

Análisis, Diseño y Construcción de un Sistema de Carga Sustentable

Director: Dr. Andrés García
Becario: Fernando Loyola Le Feuvre

16 de noviembre de 2016

Resumen

En este informe se presenta un detalle de las actividades realizadas durante el desarrollo de la beca BENTR15 desde comienzos de 2015. En ese sentido, se presentarn diferentes fases de experimentación y desarrollo que conducen a un prototipo final en el cual es posible contar con información en display LCD así como frenado mecánico a partir de un control MOS-FET.

Se comenzó con un estudio sobre convertidores DC-DC, haciendo énfasis en convertidores SEPIC ya que los mismos resultan adecuados para aplicaciones en donde los voltajes pueden ser menores o mayores al deseado de 5V (carga de un celular).

Es de destacar que se construyeron dos arquitecturas de circuitos reguladores, una de ellas con convertor SEPIC, mientras que la nueva arquitectura propone la utilización de un convertor Buck, control de corriente máxima y freno PWM controlado.

Finalmente, fue posible escribir un poster que fuera publicado y presentado en el Tercer Congreso CIC 2016 y además se está escribiendo un artículo para enviar a una revista.

1. Introducción

El uso cotidiano de bicicletas fijas junto a la creciente necesidad de las sociedades de realizar ejercicio físico, sumado al cada día más elevado consumo de teléfonos celulares, hace evidente la necesidad de combinar ambas actividades.

En este sentido, y considerando que las rutinas de ejercicios físicos proveen al menos 20 minutos de bicicleta fija, induce la idea de que es posible acoplar un elemento generador de voltaje (variable) al eje de pedaleo y con ello proveer una carga constante para un teléfono celular.

En las secciones siguientes se presenta un estudio completo de este problema, desde las primeras experimentaciones usando generadores pequeños de 24V con convertor SEPIC hasta las etapas más evolucionadas donde se presentan ensayos con generados propios para terminar en generadores comerciales de mayor tamaño y su respectivo cargador Buck.

Es de hacer notar que la versión definitiva presentada al final de éste documento, propone un equipo de carga desde un generador CC capaz de cargar un teléfono celular o tablet, en donde además se posee un indicador LCD de freno dinámico y corriente. Los materiales a usar son de alta performance de competición: palancas de cromo-molibdeno de descenso, porta-silla de aluminio alivianado y anodizado, stem de aluminio anodizado y reforzado, forma de aluminio de alta resistencia y asiento de alto comfort.

2. Estudio de conversores DC-DC

De modo de conducir las investigaciones de forma ordenada y completa, se estudió el problema: *regulación del voltaje producido por un generador conectado a los pedales de una bicicleta fija a 5V para cargar un teléfono celular*. En este sentido, las posibilidades son variadas.

De todos modos, una primer dirección de investigación es la utilización de un clásico dínamo CC que puede producir voltajes mayores, menores o iguales al deseado de 5V.

Por ese motivo se hace una revisión de las diferentes topologías vista en la cátedra Accionamientos y Controles Eléctricos para conversores CC-CC.

De este modo, utilizando la herramienta on-line: *Webench* de la empresa Texas instruments, se obtiene que una buena elección es la configuración SEPIC.

Si bien se requiere de un transformador de alta frecuencia, debido a la baja potencia requerida para cargar u teléfono celular: 5W, no es complicado realizar su bobinado de forma manual.

Partiendo del circuito que resulta de *Webench*, se estudian las hojas de datos del circuito integrado LM3478 así como las notas de aplicación para su estabilización (ver [3], [4], [6] y [1]).

En las secciones siguientes se detallan los primeros ensayos y el desarrollo progresivo de conclusiones que determinarán el uso más tarde de un conversor Buck a partir de un generador CC de mucho mayor potencia (250W) que además cumple con la función de frenado y reemplaza la necesidad de discos de inercia para su posible utilización en gimnasios y espacios abiertos.

