

# DESARROLLO COMPLETO DE PRACTICAS DE ELECTRONICA: DISEÑO, SIMULACION Y MONTAJE. APLICACION A GRANDES GRUPOS.

J.M. Cabrera, Manuel E. Chaves, Pedro Hernández  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación.  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
Campus Universitario de Tafira.  
35017 Las Palmas de Gran Canaria.  
Tel: (+34 28) 45 8981  
Fax: (+34 28) 45 1243  
e-mail: jcabrera@neumann.teleco.ulpgc.es

**RESUMEN.-** Se propone al grupo de prácticas (dos alumnos) el diseño e implementación en una placa de circuito impreso de un circuito donde intervienen factores tales como: diseño de elementos (bobina de determinado valor), de implementación de reglas de diseño en el trazado de las pistas en la placa de circuito impreso y en la distribución de componentes, de fabricabilidad de dicha placa, de montaje y soldadura de los componentes y, por último, de comprobación práctica del funcionamiento dentro de las especificaciones dadas en el enunciado del diseño. La asignatura cuenta con 454 matriculados, de los que siguen habitualmente las prácticas 408. Por tanto es importante tanto el planteamiento, como la organización para su desarrollo.

## 1.-INTRODUCCIÓN.

El ciclo ideal en la enseñanza de la electrónica es: Diseño (soporte teórico), simulación (comprobación de los parámetros del diseño previos al montaje) y montaje (implementación física del circuito y comprobación del mismo).

Es importante que dicho ciclo se cumpla totalmente, aunque a veces nos quedemos en las dos primeras fases por la tradicional falta de medios en los laboratorios docentes.

La simulación no es más que un "puente" entre el diseño y el montaje y como tal debe ser entendido y aplicado, además de justamente valorado.

Tradicionalmente, el montaje se realiza en las llamadas "placas de montaje de prototipos" o "protoboard", por la comodidad, rapidez y economía con que se pueden montar las prácticas a lo largo de un curso.

Pero la formación dejaría de estar completa si además no se da la oportunidad de diseñar y montar una determinada práctica sobre una placa de circuito impreso. Con ello se logra poner al alumno en contacto con problemas tradicionales en el diseño electrónico y que no se plantean cuando son montadas en las llamadas "protoboard": diseño del trazado de las pistas, asignación del diámetro del pad adecuado al del terminal del componente, obtención del cliché de fabricación. A partir de ahí, el montaje de los componentes sobre la placa fabricada y su posterior soldadura.

La experiencia consiste en realizar una placa de circuito impreso basada en un convertidor DC-DC con topología BUCK (STEP-DOWN) que suministrase una corriente de 2A con una



DC-DC con topología BUCK (STEP-DOWN) que suministrase una corriente de 2A con una tensión de salida de 12V, disponiendo en la entrada de una fuente de alimentación no regulada de unos 30V.

## 2.- ANTECEDENTES.

Los antecedentes se remontan a cuando se le imprimió otro carácter a la asignatura con el objetivo claro de multiplicar la efectividad de la docencia mediante la coordinación entre la teoría y la práctica.

Las cuestiones que habían que resolver eran: en primer lugar, el hecho de que dentro de algunas de las asignaturas de electrónica analógica había que implementar la enseñanza de realización de placas de circuitos impresos; mientras que por otro lado queríamos que los alumnos realizaran una práctica que diera un producto acabado profesional.

Se pensó, por tanto, en la realización de un convertidor de tensión tipo STEP-DOWN, es decir bajador de nivel de continua; presentando como argumentos decisivos a la hora de escógerla los siguientes: los convertidores son subsistemas o sistemas electrónicos muy usados y diseñados, por supuesto estaba incluido dentro del temario; exponer las ventajas apabullantes que ofrecían frente a un regulador lineal; y que no eran relativamente sencillas de calcular y de realizar sino que tenían que cumplir una serie de reglas de diseño a nivel de placa de circuito impreso y tenían que realizar a mano un inductor.

## 3.- LA EXPERIENCIA.

Se planteó el problema de realizar un convertidor DC-DC con topología STEP-DOWN que cumplierse con los siguientes extremos:

- Tensión de entrada 30V no regulados.
- Tensión de salida 12V regulados.
- Intensidad de salida de 2A.
- Tensión de rizado menor de 100mV.
- Placa de circuito impreso limitada a 6x9 cms.

Como orientaciones se les suministró unos apuntes que disponían al final del procedimiento completo a seguir, de forma ordenada, para realizar la práctica; incluía una serie de recuadros que iban rellenando a medida que calculaban los diferentes elementos. En estos apuntes, además, se les fijaba el circuito integrado a utilizar, el transistor de conmutación, el diodo de recuperación y el núcleo del inductor, con el fin de abaratar los costes; aunque se les explicó exhaustivamente los motivos de tales elecciones.

