para resolver un caso práctico real. Estos conocimientos se derivan de asignaturas que los alumnos de esta titulación (casi exclusivamente alumnos provenientes de la titulación de Ingeniero Técnico Industrial, especialidad en Electrónica Industrial) han cursado anteriormente. De entre estas asignaturas, por su estrecha relación con los trabajos realizados para el caso práctico que posteriormente se presenta, cabe destacar entre otras:

- Diseño y Simulación Electrónica (2º ITI)
- Electrónica Analógica (2º ITI)
- Electrónica de Potencia (2º ITI)
- Ampliación Electrónica de Potencia (3º ITI)
- Circuitos Programables (3º ITI)
- Técnicas Avanzadas de Control (3º ITI)
- Ingeniería de los Microprocesadores (4º IAEI)
- Sistemas de Control (4º IAEI)

- Técnicas de Análisis y Diseño Electrónico (4° IAEI)
- Control Avanzado (5° IAEI)
- Electrónica Industrial (5° IAEI)

De todas las asignaturas anteriormente expuestas habría que resaltar por su estrecha relación, “Ampliación de Electrónica de Potencia”, “Sistemas de Control” y “Técnicas de Análisis y Diseño Electrónico”. Será necesario hacer breves exposiciones teóricas de conocimientos adquiridos en las mismas, pero que por su especial relevancia para la resolución del caso de estudio, es necesario que los alumnos las recuerden de forma óptima.

2.2. Metodología de enseñanza-aprendizaje

Desde un primer momento se planteó esta asignatura muy alejada de la metodología docente clásica, es decir, aquella que recurre a sesiones de teoría (clase magistral), sesiones de problemas y sesiones de prácticas en laboratorio.

Para lograr alcanzar los objetivos enumerados anteriormente se recurrió a actividades formativas más cercanas a las nuevas exigencias educativas. Todas las horas presenciales tienen un carácter eminentemente práctico, siendo éste fomentado por el trabajo en grupo de los alumnos. Casi la totalidad de la docencia se imparte en el laboratorio de prácticas de electrónica de potencia del Dpto. de Tecnología Electrónica, que cuenta con 8 puestos equipados con:

- Ordenador personal.
- Grupo de transformadores de aislamiento.
- Equipo docente de potencia de Semikron.
- Carga resistiva, carga inductiva y carga capacitiva.
- Generador de señales y fuente de alimentación.
- Osciloscopio digital, sonda diferencial de tensión y pinza amperimétrica.

A lo largo del desarrollo de la asignatura y como consecuencia de la resolución del caso práctico, los alumnos se van enfrentando a pequeños problemas que les permiten poner en juego los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. Desde el inicio del curso se forman reducidos grupos de trabajo, de 2 alumnos normalmente. Los alumnos tratan de encontrar dentro de su grupo la mejor solución posible a los problemas y posteriormente elegir la más óptima de entre todas las propuestas.

Otra de las ventajas de esta metodología presentada es que al final de la asignatura y una vez resueltas cada una de las etapas de diseño y simulación para el caso práctico real, el alumno afronta la construcción de un prototipo, lo que resulta muy motivador para el mismo. La evaluación de la asignatura se va haciendo de manera continuada.

Obviamente, el uso de este tipo de metodología se ve favorecido por el reducido número de alumnos de la titulación, que no ha superado en los 8 últimos años los 16 alumnos. Este último número es el máximo de alumnos con el que se podría impartir la asignatura, dado el número de puestos (8) y el número de alumnos por grupo de trabajo (2).

3. Caso práctico propuesto

Se presenta a continuación uno de los casos reales, propuesto a los alumnos para su resolución a lo largo del curso. Se trata de construir un convertidor de potencia utilizado para el electrocristalizador de atunes rojos cultivados [1]. El equipo consta de dos partes bien diferenciadas, una parte software y una parte hardware, que interactúan entre sí.

La parte software debe suministrar al hardware la forma de onda a aplicar a la carga, en este caso el atún. En el equipo real esta parte consiste en un ordenador portátil en el que se ejecuta un programa desarrollado en Labview que permite al usuario definir de un modo sencillo cualquier forma de onda, que luego será aplicada al pez a través de los electrodos, onda monitorizada en el interfaz de usuario. En el equipo a diseñar por los alumnos, y para simplificar su ejecución, la “parte software” se corresponde con un microcontrolador en el que se almacenan diferentes formas de onda y que genera una u otra en función de unos pines de control.

En lo referente al hardware del equipo, el esquema eléctrico es el mostrado en la Fig. 1, que tal y como se puede comprobar está formado fundamentalmente por un inversor con un filtro LC a la salida. Además, el equipo debe llevar un transformador de aislamiento para evitar que salten las protecciones del barco cuando se produzcan descargas al agua (en este caso se usan los bancos de transformadores del laboratorio). Dicho convertidor, actúa como un amplificador de potencia, que reproduce la forma de onda que se le aplique como referencia.