3. Primeros Ensayos

Los primeros ensayos fueron conformados bajo la idea tradicional de un pequeño dínamo CC. En este sentido se utilizó como generador un motor CC de 24 de la firma *AP y S* (Figura 1):

El claro inconveniente es que el voltaje producido es variable pudiendo ser mayor, menor o igual que el necesario para cargar un celular: 5V. Para solucionar este problema, se dise un cargador SEPIC, que puede aumentar/disminuir el voltaje regulado de su salida sobre la base de [8] y [2] (ver Figura 2 end donde se presenta también un dibujo esquemático previo al PCB hecho con el programa Kicad):



Figura 1: Microreductor SP8F

Como se explicara en la sección precedente, el driver utilizado para la conversión DC/DC es el LM3478 de Texas Instruments que provee un nivel alto de integración además de protección por sobrecorriente, sobrettemperatura y baja cantidad de componentes externos (ver el documento adjunto [5]).

Los ensayos de carga en celulares mostraron ser satisfactorios hasta 500mA de carga con el inconveniente de resultar en un freno mecánico muy liviano para el usuario de la bicileta fija con su resultante incomodidad de pedaleo (ver Figura 3 en donde se observa el regulador DC-DC en su gabinete terminado. Se adjunta además un video de funcionamiento).

Por este motivo, se decidió realizar ensayos con un nuevo generador CC construido en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la UTN-FRBB. Se comenzó con estructuras preensambladas de sincro-generadores (Figura 4):

De todos modos, y aún con el uso de imanes de Niodimio, la generación no resultó ser suficiente y su forma muy triangular (Figura 5):

En la siguiente sección se detalla la construcción y prototipado alrededor de un generador de mayor potencia utilizando un motor CC de 100W que además ofrecerá la posibilidad de implementar un freno electromagnético.

4. Obtención de una generación estable

Como conclusión de las experiencias presentadas ya sea con generadores de baja potencia (motorreductor SP8F) o generador de baja potencia con imanes de Niodimio, es posible decir que uno de los impedimentos en una generacin estable acoplado a palancas giratorias de modo irregular (pedales), es la reducida potencia disponible del generador.

Por ese motivo se decide utilizar un motor CC de mucha mayor potencia: 100W (Figura 6):

Este generador CC (motor CC) producirá un mayor voltaje así como una mayor capacidad de corriente que pueda mantener una forma de onda más regular.

5. Construcción de un banco de ensayos manual

Para poder obtener conclusiones precisas, se construyó y montó el nuevo generador CC sobre el banco mostrado en la Figura 5. Con este banco y usando una relación pedales-generador de 30:1, se obtiene una generacin estable de 8.8V (promedio) aún en carga (resistencia en azul de la Figura 6 que produce 10W de carga), como se muestra en la Figura 7:

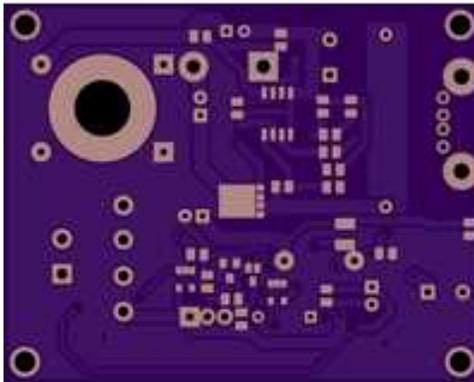
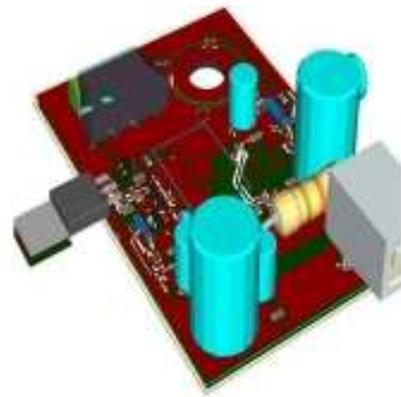


Figura 2: PCB's del convertor SEPIC de 5V y rango de entrada [3V,24V]

En consecuencia, con este generador CC de mayor potencia la posibilidad de utilizar un frenado eléctrico producido en el mismo circuito a partir de PWM es evidente. Esta idea se explora en la sección siguiente, en donde se utiliza una resistencia de potencia (mostrada en la Figura 6) junto con un segundo prototipo de bicicleta construido también en el Laboratorio de Eléctrica UTN-FRBB.

6. Construcción de un primer prototipo de ensayos

Luego de terminada la etapa de ensayos y cálculos con el generador CC, se procedió a la construcción de un banco de pruebas en el que sea posible pedalear (Figura 8).