Los elementos fijados por conveniencia comercial fueron:

- El circuito integrado SG3524.
- El transistor de conmutación TIP125 o IRF9630 (a elegir por ellos en función a la velocidad de conmutación).
- El diodo de recuperación SB540 (Schottky).
- El núcleo EE42 (exageradamente dimensionado pero no había otros disponibles a menos que se hiciesen pedidos considerables).

Comenzaban seleccionando la frecuencia de operación óptima en función al modo de funcionamiento de la fuente (forward) para el núcleo del inductor.

A continuación seleccionaban aquel de los dos transistores que se podían utilizar para esa frecuencia elegida, en caso de que el alumno eligiese fijar la frecuencia por la máxima utilizable por el transistor eligiendo el bipolar (de peor respuesta que el MOSFET) se les exigía que la frecuencia de conmutación quedase por encima de los 20Khz (límite audible).



Después procedía al cálculo del divisor de tensión que le servirá al integrado para muestrear la salida con el fin de mantenerla constante a la elegida, y al condensador y resistencia que fijaba la frecuencia de oscilación.

En el siguiente recuadro se procedía al cálculo del inductor que comprendía el siguiente procedimiento: cálculo de L necesario, cálculo del número de espiras en función al AL que estará fijada por el air-gap que dispongamos (esta última operación es de tanteo).

Selección de la sección del hilo de cobre para mantener la constante de tiempo propia del inductor a un valor tal que no provoque un mal funcionamiento en el circuito.

Por último se procedía al cálculo del condensador que comprendía: cálculo de la capacidad mínima, cálculo de la ESR máxima admisible, cálculo de la intensidad de rizado que tiene que soportar. Con esos tres datos elegíamos un condensador (o varios en paralelo) que cumpliera los tres requisitos. Se les hacía hincapié en el hecho de que el condensador debe ser de baja impedancia, es decir que pueda trabajar a la frecuencia de conmutación elegida, no siendo válidos los condensadores electrolíticos normales sino los electrolíticos para alta frecuencia (marcados 105°C en el exterior) ó bien los de tántalo, o los de semiconductores orgánicos (no disponibles en nuestro mercado).

Una vez realizados todos los cálculos procedía al diseño de la placa de circuito impreso en un programa del que tenemos licencia de utilización y que explicábamos en algunas semanas libres antes del comienzo del segundo cuatrimestre. El diseño debía cumplir una serie de normas como eran: ancho de pista, distancias entre estas, trazado de las mismas, etc.

Para realizar el diseño el alumno debía adquirir en primer lugar los componentes y, a continuación, procedía a identificar los componentes con los encapsulados utilizados en el programa con el fin de realizar la placa correctamente.

Una vez terminado lo corregía un profesor para comprobar las reglas de diseño (así como el que no se hubiesen copiado), y se procede a realizar los clichés de fabricación que se entregan al Laboratorio de Circuitos Impresos. Allí se realiza la placa (el alumno taladra los agujeros y suelda los componentes).

La última fase consiste en la comprobación de que la placa cumple con las especificaciones de diseño y si no es así (raras veces) se le notifica al alumno qué ha realizado mal en la placa y si el fallo es grave quedan las prácticas no superadas, con lo que se tiene que examinar en alguna convocatoria de prácticas.

#### **4.- ORGANIZACION DEL TRABAJO.**

El número potencial de alumnos que podían acometer el desarrollo de la práctica es de 408, si bien se hicieron finalmente un total de 310 placas. Lógicamente para que este trabajo pudiera salir con la rapidez necesaria es preciso una buena planificación en los plazos de tiempo y de los medios disponibles. En este caso, el "cuello de botella" lo encontramos en la implementación en la placa de circuito impreso y su posterior montaje.

La práctica comienza a explicarse en el mes de febrero describiendo tanto el proceso de cálculo de los elementos así como los procedimientos a seguir en el programa de circuitos impresos. El diseño de la placa debía ser revisado antes del 17 de mayo por el profesor de prácticas quién comprobaba la correcta distribución de las pistas y le añadía los datos personales para la identificación de la misma. A continuación se imprimía una copia sobre papel por impresora láser, de 600 dpi, y se le indicaba al alumno que sacara dos copias en transparencias. Dichas copias servirían, una vez montadas una sobre otra, para el proceso de fabricación por el método de fotograbado en el Laboratorio de Circuitos Impresos. Una vez impresos los circuitos en la placa se retiraban por los autores, convenientemente identificados, para su taladrado y posterior estañado.