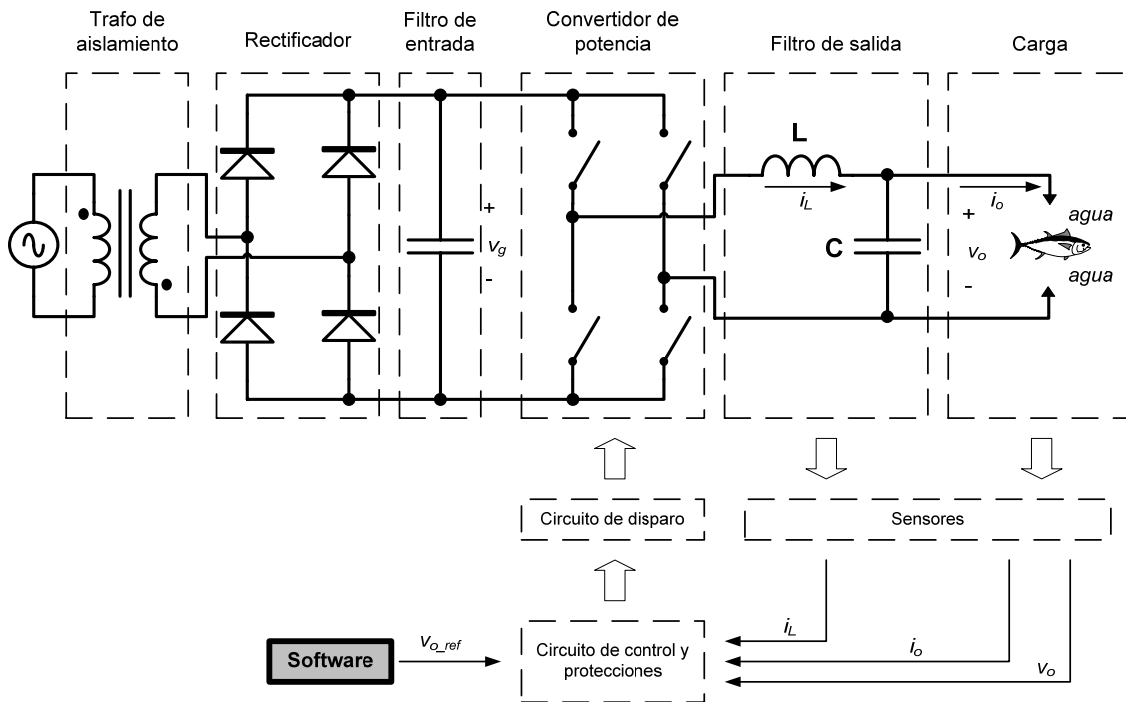


Figura 1. Esquema eléctrico del convertidor para uso en electropesca.

El convertidor está sometido a variaciones muy elevadas e imprevistas de carga, de hasta 10 veces (descarga en agua salada o descarga en atún), si bien la señal de salida debe ser lo más fiel posible a la referencia bajo cualquier circunstancia. Por todo ello, el cálculo y diseño del control es la parte más importante, dado que este debe ser capaz mantener una determinada forma de onda a la salida, aún variando mucho la carga.

Como se citó anteriormente los alumnos afrontan el diseño, simulación y construcción del prototipo final en diversas etapas. A continuación se detallan cada una de esas etapas así como los trabajos

realizados para cada una de ellas. La resolución de cada una de las etapas, no se hace de forma aislada por parte de los grupos de trabajo, sino que se hace en el seno de la clase en constante interacción con el profesor. Cada grupo presenta su “solución”, la cual es defendida ante los otros grupos de trabajo, adoptándose finalmente la mejor solución consensuada.

3.1. Etapa 1. Presentación del problema

Se explica a los alumnos el alcance de la problemática asociada a los convertidores para uso en electropesca, se les detalla cada una de las partes de que consta el equipo y se les proporcionan las especificaciones más importantes que debe cumplir el mismo (V_{out_max} , I_{out_max} , f_{out_max} y protecciones).

3.2. Etapa 2. Selección y “diseño” de la topología para el inversor

Los alumnos deben estudiar y seleccionar la topología más adecuada para la construcción del inversor, medio puente o puente completo, así como el tipo de modulación a aplicar. Una vez llegado a un consenso entre todos, del inversor a construir, éstos, con la ayuda de páginas webs de fabricantes, catálogos, etc, elegirán los transistores de potencia que más se adecuen a las especificaciones, así como sus drivers. Esta selección será sólo teórica, dado que por problemas de tiempo, no se construye el inversor, sino que se usa para las pruebas, el equipo docente de potencia de Semikron.