Este banco es necesario desde un punto de vista ergonómico, es decir, que fue necesario determinar distancias, largos y dimensiones del prototipo final a los fines de aportar comodidad en el pedaleo del usuario.

Usando este banco junto con el generador CC de 100W mencionado en la sección anterior, fue posible comprobar que no sólo se generaba suficiente energía para cargar un celular o tablet



Figura 3: Regulador SEPIC en su gabinete terminado con led indicador de carga.

de forma estable sino que además la idea de un frenado electrónico (resistivo) era viable. A tales efectos fue posible tomar un video (adjunto) en el que se observa el banco funcionando.

7. Diseño de la Electrónica: Estudio de un Buck

Una vez que se ha comprobado las etapas previas de generación estable de ondas CC, pedaleo cómodo y dimensiones apropiadas, llega el momento de determinar la electrónica necesaria para brindar al usuario la posibilidad no sólo de carga de su celular/tablet, sino también de poseer indicación visual del estado de carga y frenado de la bicicleta.

En este sentido y por haberse medido un voltaje igual o superior a 5V an en condiciones de muy baja velocidad de pedaleo: 60RPM, es que se decide la construcción de un conversor Buck en vez de un SEPIC como la versión inicial, por tratarse de un conversor mucho mas estable y simple de diseñar (ver [7]).

Por otro lado, y también en el mismo PCB, se proyectó un freno electromagnético basado en PWM sobre el gate de un MOS-FET de potencia que permite el frenado progresivo hacia arriba y abajo (mayor o menor freno) usando dos pulsadores.

Finalmente, usando un microprocesador de Texas Instruments, se proyecta en el mismo diseño un LCD que muestra información en pantalla como corriente de carga y estado del freno mencionado (ver Figura 9 donde se muestra un esquema del PCB propuesto a partir de Kicad y Figura con la foto del PCB construido).

8. Concepto y esquema del nuevo diseño

Sumando la electrónica, la generación estable obtenida en secciones anteriores, sólo falta decidir el cuadro donde ha de montarse todo el conjunto. En este sentido y teniendo en cuenta dificultades y correcciones realizadas sobre el banco utilizado para ensayos de pedaleo,



Figura 4: Primeros prototipos de generador CC propietario.

se decide proyectar un cuadro en el que sea simple la incorporación de cualquier persona, de cualquier edad.

Por este motivo se propone una estructura abierta, en donde sea posible ajustar la posición del soporte del celular a cargar donde además se cuenta con la información en LCD y botonera de frenado.

Para completar el conjunto se reemplaza el motor CC usado como dínamo en las secciones anteriores por un conjunto motoreductor de la firma Ignis: Motor CC MR20A-024060 con un eje adicional TR90A1 para colocar las palancas de pedales.

Con los fines de obtener un prototipo de alta calidad, se decide armar el conjunto con palancas de descenso de cromo-molibdeno, porta-silla de aluminio anodizado, asiento de alto comfort con ajuste allen, STEM de aluminio alivianado de alta resistencia y forma de alta resistencia de aluminio anodizado (ver Figura 11 para un esquema realizado en Sketchup).

8.1. Lista de Materiales

En el Cuadro 1, se muestra un detalle de los materiales utilizados que resultan de la construcción del mencionado prototipo mejorado.

A partir de estos materiales se construye el segundo prototipo mostrado en la Figura, en donde fue posible comprobar el correcto funcionamiento del regulador Buck de 5V (se genera 40V a bajas RPM), así como también el freno electromagnético, programa de Texas Instruments (MSP430G2553) para un correcto aumento/descenso de freno y la correcta ergonomía de la bicicleta (Figura 12).



Figura 5: Formas de onda con el generador propio.



Figura 6: Generador CC de mayor potencia.

9. Publicaciones

Con los resultados obtenidos, se consigue una publicación en forma de póster en el Tercer Congreso CIC en la ciudad de La Plata (ver Figura 13).

Es de hacer notar que se trabaja en una segunda publicación referente a la nueva técnica desarrollada para frenado de bicicletas fijas usando PWM de potencia para enviar a una revista internacional.

10. Conclusiones

Se han construido, proyectado y ensayado diversos prototipos para la determinación de la generación apropiada y estable con los fines de permitir la carga de teléfono celular o tablet.