El tamaño del cliché, especificado en las condiciones de diseño viene condicionado por el tamaño de la plancha de placa de circuito impreso que se utiliza para la fabricación, que era de 200x300 mm. De esta forma, con la citada plancha podían fabricarse nueve diseños diferentes al mismo tiempo, reduciendo el tiempo de fabricación de cada una, además del coste (mejor aprovechamiento de la superficie inicial de la placa).

En paralelo, el alumno bobina el inductor, según el cálculo realizado, y comprueba la inductancia mediante el medidor de impedancias correspondiente, que en nuestro caso es de la marca Promax, modelo MZ-705.

Una vez fabricada totalmente la placa, el alumno procede al montaje, soldadura de sus componentes y comprobación del funcionamiento en el laboratorio de Electrónica Analógica, para lo que disponen del circuito integrado SG3524 y de las cargas necesarias, de 6 ohmios, para hacer trabajar al convertidor en condiciones extremas y comprobar de esta forma si está dentro de especificaciones.

## 5.- INFRAESTRUCTURA Y COSTE ECONOMICO.

Para la implementación de la práctica se dispone de la siguiente infraestructura:

- \* Laboratorio de Electrónica Analógica, con una superficie aproximada de 200 m<sup>2</sup>, y equipado con un total de 20 puestos de laboratorio (Fuente de Alimentación FAC 662B, polímetro digital PM2519 ó DM2510G, Osciloscopio analógico PM3215 ó PM 3050, Generador de funciones PM5131) y, ubicados físicamente en otra parte del laboratorio, 20 ordenadores tipo 486/33 MHz con 8M de RAM y 250 MB de Disco Duro, conectados en red a un servidor DX2/66 MHz con 16 M de RAM y 500 MB de Disco Duro.

- \* Laboratorio de Circuitos Impresos, con una superficie aproximada de 130 m<sup>2</sup>, y equipado con una cadena de fabricación por el método de fotograbado (insoladora de doble cara con sistema de vacío y formato útil máximo de 300x400 mm; grabadora de percloruro férrico con arrastre automático por convoy y una capacidad de 30 litros, y con formato máximo de entrada de 300 mm; un total de 5 taladros manuales con sus correspondientes pies fijados a la mesa, con capacidad de broca desde 0,7 hasta 3 mm y velocidad de rotación de 30000 rpm; estañadora por rodillo de 425 mm de paso).

El coste económico de la práctica es compartido entre el alumno, que se quedará con el trabajo, y el laboratorio. Para el primero supone un desembolso de unas 1.200 ptas (precios de Canarias) puesto que comprará todos los elementos excepto el circuito integrado, las cargas de comprobación y la placa de circuito impreso. Estos últimos los adquiere el laboratorio de Electrónica Analógica y el de Circuitos Impresos respectivamente. Tanto el circuito integrado como las cargas se utilizan para la comprobación de todas las placas, es decir, una vez el alumno va a comprobar el correcto funcionamiento en el laboratorio se le presta el integrado y la carga. Finalizada la misma, en horas de prácticas, se devuelve al laboratorio.

En este caso el coste para el laboratorio es el correspondiente a unas veinte unidades del circuito integrado SG3524 y las correspondientes cargas, que en Canarias supone unas 20.000 ptas. El coste de fabricación de la placa de circuito impreso se puede cifrar en unas 400 ptas/placa, lo que hace un total de 124.000 ptas. Téngase en cuenta que se tratan de prototipos con diseños diferentes unos de otros, por tanto no pueden aplicarse algunas de las técnicas de fabricación en serie que lógicamente abarataría aún más los costes.



## 5.-EVALUACION DE RESULTADOS.

El alumno se siente especialmente motivado con esta práctica porque implementa en un montaje real y con unas especificaciones de diseño concretas los contenidos teóricos explicados en clase.

En el aspecto formativo, al alumno se le hace trabajar en las tres fases del ciclo ideal de la enseñanza expuesto al comienzo, integrándolas en un mismo trabajo. Este aspecto hace que muchos de los alumnos se interesen en continuar la experiencia por su propia cuenta (sobrecargando al profesorado con problemas de difícil solución económica). El resto del alumnado opina que al menos le habrá servido para comprobar que efectivamente pueden diseñar cosas que funcionen ó bien que ya se conocen el programa de diseño que les permita realizar la placa de circuito impreso del proyecto fin de carrera.

Reseñar que para los alumnos repetidores se les obliga a realizar un convertidor tipo BUCK-BOOST y para los tripitidores (que se dará en el próximo curso) la tarea asignada será realizar la simulación de ambos en PSPICE6.3 (licencia en red) con una serie de condicionantes.

Por último, el alumno adquiere una serie de experiencias que podemos encuadrar dentro del denominado "valor añadido" de la enseñanza, y que son el complemento esencial en la formación del ingeniero técnico.