3.3. Etapa 3. Selección del disipador

Con los transistores seleccionados “teóricamente” y con las especificaciones del equipo, los alumnos deben seleccionar el disipador más apropiado para lograr que éstos no se calienten por encima de valores seguros de temperatura [2].

3.4. Etapa 4. Selección de los parámetros de los filtros

Los alumnos calculan los filtros necesarios tanto para la entrada como para la salida. Al igual que sucede en la etapa anterior, en el caso del filtro de entrada se usa para las pruebas el que dispone el equipo docente de potencia de Semikron. No sucede lo mismo para el filtro LC de salida, para el que los alumnos si tienen la posibilidad de comprar los condensadores que ellos elijan, al igual que de fabricar la bobina. Para la fabricación de la bobina se les proporciona toroides de polvo de hierro.

3.5. Etapa 5. Sensorización. Tipos de sensores, fundamentos físicos, etc

Como se observa en la Fig. 1, el control del equipo necesita valores medidos de tensión y corriente, por lo que alumnos deben estudiar qué tipo de sensores existen para tales propósitos, cuáles son sus fundamentos físicos, y elegir los que debiera llevar el equipo con la ayuda de páginas webs de fabricantes, catálogos, etc. De nuevo y por falta de presupuesto, se recurre para las pruebas finales, a las sondas y pinzas existentes en el laboratorio de potencia.

3.6. Etapa 6. Simulación en lazo abierto

En esta etapa se retoma el trabajo con la topología de inversor seleccionada, debiendo obtener a partir de ésta y junto con el filtro y la carga, el circuito equivalente promediado [3]. Está será simulado tanto en Pspice como en Matlab.

3.7. Etapa 7. Cálculo y diseño del control

Dada las especiales características de la carga, que puede variar bruscamente, y ante la necesidad de lograr una señal de salida “fiel” a la de referencia, se adopta un control feedforward para este tipo de convertidores. No obstante para no complicar en exceso el problema para los alumnos, se les propone a éstos, el cálculo y diseño de un control “clásico” feedback. Partiendo de ésta premisa, los alumnos, a partir del circuito equivalente promediado, obtiene el diagrama de bloques del mismo en el que ya aparecen los

lazos de tensión y corriente del control. Con ayuda de este diagrama de bloques, los alumnos deberán calcular los controladores necesarios.

3.8. Etapa 8. Simulación en lazo cerrado

Los controladores calculados en la etapa anterior se transforman en su equivalente electrónico para poder llevar a cabo el control analógico del equipo. Estos controladores analógicos se añaden al circuito promediado obtenido en la etapa 6, y se procede a la simulación del equipo en lazo cerrado. Durante las simulaciones se somete al equipo a variaciones bruscas de carga para diferentes señales de referencia, para comprobar cómo se comporta ante éstas.

3.9. Etapa 9. Programación del microcontrolador

Como se mencionó anteriormente los alumnos deben programar un microcontrolador, en este caso un PIC [4], almacenando en el mismo distintos tipos de señales de referencia, tanto en forma, amplitud y frecuencia. Dada la flexibilidad de este tipo de microcontroladores, se le proporcionará a los alumnos el flujograma del programa que debe ser programado en el PIC.

3.10. Etapa 10. Montaje del circuito de control

Se pasa ya a la penúltima etapa, en la que los alumnos deben diseñar una placa de circuito impreso que contenga la parte software del equipo (pic y filtros necesarios) y los controladores de la parte hardware. Esta placa se conectará al equipo docente de potencia de Semikron, por lo que también debe contar con los circuitos necesarios para generar las señales de disparo que se transmitirán a los drivers de cada una de los transistores del puente (generador de triangular, comparadores, inversores, etc). En la Fig. 2 se puede observar de forma esquemática cada una de las partes de que consta dicha placa.