Se ha puesto mucha atención en las dimensiones correctas para brindar comodidad al

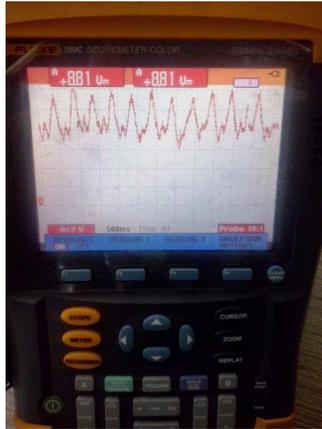


Figura 7: Nueva forma de onda.

usuario así como la información disponible en display LCD.

Es de hacer notar que el conjunto final no posee cadenas, partes sueltas o mecanismos con suciedad, haciéndolo aplicable a sectores y lugares en donde el usuario no necesite una indumentaria especial.

Cabe resaltar que las experiencias obtenidas a nivel experimental así como personales a lo largo de todo el desarrollo de la beca, fueron de un gran caudal enriquecedor para el becario tanto a nivel de grado así como para un posible posterior inicio de estudio de post-grado.

11. Agradecimientos

Tanto becario como director de beca desean agradecer la colaboración del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Laboratorio de Ingeniería Eléctrica, así como los alumnos Rodrigo Vergara, Alan Albarracín, León Moskovakis, Marcos Martel y la Directora de UDITEC Danna Gallego.

Referencias

- [1] A. Ezhilarasi and M.Ramaswamy. A strategy for assesing the stability of sepic converter. 2010.
- [2] Jeff Falin. Designing dc/dc converters based on sepic topology, 2008.
- [3] National Instruments. National instruments. designing dc-dc power supplies with the lm3477/lm3478 / lm3488, 2001.
- [4] Texas Instruments. An1286. texas instruments. compensation for the lm3478 boost controller, 2003.

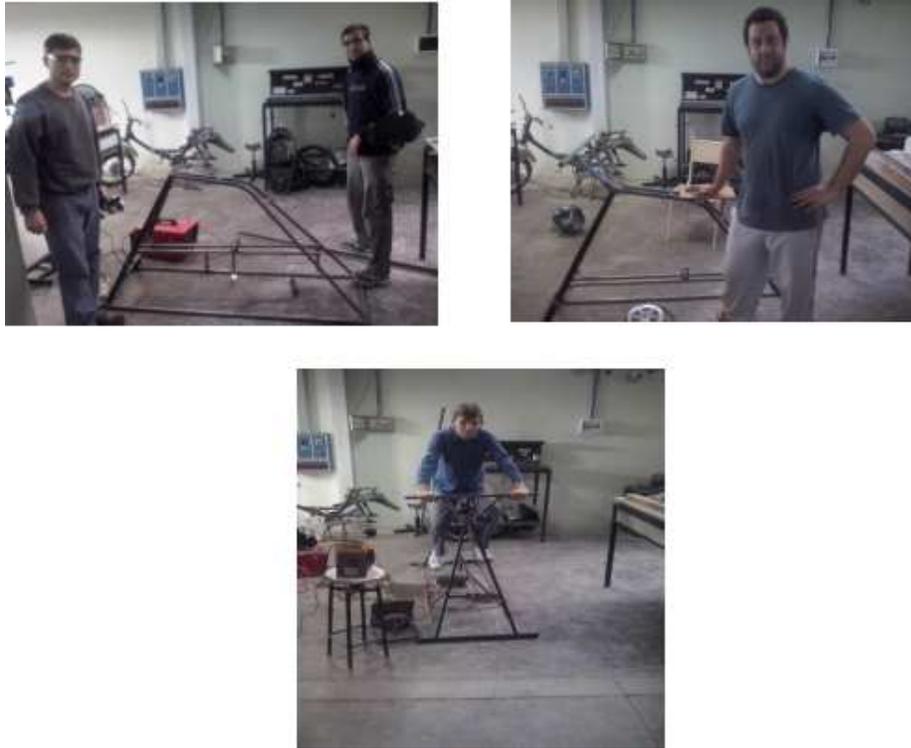


Figura 8: Construcción del banco de ensayos de pedaleo.

- [5] Texas Instruments. Webench design report: 1245343/12 lm3478mm/nopb, 2014.
- [6] Ray Ridley. Switching power magazine. current-mode control modeling. part v, 2006.
- [7] Q. Yu Du, Liu and A.Q Huang. A monolithic cmos synchronous buck converter with a fast and low-cost current sensing scheme. In *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2012.
- [8] Dongbing Zhang. An-1484. designing a sepic converter, 2006.

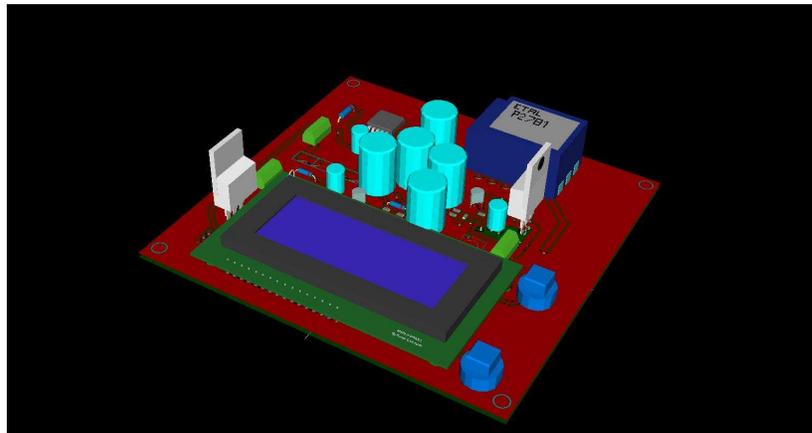


Figura 9: Esquema del nuevo PCB con Buck+LCD.



Figura 10: PCB con Buck+LCD.

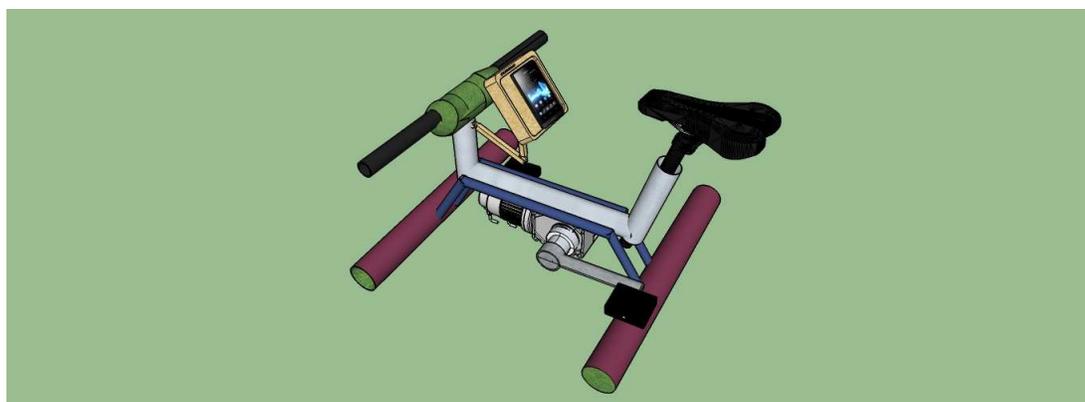


Figura 11: Dibujo esquemático del prototipo final.

Cuadro 1: Detalle de los materiales involucrados en el prototipo final

Caja Reductora a 90 TR20A
Eje adicional TR90A1
Motor CC MR20A-024060
Porta Silla
Collar de Asiento
Asiento 1/2
Juego de Palancas
Juego de Pedales
STEM
Forma (Manubrio)
Pines de tres conexiones blancos rectos completos para armar
Botón dip Swith redondo
Zócalo DIP 20
MSP430G2553
LM2593
Capacitores de 0.01 microfaradios x 50V
Capacitores de 1uF x 50Volt
Capacitores de 4700 microfaradios x 50Volt
Capacitores de 0.47 microfaradios de Tantalio x 100Volt
Capacitores de 470 microfaradios x 450Volt
Diodos 1N4007
Diodos 1N4148
Inductancias (Chokes) de 470 microHenry
Display LCD de dos lineas
Transistores MPSA92
Capacitores de 1 microfaradios x 50Volt
Lata pintura en aerosol negro
Tubos de acero
Planchuelas de acero



Figura 12: Foto del prototipo final construido.