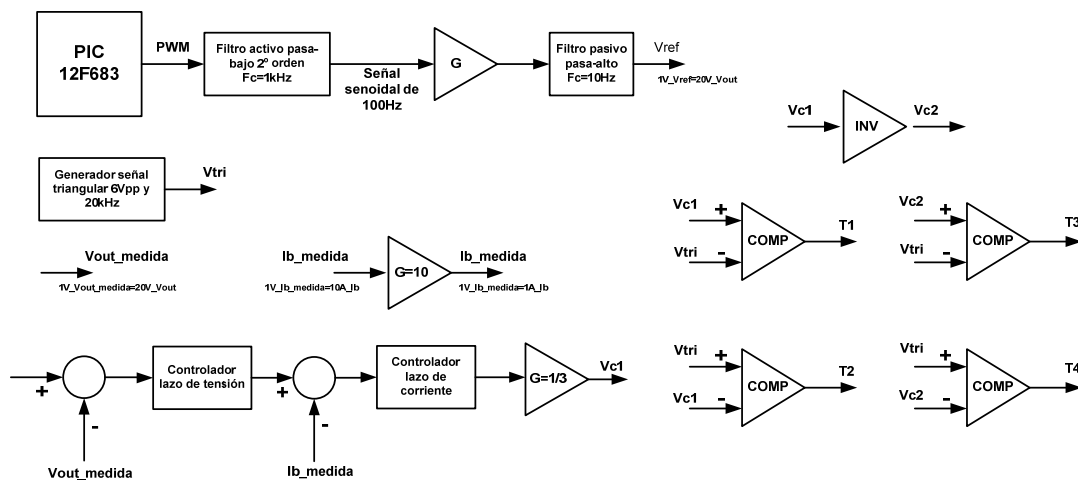


Figura 2. Esquema de bloques de las partes integradas en la placa de control.

3.11. Etapa 11. Prueba del equipo

Finalmente se conectan los distintos elementos fabricados, filtro de salida y placa de control (ver Fig. 3), a los elementos comerciales existentes en el laboratorio, trafa de aislamiento, equipo docente de potencia de Semikron, carga resistiva y sondas de tensión y corriente, para probar el funcionamiento del equipo al completo.

Esta es sin duda, la etapa más satisfactoria para los alumnos puesto que pueden comprobar como todo el trabajo desarrollado a lo largo del curso se ha convertido en algo material, fabricado por ellos mismos, y que funciona tal y como habían previsto en las simulaciones.

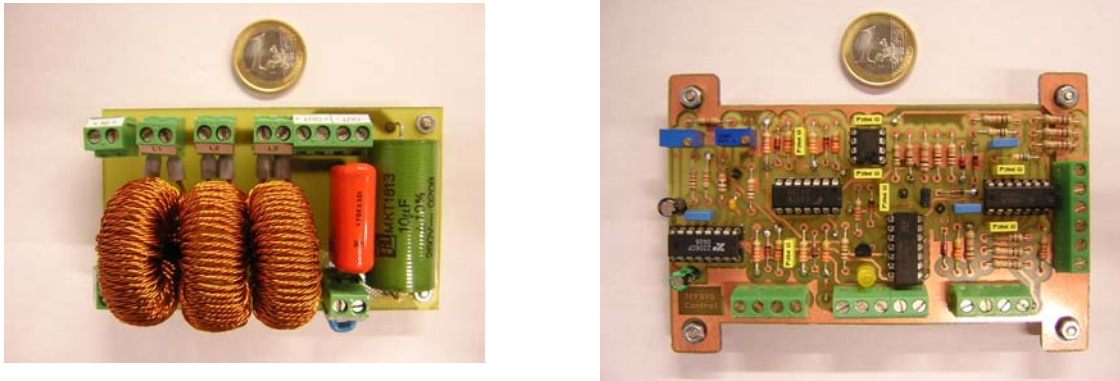


Figura 3. Prototipo fabricado por alumnos.

4. Conclusiones

La metodología docente presentada logra los objetivos propuestos desde el principio de su implantación, hace ya 5 años. Haciendo la asignatura Ingeniería Electrónica de Potencia, eminentemente práctica, se logra motivar al alumno, consiguiendo que de una forma natural haga uso de muchos de los conocimientos adquiridos durante la carrera para resolver un caso práctico real. Además, si se tiene en cuenta que el esfuerzo lo hace en el seno de un grupo de trabajo, ésta metodología no solo desarrolla habilidades en el marco de la temática de la asignatura, sino otras capacidades no curriculares, como el trabajo el grupo y la capacidad de coordinación entre los grupos.

El éxito de esta metodología se pone de manifiesto en la índice de aceptación de los alumnos, dado que el 100% de los alumnos matriculados en 5º curso, la eligen como asignatura optativa.

Referencias

- [1] F. Soto, J.A. Villarejo, J. Roca-Dorda, A. Mateo, M. Jiménez y E. de Jódar. *Nuevo equipo de electropesca para uso en jaulas de cultivo de atún rojo*. Libro de Actas del XII Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación, pp. 288-291 (2005)
- [2] N. Mohan, T.M. Undeland y W.P. Robins. *Power Electronic. Second Edition*. John Wiley & Son, Estados Unidos, (1995)
- [3] R.W. Erickson y D. Maksimovic. *Fundamentals of Power Electronic*. Kluwer Academic Publishers, (2001)
- [4] J.M. Angulo, I. Angulo y E. Martín. *Microcontroladores PIC: la solución está en un chip*. Thomson Paraninfo, (2001)